DOI: 10.22616/llthesis/2021.008

Latvijas Lauksaimniecības universitāte
Lauksaimniecības fakultāte

Augsnes un augu zinātņu institūts

Mg. agr. **Sarmīte Rancāne**

promocijas darbs

AUGU BARĪBAS ELEMENTU RECIKLĀCIJAS IESPĒJAS ENERĢĒTISKO ZĀLAUGU PLANTĀCIJĀS

POSSIBILITIES OF PLANT NUTRIENT RECYCLING IN ENERGY GRASS PLANTATIONS

Zinātniskā doktora grāda zinātnes doktors (Ph.D.) iegūšanai
lauksaimniecības un zivsaimniecības zinātnēs, mežzinātnē

Promocijas darba zinātniskais vadītājs
Profesors, Dr. habil. agr. Aldis Kārkliņš _____

Promocijas darba zinātniskā vadītāja
vad. pētniece, Dr. silv. Dagnija Lazdiņa _____

Promocijas darba autore _____

Jelgava
2021

ANOTĀCIJA

Rancāne S. (2021). Augu barības elementu reciklācijas iespējas enerģētisko zālaugu plantācijās. Latvijas Lauksaimniecības universitāte. Jelgava, LLU, 133 lpp.

Zinātniskā darba izstrādāšanai lauka izmēģinājumi veikti LLU Zemkopības zinātniskajā institūtā Skrīveros 2012. – 2016. gadā.

Darba hipotēze

Mēslošanā lietojot bioenerģijas ražošanas blakusproduktus – fermentācijas atliekas jeb digestātu un koksnes pelnus, ir iespējams daļēji segt enerģētisko zālaugu prasības pēc barības elementiem, tādējādi nodrošinot elementu atgriešanu apritē.

Darba mērķis

Noskaidrot miežabrāļa (*Phalaris arundinace* L.) 'Bamse' un auzeņairenes (×*Festulolium pabulare)* 'Felina' audzēšanas iespējas enerģijas ieguvei, mēslošanā izmantojot bioenerģijas ražošanas blakusproduktus – fermentācijas atliekas jeb digestātu un koksnes pelnus, kā arī pētīt augu barības elementu atkārtotas izmantošanas iespējas sistēmā: augsne – augi – digestāts/pelni – augsne – augi.

Pētījuma uzdevumi

1. Izvērtēt digestātu un koksnes pelnus kā enerģētisko zālaugu mēslošanas līdzekļus.
2. Noskaidrot digestāta optimālo normu un izmantošanas režīmu miežabrāļa mēslošanā.
3. Izpētīt slāpekļa, fosfora, kālija aprites ciklu sistēmā: augsne – augi – digestāts/ pelni – augsne – augi.
4. Veikt miežabrāļa un auzeņairenes mēslošanas ekonomisko izvērtējumu.

Promocijas darba strukturējums

1. nodaļa – **Literatūras apskats** ietver piecas apakšnodaļas. Nodaļā sniegts īss ieskats bioenerģijas ieguves tehnoloģijās, apskatīti daudzgadīgie zālaugi bioenerģijas ražošanas kontekstā, veikts agrotehnisko pasākumu izvērtējums atbilstošas zālaugu biomasas ražas un kvalitātes nodrošināšanai biogāzes un kurināmā izejmateriāla ražošanai, apskatītas augu barības elementu aprites iespējas bioenerģētisko augu audzēšanas sistēmās, kā arī sniegts agronomiskais vērtējums bioenerģijas ražošanas blakusproduktu – digestāta un pelnu mēslojuma izmantošanai enerģētisko zālaugu plantācijās.
2. nodaļa – **Materiāli un metodes** ietver divas apakšnodaļas. Nodaļā aprakstīta izmēģinājumu ierīkošanas metodika, pētītais materiāls, veiktie novērojumi un analīzes, raksturoti meteoroloģiskie apstākļi un aprakstītas datu apstrādes metodes.
3. nodaļa – **Izmēģinājuma rezultāti un diskusija** ietver sešas apakšnodaļas. Nodaļā analizēti iegūtie rezultāti par miežabrāļa un auzeņairenes ražību, ražas struktūru un kvalitātes izmaiņām atšķirīgu mēslošanas līdzekļu, normu un režīmu izmantošanas ietekmē, veicot zālaugu biomasas ražas uzskaiti vienu reizi un divas reizes gadā. Vērtēta augu barības elementu iznese ar ražu, kā arī augsnes agroķīmisko rādītāju izmaiņas mēslošanas ietekmē. Veikts miežabrāļa un auzeņairenes mēslošanas ekonomiskais izvērtējums.
4. nodaļa – **Secinājumi** ietver atbildes uz pētījuma uzdevumiem.

Darbā ietvertas 34 tabulas, 41 attēls, 53 pielikumi un izmantoti 353 literatūras avoti.

ANOTATION

Rancāne S. (2021). Possibilities of plant nutrient recycling in energy grass plantations: Research paper to obtain for the Doctoral degree Ph.D in Agriculture, Forestry and Fisheries. Latvia University of Life Sciences and Technologies. Jelgava, 133 p.

To develop the scientific work, field trials were performed at the Research Institute of Agronomy of the Latvia University of Life Sciences and Technologies, in Skriveri in the time period from 2012 to 2016.

Hypothesis of the thesis

By using by-products of bioenergy production in fertilisation - fermentation residues or digestate and wood ash, it is possible to partially cover the requirements of energy grasses for nutrients, as well as to ensure their reuse.

The aim of the thesis

To find out the possibilities of growing reed canary grass (*Phalaris arundinace*a L.) 'Bamse' and festulolium (× *Festulolium pabulare*) 'Felina' for energy production by using bioenergy production by-products in fertilisation – fermentation residues or digestate and wood ash, as well as to study possibilities of plant nutrient reuse in the system: soil – plants – digestate / ash – soil – plants.

Research tasks

1. To evaluate digestate and wood ash as energy grasses fertilisers.
2. To find out the optimal norm and the regime of use of digestate in reed canary grass fertilisation.
3. To study the nitrogen, phosphorus, potassium circulation cycle in the system: soil – plants – digestate / ash – soil – plants.
4. To perform economic evaluation of reed canary grass and festulolium fertilisation.

The structure of the research paper

Chapter 1 - The literature review includes five subchapters. The chapter provides a brief overview of bioenergy production technologies, examines perennial grasses in the context of bioenergy production, evaluates agrotechnical measures to ensure adequate grass biomass yield and quality for biogas and fuel feedstock production, examines plant nutrient circulation in bioenergy crop production systems, and provides agronomic assessment of by-product – digestate and ash fertiliser for use in energy grass plantations.

Chapter 2 - Materials and Methods includes two subchapters. The chapter describes the methodology of test establishment, the studied material, the observations and analyzes performed, describes the meteorological conditions and describes the statistical analysis of data.

Chapter 3 - The results and discussion include six subsections. The chapter analyzes the obtained results on reed canary grass and festulolium yield and changes in yield structure and quality due to the use of different fertilisers, norms and regimes, performing grassland dry matter yield inventory by mowing once and twice a year. The remove of plant nutrients from soil with dry matter yield, as well as changes in soil agrochemical parameters due to fertilisation were evaluated. An economic evaluation of reed canary grass and festulolium fertilisation has been performed.

The conclusions include answers to the research tasks.

The paper contains 34 tables, 41 figures, 53 annexes and 353 scientific source references.

SATURS

ANOTĀCIJA....2
ANNOTATION....3
TEKSTĀ LIETOJAMIE SAĪSINĀJUMI UN ABREVIATŪRAS....6
DARBĀ IEVIETOTO TABULU SARAKSTS....7
DARBĀ IEVIETOTO ATTĒLU SARAKSTS....8
PIELIKUMU SARAKSTS....10
IEVADS....12
1. LITERATŪRAS APSKATS....16
1.1. Tehnoloģijas bioenerģijas ieguvei....16
1.2. Daudzgadīgie zālaugi bioenerģijas ražošanai....17
1.2.1. Zālaugu priekšrocības....19
1.2.2. Kvalitātes prasības zālaugu biomasai cietā kurināmā ražošanai....21
1.2.3. Kvalitātes prasības zālaugu biomasai biogāzes ražošanai....24
1.2.4. Miežabrāļa (*Phalaris arundinacea* L.) raksturojums....25
1.2.5. Auzeņaireņu (×*Festulolium*) raksturojums....28
1.3. Agrotehniskie pasākumi zālaugu biomasas ražas un kvalitātes nodrošināšanai....30
1.3.1. Augsnes izvēle.... 31
1.3.2. Augsnes apstākļu optimizēšana....32
1.3.3. Biomasas novākšana....36
1.4. Bioenerģētiskie augi un barības elementu aprite zemkopībā....38
1.5. Digestāta un koksnes pelnu agronomiskais novērtējums....43
1.5.1. Digestāta raksturojums....43
1.5.2. Pelnu raksturojums....49
2. MATERIĀLS UN METODES....54
2.1. Lauka izmēģinājumu apstākļi un metodes....54
2.1.1. Augsnes raksturojums....54
2.1.2. Izmēģinājumu varianti....56
2.1.3. Novērojumi un uzskaites veģetācijas periodā, veiktās analīzes....58
2.1.4. Mēslošanas efektivitātes aprēķini....60
2.1.5. Datu matemātiskā apstrāde....61
2.2. Meteoroloģisko apstākļu raksturojums izmēģinājumu gados....61
3. IZMĒĢINĀJUMU REZULTĀTI UN DISKUSIJA....65
3.1. Zālaugu produktivitāte atšķirīgos mēslošanas variantos....65
3.1.1. Miežabrāļa un auzeņairenes sausnas raža mēslošanas ietekmē....65
3.1.2. Miežabrāļa sausnas raža atkarībā no digestāta normas mikrolauciņos....72
3.2. Zālaugu sausnas ražas struktūra....75
3.2.1. Mēslojuma ietekme uz miežabrāļa un auzeņairenes ražas struktūru....75
3.2.2. Miežabrāļa ražas struktūra atkarībā no digestāta mēslojuma normas....78
3.3. Zālaugu sausnas ķīmiskais sastāvs....79
3.3.1. Mēslojuma ietekme uz zālaugu sausnas ķīmisko sastāvu....79
3.3.2. Miežabrāļa sausnas ķīmiskais sastāvs atkarībā no digestāta normas....89
3.4. Augu barības elementu iznese ar zālaugu ražu....89
3.4.1. Mēslojuma ietekme uz augu barības elementu iznesi....90
3.4.2. Augu barības elementu iznese atkarībā no digestāta mēslojuma normas....93
3.4.3. Augu barības elementu bilance....95
3.4.4. Slāpekļa izmantošanās agronomiskā efektivitāte....98
3.5. Augsnes agroķīmisko rādītāju izmaiņas mēslošanas ietekmē....102
3.6. Miežabrāļa un auzeņairenes mēslošanas ekonomiskais izvērtējums....107
SECINĀJUMI....111

PRIEKŠLIKUMI.....112
PATEICĪBAS.....112
IZMANTOTIE INFORMĀCIJAS AVOTI.....113
PIELIKUMI.....134

TEKSTĀ LIETOJAMIE SAĪSINĀJUMI UN ABREVIATŪRAS

ABV –	augu barības vielas
AE_N –	slāpekļa izmantošanas agronomiskā efektivitāte
AER –	atjaunojamie energoresursi
C_3 –	mērenā klimata augi ar pazeminātu fotosintēzes produktivitāti karstā un sausā laikā
C_4 –	tropu un subtropu augi ar efektīvu fotosintētisko darbību sausā un karstā laikā
CH_4 –	metāns
CO_2 –	oglekļa dioksīds
ERAF –	Eiropas Reģionālās attīstības fonds
l.g. –	zālaugu zelmeņa lietošanas gads
LIZ –	lauksaimniecībā izmantojamā zeme
NO_x –	slāpekļa oksīdi
NIE –	slāpekļa izmantošanas efektivitāte
SO_x –	sēra oksīdi
SEG –	siltumnīcefektu veidojošās gāzes
OV –	organiskās vielas
C_{kop} –	kopējais ogleklis
C_{org} –	ogleklis organisko savienojumu sastāvā
P_{kop} –	kopējais fosfors
$N–NO_3$ –	slāpeklis nitrātu formā
$N–NH_4$ –	slāpeklis amonija formā
N_{kop} –	kopējais slāpeklis
N_{org} –	slāpeklis organisko savienojumu sastāvā
C/N –	oglekļa un slāpekļa attiecība, izteikta masas procentos
ŠM –	šķidrmēsli (bezpakaišu kūtsmēsli).

$N_{90}P_{50}K_{100}$ (un līdzīgs pieraksts) – mēslošanas līdzekļu lietošanas norma vai deva, izteikta kā slāpekļa (N), fosfora (P_2O_5) un kālija (K_2O) masa hektāra platībā, kg ha^{-1}.

Šajā darbā fosfora un kālija koncentrācijas izteikšanai augsnē, augu barības elementu izneses un bilances aprēķiniem, kā arī apzīmējot atbilstošas mēslošanas normas un devas, tiek izmantota to oksīdu forma (P_2O_5 un K_2O). Tāpēc tekstā šajā kontekstā lietotie nosacītie apzīmējumi fosfors un kālijs, nozīmē attiecīgi P_2O_5 un K_2O. Savukārt zālaugu biomasas ķīmiskais sastāvs tiek norādīts elementu veidā: N, P, K, S, C, Ca, Mg, ieskaitot arī fosforu un kāliju.

DARBĀ IEVIETOTO TABULU SARAKSTS

1.1. tabula	Atšķirīgu izejmateriālu biogāzes ražošanas potenciāls un metāna saturs	25. lpp.
1.2. tabula	Miežabrāļa kā bioenerģijas auga enerģētiskā vērtība	27. lpp.
1.3. tabula	Biogāzes iznākums atkarībā no slāpekļa devas miežabrālim	33. lpp.
1.4. tabula	Miežabrāļa stiebru un lapu ķīmiskais sastāvs	38. lpp.
1.5. tabula	Digestāta bioķīmisko īpašību apkopojums	45. lpp.
1.6. tabula	Koksnes pelnu ķīmiskais sastāvs, masas %	50. lpp.
2.1. tabula	Mikroizmēģinājuma mēslošanas varianti	57. lpp.
2.2. tabula	Izmēģinājumos izmantotā digestāta un koksnes pelnu ķīmiskais sastāvs	58. lpp.
2.3. tabula	Zālaugu zelmeņu ķīmiskā sastāva noteikšanas metodes	59. lpp.
2.4. tabula	Augsnes agroķīmisko rādītāju noteikšanas metodes	59. lpp.
3.1. tabula	Miežabrāļa pirmā pļāvuma sausnas raža divu pļāvumu režīmā, t ha^{-1}	65. lpp.
3.2. tabula	Miežabrāļa otrā pļāvuma sausnas raža divu pļāvumu režīmā, t ha^{-1}	66. lpp.
3.3. tabula	Miežabrāļa sausnas kopraža divu pļāvumu režīmā, t ha^{-1}	66. lpp.
3.4. tabula	Miežabrāļa sausnas raža viena pļāvuma režīmā, t ha^{-1}	67. lpp.
3.5. tabula	Auzeņairenes pirmā pļāvuma sausnas raža divu pļāvumu režīmā, t ha^{-1}	68. lpp.
3.6. tabula	Auzeņairenes otrā pļāvuma sausnas raža divu pļāvumu režīmā, t ha^{-1}	68. lpp.
3.7. tabula	Auzeņairenes sausnas kopraža divu pļāvumu režīmā, t ha^{-1}	69. lpp.
3.8. tabula	Auzeņairenes sausnas raža viena pļāvuma režīmā, t ha^{-1}	69. lpp.
3.9. tabula	Miežabrāļa pirmā pļāvuma sausnas raža divu pļāvumu režīmā, t ha^{-1}	73. lpp.
3.10. tabula	Miežabrāļa otrā pļāvuma sausnas raža divu pļāvumu režīmā, t ha^{-1}	73. lpp.
3.11. tabula	Miežabrāļa zelmeņa sausnas ražas struktūra, %	76. lpp.
3.12. tabula	Auzeņairenes zelmeņa sausnas ražas struktūra, %	77. lpp.
3.13. tabula	Miežabrāļa zelmeņa sausnas ražas struktūra atšķirīgos pļāvumos, %	78. lpp.
3.14. tabula	Pelnu saturs auzeņairenes un miežabrāļa sausnā, %	81. lpp.
3.15. tabula	Oglekļa saturs zālaugu sausnā atšķirīgos pļāvumos, g kg^{-1} C	82. lpp.
3.16. tabula	Kopējā slāpekļa saturs zālaugu sausnā atšķirīgos pļāvumos, g kg^{-1} N	83. lpp.
3.17. tabula	Kālija saturs zālaugu sausnā atšķirīgos pļāvumos, g kg^{-1} K	84. lpp.
3.18. tabula	Fosfora saturs zālaugu sausnā atšķirīgos pļāvumos, g kg^{-1} P	85. lpp.
3.19. tabula	Miežabrāļa sausnas ķīmiskais sastāvs atšķirīgos pļāvumos, g kg^{-1} sausnā	88. lpp.
3.20. tabula	Miežabrāļa sausnas ķīmiskais sastāvs, g kg^{-1}	89. lpp.
3.21. tabula	Slāpekļa iznese vidēji gadā (2013. – 2014.), kg ha^{-1} N	90. lpp.
3.22. tabula	Fosfora iznese vidēji gadā (2013. – 2014.), kg ha^{-1} P_2O_5	91. lpp.
3.23. tabula	Kālija iznese vidēji gadā (2013. – 2014.), kg ha^{-1} K_2O	92. lpp.
3.24. tabula	N_{min} krājumi augsnes 0 – 60 cm slānī atkarībā no mēslojuma normas, kg ha^{-1}	105. lpp.

DARBĀ IEVIETOTO ATTĒLU SARAKSTS

2.1. att.	Augsnes profila atsegums Pardenču izmēģinājumu laukā	55. lpp
2.2. att.	Vidējā gaisa temperatūra (^{o}C) pa mēnešiem 2012. – 2015. gadā un ilggadīgie vidējie rādītāji (Skrīveru meteostacijas dati).	62. lpp.
2.3. att.	Nokrišņu daudzums (mm) pa mēnešiem 2012. – 2015. gadā un ilggadīgie vidējie rādītāji (Skrīveru meteostacijas dati).	62. lpp.
3.1. att.	Miežabrāļa sausnas raža divu pļāvumu režīmā vidēji visos mēslojuma variantos	65. lpp.
3.2. att.	Auzeņairenes sausnas raža divu pļāvumu režīmā – vidēji visos mēslojuma variantos, t ha^{-1}	70. lpp.
3.3. att.	Sausnas ražas pieaugums vai samazinājums viena pļāvuma režīmā salīdzinājumā ar divu pļāvumu režīmu (vidēji trīs gados), t ha^{-1}	70. lpp.
3.4. att.	Sausnas raža atšķirīgu faktoru ietekmē vidēji divos pļaušanas režīmos, t ha^{-1}	71. lpp.
3.5. att.	Faktoru ietekme uz zālaugu sausnas ražu, %	72. lpp.
3.6. att.	Miežabrāļa sausnas raža divu pļāvumu režīmā, t ha^{-1}	74. lpp.
3.7. att.	Miežabrāļa sausnas raža viena pļāvuma režīmā, t ha^{-1}	74. lpp.
3.8. att.	Miežabrāļa sausnas raža atšķirīgos pļaušanas režīmos, t ha^{-1}	75. lpp.
3.9. att.	Miežabrāļa sausnas ražas struktūra atšķirīgos pļaušanas režīmos, %	76. lpp.
3.10. att.	Auzeņairenes sausnas ražas struktūra atšķirīgos pļaušanas režīmos, %	77. lpp.
3.11. att.	Miežabrāļa sausnas ražas struktūra atšķirīgos pļaušanas režīmos, %	78. lpp.
3.12. att.	Pelnu saturs zālaugu sausnā, %	80. lpp.
3.13. att.	Oglekļa saturs zālaugu sausnā, g kg^{-1} C	82. lpp.
3.14. att.	Kopējā slāpekļa saturs zālaugu sausnā, g kg^{-1} N	83. lpp.
3.15. att.	Kālija saturs zālaugu sausnā, g kg^{-1} K	84. lpp.
3.16. att.	Atšķirīgu faktoru ietekme uz zālaugu sausnas ķīmisko sastāvu	86. lpp.
3.17. att.	Pelnu saturs atšķirīgos miežabrāļa pļāvumos un daļās, %	88. lpp.
3.18. att.	Slāpekļa un kālija saturs miežabrāļa sausnā, g kg^{-1}	88. lpp.
3.19. att.	Slāpekļa (N) iznese vidēji trīs lietošanas gados, kg ha^{-1}	93. lpp.
3.20. att.	Fosfora (P_2O_5) iznese vidēji trīs lietošanas gados, kg ha^{-1}	94. lpp.
3.21. att.	Kālija (K_2O) iznese vidēji trīs lietošanas gados, kg ha^{-1}	94. lpp.
3.22. att.	Slāpekļa (N) bilance trīs lietošanas gados, kg ha^{-1}	96. lpp.
3.23. att.	Fosfora (P_2O_5) bilance trīs lietošanas gados, kg ha^{-1}	96. lpp.
3.24. att.	Kālija (K_2O) bilance trīs lietošanas gados, kg ha^{-1}	97. lpp.
3.25. att.	Slāpekļa izmantošanās efektivitāte jeb ražas indekss (N_R)	98. lpp.
3.26. att.	Slāpekļa izmantošanās agronomiskā efektivitāte (N_{AE})	99. lpp.
3.28. att.	Slāpekļa, fosfora un kālija šķietamās izmantošanās indekss	101. lpp.
3.29. att.	Slāpekļa izmantošanās efektivitātes (N_R) indeksi mikroizmēģinājumā	101. lpp.
3.30. att.	Slāpekļa izmantošanās agronomiskās efektivitātes (N_{AE}) mikroizmēģinājumā	102. lpp.
3.31. att.	Augiem viegli izmantojamā fosfora (P_2O_5) un kālija (K_2O) izmaiņas augsnē mēslošanas rezultātā	103. lpp.
3.32. att.	Augiem viegli izmantojamā fosfora (P_2O_5) un kālija (K_2O) izmaiņas augsnē digestāta mēslojuma ietekmē	104. lpp.
3.33. att.	Minerālā slāpekļa dinamika augsnē, kg ha^{-1}	105. lpp.

3.34. att. Minerālā slāpekļa dinamika veģetācijas periodā vidēji trīs gadu periodā, kg ha^{-1} 106. lpp.
3.35. att. Pelnu un digestāta mēslojuma izmantošanas izmaksas salīdzinājumā ar minerālmēsliem, EUR ha^{-1} 108. lpp.
3.36. att. Mēslošanas līdzekļu izmaksas uz saražotās zālaugu sausnas tonnu atšķirīgos pļaušanas režīmos, EUR t^{-1} 108. lpp.
3.37. att. Digestāta mēslojuma izmaksas četru gadu periodā, EUR t^{-1} 109. lpp.
3.38. att. Digestāta mēslojuma izmaksas uz saražotās miežabrāļa sausnas tonnu, EUR t^{-1} 110. lpp.

PIELIKUMU SARAKSTS

1. pielikums	Izmēģinājuma lauka augsnes profila apraksts
2. pielikums	Zālaugu mēslošanas izmēģinājumu shēma Pardenčos
3. pielikums	Gaisa vidējās temperatūras pētījuma gados Skrīveros, ^{o}C (Skrīveru meteostacijas dati)
4. pielikums	Nokrišņu daudzums pētījuma gados Skrīveros, mm
5. pielikums	Miežabrāļa zelmeņu sausnas ražas struktūra viena pļāvuma režīmā
6. pielikums	Auzeņairenes zelmeņu sausnas ražas struktūra viena pļāvuma režīmā
7. pielikums	Miežabrāļa 1. pļāvuma sausnas ražas struktūra atšķirīgos digestāta mēslojuma variantos, %
8. pielikums	Miežabrāļa 2. pļāvuma sausnas ražas struktūra atšķirīgos digestāta mēslojuma variantos, %
9. pielikums	Miežabrāļa zelmeņa sausnas ražas struktūra viena pļāvuma režīmā atšķirīgos lietošanas gados, %
10. pielikums	Pelnu saturs zālaugu sausnā
11. pielikums	Oglekļa saturs zālaugu sausnā
12. pielikums	Sēra saturs zālaugu sausnā
13. pielikums	Slāpekļa saturs zālaugu sausnā
14. pielikums	Kopproteīna saturs zālaugu sausnā
15. pielikums	Kālija saturs zālaugu sausnā
16. pielikums	Fosfora saturs zālaugu sausnā
17. pielikums	Kalcija saturs zālaugu sausnā
18. pielikums	Magnija saturs zālaugu sausnā
19. pielikums	Pelnu, oglekļa un sēra saturs atšķirīgu pļāvumu zelmeņos vidēji divos lietošanas gados
20. pielikums	Slāpekļa, fosfora, kālija saturs atšķirīgu pļāvumu zelmeņos vidēji divos gados
21. pielikums	Kalcija un magnija saturs atšķirīgu pļāvumu zelmeņos vidēji divos lietošanas gados
22. pielikums	Pelnu, oglekļa un sēra saturs zālaugu lapās un stiebros vidēji divos lietošanas gados
23. pielikums	Slāpekļa, fosfora un kālija saturs zālaugu lapās un stiebros vidēji divos lietošanas gados
24. pielikums	Kalcija un magnija saturs lapās un stiebros vidēji divos lietošanas gados
25. pielikums	Miežabrāļa sausnas ķīmiskais sastāvs mēslojuma ietekmē vidēji visos pļāvumos divos lietošanas gados
26. pielikums	Miežabrāļa sausnas atsevišķu struktūrelementu ķīmiskais sastāvs atšķirīgos pļāvumos vidēji divos lietošanas gados
27. pielikums	Miežabrāļa sausnas ķīmiskais sastāvs atšķirīgos pļāvumos un mēslošanas variantos vidēji divos lietošanas gados
28. pielikums	Slāpekļa (N_{kop}) iznese ar sausnas ražu, kg ha^{-1}
29. pielikums	Fosfora (P_2O_5) iznese ar sausnas ražu, kg ha^{-1}
30. pielikums	Kālija (K_2O) iznese ar sausnas ražu, kg ha^{-1}
31. pielikums	Slāpekļa iznese mikroizmēģinājumā (pa pļāvumiem), kg ha^{-1}
32. pielikums	Slāpekļa iznese mikroizmēģinājumā (atkarībā no pļaušanas režīma), kg ha^{-1}
33. pielikums	Fosfora (P_2O_5) iznese mikroizmēģinājumā (pa pļāvumiem), kg ha^{-1}

34. pielikums Fosfora (P_2O_5) iznese mikroizmēģinājumā (atkarībā no pļaušanas režīma), kg ha^{-1}
35. pielikums Kālija (K_2O) iznese mikroizmēģinājumā (pa pļāvumiem), kg ha^{-1}
36. pielikums Kālija (K_2O) iznese mikroizmēģinājumā (atkarībā no pļaušanas režīma), kg ha^{-1}
37. pielikums Slāpekļa izmantošanās efektivitāte – ražas indekss (N_R)
38. pielikums Slāpekļa izmantošanās agronomiskā efektivitāte (N_{AE})
40. pielikums Slāpekļa "šķietamā izmantošanās" ($N_{šķ}$) atšķirīgos pļaušanas režīmos
41. pielikums Slāpekļa "šķietamā izmantošanās" ($N_{šķ}$) vidēji divos pļaušanas režīmos
42. pielikums Slāpekļa izmantošanās efektivitāte – ražas indekss (N_R) mikroizmēģinājumā
43. pielikums Slāpekļa izmantošanās agronomiskās efektivitātes (N_{AE}) indekss mikroizmēģinājumā
44. pielikums Augsnes agroķīmiskie rādītāji Pardenču laukā 2012. gadā
45. pielikums Augsnes agroķīmiskie rādītāji Pardenču laukā 2016. gadā
46. pielikums Augsnes agroķīmiskie rādītāji mikroizmēģinājumā 2012. gadā
47. pielikums Augsnes agroķīmiskie rādītāji mikroizmēģinājumā 2016. gadā
48. pielikums Minerālā slāpekļa krājumi augsnē miežabrāļa sējumā 1. lietošanas gadā (2013), kg ha^{-1}
49. pielikums Minerālā slāpekļa krājumi augsnē miežabrāļa sējumā 2. lietošanas gadā (2014), kg ha^{-1}
50. pielikums Minerālā slāpekļa krājumi augsnē miežabrāļa sējumā 3. lietošanas gadā (2015), kg ha^{-1}
51. pielikums Mēslošanas līdzekļu pielietošanas izmaksas
52. pielikums Zālaugu mēslošanas izmaksas, rēķinot uz saražotās sausnas vienību
53. pielikums Digestāta mēslojuma izmantošanas izmaksas, rēķinot uz saražotās sausnas vienību

IEVADS

Fosilo enerģijas resursu izsmelšana, augošā slodze uz vidi un klimata pārmaiņas liek mainīt līdz šim pastāvošās metodes bioloģisko resursu izmantošanā, patēriņā, pārstrādē, uzglabāšanā, atkārtotā izmantošanā un utilizācijā. Fosilā kurināmā resursi ir ierobežoti, tie pamazām un neatgriezeniski izsīkst, tādēļ pasaulē un Latvijā aizvien aktuālāka kļūst atjaunojamo energoresursu (AER) loma un augu barības elementu reciklācija, t.sk., bioenerģijas ražošanas atkritumproduktu racionāla izmantošana. Eiropas Savienība bija izvirzījusi mērķi līdz 2020. gadam nodrošināt 20% enerģijas no atjaunojamiem enerģijas avotiem. Eiropadome 2014. gada oktobrī nosprauda energoefektivitātes mērķi 2030. gadam[1] – 27%. Latvija līdz 2020. gadam bija apņēmusies palielināt AER īpatsvaru ar bruto enerģijas galapatēriņu līdz 40%[2]. Ir izstrādāts integrētais nacionālais enerģētikas un klimata plāns laika posmam no 2021. līdz 2030. gadam. Latvijas Enerģētikas ilgtermiņa stratēģijā "Konkurētspējīga enerģētika sabiedrībai" viens no plānotajiem mērķrādītājiem līdz 2030. gadam sasniegt atjaunojamo energoresursu enerģijas īpatsvaru 50% bruto enerģijas galapatēriņā[3].

Bioenerģija ir dominējošais atjaunojamās enerģijas avots Eiropā, un paredzams, ka tās ražošana turpmākajās desmitgadēs būtiski pieaugs. Visplašāk izmantotais atjaunojamās enerģijas resurss Eiropas Savienībā ir cietā biomasa un tās loma ES enerģētikas sistēmā arvien pieaug. Biomasa tiek izmantota tikpat lielos daudzumos kā dabasgāze un divreiz vairāk nekā nafta. No kopējās bioenerģijas izejvielām 70% sastāda meži un mežizstrādes atliekas, pārējo – atkritumi un lauksaimniecības biomasa[4]. Beidzamajos gados ir pieaugusi interese par enerģētisko augu kultivēšanu. Ņemot vērā politiskos mērķus, var sagaidīt, ka Eiropā palielināsies enerģijas ražošana no lauksaimniecības zemēs iegūtās augu biomasas. Tā rezultātā bioekonomiskajā apritē tiks iekļautas marginālas, mazauglīgas platības, kur ļoti būtiska loma ir augsnes auglības uzlabošanai, izmantojot dažāda veida mēslošanas līdzekļus, t.sk., bioenerģijas ražošanas blakusproduktus – digestātu, pelnus u.c. (Kering, Butler, Biermacher et al., 2012). Zālaugi šādās platībās var ne tikai nodrošināt AER bāzi, bet vienlaikus risināt vides, sociālās un ekonomiskās problēmas. Latvijas agroklimatiskajos apstākļos zālaugu izmantošana enerģijas vajadzībām ir perspektīva, ņemot vērā zelmeņu produktīvo ilggadību un audzēšanas prasības. Zālaugu biomasu var izmantot gan cietā kurināmā, gan biogāzes ražošanai. Viena no perspektīvākajām zālaugu sugām mūsu platuma grādos ir miežabrālis (*Phalaris arundinacea* L.). Nozīmīgu vietu bioenerģijas ražošanā nākotnē varētu ieņemt arī stiebrzāļu starpsugu hibrīds – auzeņairene (x*Festulolium*) (Adamovičs, Koulakovskaja, 2003; Gūtmane, 2011), kura apvieno auzenes un airenes pozitīvās īpašības (Bērziņš, Ruņģis, Rancāne et al., 2018).

Augošajā bioenerģijas ražošanas sistēmas scenārijā ir jāņem vērā ilgtspējīga resursu pārvaldība, jo īpaši tās potenciāls veidot noslēgtu augu barības vielu ciklu. Eiropā attīstās cirkulārās ekonomikas (EC, 2014) un bioekonomikas (EC, 2012) stratēģijas, veicinot ilgtspējīgu un integrētu bioloģisko resursu un atkritumu izmantošanu (Bernal, 2017), t.sk., bezatlikuma tehnoloģiju ieviešanu. ES zaļā kursa ietvaros ir sagatavots rīcības plāns, kura mērķis ir līdz 2050. gadam panākt klimatneitralitāti. Tas ietver resursu efektīvu izmantošanu, pārejot uz tīru aprites ekonomiku, bioloģiskās daudzveidības atjaunošanu un piesārņojuma

[1]Eiropas Parlamenta un Padomes 2009. gada 23. aprīļa Lēmums Nr. 406/2009/EK par dalībvalstu pasākumiem siltumnīcefektu izraisošu gāzu emisiju samazināšanai. [Tiešsaiste] [skatīts 2018. g. 23. novembrī]. Pieejams: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LV/TXT/HTML/?uri=CELEX:32009D0406&from=DA

[2] Eiropas Parlamenta un Padomes 2009. gada 23. aprīļa direktīvas 2009/28/EK par atjaunojamo energoresursu izmantošanas veicināšanu. [Tiešsaiste] [skatīts 2019. g. 20. martā]. Pieejams: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LV/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0028

[3] Eiropas Parlamenta un Padomes direktīva. [Tiešsaiste] [skatīts 2021. g. 13. janvārī]. Pieejams: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LV/TXT/HTML/?uri=CELEX:52016PC0761&from=DE

[4] Atjaunojamā enerģija un klimata pārmaiņas. [Tiešsaiste] [skatīts 2021. g. 13. janvārī]. Pieejams: http://www.klimats2015.lv/files/LAEF_buklets_web_47b7ed63.pdf

samazināšanu. Līdz 2030. gadam paredzēts samazināt siltumnīcefekta gāzu emisijas vismaz par 55 % salīdzinājumā ar 1990. gada līmeni, augu barības vielu zudumus par 50%, nodrošinot, ka nepasliktinās augsnes auglība. Tādējādi līdz 2030. gadam mēslošanas līdzekļu lietošana tiks samazināta par vismaz 20%[5]. Šajā kontekstā būtiski veicināt atkārtotu augu barības elementu izmantošanu. Pelni un digestāts ir atzīti par vērtīgu augu barības elementu avotu (Bakker, Elbersen, 2005; Arthurson, 2009; Insam, Franke-Whittle, Knapp, Plank, 2009; Möller, Müller, 2012; Fuzesi, Heil, Kovacs, 2015; Lazdiņa, Bebre, Dūmiņš et al., 2017). Resursu taupīšanas nolūkā un augu barības elementu aprites nodrošināšanai pelnus un digestātu lietderīgi nogādāt atpakaļ uz platībām, no kurām ar enerģijas ražošanai paredzēto augu biomasu barības elementi ir aizgādāti projām. Tas var palielināt virszemes slāpekļa piesaisti un biomasas ražas, uzlabot augsnes fizikālās un ķīmiskās īpašības, kā arī radīt daudz pozitīvu vides un ekonomisku ieguvumu, t.sk., kļūt par alternatīvu tradicionālo jeb rūpnieciski ražoto mēslošanas līdzekļu izmantošanai (Bengtsson, Tillman, 2004; Moller, Stinner, Deuker, Leithold, 2008; Tampere, Viiralt, 2014). Tomēr līdzšinējie pētījumi šajā jomā nav pietiekami, tie nesniedz atbildes uz daudziem jautājumiem. Lai pelnus un digestātu varētu droši izmantot, nepieciešama papildus informācija par to mēslošanas efektivitāti, par atkārtotas izmantošanas ietekmi uz zālaugu produktivitāti, ražas kvalitāti un augsnes agroķīmiskajām īpašībām. Tādēļ promocijas darba ietvaros tika veikti pētījumi par digestāta un koksnes pelnu kā mēslošanas līdzekļu efektivitāti miežabrāļa un auzeņairenes audzēšanā, kā arī skaidrota to ietekme uz augsnes agroķīmiskajām īpašībām sistēmā: augsne – augi – digestāts/pelni – augsne – augi.

Darba hipotēze. Mēslošanā lietojot bioenerģijas ražošanas blakusproduktus – fermentācijas atliekas jeb digestātu un koksnes pelnus, ir iespējams daļēji segt zālaugu prasības pēc augu barības elementiem, tādējādi nodrošinot elementu atgriešanu apritē.

Aizstāvamās tēzes.

1. Bioenerģijas ražošanas blakusproduktu izmantošana vismaz par 50% samazina augu barības elementu vajadzību enerģētiskiem zālaugiem.
2. Lietojot palielinātas digestāta normas dalīti, vairākas reizes sezonā, ir iespējams iegūt augstākas miežabrāļa sausnas ražas.
3. Lietojot enerģētisko zālaugu mēslošanā bioenerģijas ražošanas blakusproduktus, kā arī veicot zālaugu pļaušanu augu atmiršanas fāzē, ir iespējama NPK atkārtota izmantošanās.
4. Digestāta un pelnu lietošana zālaugu mēslošanā samazina mēslošanas izmaksas.

Darba mērķis. Noskaidrot miežabrāļa (*Phalaris arundinace* L.) 'Bamse' un auzeņairenes (×*Festulolium pabulare)* 'Felina' audzēšanas iespējas enerģijas ieguvei, mēslošanā izmantojot bioenerģijas ražošanas blakusproduktus – fermentācijas atliekas jeb digestātu un koksnes pelnus, kā arī pētīt augu barības elementu atkārtotas izmantošanas iespējas sistēmā: augsne – augi – digestāts/pelni – augsne – augi.

Pētnieciskie uzdevumi.

1. Izvērtēt digestātu un koksnes pelnus kā enerģētisko kultūraugu mēslošanas līdzekļus.
2. Noskaidrot digestāta optimālo normu un izmantošanas režīmu miežabrāļa mēslošanā.
3. Izpētīt slāpekļa, fosfora, kālija aprites ciklu sistēmā: augsne – augi – digestāts/ pelni – augsne – augi.
4. Veikt miežabrāļa un auzeņairenes mēslošanas ekonomisko izvērtējumu.

Novitāte. Pasaulē aizvien aktuālāka kļūst atjaunojamo energoresursu īpatsvara palielināšana, kā arī noslēgta augu barības elementu cikla veidošana. Latvijā līdz šim šo jautājumu kopsakarība attiecībā uz enerģētisko zālaugu audzēšanu praktiski nav pētīta.

---

[5] Communication from the Commission to the European Parliament. [Tiešsaiste] [skatīts 2021. g. 20. janvārī]. Pieejams: https://www.greenpeace.org/static/planet4-eu-unit-stateless/2020/05/3c9842bb-may2020-farm-to-fork-leak.pdf

Projekti, kuros iegūti dati promocijas darba izstrādei

ERAF sadarbības projekts „Daudzfunkcionālu lapu koku un enerģētisko augu plantāciju ierīkošanas un apsaimniekošanas modeļu izstrāde", vienošanās Nr. 2010/0268/2DP/2.1.1.1.0/10/APIA/VIAA/118.

Pētījuma datu aprobācija

Publikācijas, kas indeksētas SCOPUS un/vai WEB of SCIENCE datu bāzēs

1. Rancane S., Karklins A., Lazdina D., Berzins P., Bardule A., Butlers A., Lazdins A. (2017). Biomass yield and chemical composition of Phalaris arundinacea L. using different rates of fermentation residue as fertiliser. *Agronomy Research*, Vol. 15 (1), p. 521–529.
2. Rancane S., Karklins A., Lazdina D., Berzins P., Bardule A., Butlers A. and Lazdins A. (2016). The evaluation of biomass yield and quality of *Phalaris arundinacea* and *Festulolium* fertilised with bio-energy waste products. *Agronomy Research*, Vol. 14 (1), p. 198–211.
3. Rancane S., Karklins A., Lazdina D., Berzins P. (2015). Biomass yield and chemical composition of perennial grasses for energy production. *In: Engineering for Rural Development.* Proceedings of 14th International Scientific Conference, Vol. 14, p. 546–551.
4. Rancane S., Karklins A., Lazdina D. (2014). Fertilisation effect on biomass formation of perennial grass used as energy crop. *In: Research for Rural Development* Annual 20th International Scientific Conference Prroceedings, Vol. 20, Jelgava, LLU, 20, p. 61–68.
5. Rancāne S., Kārkliņš A., Lazdiņa D. (2012) Perennial grasses for bioenergy production: characterization of experimental site. *In: Research for Rural Development.* Annual 18th International Scientific Conference Prroceedings, Vol. 18, Jelgava, LLU, p 31–37.

Recenzētas publikācijas semināru un konferenču krājumos

1. Rancāne S., Kārkliņš A., Lazdina D., Bērziņš P. (2019). The effect of digestate fertiliser on biomass of *Phalaris arundinacea* L. grown for energy production. Edited by O.Huguenin-Elie, B.Studer, R.Kolliker et al. *Proceedings of the Joint 20th symposium of the European Grassland Federation and the 33rd Meeting of the EUCARPIA Section 'Fodder Crops and Amenity Grasses'*, Zurich, Switzerland, 24-27 June 2019, pp. 182–185.
2. Rancane S., Karklins A., Lazdina D., Berzins P., Stesele V., Jansons A. (2017). The effect of fermentation residue and wood ash fertilisers on the productivity of grasses. *Grassland resources for extensive farming systems in marginal lands: major drivers and future scenarios.* Edited by C. Porqueddu, A. Franca, G. Lombardi, G. Molle, G. Peratoner, A. Hopkins. Proceedings of the 19th Symposium of the European Grassland Federation Alghero, Italy 7–10 May 2017, pp. 600–602.
3. Rancāne S., Kārkliņš A., Lazdiņa D., Bērziņš P. (2016). Zālaugu zelmeņu struktūra atšķirīgos pļaušanas režīmos. *No: Ražas svētki "Vecauce – 2016": Lauksaimniecības zinātne nozares attīstībai.* Zinātniskā semināra rakstu krājums. Jelgava: LLU, 52. –56. lpp.
4. Rancāne S., Kārkliņš A., Lazdiņa D. (2015). Plant nutrient recycling from waste products of bioenergy production. *Īn: Proceedings of the 25th NJF Congress "Nordic view to sustainable rural development"*, Riga, Latvia, 16-18 June, 2015, p. 240.
5. Rancāne S., Kārkliņš A., Lazdiņa D. (2015). Daudzgadīgo zālaugu biomasas raža un pelnu saturs, lietojot dažādu mēslojumu un pļaušanas režīmu. *No: Ražas svētki "Vecauce – 2015": Lauksaimniecības zinātne reorganizācijas laikā.* Zinātniskā semināra rakstu krājums. Jelgava: LLU, 62.– 65. lpp.
6. Rancāne S., Kārkliņš A., Lazdiņa D., Bērziņš P. (2014). Mēslošanas ietekme uz miežabrāļa (*Phalaris arundinacea* L) un auzeņairenes (×*Festulolium pabulare*) biomasas

ražu. *No: Ražas svētki "Vecauce – 2014": Lauksaimniecības zinātne jaunajā plānošanas periodā.* Zinātniskā semināra rakstu krājums. Jelgava: LLU. 44.- 47. lpp.

Referāti starptautiskās konferencēs

1. Rancāne S., Kārkliņš A., Lazdina D., Bērziņš P. (2019). The effect of digestate fertiliser on biomass of *Phalaris arundinacea* L. grown for energy production. *Joint 20th symposium of the European Grassland Federation and the 33rd Meeting of the EUCARPIA Section 'Fodder Crops and Amenity Grasses'*, June 24 – 27, 2019, Cīrihe, Šveice.
2. Rancane S., Karklins A., Lazdina D., Berzins P., Bardule A., Butlers A., Lazdins A. (2017). Biomass yield and chemical composition of *Phalaris arundinacea* L. using different rates of fermentation residue as fertiliser. *8th International Conference "Biosystem Engineering 2017"*, May 12–13, 2017, Tartu, Estonia.
3. Rancāne S., Kārkliņš A., Lazdiņa D., Bērziņš P., Stesele V., Jansons A. (2017). The effect of fermentation residue and wood ash fertilisers on the productivity of grasses. 19th Symposium of the European Grassland Federation "*Grassland resources for extensive farming systems in marginal lands: major drivers and future scenarios",* May 7 – 10, 2017, Alghero, Itālija.
4. 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. *7th International Conference "Biosystem Engineering 2017"*, May 11 – 13, 2017, Tartu, Estonia.
5. Rancane S., Karklins A., Lazdina D., Berzins P. (2015). Biomass yield and chemical composition of perennial grasses for energy production. *14th International Scientific Conference "Engineering for Rural Development",* May 20 – 22, 2015, Jelgava, Latvia.
6. Rancane S., Karklins A., Lazdina D. (2014). Fertilisation effect on biomass formation of perennial grass used as energy crop. *The 20th International Scientific Conference 'Research for Rural Development 2014'*, May 21 – 23, 2019. Jelgava, Latvia.
7. Rancāne S., Kārkliņš A., Lazdiņa D. (2012). Perennial grasses for bioenergy production: characterization of experimental site. *The 18th International Scientific Conference "Research for Rural Development 2012"*, May 16 – 18, 2012. Jelgava, Latvia.

Referāti citās konferencēs un semināros

1. Rancāne S., Kārkliņš A., Lazdiņa D., Bērziņš P. (2016). Zālaugu zelmeņu struktūra atšķirīgos pļaušanas režīmos. *Ražas svētki "Vecauce – 2016"* (2016. gada 3. novembrī), Vecauce, Latvija.
2. Rancāne S., Kārkliņš A., Lazdiņa D. (2015). Plant nutrient recycling from waste products of bioenergy production. *25th NJF Congress "Nordic view to sustainable rural development"*, (2015. gada 16. – 18. jūnijs), Riga, Latvija.
3. Rancāne S., Kārkliņš A., Lazdiņa D. (2015). Daudzgadīgo zālaugu biomasas raža un pelnu saturs, lietojot dažādu mēslojumu un pļaušanas režīmu. *Ražas svētki "Vecauce – 2015"* (2015. gada 5. novembrī), Vecauce, Latvija.
4. Rancāne S., Kārkliņš A., Lazdiņa D., Bērziņš P. (2014). Mēslošanas ietekme uz miežabrāļa (*Phalaris arundinacea* L) un auzeņairenes (×*Festulolium pabulare*) biomasas ražu. *Ražas svētki "Vecauce – 2014"* (2014. gada 6. novembrī), Vecauce, Latvija.

1. LITERATŪRAS APSKATS

1.1. Tehnoloģijas bioenerģijas ieguvei

Bioloģiski sintezētie enerģijas resursi jeb biomasa rodas zaļo augu veģetācijas procesā, tiem akumulējot Saules enerģiju. No ekoloģiskā viedokļa augu biomasa ir ideāls kurināmais, jo tai ir neitrāla ietekme uz vidi. Sadedzinot biomasu, veidojas ogļskābā gāze, ūdens un atbrīvojas augu akumulētā Saules enerģija. Oglekļa dioksīda gāzes izdalās tikai tik daudz, cik ir ticis patērēts augu augšanas laikā. Tādēļ biomasas enerģija tiek uzskatīta par ilgtspējīgu un bezgalīgu akumulatoru Saules enerģijas uzglabāšanai.

Biomasu var izmantot dažādos veidos: siltuma, elektrības un kurināmā ražošanā, t.sk., cietā, šķidrā un gāzveida. Bioenerģija kā atjaunojamais energoresurss nodrošina aptuveni 10–15% no pasaules primārā enerģijas pieprasījuma[6]. Biomasas produktu enerģijas potenciāla izmantošanai ir pieejams plašs tehnoloģiju klāsts. Biomasas pārveides procesi parasti ir termoķīmiski vai bioķīmiski. Termoķīmiskās pārveides trīs galvenās metodes ir: dedzināšana ar neierobežotu gaisa padevi jeb tiešā dedzināšana; gazifikācija ierobežotas gaisa padeves apstākļos; pirolīze, kura norisinās bez gaisa klātbūtnes. Anaerobā pārstrāde ir bioķīmisks process, tās rezultātā rodas tīra enerģija biogāzes veidā, kuru var pārveidot par enerģiju un siltumu.

Anaerobā fermentācija ir virkne ķīmisku reakciju, kuru laikā organiskais materiāls tiek sadalīts, simbiotiski darbojoties dažādu mikroorganismu grupām vidē ar ierobežotu skābekļa daudzumu. Šie procesi ir pazīstami jau sen, dabā tie ir plaši izplatīti. Biogāze ir tā pati dabas gāze, tikai ar lielu citu gāzu, galvenokārt ogļskābās gāzes piejaukumu (Dubrovskis, Adamovičs, 2012). Turklāt no biomasas var radīt arī šķidro kurināmo, piemēram, celulozes etanolu un biodīzeļdegvielu, ko var izmantot, lai aizstātu naftas produktus. Anaerobajai fermentācijai var izmantot jebkuru organisko vielu, kas nesatur mikroorganismiem kaitīgas vai procesu inhibējošas vielas palielinātā koncentrācijā. Zaļā masa veģetācijas periodā var tikt izmantota svaiga, bet ziemas periodā sagatavotās skābbarības veidā.

Biogāzes ražošanai var tikt izmantotas atšķirīgas tehnoloģijas, atkarībā no izejvielu sausnas satura un mitruma bioreaktorā. Tradicionālajos bioreaktoros var sekmīgi norisināties mitrā fermentācija, ja sausnas saturs bioreaktorā nepārsniedz 10%. Ja sausnas saturs bioreaktorā ir augstāks – 30% un vairāk, lietderīgi pielietot sauso fermentāciju, kur svaigā izejviela tiek sajaukta ar fermentēto masu (Dubrovskis, Plūme, Kotelenets, Straume, 2009). Biogāzes tehnoloģijas būtiska ekoloģiskā priekšrocība ir mazākas siltumnīcas efektu izraisošu gāzu (metāna, slāpekļa oksīda, oglekļa dioksīda) emisijas. Biogāzes ražošanā izdalītā oglekļa dioksīda daudzums ir līdzvērtīgs augos uzkrātajam CO_2 daudzumam. Fermentēto masu jeb digestātu parasti sadala frakcijās: biezā frakcija var tikt izmantota atkārtotai pārstrādei vai kultūraugu mēslošanai. To var izmantot arī kā pakaišu materiālu. Šķidrā frakcija tiek iesūknēta un pēc tam uzglabāta lagūnā, no kuras attiecīgajos periodos to izsūknē un izmanto kā mēslošanas līdzekli.

Kopsavilkums. Biomasas enerģija ir ilgtspējīgs un bezgalīgs Saules enerģijas avots. Biomasu enerģijā var pārvērst dažādos veidos, katram ir savas priekšrocības un trūkumi, kuri jāizvērtē, uzsākot enerģijas ražošanu, lai visefektīvāk izmantotu pieejamos resursus un gūtu maksimālu labumu, ņemot vērā ekonomiskos un ekoloģiskos apsvērumus. Biomasas dedzināšanas laikā, tāpat kā biogāzes ražošanas procesā izdalītā oglekļa dioksīda daudzums ir līdzvērtīgs augu augšanas laikā patērētajam, tāpēc biomasas enerģijai ir neitrāla ietekme uz vidi.

---

[6] Klimats un ilgtspējīga attīstība. [Tiešsaiste] [skatīts 2020. g. 15. novembrī]. Pieejams: https://www.worldenergy.org/wp-ontent/uploads/2017/03/WEResources_Bioenergy_2016.pdf

1.2. Daudzgadīgie zālaugi bioenerģijas ražošanai

Bioenerģijas ražošanai var izmantot biomasu no dažāda veida atjaunojamiem energoresursiem, tostarp lauksaimniecības un mežsaimniecības atliekām: koksnes, krūmiem, koksnes šķeldas, organiskajiem atkritumiem, pārtikas pārstrādes rūpniecības atkritumiem, notekūdeņu dūņām, lauksaimnieciskās ražošanas atliekām – salmiem, kūtsmēsliem, kā arī speciāli šim mērķim kultivētiem augiem (Appels, Lauwers, Degreve et al., 2011; Ceotto, Di Candilo, 2011). Enerģētiskie kultūraugi un pēcpļaujas atlikumi ir plaši pieejamas atjaunojamās izejvielas bioenerģijai un bioproduktiem (Heinsso, Hein, Melts et al., 2011).

Latvijā lielāko AER īpatsvaru līdz šim ir nodrošinājusi koksnes biomasa. Lai garantētu koksnes izmantošanas ilgtspējību, tās patēriņš nedrīkst pārsniegt koksnes resursu atjaunošanās apjomus. Tādēļ visā pasaulē tiek meklēti veidi, kā iespējami efektīvāk nodrošināt AER bāzi. Otrās paaudzes bioenerģijas kultūraugi jeb nepārtikas augi, t.sk., daudzgadīgie zālaugi, tiek uzskatīti par bioenerģijas nozares nākotni un tiek intensīvi pētīti. Zāle ir lielisks biometāna avots, tā ir izejviela anaerobai raudzēšanai ar augstu cietvielu saturu un augstu specifisko metāna ietilpību (Prochnow, Heiermann, Drenchan, Schelle, 2005; Lange, 2007; Adamovičs, 2009; McEniry, O'Kiely, 2013).

Kur audzēt zālaugus bioenerģijai? Izmantojot kultivētos augus bioenerģijas ražošanai, tam nereti ir negatīva rezonanse, jo ierobežotos zemes resursus nākas dalīt ar pārtikas ražošanai nepieciešamajiem, pieaug konkurence abu nozaru starpā. Optimāls līdzsvars starp lauksaimniecības resursu izlietošanu pārtikai un enerģijas ražošanai ir būtisks alternatīvās enerģijas ražošanas nosacījums (Atjaunojamā enerģija..., 2012). Bioenerģijai paredzētie kultūraugi izvietojami mazauglīgākās platībās (Tilman, Cassman, Matson et al., 2002; Šiaudinis, 2010). Cita starpā tās varētu būt pašlaik atmatā atstātas, pamestas, degradētas, problemātiskas, t.sk., piesārņotas platības (Jadia, Fulekar, 2009; Dauber, Brown, Fernando et al., 2012), kuras tādējādi tiktu iekļautas bioekonomiskajā apritē. Latvijā joprojām ir pietiekami lielas novārtā atstātas zemes platības. Pēc LAD datiem 2018. gadā nekopti bija 256 562 ha no lauksaimniecībā izmantojamās zemes platības[7]. Daudzgadīgo zālaugu audzēšana šādās vietās nodrošina gan ekoloģisku, gan ekonomisku, gan sociālu labumu. Lai mazauglīgās augsnēs audzētie zālaugi sasniegtu savu ražības potenciālu, jāizmanto atbilstošs agrotehnisko pasākumu komplekss, t.sk., jānodrošina mērķim atbilstoša mēslošana.

Bioenerģijas augi, t.sk., zālaugi ir arī laba alternatīva sējumu struktūras dažādošanai sējumu rotācijās ar lielu graudaugu un rapšu īpatsvaru. Periodiska to audzēšana var uzlabot augsnes kvalitāti un kultūraugu ražību. Zālaugiem ir nenovērtējama loma augsnes organiskās vielas stabilizācijā, augsnes struktūras veidošanā, labvēlīgu fizikālo īpašību (sakārtas blīvuma, porainības, ūdensietilpības, ūdenscaurlaidības u.c.) nodrošināšanā, augsnes pasargāšanā no erozijas, kā arī augsnes bioloģiskās aktivitātes veicināšanā. Tāpat zālaugus var izvietot un ilgstoši audzēt kūdras augsnēs, sevišķi ņemot vērā plānotās izmaiņas ES lauksaimniecības politikā nākamajā plānošanas periodā, paredzot stingrus ierobežojumus kūdras augšņu apstrādei. Kūdrainās platības bieži vien sastopamas atsevišķos nogabalos, tur sētais zālājs būs laba alternatīva, pasargājot no nezāļu spontānas vairošanās gadījumos, ja attīstītos dabiska veģetācija.

Marginālās jeb intensīvai lauksaimnieciskai ražošanai mazpiemērotās platībās ar nepateicīgu ģeogrāfisko izvietojumu tiek pētītas biomasas ieguves iespējas, ierīkojot enerģētisko augu plantācijas, kur atšķirīgos līmeņos izvietotas dažādas kokaugu un lakstaugu sugas. Marginālās platības tiek definētas ļoti plašā nozīmē – kā teritorijas ar nepietiekamu kvalitāti rentablai lauksaimnieciskai ražošanai, ņemot vērā noteiktus vietas apstākļus (piemēram, augsnes produktivitāti), audzēšanas paņēmienus, lauksaimniecības politiku, kā arī

[7] LIZ apsekošanas rezultāti novadu griezumā 2018. gads. [Tiešsaiste] [skatīts 2020. g. 20. novembrī]. Pieejams: http://www.lad.gov.lv/files/statistika_liz_kad_apsekosanas_tabula_2018.pdf

makroekonomiskos un juridiskos apstākļus (Jones, Finnan, Hodkinson, 2015). Enerģētiskie augi varētu pat rehabilitēt marginālās platības, pakāpeniski atjaunojot organiskā oglekļa daudzumu augsnē un uzlabojot tās fizikālās īpašības, kas ļautu nākotnē tās atkal izmantot intensīvākai lauksaimnieciskai ražošanai (Potter, Torbert, Johnson et al., 1999; Field, Campbell, Lobell, 2008).

Kultūraugu izvēles pamatprincipi. Enerģētiskie augi ir potenciāls fosilā kurināmā aizstāšanas avots. Lai to audzēšana un izmantošana būtu ne tikai ekoloģiski pamatota, bet arī ekonomiski konkurētspējīga un ilgtspējīga, svarīgi identificēt tās sugas, kuras nodrošina iespējami augstākas biomasas ražas arī mazāk labvēlīgos augšanas apstākļos, vienlaicīgi mazinot ietekmi uz vidi dažādos stresa apstākļos (Gabrielle, Bamiere, Caldes et al., 2014). Biomasas raža, ūdens un slāpekļa izmantošanas efektivitāte, tolerance pret biotiskajiem un abiotiskajiem stresiem, kā arī pieticība augsnes auglības ziņā ir izšķirošie faktori atbilstošu sugu izvēlei bioenerģijas ieguvei. Ir definēti galvenie priekšnoteikumi ideālam enerģētiskajam augam (McKendry, 2002a), kas lielā mērā ir attiecināmi uz daudzgadīgajiem zālaugiem:

- augsta raža – maksimāli iespējamā sausnas raža no platības vienības;
- neliels enerģijas patēriņš un zemas audzēšanas izmaksas;
- iespējami mazāka piesārņotāju jeb nevēlamo elementu klātbūtne biomasā;
- mērena augu barības vielu vajadzība;
- izturība pret kaitēkļiem, slimībām un citu augu sugu konkurenci;
- iespējami augsta tolerance pret nelabvēlīgiem vides apstākļiem (temperatūras svārstībām, mitruma deficītu un pārbagātību, augsnes reakciju u.c.).

Enerģētisko augu vēlamās īpašības ir atkarīgas arī no klimatiskajiem un augsnes apstākļiem audzēšanas reģionā. Lai nodrošinātu ilgtspējīgu biomasas izejvielu ražošanu mērenajā klimatā, ideālam bioenerģijas augam jābūt daudzgadīgam un aukstumizturīgam, ar iespējami garāku augšanas sezonu, kuras laikā norisinās aktīvi fotosintēzes procesi, nodrošinot augstu ražu un minimālu ietekmi uz vidi (Karp, Shield, 2008). Taču vienlaikus ir jāatzīmē, ka šis augs nedrīkst būt invazīvs, lai izslēgtu patvaļīgu un nekontrolētu izplatību pēc tā kultivēšanas, kas nomāktu citas sugas.

Būtiski AER bāzes nodrošināšanai izvēlēties augus, kuru kultivēšana ir pēc iespējas mazāk energoietilpīga. Daudzgadīgo augu audzēšana salīdzinājumā ar viengadīgajiem prasa mazākus resursu ieguldījumus, pazemina SEG emisijas, no tiem parasti var iegūt lielāku enerģijas daudzumu (Adler, Del Grosso, Parton et.al., 2007). Daudzviet pasaulē un beidzamajos gados arī Latvijā ir veikti pētījumi par enerģijas ražošanas iespējām, izmantojot daudzgadīgos zālaugus, jo vietējo resursu, t.sk., zālaugu biomasas izmantošana bioenerģijas ražošanai, ir viens no veidiem, kā veicināt vides aizsardzības un enerģijas taupīšanas programmu īstenošanu (Lewandowski, Scurlock, Lindvall, Christom, 2003; Kryževičiene, 2006; Seppala, Paavola, Lehtomaki, Rintala, 2009; Adamovičs, Platače, Gulbe, Ivanovs, 2017).

Bioenerģijas ražošana no koksnes un daudzgadīgajiem zālaugiem nodrošina neitrālu oglekļa dioksīda neto bilanci, salīdzinot ar oglekļa dioksīda neto pieaugumu, izmantojot fosilo kurināmo vai viengadīgos kultūraugus (Adler, Del Grosso, Parton, 2007; Harris, Spake, Taylor, 2015). Kaut arī degšanas laikā atmosfērā izdalās ogleklis CO un CO_2 veidā, zālaugu biomasas izmantošanai enerģijas ražošanā ir neitrāla bilance (McKendry, 2002b). Veģetācijas laikā augi akumulē saules enerģiju un fotosintēzes procesā patērē lielu daudzumu CO_2, saražojot milzīgu daudzumu skābekļa. Akumulētais CO_2 daudzums ir līdzvērtīgs degšanas laikā izdalītajam, līdz ar to oglekļa cikls ir noslēgts. Daudzgadīgie zālaugi var pat palielināt atmosfēras CO_2 piesaisti, jo tiem ir garāks augšanas periods, kura laikā tie uztver un izmanto saules starojumu (Kandel, Elsgaard, Karki, Larke, 2013; Cadoux, Ferchaud, Demay et al., 2014). Tādējādi tiek samazināta oglekļa dioksīda uzkrāšanās atmosfērā, un tiek mazināta siltumnīcefekta kaitīgā ietekme uz vidi.

1.2.1. Zālaugu priekšrocības

Daudzgadīgo augu, t.sk., zālaugu kultivēšana Ziemeļeiropā vidi saudzējošā režīmā nodrošina augstas biomasas ražas ar apmierinošu kvalitāti vairākus gadus bez pārsējas un tātad – bez papildu ieguldījumiem (Lewandowski, Scurlock, Lindvall, Christom, 2003; Navickas, Zuperka, Janusauskas, 2003; Jasinskas, Zaltauskas, Kryzeviciene, 2008; Kryzeviciene, Jasinskas, Gulbinas, 2008; Sanderson, Adler, 2008; Seppala, Paavola, Lehtomaki, Rintala, 2009; Jansone, Rancāne, Bērziņš et al., 2010; Heinsoo, Hein Melts et al., 2011; Poiša, Adamovičs, Agapovs, 2011). Daudzgadīgo zālaugu pozitīvā ietekme uz vidi cita starpā ietver: uzlabotu augsnes kvalitāti; samazinātus augu barības vielu zudumus; augsnes oglekļa piesaisti un uzkrāšanu (Tilman, Reich, Knops, 2006); piekrastes zonu aizsardzību (Tufekcioglu, Raich, Isenhart et al., 2003). Enerģētisko zālaugu audzēšanas tehnoloģijas ļauj izmantot notekūdeņu dūņās, kūtsmēslos un biokonversijas blakusproduktos esošās augu barības vielas, nodrošinot to otrreizēju izmantošanu (Anex, Lynd, Laser et al., 2007; Laird, 2008). Šo un līdzīgu materiālu izmantošana pārtikā vai lopbarībā patērējamo kultūraugu mēslošanā bieži vien ir problemātiska, jo pārtikas ķēdē var nokļūt kaitīgi savienojumi.

Kopš pagājušā gadsimta 80.–tajiem gadiem ir augusi interese par daudzgadīgo zālaugu izmantošanu bioenerģijas ražošanai gan ASV, gan Eiropā (Kocourkova, Hakl, Fuksa et al., 2006; Rosch, Skarka, Raab, Stelzer et al, 2009). Īpašības, kuru dēļ zālaugi šķiet pievilcīgi enerģijas ražošanai, ir to augstais ražas potenciāls, pieticība augšanas apstākļu ziņā, kaitēkļu un slimību rezistence (Peeters, 2008), augstais lignīna un celulozes saturs biomasā un ietekme uz vidi, kas kopumā tiek vērtēta pozitīvi (Lewandowski, Scurlock, Lindvall, Christom, 2003; Sanderson, Adler, 2008; Rosch, Skarka, Raab, Stelzer et al, 2009). Daudzgadīgie zālaugi var nodrošināt celulozes izejvielas biodegvielas ražošanai, vienlaicīgi uzturot un uzlabojot augsnes un vides kvalitāti (Kibet, Blanco-Canqui, Mitchell, Schacht, 2016), bioloģisko daudzveidību, apkārtnes ainavisko pievilcību (Jansone, Rancane, Berzins, Stesele, 2012; Lindvall, Gustavsson, Samuelsson et al., 2015). Bez tam zālaugi ir otrās paaudzes enerģētiskie augi, tādēļ bioenerģijas ražošana no tiem ir ētiski pieņemamāka salīdzinot ar pārtikā izmantojamiem augiem (Tilvikiene, Venskauskas, Navickas et al., 2012).

Daudzgadīgie zālaugi dod būtisku ieguldījumu ilgtspējīgas lauksaimniecības pastāvēšanā, dažādojot kultūraugu izmantošanu, samazinot augsnes eroziju un uzlabojot ūdens kvalitāti. Zālaugu audzēšana ir ekoloģiski labvēlīgāka, jo ir mazāka nepieciešamība lietot pesticīdus un arī minerālmēslus. Zālaugi lielu daļu no uzņemtajiem augu barības elementiem rudenī no virszemes dzinumiem pārvieto uz sakneņiem, nodrošinot to atkārtotu izmantošanu (Wrobel, Coulman, Smith, 2008; Xiong, Landstrom, Olsson, 2009; Heinsoo, Hein, Melts et al., 2011). Tādējādi augu barības elementu saimnieciskā iznese ir ievērojami mazāka par bioloģisko iznesi, un notiek šo barības vielu pakāpeniska akumulācija augsnes aramkārtā. Platībās, kur aug daudzgadīgie zālaugi, nepastāv risks minerālo slāpekļa savienojumu migrācijai no augu sakņu zonas un to nonākšanai virszemes vai pazemes ūdeņos, kā tas var notikt platībās, kur tiek kultivēti viengadīgie (divgadīgie) kultūraugi.

Ietekme uz augsni. Ilggadīgie sējumi atstāj pozitīvu ietekmi uz vidi fosilās enerģijas patēriņa ziņā. Atkarībā no sugas un audzēšanas apstākļiem zālaugi zelmenī var saglabāties astoņus gadus un ilgāk (Saijonkari-Pahkala, 2001). Tas ļauj samazināt augsnes apstrādes intensitāti, mazāks ir lauksaimniecības tehnikas vidi degradējošais faktors (Humphreys, Tomas, Jonas, Humphreys, 2002), kas bioenerģijas ražošanu padara videi draudzīgāku. Daudzgadīgie zālaugi pārvieto uz saknēm lielāku daļu fotosintēzes produktu un veido apjomīgāku un dziļāk ejošu sakņu sistēmu nekā viengadīgās graudaugu kultūras (Warembourg, Estelrich, 2001; Bolinder, Angers, Bélanger et al., 2002). Augstražīgi zālaugu zelmeņi palielina trūdvielu saturu augsnē, uzlabo augsnes struktūru un fitosanitāro stāvokli (Christen, Dalgaard, 2013). Ilggadīgos pētījumos Dānijā secināts, ka daudzgadīgie zālaugi ir potenciāli visefektīvākie augi, kuri spējīgi nodrošināt augsnes organiskās vielas palielināšanos (Taghizadeh-Toosi, Olesen, 2016). Paugurainās vietās zālaugi veiksmīgi pasargā augsni no erozijas un saglabā tās auglību.

Klimata prasības. Mūsu klimatiskajā zonā ir visi nepieciešamie priekšnosacījumi augstu un kvalitatīvu zālaugu biomasas ražu ieguvei: labvēlīgs temperatūras režīms; pietiekams nokrišņu daudzums un salīdzinoši vienmērīgs to sadalījums veģetācijas periodā (Dubrovskis, Adamovičs, 2012). Atšķirīgām zālaugu sugām ir nedaudz atšķirīgas prasības, bet kopumā C3 tipa zālaugi ir sekmīgi kultivējami visā Latvijas teritorijā.

Augsnes prasības. Zālaugi, salīdzinājumā ar viengadīgajiem augiem, ir mazāk prasīgi augsnes auglības ziņā (Kryževičiene, 2006; Poiša, Adamovičs, Platače, Teirumnieka, 2011). Tos var audzēt nabadzīgākās, mazāk iekultivētās augsnēs, kuras bieži vien nav piemērotas pārtikas augu audzēšanai (Allison, Morris, Lister et al., 2012). Zālaugu spēcīgā sakņu sistēma spēj šķīdināt augsnē grūti izmantojamos savienojumus, kuros saistīti augu barības elementi, kā arī nodrošināt augus ar nepieciešamajām barības vielām no dziļākiem augsnes slāņiem. Daudzas zālaugu sugas ir piemērotas audzēšanai kūdras augsnēs, kur citi kultūraugi īsti nepadodas. Zālaugi nav pārlieku izvēlīgi arī augsnes reakcijas ziņā, atsevišķas sugas labi padodas arī skābākās augsnēs. Tomēr augstu zālaugu ražu ieguvē ļoti svarīgs ir augu barības elementu nodrošinājums, ja augsnē to trūkst, tad tie ir jānodrošina ar mēslojumu.

Enerģētiskā vērtība. Zālaugu biomasas ražošanai ir maza enerģētiskā ietilpība. Tas nozīmē, ka, patērējot salīdzinoši nelielu enerģijas daudzumu, tiek nodrošināta proporcionāli liela enerģijas ieguve. Tāpēc zālaugu bioenerģētiskās efektivitātes rādītāji, kurus veido ar ražu iegūtā enerģija, attiecināta pret tās ražošanai izlietoto, ir ievērojami labāki nekā citiem laukaugiem. Lietuvā veiktie pētījumi liecina, ka daudzgadīgo zālaugu enerģijas potenciāls ir līdz 153 GJ ha^{-1}, un tas ir līdz pat 19 reizes lielāks nekā ieguldītās enerģijas apjoms biodegvielas ražošanā (Navickas, Zuperka, Janusauskas, 2003; Kryževičiene, 2006). Pētījumi Ķīnā (Zhou, Xiao, Ochieng, Yang, 2009) rāda, ka enerģijas iznākums no zālaugu biomasas degradētās augsnēs ir gandrīz līdzvērtīgs konvencionālā sistēmā auglīgā augsnē audzēto labību etanola ieguvei, ņemot vērā mazākus ieguldījumus zālaugu audzēšanā. Saražotais bruto un neto enerģijas apjoms no viena zālaugu hektāra ir gandrīz līdzvērtīgs biodegvielas ieguvei no eļļas palmām. Piedevām zālaugu sistēmas neto enerģija ir vismaz par 50% augstāka nekā pārējiem Eiropā bioenerģijas ieguvei audzētajiem kultūraugiem (Smyth, Murphy, O'Brien, 2009). Enerģijas ražošana no zālaugiem nav saistīta ar biotopu iznīcināšanu, bioloģiskās daudzveidības samazināšanos, zemes izmantošanas mērķa maiņu, jaunu saimniekošanas sistēmas ieviešanu un ikgadēju augsnes apstrādi. No zālaugu biomasas iegūtajam biometānam ir ļoti laba enerģijas bilance. Kaut gan zālaugu granulu siltumspēja salīdzinājumā ar koksnes granulām ir zemāka, tā sastāda līdz 96%, tomēr zālaugu biomasas dedzināšanas rezultātā izdalās gandrīz par 90% mazāks siltumnīcas efektu izraisošo gāzu apjoms salīdzinājumā ar naftas izcelsmes degvielām, oglēm vai dabasgāzi (Adamovičs, Dubrovskis, Plūme u.c., 2009). Sadedzinot zālaugu granulas, tiek ierobežots kaitīgo izmešu daudzums.

Tomēr ir arī daži negatīvi aspekti. Viens no galvenajiem trūkumiem zālaugu izmantošanā bioenerģijas ražošanai ir paaugstināts pelnu daudzums, tāpēc zālaugu granulu izmantošanai ir perspektīva mazgabarīta kurtuvēs (Burvall, 1997).

Sākotnējās investīcijas. Daudzgadīgo zālaugu audzēšana neprasa augstas sākotnējās investīcijas, arī turpmākās zelmeņa uzturēšanas izmaksas ir salīdzinoši zemas, jo zālaugu audzēšanai un novākšanai ir zināmas tehnoloģijas, ļoti līdzīgas lopbarības gatavošanai, un šim mērķim ir izmantojama tradicionālā lauksaimniecības tehnika (Lewandowski, Scurlock, Lindvall, Christom, 2003; Jasinskas, Zaltauskas, Kryzeviciene, 2008). Salīdzinājumā ar citiem, piemēram, īscirtmeta kokaugu stādījumiem, daudzgadīgo zālaugu izmantošanai biodegvielas ražošanā ir vairākas priekšrocības: nepieciešamas mazākas investīcijas un ir ātrāka to atdeve, jo no zālaugiem iegūto biokurināmo var izmantot jau nākamajā gadā pēc sējas. Zālaugu kultivēšanai nav nepieciešama zemes transformācija (piemēram, no LIZ uz meža zemi).

Izmantošanas iespējas. Zālaugu zelmeņi ir multifunkcionāli, tos pēc vajadzības var izmantot lopbarības, biodegvielas vai biokurināmā ražošanai, kā arī citām vajadzībām (Šiaudinis, 2010). Tas ļauj būt elastīgākiem dažādās situācijās, t.sk., neprognozētu klimatisko apstākļu, politisko lēmumu izmaiņu u.c. gadījumos.

Potenciālās zālaugu sugas bioenerģijai. Vairākās valstīs veiktie pētījumi liecina, ka daudzas zālaugu sugas, tajā skaitā miežabrālis un dažādu tipu auzeņairenes, biomasas ražības un kvalitātes ziņā var stabili konkurēt ar citiem enerģētiskajiem augiem Ziemeļeiropas un Baltijas reģionā (McLaughlin, Walsh, 1998; Saijonkari-Pahkala, 2001; Poiša, Adamovičs, Agapovs et al., 2011). Daudzi pētnieki (Carlson, Oram, Suprenant, 1996; Lewandowski, Scurlock, Lindvall, Christom, 2003; Samson, Mani, Boddey et al., 2005) savos izmēģinājumos pārliecinājušies, ka siltās sezonas C_4 tipa zālaugi to augstās fotosintētiskās aktivitātes dēļ ir daudz ražīgāki salīdzinājumā ar C_3 zālaugiem, tomēr ziemeļu platuma grādos iepriekšminētie nodrošina salīdzinoši augstāku ražu, jo tiem ir zemākas temperatūras prasības un īsāka augšanas sezona, kā arī labāka ziemcietība, kas ir galvenie C_4 augu kultivēšanu limitējošie faktori ziemeļu platuma grādos.

Eiropas, Kanādas un Krievijas ziemeļu reģionos augstāks enerģijas potenciāls ir iegūts no vēsās sezonas C_3 tipa daudzgadīgajiem zālaugiem, tādiem kā miežabrālis, niedru auzene, auzeņairene u.c. Zviedrijā veikti plaši pētījumi dažādu kultūraugu potenciāla vērtēšanai enerģētiskajām vajadzībām, un miežabrālis tika atzīts par vienu no perspektīvākajām sugām (Lindvall, Gustavsson, Samuelsson et al., 2015). Somijā veikto pētījumu rezultātā (Saijonkari-Pahkala, 2001; Pahkala, Aalto, Isolahti et al., 2008) miežabrāļa platības enerģijas ražošanai ievērojami palielinājās, 2010. gadā sasniedzot 16 700 ha (Epie, 2015). Arī Lietuvā (Kryzeviciene, Jasinskas, Gulbinas, 2008; Tilvikiene, Venslauskas, Navickas et al., 2012) un Igaunijā (Kukk, Astover, Muiste et al., 2010; Annuk, Allik, Annuk, 2017) veiktie pētījumi apstiprina miežabrāļa kā enerģētiskā kultūrauga potenciālu. Latvijā vairākos izmēģinājumos (Adamovics, 2009; Poiša, Adamovičs, Platače, Teirumnieka, 2011; Jansone, Rancane, Berzins, Stesele, 2012; Rancane, Arshanitsa, Solodovnik, Lazdiņa, 2012) līdzās citiem zālaugiem veikta miežabrāļa biomasas potenciāla izvērtēšana enerģijas ražošanai, iegūti pozitīvi rezultāti, tomēr jāatzīmē, ka pētījumu par zālaugu izmantošanas iespējām enerģijas ražošanai Latvijā vēl ir samērā maz.

1.2.2. Kvalitātes prasības zālaugu biomasai cietā kurināmā ražošanai

Iegūstamās enerģijas daudzumu no platības vienības un kultūrauga iespējamo izmantošanu bioenerģijai nosaka biomasas raža un kvalitāte (Pociene, Sarunaite, Tilvikiene et al, 2013). Līdzās kvantitatīvajiem parametriem ļoti svarīga ir biomasas kvalitāte. Iespējami augstāku sausnas ražu būtiski iegūt jebkurā gadījumā, tomēr kvalitātes prasības lopbarības un bioenerģijas ražošanai var ievērojami atšķirties (Prochnow, Heiermann, Plochl et al., 2009). Nekonsekvences attiecībā uz izejvielu kvalitāti ir viens no šķēršļiem biomasas izmantošanai bioenerģijas ražošanā (Kenney, Smith, Gresham, Westover, 2013). Ja biogāzes un lopbarības ieguvei izmantojamās zālaugu biomasas kvalitātes rādītājiem ir līdzīgas prasības, tad vēlamās īpašības izejmateriālam, no kura tiek gatavotas briketes, granulas vai cita veida cietais kurināmais tiešai dedzināšanai, ir krietni atšķirīgas. Biomasas kvalitāte ir viens no nozīmīgākajiem rādītājiem, kas var mazināt vides riskus tiešas dedzināšanas rezultātā un paaugstināt kurināmā efektivitāti. Primārās kurināmā īpašības, kas nosaka tā izmantojamību, ir:

- mitruma saturs;
- biomasas ķīmiskais sastāvs;
- pelnu saturs;
- kopējais enerģijas daudzums jeb siltumspēja.

Svarīgi iegūt pēc iespējas lielāku sausnas daudzumu ar iespējami zemāku mitruma, pelnu un sārmu metālu saturu (Obernberger, Brunner, Barnthaler, 2006; Adamovičs, Dubrovskis, Plūme et al., 2009; Tahir, Casler, Moore, Brummer, 2011). Pētījumi rāda, ka atsevišķu minerālvielu koncentrācija variē atkarībā no augu sugas un auga daļām, kā arī attīstības fāzes novākšanas laikā (Hadders, Olsson, 1997).

Mitrums tiek izteikts kā ūdens masas īpatsvars kurināmajā materiālā. Tas ietekmē kurināmā uzglabāšanas iespējas, kurināšanas efektivitāti, emisijas, transportēšanas izmaksas. Mitrums negatīvi korelē ar biomasas zemāko siltumspēju. Biomasa ar zemāku mitruma saturu nodrošina augstāku kurināmā efektivitāti, t.sk., augstāku siltuma atdevi, zemākas transportēšanas izmaksas, mazāku kurtuvju piesārņošanos izdedžu veidošanās rezultātā u.c. (Demirbas, 2004).

Ķīmiskais sastāvs raksturo kurināmo materiālu, nosaka kurināmā kvalitāti, potenciāli izmantojamās tehnoloģijas un emisijas dedzināšanas laikā (Vassilev, Baxter, Andersen, Vassileva, 2010). Minerālvielu saturs zināmā mērā ierobežo zālaugu izmantošanu biokurināmā ražošanai, jo termoķīmiskās pārveides procesos t.s. "nevēlamie" elementi izraisa izdedžu veidošanos un iekārtu koroziju (Miles, Miles, Baxter et al., 1996; El-Nashaar, Griffith, Steiner, Banowetz, 2009). Dažādi kurināmā materiāla komponenti, izņemot oglekli (C), ūdeņradi (H) un skābekli (O), ir nevēlami, jo tie ir potenciālie piesārņotāji (Nussbaumer, 2003; Bakker, Elbersen, 2005). Kritiskie ķīmiskie elementi, kas nosaka biomasas kvalitāti, citu starpā ir:

- slāpeklis (N);
- kālijs (K);
- sērs (S);
- hlors (Cl).

Paaugstināts minēto elementu saturs kurināmajā degšanas laikā var izraisīt dažādas problēmas, piemēram, pastiprinātu pelnu un izdedžu veidošanos, boileru koroziju (Amon, Amon, Kryvoruchko et al., 2007; Poiša, 2015). Augsts slāpekļa (N), sēra (S) un hlora (Cl) saturs var izraisīt videi bīstamas emisijas: SO_2, NO_x, HCl, dioksīni u.c. (Van Loo, Koppejan, 2008; Nussbaumer, 2003).

Ogleklis (C) ir galvenais degošais elements kurināmajā. Tas rada augstu degšanas temperatūru un veido galveno degošās masas daļu. Jo augstāks oglekļa saturs kurināmajā, jo augstāka ir tā siltumspēja. Augu biomasa satur aptuveni 45% oglekļa, kamēr oglēs ir 60% oglekļa un vairāk (Demirbas, 2004). Salīdzinājumā ar koksni, zālaugu biomasā parasti ir mazāk oglekļa, bet vairāk pelnu un tādu elementu kā slāpeklis, sērs, hlors, kālijs un silīcijs (Vassiliev, Baxter, Andersen, Vassileva, 2010).

Pelnu saturs. Viens no galvenajiem trūkumiem miežabrāļa un citu zālaugu biomasas izmantošanai biokurināmā ražošanā ir salīdzinoši augstais pelnu saturs (Burvall, 1997; Fahmi, Bridgewater, Darvell et al., 2007; Platače, 2018). Galvenie pelnu komponenti ir silīcijs un kālijs (Samson, Mehdi, 1998). Pelni satur arī kalciju, sēru, magniju, nātriju, dzelzi, fosforu un dažādus mikroelementus (Insam, Franke-Whittle, Knapp, Plank, 2009). Atkarībā no sadedzinātā materiāla kvalitātes, pelnu sastāvā var būt arī kaitīgi elementi, piemēram, smagie metāli. Minerālvielu saturs biomasā, it īpaši silīcijs (Si), hlors (Cl) un sērs (S), negatīvi ietekmē termoķīmiskās konversijas iespējas zālaugu pārveides procesos bioproduktos (El-Nashaar, Griffith, Steiner, Banowetz, 2009).

Pelnu un sārmu metālu saturs zālaugu biomasā cieši korelē un ir būtiski augstāks, ja salīdzina ar koksnes biomasu (Heinsoo, Hein, Melts et al., 2011; Platače, 2018). Salīdzinājumam, koksnē pelnu saturs parasti nepārsniedz 2% (Obernberger, Brunner, Barnthaler, 2006), kamēr lakstaugu biomasā tas var būt pat vairākas reizes augstāks. Zālaugiem kopējā pelnu satura diapazons svārstās plašās robežās – no 2% līdz pāri par 20% (Boström, Skoglund, Grimm et al., 2012). Novāktās biomasas kvalitātes parametrus nereti pazemina arī nezāļu un augsnes daļiņu klātbūtne. Pelnu saturs, kas nobriedušas zāles biomasā ir lielāks par 10%, parasti rodas, biomasā nokļūstot augsnes daļiņām (piesārņojumam) (Kortelainen, Jokiniemi, Nuutinen et al., 2015). Pelni paaugstina putekļu emisijas un var traucēt degšanas procesu, samazina efektivitāti un noved pie nevēlamu savienojumu, ieskaitot oglekļa monoksīdu (CO), veidošanās nepilnīgas sadegšanas rezultātā (Kocourkova, Hakl, Fuksa et al., 2006; Obernberger, Brunner, Barnthaler, 2006; Adamovics, Platace, Gulbe, 2019). Pieaugot pelnu koncentrācijai par 1%, siltumspēja samazinās par 0.2 MJ kg^{-1} (Jenkins, Baxter, Miles, Miles, 1998). Kaut arī zālaugi lauksaimniecības izejvielu enerģijas un šķiedru tirgos ir definēti

kā zemāko izmaksu izejviela, tomēr būtiski ir rast risinājumus pelnu satura samazināšanai (Samson, Mehdi, 1998; Prochnow, Heiermann, Plochl et al., 2009).

Silīcijs. Silīcija dioksīds ir galvenā pelnu sastāvdaļa. Tā saturs biomasas pelnos var sasniegt vairāk nekā 90 % no masas (Vassilev, Baxter, Andersen, Vassileva, 2013). Silīcijam reaģējot ar sārmu metāliem, veidojas silikāti, kas kūst zemākās temperatūrās. Kombinācijā ar kāliju tas var izraisīt zemā temperatūrā kūstošu silikātu veidošanos gaistošās pelnu daļiņās. Šie procesi ir ļoti nevēlami, ņemot vērā izdedžu veidošanās risku uz krāsns sienām vai apsildāmām virsmām (Lanning, Eleuterius, 1989; Shao, Wang, Preto et al., 2012; Lalak, Martyniak, Kasprzycka et al., 2016). Silīcijs un hlors ir galvenie izdedžu un korozijas procesu veicinātāji gazifikācijas reaktoros termoķīmiskās pārveides procesos (Jenkins, Baxter, Miles, Miles, 1998). Zālaugu lapās un ziedkopās ir daudz lielāka silīcija koncentrācija nekā stiebros (Lanning, Eleuterius, 1987).

Kālijs (K) pazemina pelnu kušanas temperatūru, kas vērtējams kā negatīvs process, jo var izraisīt pelnu sakušanu, cietu gabalu veidošanos un kurtuvju mehānismu bojājumus (Kalnačs, Grehovs, Grigale u.c., 2008; Alakangas, 2010; Platače, Adamovičs, Kalnačs, 2016). Bez tam biomasā esošais kālijs var emitēt kopā ar hloru kālija hlorīda (KCl) veidā, kas izraisa koroziju (Lewandowski, Kicherer, 1997).

Fosfors (P). Nav pierādījumu, ka fosfora koncentrācija augu audos ietekmētu izdedžu veidošanos termoķīmiskās pārveides laikā, tomēr kurināmā izejmateriālā vēlams pēc iespējas zemāks fosfora saturs (El-Nashaar, Griffith, Steiner, Banowetz, 2009).

Hlors (Cl) ir avots HCl emisijām un nelabvēlīgos apstākļos var izraisīt arī dioksīnu emisijas. Kritiskais hlora koncentrācijas limits ir 2.0 g kg^{-1} (Lewandovski, Kicherer, 1997).

Sērs (S) deg vāji, tā siltumspēja ir zema (9300 $kJ \cdot kg^{-1}$), tāpēc kā degšanas elementam tam nav lielas nozīmes. Sēra klātbūtne kurināmajā nav vēlama, jo degšanas laikā veidojas SO_2 un nelielos daudzumos arī SO_3, kas izraisa nevēlamas emisijas (Alakangas, 2010).

Slāpeklis (N), kuru vairāk vai mazāk satur visa veida biomasa, lielā mērā ir atbildīgs par NO_x emisijām no sadedzināšanas sistēmām un līdz ar to par slāpekļa zudumiem no ekosistēmām. Degšanas laikā viss slāpeklis pārvēršas par N_2 un $NO_\times$ (NO, NO_2) (Williams, Jones, Ma, Pourkashanian, 2012). Atšķirībā no citiem augu barības elementiem, kuras pēc biomasas sadedzināšanas iespējams atgriezt ekosistēmā ar pelnu mēslojumu, slāpekļa reciklācija praktiski nav iespējama, jo degšanas laikā tas emitē kopā ar sadegšanas gāzēm (Bakker, Elbersen, 2005; Tonn, Thumm, Claupein, 2010). Galvenie parametri, kas ietekmē $NO_\times$ emisiju veidošanos, ir slāpekļa saturs kurināmajā, gaisa pārpalikuma koeficients, krāsns struktūra, degšanas temperatūra un degšanas tehnoloģijas veids (Obernberger, Thek, 2004; Kalnačs, Grehovs, Grigale u.c., 2008). Pētījumi rāda, ka slāpekļa saturs biomasā pieaug, palielinot slāpekļa mēslojumu un veicot pļaušanu agrīnākās zālaugu attīstības fāzēs (Nilsson, Bernesson, Hansson, 2011; Tilvikiene, Kadžiuliene, Dabkevičius et al., 2014). Ieteicamais slāpekļa daudzums biomasas sausnā, kuru plāno izmantot kurināmā ražošanai, ir <0.6% (Obernberger, Brunner, Barnthaler, 2006), kaut gan Latvijā noteiktajos standartos noteikts, ka slāpekļa saturs nedrīkst pārsniegt 2% (Platače, 2018).

Siltumspēja ir vēl viens būtisks kurināmā materiāla rādītājs. Tā ir īpatnējā sadegšanas enerģija, jeb siltumenerģijas daudzums uz masas vienību, kas atbrīvojas, kurināmajam pilnīgi sadegot. Pētījumos pierādīts, ka siltumspēja ir atkarīga ne tikai no sugas, bet arī augu brieduma pakāpes pļaušanas laikā un augšanas apstākļiem. Zālaugu granulu siltumspēja salīdzinājumā ar koksnes granulām vidēji sastāda tikai līdz 96%. Miežabrāļa bruto siltumspēja mēdz būt robežās no 17 līdz 18.5 MJ kg^{-1} sausnas jeb apmēram 115 – 130 GJ ha^{-1}. Tas ir labs rādītājs, ņemot vērā salīdzinoši nelielos ieguldījumus (apmēram 13.6 GJ ha^{-1}) audzēšanas laikā (Burvall, 1997; Jasinskas, Zaltauskas, Kryzeviciene, 2008; Grzelak, 2009). LLU pētījumos secināts, ka pavasarī vāktajai miežabrāļa biomasai bija par 1.7 MJ kg^{-1} augstāka siltumspēja salīdzinājumā ar rudenī vākto, attiecīgi 16.8 MJ kg^{-1} un 15.1 MJ kg^{-1} (Poiša, 2015). Pētījumos Lietuvā konstatēts, ka septembrī pļautā miežabrāļa siltumspēja bija par 0.4 MJ kg^{-1} augstāka salīdzinājumā ar jūlijā vākto biomasu. Stiebrzāļu/tauriņziežu maisījumiem bija augstāka

siltumspēja salīdzinājumā ar tīrsējā sētajām stiebrzālēm. Pēc ziemošanas nākamā gada martā vāktās zālaugu biomasas zemākā siltumspēja bija nebūtiski samazinājusies līdz 18.04 – 18.38 MJ kg^{-1} (Jasinskas, Zaltauskas, Kryzeviciene, 2008).

Pelnu kušanas temperatūra. Galvenais jautājums, kas saistīts ar zālaugu dedzināšanu, ir biomasas minerālvielu saturs, kas nosaka pelnu daudzumu un to kušanas temperatūru, kā arī korozijas potenciālu (Kortelainen, Jokiniemi, Nuutinen et al., 2015). Pazeminātа pelnu kušanas temperatūra (850 – 1000°C) rada tehniskas problēmas korozijas, saķepšanas, nosēdumu un piesārņojuma veidošanās dēļ. Tas var bojāt katlus un palielināt uzturēšanas izmaksas (Boström, Skoglund, Grimm, et al., 2012). Pelnus veidojošie elementi: kālijs, fosfors, hlorīds, silīcijs, kalcijs un sērs veicina iepriekšminētās tehniskās problēmas. Ja pelnu kušanas temperatūra ir zem 1100°C, var rasties problēmas apkures sistēmās (Vassilev, Baxter, Andersen, Vassileva, 2013). Saskaņā ar Lewandovski un Schmidt (2006) pētījumiem, miežabrāļa pelnu kušanas temperatūras intervāls ir 1100 – 1650℃. Vairākos pētījumos apkopotie dati liecina, ka augstāka miežabrāļa pelnu kušanas temperatūra ir pēc ziemošanas vāktajai biomasai (1400℃) salīdzinājumā ar vasaras beigās vākto biomasu (1074 – 1100℃) (Burvall, 1997; Hadders, Olsson, 1997). Šī atšķirība rodas daļēja lapu zuduma un minerālvielu izskalošanās dēļ ziemošanas laikā: Ca un Mg savienojumi parasti paaugstina pelnu kušanas temperatūru, kamēr K un Na to samazina (Lalak, Martyniak, Kasprzycka et al., 2016).

1.2.3. Kvalitātes prasības zālaugu biomasai biogāzes ražošanai

Anaerobā raudzēšana, kas ietver organiskās vielas noārdīšanu baktēriju darbības rezultātā anaerobā vidē, tiek izmantota biomasas pārvēršanai biogāzē (Murphy, Devlin, Deverell, Mcdonnell, 2013). Biogāzes ražošanu ietekmē daudzi faktori, no kuriem svarīgākie ir izejvielu kvalitāte un temperatūra bioreaktorā (Dobre, Nicolae, Matei, 2014). Biogāzes ražošanas kvalitāti un kvantitāti nosaka bioloģiski noārdāmo organisko vielu saturs izejvielā, C:N attiecība, substrāta pH u.c. Izejvielām jāatbilst noteiktām prasībām: pH līmenis no 6.8 līdz 7.3; mikroorganismu attīstībai labvēlīga C:N attiecība; nedrīkst saturēt mikroorganismus inhibējošas vielas.

C:N attiecība. Īrijā veiktajos pētījumos zālaugu sausnai tika ģenerēts šāds stehiometriskais vienādojums: $C_{28.4}$ $H_{44.5}$ $O_{17.7}$ N, kas norāda, ka oglekļa un slāpekļa (C:N) attiecība zālē ir 25:1. Lielbritānijā veiktie pētījumi rāda, ka piemērotākā izejviela anaerobajai raudzēšanai ir ganību airenes biomasa ar C:N attiecību robežās no 23:1 līdz 18:1. Līdz ar to anaerobajai raudzēšanai atbilstošākā C:N attiecība tika definēta robežās 15 – 30 : 1 (Smyth, Murphy, Brien, 2009).

Metāna ieguves potenciāls. Biogāze pamatā ir metāna un oglekļa dioksīda gāzu maisījums. Viens no galvenajiem kritērijiem dažādu substrātu piemērotībai biogāzes ražošanā ir metāna ieguves potenciāls. Metāna īpatsvars biogāzē var būtiski variēt 55 – 80% robežās atkarībā no fermentācijas procesa un organiskās vielas kvalitātes (Vintila, Neo, Vintila, 2012). Stiebrzāles nodrošina vienu no augstākajiem biogāzes iznākuma rādītājiem, un tām ir augstākais metāna saturs (1.1. tab.).

Biogāzes iznākumu lielā mērā ietekmē augu attīstības fāze. Parasti lielāks zālaugu skābbarības īpašais metāna daudzums ir agrīnos termiņos pļautiem zelmeņiem, savukārt biomasas ieguves apjoms uz platības vienību būs atkarīgs no ražas (Prochnow, Heiermann, Drenchan, Schelle, 2005; McEniry, O'Kiely, 2013). Zālaugi, kas tiek kultivēti biogāzes ražošanai, parasti tiek pļauti vairākas reizes sezonā, kas nodrošina izejvielas ar zemāku lignīna un augstāku barības vielu saturu (Kandel, Suturyo, Moller et al., 2013; Gützloe, Thumm, Lewandowski, 2014). Kokšķiedras pieaugums palēnina biomasas degradācijas ātrumu un palielina vajadzīgo hidraulisko aiztures laiku. Tomēr ir konstatēts, ka miežabrālis augstāku specifisko metāna iznākumu nodrošina, palielinoties augu brieduma pakāpei un samazinoties mitruma saturam ražā (Lehtomäki, Viniikainen, Rintala, 2008). Veicot pirmo pļāvumu pirms

skarošanas sākuma, tika iegūta mazāka metāna raža no platības vienības (Amon, Amon, Kryvoruchko et al., 2007). Tāpēc zelmeņu apsaimniekošanas intensitāte biomasas ražošanai var būt zemāka salīdzinājumā ar lopbarības ražošanai izmantotajiem zelmeņiem. Mazāka pļaušanas intensitāte samazina arī biomasas ražošanas izmaksas (Messner, Nussbaum, Elsaesser, 2011).

1.1. tabula

Atšķirīgu izejmateriālu biogāzes ražošanas potenciāls un metāna saturs
(sagatavots pēc Vintila, Neo, Vintila, 2012)

Izejmateriāls	Potenciālais biogāzes iznākums, L kg^{-1} sausnas	Metāna saturs, %
Kviešu salmi nesmalcināti	367	78.5
Kviešu salmi smalcināti	363	80.2
Lucerna	445	77.7
Stiebrzāles	557	84.0
Cukurbiešu lapas	501	84.8
Kukurūzas salmi	214	83.1
Linu un kaņepju stiebri	369	58.0
Liellopu kūtsmēsli	260 – 280	50 – 60
Cūku kūtsmēsli	480	60.0
Mājputnu mēsli	520	68.0
Notekūdeņu dūņas	370	50 – 60

Enerģijas un CO_2 bilances analīžu dati rāda, ka, izmantojot zālaugu biomasu elektroenerģijas ražošanai koģenerācijas stacijās, vislielākais neto enerģijas ienesīgums un CO_2 ekvivalenta samazinājums iegūts, pļaujot zālaugu maisījumu divas reizes gadā (Gützloe, Thumm, Lewandowski, 2014).

1.2.4. Miežabrāļa (*Phalaris arundinacea* L.) raksturojums

Miežabrālis (*Phalaris arundinacea* L.) ir stiebrzāļu (*Poaceae*) dzimtas C_3 tipa daudzgadīga stīgotāja virszāle ar gariem, zarotiem apakšzemes dzimumiem, kuriem mezglu vietās veidojas jaunas saknes un lapu dzinumi. Piemērotos augšanas apstākļos miežabrālis ļoti ātri savairojas un veido noturīgu velēnu. Miežabrāļa sakņu sistēma ir ļoti apjomīga, veidojot līdz 50% no auga kopējās biomasas (Katterer, Andren, 2009), kas ļauj efektīvi uzņemt un uzglabāt augsnē esošās barības vielas un pasargāt augsni no erozijas (Xiong, Landstrom, Olsson, 2009). Miežabrālis ir plaši izplatīts mērenā klimata zonā Eiropā, Āzijā un Ziemeļamerikā mitrās un barības vielām bagātās augsnēs, kuru reakcija ir tuvu neitrālai (Grezelak, 2009; Tahir, Cassler, Moore, Brummer, 2011). Miežabrālis ir ļoti ziemcietīgs, labvēlīgos augšanas apstākļos zelmenī saglabājas 8 – 10 gadus un ilgāk. Ataugšanu pavasarī uzsāk agri un strauji. Viena no garākajām un ražīgākajām stiebrzālēm Latvijā, kura labvēlīgos apstākļos var sasniegt 2 m garumu. Miežabrālis ir perspektīvs bioenerģijas augs, jo tā ražošanas cikls pārsniedz desmit gadus. Miežabrāļa sējumi pozitīvi ietekmē apkārtējo vidi, pateicoties tā ilggadībai tiek saglabāta bioloģiskā daudzveidība, samazināta augsnes erozija un uzlabota augsnes kvalitāte (Sanderson, Adler, 2008; Wrobel, Coulman, Smith, 2008; Jansone, Rancane, Berzins, Stesele, 2012).

Augsnes prasības. Miežabrālis pieder pie prasīgām stiebrzālēm, bet to var audzēt atšķirīgos augsnes apstākļos. Priekšroku dod mitrām platībām, tādēļ savvaļā sastopams mitrās pļavās, upju un ezeru krastos ar augstu gruntsūdens līmeni (Merigliano, Lesica, 1998). Miežabrālis ir ļoti izturīgs pret applūšanu: var izturēt zem ūdens stiebru stadijā līdz pat

49 dienām, dīgstu stadijā 35 – 49 dienas (Antonkiewicz, Kołodziej, Bielinska, 2016; Espenberg, Truu, Truu et al., 2016). Labi jūtas arī mēreni skābās un kūdras augsnēs. Pacieš sasāļotas augsnes, ja tās tiek bieži laistītas vai notiek to dabiska applūšana (Jensen, Waldron, Robins, 2006). Dažas miežabrāļa saknes var iesniegties līdz pat 2 m dziļumam, tādēļ to var audzēt arī sausākās augsnēs.

Klimata prasības. Klimata ziņā miežabrālis nav sevišķi izvēlīgs. Tas labi pacieš augstas temperatūras, tomēr visaktīvāk augšana notiek mērenā temperatūrā (ap 20°C). Tipiski C_3 tipa zālaugiem, miežabrālis īpaši labi jūtas mērenā klimata reģionos, kur tradicionāli tiek izmantots lopbarības ražošanai (Carlson, Oram, Suprenant, 1996). Ziemā izceļas ar salcietību, pēc izturības pret zemām temperatūrām miežabrāli pieskaita ļoti salcietīgiem zālaugiem. Optimālā temperatūra straujai biomasas akumulācijai nav augstāka par 27°C. Ziemas periodā piemērotākā temperatūra svārstās vidēji ap 7°C. Daudzos izmēģinājumos ir secināts, ka miežabrālis ir augstražīgākais zālaugs ziemeļu platuma grādos (Landström, Olsson, 1997; Landström, 1999; Saijonkari-Pahkala, 2001; Lewandowski, Scurlock, Lindvall, Christom, 2003; Enerģētisko augu audzēšana..., 2007; Poiša, 2015).

Attīstības īpatnības. Miežabrālis sākotnēji aug lēnām, vāji konkurē ar nezālēm, necieš noēnojumu, tāpēc nav ieteicams to sēt zem virsauga. Sējas gadā attīstās lēnām (Merigliano, Lesica, 1998), pilnu ražu miežabrālis parasti nodrošina tikai otrajā vai trešajā gadā pēc sējas (Landström, Lomakka, Andersson, 1996). Miežabrālis pavasarī strauji ataug, maksimālo ražu sasniedz skarošanas sākumā, kas Latvijas apstākļos parasti ir ap 10. – 15. jūniju. Ziedēt sāk jūnija vidū. Piemīt labas ataugšanas spējas pēc pļaušanas.

Izmantošana. Miežabrāli var izmantot ne tikai lauksaimniecības (lopbarība, pakaiši), bet arī industriālajā sektorā (enerģijas, papīra ražošana) (Lewandowski, Scurlock, Lindvall, Christom, 2003). Tas ir potenciāls ne-koksnes augs (*non-wood crop*) rūpnieciskai izmantošanai, piemēram, papīra ražošanai Ziemeļeiropā (Kukk, Roostalu, Suuster et al, 2011). Daudzos pētījumos ASV un Eiropā ir secināts, ka miežabrālim piemīt liels potenciāls bioenerģijas ražošanā, un to ir vērts iekļaut izmēģinājumos detalizētākiem pētījumiem (McLaughlin, Walsh, 1998; Saijonkari-Pahkala, 2001; Peeters, 2008; Nilsson, Bernesson, Hansson, 2011).

Šobrīd miežabrāļa audzēšana ieņem nozīmīgu vietu Ziemeļvalstīs, kur jau ilgāku laiku tas tiek pētīts kā bioenerģijas augs (Burvall, 1997; Lindvall, 1997; Lewandowski, Scurlock, Lindvall, Christom, 2003; Wrobel, Coulman, Smith, 2009; Heinsoo, Hein, Melts et al., 2011). Arī kaimiņvalstīs un Latvijā veiktie atkārtotie izmēģinājumi (Kryzeviciene, Jasinskas, Gulbinas, 2008; Lazdiņa, Komorovska, Bārdulis, Liepiņš, 2009; Kukk, Astover, Muiste et al., 2010; Jansone, Rancane, Berzins, Stesele, 2012; Poiša, 2015; Platace, Adamovics, Kalnacs, 2016) apstiprina, ka miežabrālis ir perspektīva energokultūra Baltijas valstīs. Svarīgi veidot šiem mērķiem atbilstošas šķirnes ar lielu dzinumu skaitu un samazinātu aplapojumu, kas nodrošinātu pēc iespējas augstāku kokšķiedras saturu biomasā (Christian, Yates, Riche, 2006).

Miežabrālis nodrošina biomasu ar labu sadegšanas kvalitāti (Kryževičienė, Jasinskas, Gulbinas, 2008). Tas satur nozīmīgu daudzumu lignīna un celulozes, tāpēc ir viens no perspektīvākajiem enerģētiskajiem augiem (Lewandowski, Scurlock, Lindvall, Christom, 2003; Christian, Yates, Riche, 2006; Heinsoo, Hein, Melts et al., 2011). No miežabrāļa iegūto biomasu var izmantot gan biogāzes ražošanai, gan tiešai dedzināšanai. Igaunijas apstākļos secināts, ka miežabrāļa sējumus izdevīgi pļaut divas reizes sezonā, pirmo pļāvumu izmantojot kurināmā ražošanai, otro biogāzes vai skābbarības ražošanai (Annuk, Allik, Annuk, 2017).

Miežabrālim piemīt spējas uzkrāt un savākt augsnē esošos smagos metālus, to var sekmīgi izmantot arī kā fitoteremediācijas augu rūpnieciskos rajonos (Litterick, Booth, 2009; Wrobel, Coulman, Smith, 2009). Miežabrālis ir nepārspējams starp vēsās sezonas zālaugiem slāpekļa un citu barības vielu izmantošanas ziņā, kas rodas komunālo un rūpniecisko atkritumu notekūdeņos (Jensen, Waldron, Robins, 2006).

Ražība. Zinātniskie pētījumi vairākās valstīs apstiprina, ka vietējās izcelsmes daudzgadīgās sakneņu tipa virszāles, tajā skaitā miežabrālis, potenciālās biomasas ražas dēļ ir daudzsološi bioenerģijas augi (McLaughlin, Walsh, 1998; Saijonkari-Pahkala 2001; Epie,

2015). Skandināvijas valstu bioenerģētisko kultūraugu pētījumos konstatēts, ka miežabrālis Ziemeļeiropas apstākļos nodrošina augstas – virs 9 t ha^{-1} biomasas sausnas ražas (Landstrom, Olsson, 1997; Lewandowski, Scurlock, Lindvall et al., 2003). Indianas štatā (ASV) izmēģinājumos miežabrāļa sausnas raža pie atšķirīgām slāpekļa devām (0-168 kg N ha^{-1}) bija 10 t ha^{-1} (Cherney, Johnson, Volonec, Greene, 1991). Aiovas štatā ASV divās vietās veiktajos izmēģinājumos 5 gadu periodā pie slāpekļa mēslojuma 140 kg N ha^{-1} vidējā biomasas raža bija 8.6 t ha^{-1} (Hallam, Anderson, Buxton, 2001). Pētījumos Dānijā intensīvā pļaušanas un mēslošanas režīmā miežabrāļa šķirnes 'Bamse' raža sasniedza 16 t ha^{-1} gadā (Kandel, Elsgaard, Karki, Larke, 2013). Igaunijā veiktie pētījumi rāda, ka miežabrālis ir perspektīvākais zālaugs enerģijas ražošanai (Annuk, Allik, Annuk, 2017). Arī Latvijā līdz šim veiktie pētījumi apstiprina, ka miežabrālis ir perspektīva energokultūra, kas nodrošina augstu ražas potenciālu un atbilstošu biomasas kvalitāti kurināmā un biogāzes ražošanas izejmateriāla nodrošināšanai (Poiša, Adamovičs, Agapovs et al., 2011; Jansone, Rancāne, Bērziņš, Stesele, 2012).

Enerģētiskā vērtība. Enerģijas ražošanas efektivitāte jeb ieguldītās un iegūtās enerģijas attiecība ir atkarīga no patērētās enerģijas daudzuma, ko izmanto, lai izaudzētu un novāktu biomasu. Igaunijā veiktajos pētījumos (Annuk, Allik, Annuk, 2017) konstatēts, ka miežabrālis pie vidējām sausnas ražām 4.2 – 8.5 t ha^{-1}, patērējot 1.48 – 3.06 GJ ha^{-1} enerģijas, var radīt 72.91 – 147.56 GJ ha^{-1} bruto enerģijas, kas attiecīgi veido 71.44 – 144.50 GJ ha^{-1} neto enerģijas (1.2. tab.). Tas nozīmē, ka 1 MJ ieguldītās enerģija ļauj saražot 2.8 kg sausnas. Veiktā energoefektivitātes analīze ļauj secināt, ka miežabrāļa sējumi ar vidējo ražas līmeni nodrošina maksimālu ieguldītās enerģijas atdevi. Ieguldītās enerģijas atmaksāšanās attiecība konkrētajā gadījumā pie sausnas ražas līmeņa 4.2 – 8.5 t ha^{-1} bija 48.2 – 49.4, kas ir augstāka nekā gadījumos ar zemāku vai augstāku sausnas ražas līmeni. Tādējādi ieguldītās enerģijas apjoms 1 t sausnes saražošanai ir zemāks (351 – 360 MJ t^{-1} sausnas).

1.2. tabula

Miežabrāļa kā bioenerģijas auga enerģētiskā vērtība
(sagatavots pēc Annuk, Allik, Annuk, 2017)

Sausnas raža, t ha^{-1}	Iegūtā enerģija, GJ ha^{-1}	Ieguldītā enerģija, GJ ha^{-1}	Neto enerģija, GJ ha^{-1}	Ieguldītā enerģija,	
				MJ ha^{-1}	MJ t^{-1} sausnas
1.2	20.83	0.90	19.93	900	750
4.2	72.91	1.48	71.44	1476	351
8.5	147.56	3.06	144.50	3062	360
11.5	199.64	6.31	193.33	6307	548
15.1	262.14	19.27	242.86	19272	1276

Izmēģinājumos Lietuvā tika vērtēta miežabrāļa biomasas piemērotība enerģijas ražošanai, kā arī zelmeņa enerģētiskais potenciāls un enerģijas efektivitāte, audzējot to tīrsējā un maisījumos ar tauriņziežiem. Miežabrālis tika mēslots ar minerālmēsliem (N60 dalīti 2×), maisījumus ar tauriņziežiem nemēsloja. Tika konstatēts, ka ražas līmeni ļoti ietekmēja meteoroloģiskie apstākļi: zelmeņu ražība svārstījās no 6.3 līdz 8.8 t ha^{-1} labvēlīgos laika apstākļos un no 2.8 līdz 6.5 t ha^{-1} nelabvēlīgos laika apstākļos. Sausnas zemākā siltumspēja bija no 17.1 līdz 18.5 MJ kg^{-1} atkarībā no zelmeņa sastāva, augšanas apstākļiem un pļaušanas laika. Sadegšanas temperatūra bija robežās no 770 līdz 955 ^{o}C. Lietuvas klimatiskajos apstākļos zālaugu zelmeņu, kultivētu viegla granulometriskā sastāva augsnēs ar zemu organisko vielu saturu, enerģētiskais potenciāls bija 115-153 GJ ha^{-1}, bet enerģijas patēriņš biodegvielas ražošanai svārstījās robežās no 8.0 – 19.2 GJ ha^{-1} (Jasinskas, Zaltauskas, Kryzeviciene, 2008). Izmēģinājumos Latvijā enerģijas iznākums stiebrzālēm svārstījās no 93.6 GJ ha^{-1} pļavas auzenei līdz 112.1 GJ ha^{-1} timotiņam; miežabrālim tas vidēji bija 102.7 GJ ha^{-1} (Platače, 2018).

Igaunijā veiktajos testos ar makro-kalorimetru ELVI-MK-1 (Annuk, Allik, Annuk, 2017) miežabrāļa sausnas enerģētiskā vērtība bija 17.36 MJ kg^{-1}. Ļoti līdzīga tā bija arī Zviedrijā veiktajos izmēģinājumos – 17.6 MJ kg^{-1} (Burvall, 1997). Ņemot vērā, ka kūdras augsnēs audzētajam miežabrālim ir nedaudz zemāks pelnu saturs, tā sausnas enerģētiskā ietilpība bija nedaudz augstāka salīdzinājumā ar minerālaugsnēs audzēto (Heinsoo, Hein, Melts et al., 2011).

Vākšanas laiks. Miežabrālis ir ļoti agrīns, tas strauji attīstās un viens no pirmajiem pavasarī sasniedz pļaušanas gatavību. Miežabrālis veido noturīgu stiebru, tāpēc zelmeni var atstāt uz ziemu un biomasu vākt nākamā gada pavasarī. Tas būtiski uzlabo kurināmā materiāla kvalitāti salīdzinājumā ar vasaras periodā vākto ražu, jo ziemošanas laikā izskalošanās un lapu zudumu dēļ samazinās nevēlamo elementu – sārmu metālu un hlora daudzums. Piedevām tas ļauj nodrošināt vienmērīgu izejvielu piegādi bioreaktoram vai spēkstaciju kurtuvēm (Koliedzej, Stachira, Antonkiewicz et al., 2016). Beidzamajos gados Skandināvijas valstīs tiek praktizēta atšķirīga miežabrāļa vākšanas metode – vēlu rudenī zelmenis tiek nopļauts un pa ziemu atstāts uz lauka. To savāc agri pavasarī, kad masa izžuvusi. Lielākā daļa augu barības vielu rudenī pārvietojas no virszemes daļām uz saknēm, tādējādi nodrošinot augus ar augšanai nepieciešamajiem barības elementiem nākamajā sezonā (Lindvall, Gustavsson, Samuelsson, et al., 2015). Ir daudzi pierādījumi efektīvai iekšējā slāpekļa pārvietošanai no dzinumiem uz saknēm augu atmiršanas fāzē (Partala, Mela, Esala, Ketoja, 2001). Pļaujot zelmeni vēlu rudenī, netiek traumēti jaunie dzinumi un netiek samazināta raža nākamajā sezonā.

1.2.5. Auzeņaireņu (×*Festulolium*) raksturojums

Ļoti nozīmīgu vietu lopbarības un bioenerģijas ražošanā nākotnē varētu ieņemt airenes un auzenes starpsugu hibrīds – auzeņairene (×*Festulolium* Asch&Graebn.) (Bērziņš, 2000; Adamovičs, Koulakovskaja, 2003; Gūtmane, Adamovičs, 2011; Berzins, Rungis, Rancane et al., 2018), kas ir salīdzinoši jauns kultūraugs gan Latvijā, gan pasaulē. Auzeņairene ir ražīgs daudzgadīgais zālaugs, piemērots kultivēšanai mērenajā klimatā. Pavasarī tā ataug straujāk salīdzinājumā ar ganību aireni, tāpēc arī pirmo pļāvumu var veikt agrāk (Helgadóttir, Frankow-Lindberg, Seppanen et al., 2014), savukārt sezonas beigās tā ir piemērota pagarinātai rudens zāles ieguvei kontinentālajos apstākļos (Skladanka, Adam, Ryant et al., 2010). Par auzeņairenēm uzskata hibrīdus starp auzeņu un aireņu ģints sugām (ES Direktīva 2009/74/EK no 26.06.2009)[8] ar augstu vispārējo stresa toleranci (Wilkins, Humphreys, 2003). Starpsugu hibrīdu veidošanai tiek pievērsta liela uzmanība, jo tā ir iespēja kombinēt atšķirīgas augu prasības un nepieciešamību nodrošināt vajadzīgo ražu un kvalitāti (Ghesquière, Humphreys, Zwierzykovski, 2010; Gūtmane, Adamovičs, 2011; Østrem, Volden, Larsen, 2013). Auzeņairenēm piemīt potenciāls apvienot sevī airenēm raksturīgo izcilo lopbarības kvalitāti un straujās ataugšanas spējas ar auzenēm piemītošo augsto stresa toleranci un noturību zelmenī (Bērziņš, 2000; Humphreys, Canter, Thomas, 2003; Thomas, Morgan, Humphreys, 2003).

Auzenes (*Festuca* spp.) kopumā izceļas ar pieticību un spēju paciest skarbus apstākļus (Thomas, Humphreys, 1991). Daudzas auzeņaireņu šķirnes šīs īpašības ir pārmantojušas, kas ļauj tās sekmīgi kultivēt vietās, kur citas sugas aug nelabprāt, piemēram, kūdras augsnēs. Auzeņu ģints ir plaši izplatīta dažādos pasaules klimatiskajos reģionos, tajā skaitā arī Ziemeļeiropā. Auzeņu ģints sugām ir augstāka stresa izturība salīdzinājumā ar airenēm (Østrem, Volden, Larsen, 2013), tās izceļas ar labu ziemcietību, izturību pret slimībām un nelabvēlīgiem meteoroloģiskajiem apstākļiem. Auzenes ir ražīgas, bet lopbarības kvalitātes ziņā atpaliek no airenēm (Thomas, Morgan, Humphreys, 2003).

---

[8] Komisijas Direktīva 2009/74/EK attiecībā uz augu botāniskajiem nosaukumiem. [Tiešsaiste] [skatīts 2021. g. 7. martā]. Pieejams: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LV/TXT/?uri=CELEX%3A32009L0074

Niedru auzene (*Festuca arundinacea* Schreb.) ir daudzgadīga stīgotāja virszāle ar labi attīstītu sakņu sistēmu, kas nodrošina augu izturību. Vidēji sasniedz 1.5 m garumu, tai ir rupjāki stiebri, platākas lapas salīdzinājumā ar pļavas auzeni. Ilggadīga, vienā vietā bez pārsējas var augt un ražot 8 – 10 gadus. Niedru auzene ir piemērota audzēšanai mitrākās pļavās, kur tā dod augstas ražas jau agras attīstības fāzēs. Niedru auzenes audzēšanai der arī mazauglīgas zemes un jaunapgūstamās platības, jo tā ir samērā pieticīga stiebrzāle. Pateicoties spēcīgai sakņu sistēmai, šī zālaugu suga labi pacieš sausumu (Gutmane, Adamovics, 2007). Tā ir izturīga pret salu, tādēļ perspektīva mūsu platuma grādos. Raksturīga intensīva, pat agresīva augšana, izcilas ataugšanas spējas, ir ziemcietīga un augstražīga (Ghesquière, Humphreys, Zwierzykovski, 2010; Østrem, Volden, Larsen, 2013; Jiao, Kørup, Andersen et al., 2016), dod labas ražas arī kūdrājos (Kandel, Elsgaard, Andersen, Larke, 2016). Ziedēšanas laikā niedru auzene ļoti strauji nocietē un zaudē lopbarības kvalitāti, bet enerģijas ražošanai tas netraucē. No niedru auzenes iegūtā biomasa ir rupjstiebraina, tādēļ vairāk piemērota granulētā kurināmā ražošanai. Tomēr atsevišķi pētījumi apstiprina, ka, pļaujot agrīnākās attīstības fāzēs, gan auzeņairenes, gan niedru auzenes biomasa ir piemērotas izejvielas biogāzes ražošanai (Seppälä, Paavola, Lehtomaki, Rintala, 2009; Ambye-Jensen, Johansen, Didion et al., 2013).

Airenēm (*Lolium* spp.) raksturīga strauja attīstība, augsts ražīgums, noturība pret biežu appļaušanu un apganīšanu, kā arī ļoti augsta lopbarības kvalitāte. Pateicoties tam, ganību airene ir Eiropā dominējošā lopbarības zālaugu suga (Wilkins, Humphreys, 2003). Airenes ir piemērotas intensīvai izmantošanai, bet Latvijas apstākļos tām bieži ir nepietiekama ziemcietība (Berzins, Rungis, Rancane et al., 2018). Selekcijas darba rezultātā veidotās starpsugu hibrīdu šķirnes, kas apvieno aireņu kvalitāti un ātraudzību ar auzeņu ziemcietību, stresa toleranci un noturību zelmenī (Østrem, Larsen, 2008; Halling, 2012; Berzins, Jansone, Rancane et al., 2015), ļauj taupīt resursus, samazinot augsnes apstrādes intensitāti.

Festuca un *Lolium* tuvās radniecības dēļ starpģinšu hibrīdu veidošanās savvaļā ir novērota jau sen (Ostrem, Larsen, Pasakinskiene, 2007; Bērziņš, Stesele, Dzene, Jansons, 2014). Auzenes un airenes ir cieši saistītas evolucionārā ziņā, tāpēc tās var veiksmīgi hibridizēt (Ostrem, Valden, Larsen, 2013), dodot daudzpusīgas iespējas jaunu, mūsdienu prasībām piemērotu šķirņu selekcijā (Thomas, Morgan, Humphreys, 2003).

Auzeņairenēm galvenā izvirzītā prasība ir airenēm līdzvērtīgs ražīgums un kvalitāte, kas apvienoti ar auzenēm piemītošo biotisko un abiotisko stresu izturību: sausumizturība, izturība pret paaugstinātām un pazeminātām temperatūrām, arī slimībām u.c. (Sliesaravičius, 1997; Casler, 2002). Selekcionāri aktīvi strādā pie dažādu aireņu un auzeņu sugu, tajā skaitā *L.perenne, L.multiflorum, F.pratensis, F.arundinacea* īpašību apvienošanas vienā šķirnē. Ņemot vērā izcelsmi, auzeņaireņu šķirnes mēdz būt ļoti atšķirīgas, vienām vairāk izteiktas aireņu, citām auzeņu īpašības (Thomas, Humphreys, 1991). Starpsugu hibrīdi parasti izceļas ar labām ataugšanas spējām un augstu produktivitāti (Zwierzykowski, Jokś, Naganowska, 1993; Fojtik, 1994). Starpsugu hibrīdu šķirnes ir vai nu loloidā tipa, kas veidojušās no krustojumiem starp aireni (*Lolium* spp.) un pļavas auzeni (*F. pratensis*) vai festukoidā tipa, kas ir viengadīgās airenes (*L. multiflorum*) un niedru auzenes (*F. arundinacea*) krustojumi (Ghesquière, Humphreys, Zwierzykovski, 2010; Bērziņš, Stesele, Dzene, Jansons, 2014). Līdz šim lielāka interese Ziemeļvalstu reģionā un arī Baltijas valstīs ir bijusi par festukoidā tipa auzeņairenes šķirnēm, kuras šādos apstākļos izrādījušās augstražīgākas un ilggadīgākas (Gutmane, Adamovics 2008; Østrem, Larsen 2008; Halling, 2012). Savukārt ganību airenes un pļavas auzenes hibrīdi salīdzinājumā ar viengadīgās airenes un pļavas auzenes hibrīdiem ir ziemcietīgāki ar labāku noturību zelmenī augstāka platuma grādos (Ostrem, Larsen, Pasakinskiene, 2007).

Jaunākās auzeņaireņu šķirnes ir augstražīgas, to ražas potenciāls sasniedz 18 t ha^{-1}, tādējādi auzeņairene var būt ideāla izejviela ilgtspējīgai proteīniem bagātas lopbarības un bioenerģijas ražošanai mērenā klimata apstākļos (Parajuli, Dalgaard, Jorgensen et al., 2015). Kvalitātes un ražības dēļ auzeņairenes var ieņemt līdzvērtīgu vietu starp plašāk izmatotajām stiebrzālēm (timotiņš, pļavas auzene u.c.) mūsu klimatiskajā zonā (Gūtmane, Adamovičs,

2007). Kontrolētos izmēģinājumos pierādīts, ka auzeņairene vēsā, mērenā klimatā ražības ziņā pārspēj miskanti (*Miscanthus*), kas ir C_4 tipa augs ar izcilu ražību un ļoti efektīvu ūdens un barības vielu patēriņu (Jiao, Kørup, Andersen et al., 2016).

Kopsavilkums. Lai taupītu resursus un nodrošinātu uzņemto saistību izpildi atjaunojamās enerģijas resursu jomā, jāmeklē iespējas palielināt bioenerģijas īpatsvaru kopējā enerģijas patēriņā. Biomasa ir plašāk izmantotie atjaunojamie enerģijas resursi. Šobrīd Latvijā galvenais cietās biomasas avots ir koksne, bet tās patēriņš nedrīkst pārsniegt atjaunošanās apjomus. Tādēļ arvien lielāku nozīmi iegūst speciāli šim mērķim kultivēti enerģētiskie kultūraugi, kuriem definētie pamatkritēriji ir ražīgums, energoefektivitāte, pieticīgums audzēšanas apstākļu ziņā, izmantošanas mērķim atbilstoša biomasas kvalitāte. Enerģijas ražošana no energoaugiem nedrīkst konkurēt ar pārtikas nozari, šim mērķim jāizvēlas otrās paaudzes jeb nepārtikas augus, un tie jāizvieto platībās, kas neatbilst intensīvai lauksaimnieciskai ražošanai.

Vieni no perspektīvākajiem enerģētiskiem augiem Latvijas klimatiskajos apstākļos ar tipiski īso un vēso veģetācijas periodu ir C_3 tipa daudzgadīgie zālaugi, tajā skaitā miežabrālis un auzeņairene. Interese par zālaugu izmantošanu enerģijas ražošanai Ziemeļeiropas klimatiskajos apstākļos ir samērā liela. Veikti dažādi pētījumi šajā jomā, arī Latvijā vērtēts zālaugu potenciāls bioenerģijas jomā, t.sk., promocijas darbu ietvaros vērtēti miežabrāļa produktivitātes un kvalitātes rādītāji (Poiša, 2015) un zālaugu biomasas ieguve cietā kurināmā ražošanai (Platače, 2018). Iegūtie dati apliecina zālaugu izmantošanas perspektīvas. Zālaugu biomasas ražošanai ir maza enerģētiskā ietilpība, ar salīdzinoši nelieliem ieguldījumiem tiek nodrošināts proporcionāli liels enerģijas iznākums. Zālaugu bioenerģētiskās efektivitātes rādītāji ir ievērojami labāki salīdzinājumā ar daudziem citiem kultūraugiem.

1.3. Agrotehniskie pasākumi zālaugu biomasas ražas un kvalitātes nodrošināšanai

Viens no noteicošajiem faktoriem bioenerģijas ražošanas ilgtspējai ir racionāla zemes resursu izmantošana jeb tādu platību izvēle bioenerģijas augu audzēšanai, kas neradītu konfliktu starp pārtikas, lopbarības ražošanas un bioenerģijas sektoru. Konkurences mazināšanai minēto sektoru starpā iekoptas, ražīgas lauksaimniecības zemes platības primāri jāatvēl pārtikas un lopbarības ražošanai, savukārt bioenerģijai paredzētos zālaugus var izvietot arī mazauglīgākās, mazāk iekoptās zemēs ar neizdevīgu ģeogrāfisko izvietojumu (Tilman, Cassman, Matson et al., 2002; Jadia, Fulekar, 2009; Dauber, Brown, Fernando et al., 2012).

Lai bioenerģijas augu audzēšana būtu ekonomiski izdevīga, sevišķi audzējot mazāk labvēlīgos apstākļos, nepieciešams izmantot gan attiecīgu agrotehnisko pasākumu kompleksu, gan izvēlēties augu genotipus, kas ir potenciāli spējīgi pārvarēt dažādu stresu radītos apstākļus un nodrošināt atbilstošas kvalitātes biomasu (Līpenīte, Kārkliņš, 2011; Jones, Finnan, Hodkinson, 2015). Tiek veikti pētījumi par dažādu mēslošanas līdzekļu, t.sk., bioenerģijas blakusproduktu lietošanas efektivitāti, ar mērķi palielināt biomasas ražas un nodrošināt barības vielu reciklāciju, savukārt selekcionāri strādā pie speciālu šķirņu radīšanas bioenerģijas mērķiem.

Iespējamā stratēģija efektīvai un ilgtspējīgai bioenerģijas izmantošanai ir enerģētisko kultūraugu biomasas ieguves apjomu un kvalitātes palielināšana ierobežotā zemes platībā (Erisman, Grinsven, Leip et al., 2010). Iepriekš veiktie pētījumi rāda, ka zālaugu biomasas kvalitāte atšķiras sugu starpā un to būtiski ietekmē augsnes sastāvs, mēslojums, pļaušanas laiks u.c. (Platače, 2018). Atšķirības minerālvielu koncentrācijā gan nav pilnībā atkarīgas no augsnes ķīmiskā sastāva. Piemēram, fosfora un kālija koncentrācija dažādu sugu zālaugu biomasā var atšķirties gandrīz trīskārtīgi (El-Nashaar, Griffith, Steiner, Banowetz, 2009). Tāpēc svarīgi izvēlēties vietai un mērķim atbilstošas sugas un agrotehnisko paņēmienu kompleksu. Turpmāk apskatīti nozīmīgi agrotehniskie pasākumi miežabrāļa un auzeņairenes audzēšanā.

1.3.1. Augsnes izvēle

Miežabrālis labi aug ar karbonātiem bagātās dažāda granulometriskā sastāva augsnēs, arī kūdrājos, kur ir paaugstināts gruntsūdens līmenis. To ieteicams sēt vietās, kuras nevar pietiekami nosusināt. Miežabrālim patīk mitrums, bet aug arī sausākās augsnēs, ja ir pietiekams kalcija un slāpekļa nodrošinājums. Nepatīk skābas un blīvas minerālaugsnes, kā arī pārpurvotas vietas ar pārlieku augstu gruntsūdens līmeni (<30 cm) (Espenberg, Truu, Truu et al., 2016). Ļoti skābās augsnēs miežabrālis neaug arī tad, ja mitruma apstākļi ir piemēroti (Heinsoo, Hein, Melts et al., 2011). Tāpat kā visām stīgotājām virszālēm, arī miežabrālim sakņu elpošanai nepieciešams gaiss, tādēļ priekšroku tas dod irdenām, ar gaisu bagātām augsnēm. Pēc savas būtības miežabrālis ir mitrāju augs, tam ir augsts transpirācijas koeficients un zema ūdens patēriņa efektivitāte salīdzinājumā ar citiem zālaugiem (Mueller, Behrendt, Schalitz, Schindler, 2005). Kaut arī miežabrālis labi pacieš applūšanu, tas ir sausumizturīgāks nekā daudzas citas zālaugu sugas (Tahir, Casler, Moore, Brummer, 2011; Ostrem, Volden, Larsen, 2013).

Beidzamajos gados miežabrālis ir pārbaudīts arī kā potenciālais biomasas augs Ziemeļeiropā drenētajās un nosusinātajās kūdras augsnēs (Shurpali, Strandman, Klipelainen et al., 2010; Palmborg, 2012; Kandel, Elsgaard, Larke, 2013; Järveoja, Peichl, Maddison et al., 2016). Somija uzsāka plašu miežabrāļa kultivēšanu kūdras augsnēs, sasniedzot 19 000 ha platību, taču platību pieaugums apsīka biomasas kvalitātes rādītāju dēļ (Lind, Shurpali, Peltola et al., 2016). Dānijā miežabrāļa un citu kūdras augsnēs audzēto zālaugu biomasa galvenokārt tiek izmantota biogāzes ražošanai (Kandel, Sutaryo, Moller et al., 2013). Jāņem vērā, ka izstrādātos kūdras laukos skābās, nabadzīgās augsnēs bez mēslojuma izmantošanas miežabrālis būs mazražīgs (Heinsoo, Hein, Melts et al., 2011).

Atšķirīgi pētījumi rāda, ka augsnes īpašības var būtiski ietekmēt biomasas pelnu saturu. Ievērojamas atšķirības pelnu satura ziņā konstatētas miežabrālim, kas tika kultivēts smagās mālainās un organiskām vielām bagātās augsnēs. Pelnu saturs biomasā attiecīgi bija 10.1% un 2.2% (Burvall, 1997). Kūdras un smilts augsnēs audzētajiem zālaugiem bija zemāks pelnu saturs zemākas silīcija koncentrācijas dēļ, bet arī pelnu kušanas temperatūra bija zemāka (Gilbe, Ohman, Lindstrom et al., 2008).

Auzeņairenēm augsnes prasības var atšķirties atkarībā no šķirnes izcelsmes. Ja šķirnē gan fenotipiski, gan genotipiski dominē airenes genoms, tad tā būs prasīgāka augsnes apstākļu ziņā, priekšroku dodot smagākām, mālainākām augsnēm. Tādu nav ieteicams sēt kūdras augsnēs. Šķirnes ar lielāku auzeņu ietekmi būs sausumizturīgākas, pieticīgākas augšanas apstākļu ziņā, tās sekmīgi audzējamas arī kūdras un vieglāka granulometriskā sastāva augsnēs. Bioenerģijas ražošanai ieteicams izmantot niedru auzenes tipa auzeņairenes: *Festulolium pabulare* (*F.arundinacea* x *Lolium multiflorum*) un *Festulolium holmbergii* (*F.arundinacea* x *L.perenne*). Tās ir piemērotas sausām un mazražīgām augsnēm[9], tādēļ izmantojamas apstākļos, kur ražīgums un ilggadība ir galvenie priekšnoteikumi. Niedru auzenes tipa auzeņaireņu saknes sniedzas dziļi augsnē, nodrošinot sausuma toleranci, kas līdzīga kamolzālei un niedru auzenei. Labi apsaimniekota zelmeņa izturība šī tipa auzeņairenēm ir no sešiem līdz astoņiem gadiem[10].

---

[9] Festulolium Hybrid Grass. [Tiešsaiste] [skatīts 2021. g. 16. aprīlī]. Pieejams: https://forages.ca.uky.edu/files/fesulolium_white_paper1.pdf

[10] More festulolium varieties than any other plant breeder. [Tiešsaiste] [skatīts 2021. g. 3. maijā]. Pieejams: https://www.dlf.co.uk/system-pages/all-news-1/more-festulolium-varieties-than-any-other-plant-breeder?PID=3657&M=NewsV2&Action

1.3.2. Augsnes apstākļu optimizēšana

Augsnes kaļķošana. Katram kultūraugam ir savs optimālais augsnes pH intervāls, kurā visaktīvāk norisinās auga fizioloģiskie procesi. Miežabrālim un auzeņairenēm tas ir pH KCl 6 –7. Skābākas augsnes (pH KCl <5.5) ieteicams kaļķot, tādējādi sekmējot efektīvu augsnē esošo barības vielu izmantošanu un zelmeņu ilggadību. Izmēģinājumu dati rāda, ka pastāv cieša sakarība starp augsnes pH līmeni un zālaugu ilggadību zelmenī: jo skābāka augsne, jo straujāk no zelmeņa pazūd vērtīgie zālaugi (Bērziņš, Antonijs, Rumpāns, 1999; Berzins, Rancane, Svarta, 2011). Tā kā Latvijā skābo augšņu īpatsvars ir samērā liels, tad skābās augsnēs ieteicams izvairīties no fizioloģiski skābiem mēslošanas līdzekļus, lai vēl vairāk nepaskābinātu augsni. Bioenerģijas ražošanā svarīgi ierobežot rūpnieciski ražoto minerālmēslu izmantošanu, tāpēc tiek veikti pētījumi par alternatīviem mēslošanas līdzekļiem, t.sk., koksnes pelniem un digestātu, kuriem parasti ir neitrāla (digestāts) vai sārmaina (pelni) reakcija (pH 7.3 – 9.0) (Chantigny, Angers, Belanger et al. 2008; Möller, Stinner, Deuker, Leithold, 2008).

Augu barības vielu nodrošinājums ir viens no galvenajiem nosacījumiem biomasas ražības kāpināšanā. Augu barības elementi augiem pieejamā veidā ir vai nu augsnē vai tiek nodrošināti ar dažāda veida mēslojumu. Lai bioenerģijas ražošana būtu ilgtspējīga, jāmeklē optimāls līdzsvars starp ekonomiskajiem ieguvumiem un vidi. Mēslošanas līdzekļiem un to normām ir jābūt agronomiski pamatotām, ekonomiski attaisnojamām un ekoloģiski drošām. Mēslošana ir efektīva, ja vienlaikus tiek nodrošinātas visas augiem nepieciešamās barības vielas, kompensējot biomasas ražas veidošanā patērēto (Kering, Butler, Biermacher, Guretzky, 2012). Ar ražu, kas līdzvērtīga vienai tonnai stiebrzāļu sausnas, no augsnes tiek iznesti aptuveni 17 kg N, 6 kg P_2O_5 un 23 kg K_2O (Kārkliņš, Ruža, 2013), pie vidēja ražas līmeņa (8 t ha^{-1} sausnas) tie ir apmēram 140 kg N; 50 kg P_2O_5 un 180 kg K_2O. No augsnes iznesto augu barības elementu daudzumu, tāpat kā to atkārtotu izmantošanu ietekmē daudzi faktori, t.sk., mēslojums, zālaugu suga, pļaušanas un novākšanas režīms.

Slāpekļa (N) nodrošinājums ir viens no būtiskākajiem faktoriem produktivitātes un rentabilitātes uzlabošanai bioenerģijas ražošanas sistēmās (Ceotto, Candilo, 2011; Erisman, Grinsven, Leip et al., 2010; Sanderson, Adler, 2008). Slāpekļa pieejamību kultūraugiem ietekmē augsnes īpašības: organisko vielu daudzums un to kvalitāte, mikrobioloģisko procesu intensitāte, lietotais mēslojums un agroklimatiskie apstākļi (Līpenīte, Kārkliņš, Ruža, 2018). Augsnēs ar zemu humusa saturu un zemu slāpekļa nodrošinājumu slāpekļa mēslojums būtiski paaugstina zālaugu ražu un kvalitāti (Adamovičs, Driķis, Kravale, 1999). Ja ūdens un citi augu barības elementi nav uz kritiskā minimuma robežsliekšņa, tad tieši slāpekļa mēslojums visvairāk ietekmē zālaugu augšanu, zelmeņa veidošanos un biomasas kvalitāti (Robson, Parsons, Williams, 1989). Taču slāpekļa mēslojuma izmantošanā ir jāievēro zināmi noteikumi, lai izslēgtu tā kaitīgo ietekmi uz augiem un vidi, sevišķi t.s. īpaši jutīgajās teritorijās, kur slāpekļa savienojumi var tieši vai netieši nokļūt ūdens vidē, izraisot apdraudējumu cilvēkiem un videi kopumā (Karklins, Ruza, 2015).

Daudzgadīgo stīgotājtipa zālaugu slāpekļa izmantošanas efektivitāti (NIE) būtiski ietekmē ikgadējā barības vielu translokācija no virszemes daļām uz sakņu sistēmu (Xu, Fan, Miller, 2012). Slāpekļa metabolisms ir atšķirīgs pie augsta un zema slāpekļa līmeņa. Pie augstām slāpekļa devām NIE variē atkarībā no slāpekļa uzņemšanas, bet pie zemām NIE atkarīga galvenokārt no izmaiņām slāpekļa izmantošanas, arī atkārtotas, ziņā (Jones, Finnan, Hodkinson, 2015). Tādēļ svarīgi sekmēt slāpekļa pārvietošanos no auga virszemes uz apakšzemes daļām, kas notiek auga atmiršanas stadijā. Pārvietotais (reutilizētais) slāpeklis var deponēties sakneņos līdz tā atkārtotai izmantošanai nākamajā gadā. Šis process var ievērojami samazināt nepieciešamību izmantot slāpekļa mēslojumu (Christian, Richie, Yates, 2008). Visefektīvāk augu barības elementu pārvietošanās noris, vācot zālaugus vēlu rudenī vai ziemā. NIE palielināšana, maksimāli veicinot reutilizāciju, var ietekmēt biodegvielas ražošanas rentabilitāti un mazināt lauksaimniecības negatīvo ietekmi uz vidi minerālā slāpekļa izskalošanās un N_2O emisiju dēļ (Schwartz, Amasino, 2013).

Slāpekļa mēslojuma ietekme uz ražu. Pētījumi liecina, ka labvēlīgos apstākļos augsnēs ar augstu slāpekļa nodrošinājumu miežabrāļa sausnas ražas bez mēslojuma izmantošanas bija 6 – 7 t ha^{-1} (Kukk, Roostalu, Suuster et al., 2011). Somijā mālainā augsnē iegūtas vidēji 7.5 t ha^{-1} (Landstrom, 1999; Saijonkari-Pahkala, 2001). Līdzvērtīgs ražas līmenis (7 – 8 t ha^{-1}) tika iegūts arī augsnēs ar zemu organisko vielu saturu, izmantojot augstas mēslojuma devas (Kukk, Roostalu, Suuster et al., 2011). Savukārt atbilstošas agrotehnikas apstākļos, izmantojot slāpekļa mēslojumu, var iegūt līdz pat 12 – 17 t ha^{-1} sausnas (Sahramaa, 2003; Seppälä, Paavola, Lehtomäki, Rintala, 2009). Izmēģinājumos apstiprinājies, ka miežabrāļa biomasa palielinās proporcionāli slāpekļa devām (Cherney, Johnson, Volenec, Grene, 1991). Bez slāpekļa izmantošanas augsnēs ar nelielu mineralizēties spējīgu organiskā slāpekļa daudzumu ražas potenciāls netiek sasniegts (Kukk, Roostalu, Suuster et al., 2011). Izmēģinājumos Polijā konstatēts, ka 2. lietošanas gadā, kad miežabrālis bija sasniedzis maksimālo ražības potenciālu, sausnas ražas būtiski atšķīrās atkarībā no slāpekļa mēslojuma līmeņa. Palielinot slāpekļa mēslojumu no 40 kg ha^{-1} līdz 120 kg ha^{-1}, lineāri palielinājās miežabrāļa zaļmasas raža no 32.0 līdz 46.3 t ha^{-1}. Sevišķi liela atšķirība novērota starp mēslošanas variantiem N 40 un N 120 kg ha^{-1} (Kacprzak, Matyka, Krzystek, Ledakowicz, 2012). Taču pie 150 kg ha^{-1} N cerētais ražas pieaugums vairs netika iegūts (Lewandowski, Scurlock, Lindvall, Christom, 2003). Somi rekomendē miežabrāļa mēslošanā izmantot 60 – 90 kg ha^{-1} N (Saijonkari-Pahkala, 2001). Čehijā smilšmāla augsnē slāpekļa mēslojums 80 kg ha^{-1} N deva 29% lielu ražas pieaugumu salīdzinājumā ar nemēsloto variantu (Strasil, 2012).

Slāpekļa mēslojuma ietekme uz biomasas kvalitāti. Attiecībā uz biogāzes iznākumu rezultāti nedaudz atšķīrās – augstākā biogāzes raža 126 m^3 t^{-1} zaļmasas tika iegūta no miežabrāļa zelmeņa, kas tika mēslots ar 80 kg N ha^{-1} (1.3. tab.), savukārt zemākā 45.5 m^3 t^{-1} zaļmasas pie devas 120 kg ha^{-1} N (Kacprzak, Matyka, Krzystek, Ledakowicz, 2012). Zinātnieki Allison, Morris, Lister et al. (2012) atzīmē, ka slāpekļa mēslošanas līdzekļu izmantošana var izraisīt lignīna satura palielināšanos. Attiecībā uz miežabrāli, šis pieaugums var palielināt kultūrauga ražu un paaugstināt siltumspēju, bet negatīvi ietekmēt biomasas pārveides procesus. Tas var būt iemesls zemākam biogāzes iznākumam no skābbarības ar augstāko slāpekļa devu (120 kg ha^{-1} N).

1.3. tabula

Biogāzes iznākums atkarībā no slāpekļa devas miežabrālim
(sagatavots pēc Kacprzak, Matyka, Krzystek, Ledakowicz, 2012)

Slāpekļa deva	Biogāzes raža, m^3		Zaļmasas raža, t ha^{-1}	Metāns, %
	no 1 t zaļmasas	no 1 ha gadā		
N_{40}	123	3936	32.0	53
N_{80}	126	4738	37.6	54
N_{120}	45.5	2107	46.3	49

Izmēģinājumos Lietuvā miežabrāļa biomasas raža nemēslotajos variantos bija ievērojami zemāka, pelnu saturs svārstījās atkarībā no mēslošanas: salīdzinot N0 un N120 variantus, zemāks pelnu saturs bija mēslotajiem zelmeņiem. Pie lielākas slāpekļa devas pelnu saturs bija zemāks: tas svārstījās no 6.68% līdz 7.72%, izmantojot attiecīgi 120 un 60 kg ha^{-1} N. Miežabrāļa ķīmiskās analīzes liecināja, ka ar augstākām slāpekļa devām mēslotajiem zelmeņiem bija augstāka siltumspēja (Pociene, Sarunaite, Tilvikiene et al., 2013).

Izmēģinājumos ar dažādām zālaugu sugām tika konstatēts, ka, palielinot slāpekļa devu, pieaug arī nedegošā elementa slāpekļa daudzums biomasā, bet degošā elementa oglekļa saturu mēslojums ietekmē mazākā mērā (Adamovics, Platace, Gulbe, Ivanovs, 2017). Slāpekļa saturs palielinās, lietojot augstākas slāpekļa devas un veicot pļaušanu agrīnās attīstības fāzēs (Thumm, Raufer, Lewandowski, 2014). Tas sasaucas ar citu pētījumu rezultātiem (Lewandovski,

Kircherer, 1997), kur vēlīnā termiņā veiktam pirmā pļāvuma zelmenim netika novērota būtiska slāpekļa mēslojuma ietekme uz slāpekļa saturu biomasā.

Lai bioenerģijas augu izmantošanu būtu efektīva, to kultivēšanā jāizmanto ierobežotas un agronomiski pamatotas slāpekļa normas, mazinot SEG emisijas no fosilās degvielas izmantošanas (Börjesson, Tufvesson 2011). Slāpekļa minerālmēslu ražošana ir energoietilpīga, to lietošana var izraisīt barības vielu izskalošanos un emisijas. Pārmērīgas slāpekļa un fosfora devas var izraisīt eitrofikāciju – ūdenstilpju piesātināšanos ar augu barības vielām, kas veicina ūdensorganismu pārmērīgu savairošanos un aizaugšanu (Kārkliņš, 2012; Withers, Sylvester-Bradley, Jones et al., 2014), tādējādi izmainot ekosistēmu struktūru un funkcijas (Smith, Tilman, Nekola, 1999), izraisot bioloģiskās daudzveidības samazināšanos un ūdens kvalitātes pazemināšanos (Suding, Collins, Gough et al., 2005). Lai paaugstinātu neto enerģijas ieguvi un zemes izmantošanas efektivitāti, slāpekļa mēslošanas devas miežabrālim rekomendē nepalielināt virs 140 kg ha^{-1}, lai neveicinātu slāpekļa emisijas un izskalošanās risku, kas var sastādīt pāri par 2 g m^{-2} N gadā (Wrobel, Coulman, Smith, 2008).

Zālaugiem ļoti svarīgs ir arī kālija un fosfora nodrošinājums. Ja tas nav pietiekams, arī slāpekļa mēslojuma izmantošana būs neefektīva. Ilggadīgie izmēģinājumi parādīja, ka būtiski augstākas zālaugu sausnas ražas atšķirīgos mēslošanas variantos tika iegūtas augsnēs ar augstu kālija un fosfora nodrošinājumu salīdzinājumā ar augsnēm, kur bija zems kālija un fosfora nodrošinājums (Bērziņš, Būmane, Antonijs, 1999).

Kālijam (K) ir ļoti svarīga loma zālaugu ražas veidošanā, tas ir otrs nozīmīgākais barības elements aiz slāpekļa. Līdz ar ražas pieaugumu kālijs paaugstina zālaugu ziemcietību, sausumizturību un veicina ilgstošu saglabāšanos zelmenī. Tas ir iesaistīts pāri par 60 enzīmu darbībā, fotosintēzē un tās produktu pārvietošanā uz uzglabāšanas orgāniem, kā arī auga iekšējo ūdens rezervju saglabāšanā un rezistences nodrošināšanā pret kaitēkļiem, slimībām un dažāda veida stresiem (Plant nutrition, 2006). Īpaša uzmanība jāpievērš kālija nodrošinājumam smilts un kūdras augsnēs, kur parasti tā trūkst (Nikodemus, Kārkliņš, Kļaviņš, Melecis, 2008).

Ilggadīgie izmēģinājumi ļauj secināt, ka kālijam ir lielāka atdeve nekā slāpekļa un fosfora mēslojumam. Ja kālija trūkst, augstvērtīga zāles raža nemaz neveidojas, lai gan pārējie augu barības elementi ir pietiekamā daudzumā (Kayser, Isselstein, 2005; Adamovičs, Dubrovskis, Plūme u.c., 2009). Ilggadīgā zālaugu stacionārā Skrīveros iegūtie dati rāda, ka visstraujāk raža samazinājās variantos bez kālija mēslojuma. Piemēram, variantā $N_{200}P_{100}K_0$ raža būtiski samazinājās jau pēc pirmajiem pieciem gadiem. Salīdzinājumam, nelietojot fosfora mēslojumu (variantā $N_{200}P_0K_{150}$), būtisks ražas samazinājums tika konstatēts tikai apmēram pēc 15 gadiem (Bērziņš, Antonijs, Rumpāns, 1999). Kālijam ir ļoti liela ietekme arī uz zelmeņa botānisko sastāvu (Adamovičs, Dubrovskis, Plūme, u.c., 2009). Bez kālija mēslojuma vērtīgie zālaugi strauji izzuda no zelmeņa jau pēc 4 – 5 gadiem, bez fosfora mēslojuma būtisks vērtīgo zālaugu samazinājums bija novērojams tikai pēc 10 – 15 gadiem (Antonijs, Bērziņš, 2001; Antonijs, Rumpāns, 2002; Berzins, Rancane, Svarta, 2011).

Izmēģinājumos konstatēts, ka fosfora un kālija lietošana veicināja augsnes kālija aktivizēšanos. Pie lielākām kālija mēslojuma devām palielinājās kālija iznese un tika vairāk izmantots augsnes kālijs, kas saistīts augiem grūti izmantojamos savienojumos. Ja augstāku fosfora mēslojuma devu izmantošanas rezultātā augsnē krājās aizvien lielāks neizmantotā fosfora daudzums, pie augstākām kālija devām ar ražu tika iznests lielāks kālija daudzums. Mēslojuma devas būtiski ietekmēja kālija daudzumu, kas pārvērtās no grūtāk šķīstošiem kālija savienojumiem augiem izmantojamās formās vai arī tika ienests aramkārtā no augsnes dziļākiem slāņiem (Bērziņš, Antonijs, Rumpāns, 1999). LLU izmēģinājumos kombinētā PK izmantošana ($P_{80}K_{120}$) palielināja zālaugu sausnas ražu vidēji par 21% un ABV iznese palielinājās par 17% slāpeklim, 16% fosforam un 23% kālijam (Adamovics, Platace, Gulbe, 2019). Ja fosfors augiem pieejamās formās no augsnes visvairāk tika pārveidots variantā bez fosfora mēslojuma ($N_{200}P_0K_{150}$), tad kālijam analogā variantā ($N_{200}P_{100}K_0$) no augsnes tika aktivizēts vismazākais kālija daudzums. Un otrādi, visvairāk kālija no augiem grūtāk uzņemamiem savienojumiem tika aktivizēts variantā ar visaugstāko kālija mēslojuma devu

($N_{200}P_{100}K_{300}$). Tāpēc secināts, ka zālaugu mēslošanā izdevīgi izmantot augstākas kālija devas, ņemot vērā ekonomiskos un ražas kvalitātes apsvērumus. Palielinātas kālija mēslojuma devas paaugstina ne tikai izmaksas, bet arī kālija saturu ražā, kas var negatīvi ietekmēt zelmeņu kvalitāti (Adamovičs, 2009). Augstas kālija devas negatīvi ietekmē Mg un Ca uzņemšanu un var izraisīt paātrinātu šo katjonu izskalošanos (Kayser, Isselstein, 2005). Neiesaka palielināt kālija mēslojumu virs 180 – 200 kg ha^{-1} K_2O (Bērziņš, Antonijs, Rumpāns, 1999). Holandē veiktajos izmēģinājumos, lietojot šķidrmēslus pavasarī, fosfora izmantošana aizkavējās līdz otrās un trešās zāles ražai, turpretī kālija izmantošana bija efektīva visos pļāvumos (Smith, Van Dijk, 1987).

Fosforam (P) ir būtiska loma augu augšanas, šūnu dalīšanās, sakņu pagarināšanās, sēklu attīstības un nobriešanas procesu nodrošināšanā. Fosfora koncentrācija zālaugu sausnā ir apmēram $^1/_3$ daļa no slāpekļa. Tomēr fosfora trūkuma gadījumā augu attīstība ievērojami kavējas – samazinās fotosintēzes intensitāte un proteīnu sintēzes apjoms, līdz ar to tiek kavēta normāla augu attīstība (Plant nutrition, 2006). Fosfora izmantošanās efektivitāti palielina sabalansēts nodrošinājums ar citiem galvenajiem augu barības elementiem un mikroelementiem, mēslojuma novietojums augsnē, optimāli mitruma apstākļi un arī augu sakņu aktīva darbība (Līpenīte, Kārkliņš, Ruža, 2015). Fosfora deficīta apstākļos izmainās auga sakņu sistēmas uzbūve, veidojas smalkākas saknes un garākas spurgaliņas, saknes vairāk izdala mazmolekulāras organiskās skābes, enzīmus, kā arī modificē fosfora uzņemšanas mehānismus, lai izmantotu šo elementu no grūtāk pieejamiem resursiem (Balemi, Negisho, 2012).

Ilggadīgos izmēģinājumos (Antonijs, Bērziņš, 2001) fosfora mēslojuma trūkums zālaugu noturību zelmenī ietekmēja mazāk nekā kālijs. Variantos bez fosfora mēslojuma vērtīgās stiebrzāles no zelmeņa sāka izzust tikai pēc 10 – 15 gadiem. Fosfora mēslojuma norma 50 kg ha^{-1} bija tuva ar ražu iznestajam fosfora daudzumam, vienīgi pie augstām slāpekļa un kālija normām ($N_{300}P_{50}K_{225}$) fosfors ar ražu tika iznests daudz vairāk nekā iedots ar mēslojumu. Arī ilggadīgā daudzgadīgo zālaugu izmēģinājumā Rotamstedā konstatēts, ka augsnēs ar zemu fosfora nodrošinājumu slāpekļa mēslojums mobilizē fosfora resursus gan no augsnes rezervēm, gan no lietotā fosfora mēslojuma, palielinot tā iznesi ar ražu līdz pat 3.5 reizēm (Syers, Johnston, Curtin, 2008; Līpenīte, Kārkliņš, Ruža, 2015). Tas nozīmē, ka trūkstošo fosforu zālaugiem nodrošināja augsnē esošais fosfors. Dodot mēslojumā 100 kg ha^{-1} P_2O_5 un vairāk, ar ražu iznesa tikai daļu no fosfora. Atlikusī daļa paaugstināja augiem viegli izmantojamā fosfora krājumus augsnē. Pēc Līpenītes (1999) atzinuma fosfors no augsnes praktiski neizskalojas, viss fosfora atlikums saistās augsnē. Tas var ieskaloties dziļākos horizontos vai pārveidoties augiem grūtāk izmantojamās formās. Fosfora mēslojuma normu palielināšana palielina augsnē saistītā fosfora daudzumu, bet slāpekļa un kālija mēslojums to nedaudz samazina. Fosfora bilances aprēķini rāda, ka ieteicamais fosfora mēslojuma līmenis zālaugiem ir ap 50 – 70 kg ha^{-1} P_2O_5 (Antonijs, Bērziņš, 2001).

Ilggadīgos pētījumos zālaugu stacionārā, kuri tika veikti 36 gadu periodā (Bērziņš, Antonijs, Rumpāns, 1999), konstatēts, ka izmēģinājuma variantos ar atšķirīgām NPK mēslojuma devām veidojās atšķirīgi augsnes apstākļi ar atšķirīgu ABV nodrošinājumu un pH KCl līmeni. Tas būtiski ietekmēja zelmeņu ražību un botānisko sastāvu. Labākos rezultātus nodrošināja sabalansēta minerālmēslojuma $N_{200}P_{100}K_{300}$ izmantošana. Nesabalansēts mēslojums un kāda augu barības elementa iztrūkums bija zelmeņa izretošanās iemesls. Ja zālaugiem trūkst kālija un fosfora, arī slāpekļa mēslojuma izmantošana ir neefektīva. Ilggadīgie izmēģinājumi liecina, ka augstā kālija un fosfora mēslošanas fonā tika iegūtas būtiski augstākas ražas atšķirīgos mēslošanas variantos nekā fonā ar zemu kālija un fosfora nodrošinājumu. Augstas (virs 8 t ha^{-1}) zāles sausnas ražas ieguva: 1) augsnēs ar zemu fosfora un kālija, kā arī augsnēs ar zemu fosfora un augstu kālija nodrošinājumu, lietojot atšķirīgas slāpekļa (N 180 – 300), fosfora (P_2O_5 45 – 225) un kālija (K_2O 60 – 300) devas; 2) augsnēs ar augstu kālija nodrošinājumu, dodot slāpekli (N 180 – 300), fosforu (P_2O_5 0 – 225) un kāliju (K_2O 60 – 300) (Bērziņš, Būmane, Antonijs, 2001). Arī LLU pētījumos konstatēts, ka regulāri lietojot sabalansētas mēslojuma devas $N_{120}P_{90}K_{120}$, zālaugu sausnas raža bija no 7 līdz 9 t ha^{-1}, pie kam

minerālmēslu lietošana nodrošināja vismaz 30 – 50% papildu ražas pieaugumu (Adamovičs, Dubrovskis, Plūme, u.c., 2009).

Slovākijā veiktie pētījumi 60 gadu garumā ļauj secināt, ka visaugstākā zālaugu biomasas raža ar augstāko makroelementu saturu tika iegūta, lietojot augstas NPK devas ($N_{200}P_{62}K_{166}$). Tomēr attiecībā uz augsnes organisko vielu kvalitāti un daudzumu, vislabvēlīgākā ietekme panākta, lietojot zemas NPK devas ($N_{50}P_{15}K_{42}$). Lai sasniegtu vēlamos mērķus gan zālaugu produktivitātes, gan vides aspektu ziņā, kas saistītu ekoloģiskos ieguvumus ar sociālajiem ieguvumiem ilgtermiņā, ieteicams lietot vidējas mēslojuma devas ($N_{100}P_{31}K_{83}$) (Vargova, Kanianska, Kizekova, 2020).

Palielināts kālija, kalcija, magnija un nātrija saturs zālaugu biomasā salīdzinājumā ar koksni bieži vien ir izskaidrojams ar pesticīdu un mēslojuma lietošanu (Vassilev, Baxter, Andersen, Vassileva, 2010; Williams, Jones, Ma, Pourkashanian, 2012). Fosfora un kālija saturs augos atkarīgs galvenokārt no dotā mēslojuma. Fosfora saturu ietekmē arī slāpekļa mēslojums, bet augsnes nodrošinājums ar augu barības elementiem augu sastāvu ietekmēja tikai nemēslotajos variantos vai mēslojot ar nelielām devām (Bērziņš, Būmane, Antonijs, 2001). Plānojot zālaugu mēslošanu bioenerģijas vajadzībām, jāizvairās no pārmērīgu mēslojuma devu lietošanas, jo tas var lieki palielināt slāpekļa, kālija, fosfora un sēra koncentrāciju zālaugu ražā (Katterer, Andren, Pettersson, 1998).

1.3.3. Biomasas novākšana

Kaut arī biomasas ražošanu var ietekmēt specifiski vides apstākļi kultūraugu audzēšanas laikā, pētījumu rezultāti liecina, ka izšķiroša nozīme izejmateriāla kvalitātes nodrošināšanā ir ražas novākšanai (Kandel, Elsgaard, Andersen, Larke, 2016). Neatbilstoša kvalitāte var būt par iemeslu būtiskam biomasas enerģētiskās vērtības un līdz ar to nosacīti arī biomasas ražas samazinājumam, jo samazinās kurināmā siltumspēja (Demirbas, 2004; Monti, Virgilio, Venturi, 2008). Biogāzes ražošanai zālaugu biomasu var vākt gan veģetācijas laikā vasarā, gan rudenī, kad augi jau sāk nobriest, savukārt termoķīmiskajai pārstrādei tie parasti tiek vākti vienu reizi gadā augu atmiršanas fāzē, kad mitruma un minerālvielu koncentrācija ir ievērojami samazinājusies (Jørgensen, Sander, 1997; Pahkala, Pihala, 2000). Tas samazina dažāda veida piesārņotāju un koroziju izraisošu savienojumu veidošanos paaugstināta slāpekļa, sēra un hlora satura dēļ (Landstrom, Lomakka, Anderson, 1996; Obernberger, Brunner, Barnthaler, 2006).

Minerālvielu saturs atšķirīgās attīstības fāzēs. Veģetācijas gaitā zālaugu ķīmiskais sastāvs ievērojami mainās. Vērtējot minerālvielu koncentrāciju zālaugu biomasā atšķirīgās attīstības stadijās, augstākā parasti novērota augu aktīvas veģetācijas laikā, un tā samazinās līdz ar augu nobriešanu. Pēc ziedēšanas augšana strauji mazinās, palēninās bioķīmisko procesu norises audos. Līdz ar to ievērojami mazinās nepieciešamība pēc barības vielām un to uzņemšana no augsnes. Pamazām sākas pretēji procesi, kad daudzas augu barības vielas no atmirstošajām augu daļām pārvietojas atpakaļ uz saknēm (Christian, Yates, Riche, 2006). Lietuvā veiktajos pētījumos secināts, ka miežabrālis intensīvi aug līdz jūnijam. Pa gadiem vērojamas atšķirības, tomēr kopumā augstākais punkts tika sasniegts jūnija vidū, un tad tālākā augšana apstājās (Jasinskas, Zaltauskas, Kryzeviciene, 2008). Minerālvielu saturu biomasā var stipri ietekmēt pļāvumu skaits. Slāpeklis vairāk koncentrējas lapās un jaunajos dzinumos (Lanning, Eleuterius, 1989). Pļaujot miežabrāli atmiršanas fāzē vēlu rudenī vai pavasarī pēc ziemošanas, nepieciešamas zemākas mēslojuma devas, jo liela daļa slāpekļa un citu barības vielu ir pārvietojusies uz sakneņiem, bet daļa minerālvielu izskalojušās (Burvall, 1997; Kering, Butler, Biermacher, Guretzky, 2012). Tas ļauj iegūt kvalitatīvāku izejmateriālu termoķīmiskajai pārstrādei, veicina strauju augu ataugšanu pavasarī (Partala, Mela, Esala, Ketoja, 2001) un samazina augu barības elementu iznesi (Hadders, Olsson, 1997). No lauka tiek novests mazāks augu barības elementu daudzums, un jaunās ražas veidošanai nepieciešamas attiecīgi mazākas mēslojuma normas (Lindvall, Gustavsson, Samuelsson et al., 2015).

Pļaušanas laika ietekme uz biomasas ražu. Vairākos pētījumos apstiprinājies, ka pļaušanas režīmam ir izšķiroša loma auzeņairenes ražībā. Dānijā tika salīdzināta auzeņairenes un niedru auzenes raža divu un trīs pļāvumu režīmā. Divu pļāvumu režīmā pirmais pļāvums tika veikts trīs atšķirīgos termiņos: 1) pirms skarošanas; 2) ziedkopu parādīšanās laikā; 3) ziedēšanas beigās. Augstākā raža iegūta veicot vai nu trīs pļāvumus, vai divus pļāvumus pie nosacījuma, ka 1. pļāvums tiek veikts ziedēšanas beigās. Veicot pirmo pļāvumu agrīnākā stadijā, divu pļāvumu režīmā auzeņairenes raža bija būtiski zemāka nekā trīs pļāvumu režīmā. Ņemot vērā ražas starpību pļaušanas režīmos, bioenerģijas ražošanai rekomendē izmantot mazāk intensīvo divu pļāvumu režīmu, veicot pirmo pļāvumu ziedēšanas beigās (Kandel, Elsgaard, Andersen, Larke, 2016). Polijā, kur salīdzinājumā ar Baltijas valstīm un Skandināviju ir maigāks un mitrāks klimats, miežabrāļa pļaušanu praktizē 2 – 3 reizes sezonā līdz vēlam rudenim (Ksiezak, Faber, 2007). Tomēr joprojām tiek diskutēts par optimālo pļaušanas laiku (Kolodziej, Stachyra, Antonkiewicz et al., 2016).

Biežāka pļaušana rada lielāku slodzi apkārtējai videi intensīvākas mēslošanas dēļ, kas nepieciešama zelmeņu ataugšanai (Kandel, Elsgaard, Karki, Lærke, 2013). Ideālie zālaugi bioenerģijas ražošanai ir tādi, kuri spēj nodrošināt augstas biomasas ražas ar atbilstošu kvalitāti mazāk intensīvā pļaušanas režīmā (Kandel, Elsgaard, Andersen, Lærke, 2016). Tas samazina arī ražošanas izmaksas. Pļaujot miežabrāli vienu reizi sezonā, palielinās zelmeņa izmantošanas ilgums, tiek taupīti resursi. Arī Igaunijā miežabrālis divu pļāvumu režīmā nodrošināja augstas ražas un noturību zelmenī, kamēr trīs pļāvumu režīmā ievērojami samazinājās nākamo gadu ražas līmenis un augu noturība (Annuk, Allik, Annuk, 2017). Vācot ražu pēc ziemošanas, jārēķinās ar "ziemas zudumiem", kas ietver mehāniskos lapu zudumus pļaušanas un sniega dēļ, kā arī minerālvielu izskalošanos. Pavasarī vāktajam miežabrālim Zviedrijas dienvidu daļā tika konstatēts ražas samazinājums 25% apmērā, Zviedrijas ziemeļos – 15% (Landström, Lomakka, 1996). Lietuvā miežabrāļa sausnas ražas samazinājums, pļaujot martā, svārstījās 14 – 35% robežās salīdzinājumā ar sausnas ražu septembrī (Jasinskas, Zaltauskas, Kryzeviciene, 2008).

Pļaušanas laika ietekme uz biomasas kvalitāti. Daudzi izmēģinājumu rezultāti liecina, ka augstākas kvalitātes biomasu tiešajai dedzināšanai nodrošina viena pļāvuma režīms (Sanderson, Adler, 2008; Kering, Butler, Biermacher, Guretzky, 2012). Slāpekļa un kālija koncentrācija parasti samazinās pēc augu nobriešanas (Sanderson, Adler, 2008; El-Nashaar, Griffith, Steiner, Banowetz, 2009). Biokurināmā ražošanai galvenā nozīme ir ogļhidrātu saturam, nevis proteīnam, tāpēc zālaugus ieteicams vākt vēlu rudenī, kad augi sāk atmirt (Hadders, Olsson, 1997; Xiong, Landstrom, Olsson, 2009; Adamovics, Platace, Gulbe, Ivanovs, 2017). Lai nodrošinātu kvalitatīvu izejmateriālu kurināmajam, vēsajā Ziemeļvalstu klimatā miežabrāļa pļaušana tiek praktizēta ziemā vai agri pavasarī (Burvall, 1997; Lewandowski, Scurlock, Lindvall, Christom, 2003). Atliekot zālaugu pļaušanu uz vēlu rudeni vai nākamā gada pavasari, būtiski samazinās sārmu metālu koncentrācija (Landström, Lomakka, Anderson, 1996; Hadders, Olsson, 1997; Alburquerque, Fuente, Ferrer-Costak et al., 2012; Thumm, Raufer, Lewandowski, 2014). Tas nodrošina labāku kurināmā kvalitāti, mēslošanas līdzekļu ekonomiju un sekmē zelmeņu ilgtspējīgu izmantošanu (Paine, Peerson, Undersander et al., 1996; Kering, Butler, Biermacher, Guretzky, 2012).

Zelmeņa pļaušanas laikā vasarā vairāk nekā 30% no miežabrāļa svaigās masas sastāv no lapām. Ziemā sniega un vētru rezultātā rodas salīdzinoši augsts lapu zudums, kas pavasarī ievāktajā zālaugu masā palielina stiebru īpatsvaru. Tāpēc pēc ziemošanas vāktais miežabrālis nodrošina kvalitatīvāku izejmateriālu biokurināmajam. Vācot miežabrāli agri pavasarī, ir daudz lielākas iespējas iegūt izejmateriālu, kura sausnas saturs atbildīs granulu ražošanas standartiem. Sausie un vēsie apstākļi ziemas laikā pozitīvi ietekmē biomasas kvalitāti, palielinot sausnas saturu un samazinot minerālvielu klātbūtni biomasā (Christian, Yates, Riche, 2006). Pēc ziemošanas vāktā biomasa nav jāžāvē, tai ir zems mitruma saturs (10 – 15%), kā arī pazeminās pelnu un dažādu ķīmisko elementu (Na, Si, K, Cl, Mg) saturs. Konstatēts, ka pelnu saturs biomasā ziemošanas laikā samazinājās par 20 – 25% (Landström, Lomakka, Anderson, 1996;

Xiong, Zhang, Zhang, Olsson, 2008). Ziemošanas laikā būtiski izmainās atsevišķu minerālvielu koncentrācija miežabrāļa lapās un stiebros (1.4. tab.).

1.4. tabula

Miežabrāļa stiebru un lapu ķīmiskais sastāvs
(sagatavots pēc Landström, Lomakka, Anderson, 1996)

Elements	Vidēji lapās, %		Vidēji stiebros, %	
	vasarā	pavasarī	vasarā	pavasarī
N	2.32	1.86	0.62	0.70
K	1.59	0.35	0.90	0.24
P	0.25	0.20	0.11	0.08
Ca	0.69	0.35	0.10	0.12
Mg	0.26	0.10	0.06	0.04
Cl	1.07	0.10	0.52	0.11
Pelni	8.51	6.60	4.21	3.42

Līdz ar augu atmiršanu un iespējami novilcinātu pļaušanas laiku samazinājās sārmu metālu un hlora koncentrācija biomasā (Burvall, 1997). Kritiskais hlora saturs biomasā ir 2 g kg^{-1}. Pavasarī vāktajā biomasā hlora un kālija koncentrācija bija apmēram 6 reizes zemāka, ievērojami bija samazinājies arī pelnu saturs – no 5.9% augustā līdz 4.7% martā (Landström, Lomakka, Anderson, 1996; Obernberger, Brunner, Barnthaler, 2006). Visciešākā korelācija ar ražas laiku un pelnu saturu biomasā novērota hloram (Xiong, Zhang, Zhang, Olsson, 2008), jo nokrišņu ietekmē liela daļa biomasā esošā hlora izskalojas. Arī izmēģinājumos Čehijā secināts, ka pļaušanas laiks būtiski ietekmē šo rādītāju – zemākais hlora saturs (0.16 g kg^{-1}) bija pavasarī vāktajā zālaugu biomasā (Kocourkova, Hakl, Fuksa et al., 2006).

Līdzīgas tendences novērotas arī attiecībā uz sēra saturu. Parasti augos ir samērā zems sēra saturs, lielākoties tas svārstās no 1 līdz 2 g kg^{-1} S (Lewandovski, Kircherer, 1997). Čehijā veiktajos izmēģinājumos (Kocourkova Hakl, Fuksa, et al., 2006) augu suga un mēslojums biomasas kvalitātes parametrus būtiski neietekmēja, bet labāku kurināmā kvalitāti kopumā nodrošināja vienu reizi sezonā vāktā biomasa. Salīdzinot pelnu saturu divu pļāvumu režīmā, augstāks rādītājs bija otrajam pļāvumam (2.3 g kg^{-1} S). Biomasas vākšana pavasarī pozitīvi ietekmēja arī pelnu kušanas temperatūras izmaiņas. Daļēji lapu zudumi un sārmu metālu izskalošanās ziemas periodā nodrošināja pelnu kušanas temperatūras paaugstināšanos no 1070°C rudenī līdz 1400ºC pavasarī (Burvall, 1997).

Kopsavilkums. Lai nodrošinātu augstas zālaugu sausnas ražas ar bioenerģijas ražošanai atbilstošu biomasas kvalitāti, būtiska loma ir agrotehnisko pasākumu kompleksam, sākot ar nepieciešamo augu barības elementu nodrošinājumu un izmantošanas mērķim atbilstoša pļaušanas režīma piemērošanu. Viens no galvenajiem trūkumiem zālaugu izmantošanā kurināmā ražošanai ir paaugstināts pelnu un sārmu metālu saturs. Daudzviet veikto izmēģinājumu dati liecina, ka pelnu un minerālelementu daudzumu var būtiski samazināt, veicot pļaušanu zālaugu atmiršanas fāzē. Biogāzes ražošanai zālaugu biomasu var vākt gan veģetācijas laikā vasarā, gan rudenī, kad augi jau sāk nobriest, savukārt termoķīmiskajai pārstrādei zālaugu pļaušanu ieteicams atlikt uz iespējami vēlāku termiņu, kad mitruma un minerālvielu koncentrācija sausnā ir ievērojami samazinājusies.

1.4. Bioenerģētiskie augi un barības elementu aprite zemkopībā

Intensīvās lauksaimniecības sistēmas rada lielu atkritumu daudzumu noteiktās teritorijās, kam ir nepieciešams apsaimniekošanas plāns. Tiek lēsts, ka ik gadu jūrā no Baltijas jūras sateces

baseina ieplūst 761 000 t slāpekļa un 37 500 fosfora (Granstedt, 2000). Atkritumu politika mūsdienu sabiedrībā ir vērsta uz to, lai samazinātu atkritumu rašanās negatīvo ietekmi uz cilvēku veselību un vidi. Eiropā attīstās cirkulārās ekonomikas (EC, 2014) un bioekonomikas stratēģijas (EC, 2012) idejas, veicinot ilgtspējīgu un integrētu bioloģisko resursu un atkritumu izmantošanu, lai ražotu pārtiku, enerģiju un bioloģiskos produktus (Bernal, 2017). Lauksaimniecības sektorā līdz ar biomasas ražu no lauka tiek aizvākti arī minerālie elementi, tostarp slāpeklis, fosfors un kālijs, kas ir nozīmīgi augu barības elementi un kuri jākompensē kultūraugu jaunās ražas veidošanai ilgtspējīgas ražošanas un ekosistēmas pakalpojumu nodrošināšanai (Paine, Peerson, Undersander et al., 1996; Roth, Sample, Ribic et al., 2005). Precīzi nav zināms fosfora un kālija daudzums, kas kopā ar oglekli tiek aizvākti ar ražu, bet ir dokumentētas dažu zālaugu sugu genotipiskās atšķirības minerālvielu uzkrāšanās procesos (Christian, Yates, Riche, 2006; Lewandowski, Scurlock, Lindvall et al., 2003). Vides un genotipa mijiedarbība, kas ietekmē minerālvielu uzkrāšanos, joprojām ir vāji izprotama (El-Nashaar, Griffith, Steiner, Banowetz, 2009).

Tāpat joprojām nav īsti skaidra organisko atkritumu izmantošanas ietekme uz augsnes ekosistēmu. Pozitīvie efekti ir saistīti ar tajos esošo organisko vielu, kas palielina humusa saturu un augsnes bioloģisko daudzveidību, kā arī veicina mikroorganismu aktivitāti. Tajā pašā laikā tam var būt arī negatīva ietekme uz augsnes mikroorganismiem iespējamā piesārņojuma, galvenokārt smago metālu dēļ. Tādēļ atkritumproduktu izmantošanai mēslošanā ir jābūt pietiekami pamatotai un drošai (Bernal, 2017). Marginālās zemēs izmantoto mēslošanas līdzekļu kontrolei jābūt vēl stingrākai, jo pastāv papildu riski. Taču, izmantojot produktus, kuru kvalitāte ir normatīvos paredzētajās robežās, nepārsniedzot augu barības elementu un smago metālu pieļaujamās normas, vides riski mazinās.

Organiskie atkritumi tiek uzskatīti par svarīgu antropogēno izmešu avotu, un tie ietekmē vides kvalitāti gan reģionālā (eitrofikācija, paskābināšanās), gan pasaules mērogā (klimata pārmaiņas). Organiskā oglekļa degradācija mikroorganismu ietekmē ir saistīta ar N_2O un CH_4 emisijām. Lai efektīvi mazinātu gāzveida emisijas no cietiem atkritumiem, jāveic pasākumi visos sistēmas līmeņos: no dzīvnieku barības un kūtsmēslu pārvaldības saimniecībā līdz uzglabāšanas un apstrādes sistēmām (piemēram, anaerobā fermentācija, biofiltrācija un kompostēšana), kā arī atbilstošai to iestrādei augsnē (Chadwick, Sommer, Thorman et al. 2011; Pardo, Moral, Aguilera, Del Pado, 2015; Bernal, 2017).

Lauksaimniecība ir būtiski veicinājusi barības elementu izskalošanās pieaugumu. Viens no svarīgākajiem augu barības vielu zudumu iemesliem ir saimniecību specializācija: viena veida saimniecības specializējas kultūraugu ražošanā, pamatojoties uz minerālmēslu plašu izmantošanu, bet citas specializējas dzīvnieku audzēšanā ar augstu iepirktās lopbarības daudzumu un augu barības elementu pārpalikumu neefektīvi izmantotu kūtsmēslu veidā. Arī jaunu nozaru attīstība, t.sk., bioenerģijas ražošana no augu biomasas, ir palielinājusi dažādu blakusproduktu, t.sk., pelnu un digestāta apjomus, kam svarīgi rast drošu pielietojumu. Lai mazinātu augu barības elementu zudumus no lauksaimniecības sistēmām, nepieciešams racionāls barības elementu aprites plāns.

Mūsdienu lauksaimniecība ir ļoti atkarīga no rūpnieciski ražotiem mēslošanas līdzekļiem, īpaši slāpekļa un fosfora mēslojuma. To ražošana atstāj lielu ietekmi uz vidi vietējā, reģionālā un pasaules mērogā. Lai gan pēdējos 100 gadus mēslojuma tehnoloģijās arvien vairāk tiek izmantoti atjaunojamie resursi, lielākā daļa ražoto produktu joprojām balstās uz minerālu atradnēm un fosilo kurināmo. Eiropas Komisija ir noteikusi mērķi par 30% samazināt neatjaunojamo resursu izmantošanu mēslošanas līdzekļu ražošanā (Chojnacka, Moustakas, Witek-Krowiak, 2020). Intensīva minerālmēslu izmantošana izraisa ūdens piesārņojumu, barības vielu zudumus un augsnes pasliktināšanos. Tiek lēsts, ka 30 – 50% augu barības elementu no lietotajiem minerālmēsliem vai nu izskalojas gruntsūdeņos, vai arī iztvaiko gaisā. Minerālmēslu lietošanas apjomus var samazināt, ņemot vērā augsnes tipu, barības elementu izdalīšanās ātrumu un augu maiņu (Wang, Zhu, Zhang, Wang, 2018).

Barības elementu resursi strauji izsīkst. Aizvien aktuālāka kļūst minerālmēslos esošo augu barības elementu aizstāšana ar atkritumproduktos esošajiem, kas ļauj kāpināt biomasas ražas un sekmēt barības elementu recirkulāciju, samazinot nepieciešamību pēc mēslojuma, kura ražošanā izmanto fosilo enerģiju (Holm-Nielsen, Al Seadi, Oleskowicz-Popiel, 2009). Pārejot no ekonomikas ar intensīvu fosilās enerģijas izmantošanu uz ekonomiku, kura balstīta bioloģisko resursu izmantošanā, par svarīgu izaicinājumu kļūst atkārtota augu barības elementu izmantošana, nepieļaujot to nonākšanu atkritumu plūsmās, kā tas nereti noticis iepriekš (Christel, Bruun, Magid, Jensen, 2014). Minerālmēslu ražošanai tiek izmantots ievērojams daudzums fosilās enerģijas, turklāt enerģijas un mēslošanas līdzekļu izmaksas pieaug. Tajā pašā laikā biogāzes ražošana, tāpat kā biomasas dedzināšana rada augu barības vielām bagātus blakusproduktus – digestātu un pelnus, kurus var atkārtoti izmantot kā zaļos mēslošanas līdzekļus. Minerālmēslu aizstāšana ar bioloģiskām alternatīvām ir svarīgs materiālu un enerģijas reģenerācijas virziens (Christel, Bruun, Magid, Jensen, 2014).

Izmēģinājumos Beļģijā tika vērtēta enerģētisko kultūraugu biogāzes raža un veikts mēslošanas ekonomiskais un ekoloģiskais izvērtējums. Digestāts sekmēja nebūtisku kultūraugu ražas un tās fizikāli ķīmisko īpašību, kā arī augsnes auglības un augsnes kvalitātes uzlabošanos salīdzinājumā ar līdz šim izplatīto praksi, mēslošanā izmantojot kūtsmēslus un minerālmēslus. Turklāt tika novērots, ka digestāta izmantošana stimulēja fosfātu un kālija mobilizāciju no augsnes, tādējādi palielinot augsnes barības vielu izmantošanas efektivitāti. Visos atkārtotas barības vielu izmantošanas variantos enerģētiskais potenciāls uz novāktās kukurūzas hektāru, kā arī aprēķinātie ekonomiskie un ekoloģiskie ieguvumi bija lielāki salīdzinājumā ar tradicionālo. Tas apstiprina, ka Eiropas likumdošanā jāstimulē bioloģisko produktu atkārtota izmantošana, kas sekmētu augu barības elementu piegādi lauksaimniecībā izmantotajām platībām (Vaneeckhaute, Meers, Ghekiere, et al., 2012).

Statistikas dati liecina, ka 2011. gadā 27 ES valstīs uz 144.4 miljoniem hektāru lauksaimniecības zemes sezonā tika izmantoti 10.2 miljoni tonnu slāpekļa (N), 2.2 miljoni tonnu fosfora (P_2O_5) un 2.4 miljoni tonnu kālija (K_2O). Prognozes paredz, ka līdz 2021. gadam uz 133.7 miljoniem hektāru šie mēslojuma patēriņa rādītāji sasniegs attiecīgi 10.8, 2.6 un 3.2 miljonus tonnu (Chojnacka, Moustakas, Witek-Krowiak, 2020). Tomēr vairāku minerālu, piemēram, fosfora rezerves strauji izsīkst (Fixen, Johnston, 2012). Ja lauksaimniecība arī turpmāk būs atkarīga no augstām fosfora minerālmēslu devām, prognozes liecina, ka līdz 2100. gadam tiks izsmelts vairāk nekā 50% no kopējās resursu bāzes (Van Vuuren, Bouwman, Beusen, 2010; Christel, Bruun, Magid, Jensen, 2014). Tie ir ļoti nopietni draudi fosfora piegādes garantijām, jo pieprasījums pēc barības elementiem joprojām palielinās. Šī nelīdzsvarotība starp pieejamību un pieprasījumu tuvākajā nākotnē ievērojami paaugstinās augu mēslošanas līdzekļu cenas. Turklāt vēl viens svarīgs cenu ietekmējošs faktors ir fosilās enerģijas pieaugošās izmaksas, jo pastāv spēcīga pozitīva korelācija starp enerģijas cenām un mēslošanas līdzekļu izmaksām (Chojnacka, Moustakas, Witek-Krowiak, 2020).

Eiropas Savienībā 25% augsnes ir zems augiem pieejamā fosfora līmenis (Vaneeckhaute, Janda, Vanrolleghem et al., 2016). Tajā pašā laikā fosfāta ieži kopš 2014. gada maija ir iekļauti kritisko izejvielu sarakstā (Eiropas Komisija, 2014), tam vajadzētu sekmēt fosfora atgūšanu no notekūdeņiem un citiem atjaunojamiem avotiem. Minerālmēslu izmantošana ietekmē barības elementu, īpaši slāpekļa un fosfora, bioģeoķīmiskos ciklus, kas lielā mērā ietekmē eitrofikāciju. Fosfors izplatās vidē, nodarot tai kaitējumu, un tajā pašā laikā fosfora resursi nav atjaunojami, tie izsīkst (Svanbäck, McCrackin, Swaney et al., 2019). Reģenerētais fosfors var sekmīgi konkurēt ar fosilajiem mēslošanas līdzekļiem (Hukari, Hermann, Nättorp, 2016).

Pašlaik fosfora izmantošanas ķēde ir pusapaļa, jo 80% no šī elementa, iegūta no neatjaunojamiem resursiem, netiek izmantoti atkārtoti. Lielākā daļa tiek zaudēta pārtikas atkritumos, noplūst gruntsūdeņos un virszemes ūdeņos, kā arī uzkrājas augsnē, nogulumos vai nenovāktajā biomasā. Uzlabot fosfora izmantošanas efektivitāti un sekmēt tā reciklāciju var, atkārtoti izmantojot dzīvnieku, pārtikas, cilvēku un cita veida atkritumus (Chen, Graedel, 2016). Eiropa izmanto importētos minerālfosfātus, jo tai nav savu resursu. Minerālmēslu

piegādes ārpus ES var ietekmēt pārtikas drošību Eiropā, tāpēc ir jāvirzās uz aprites un resursu ziņā efektīvu ekonomiku, kas izmanto barības elementu pārstrādi no dažāda veida atkritumiem un novērš to zudumus (Cooper, Carliell-Marquet, 2013). Laba alternatīva ir daudzgadīgo zālaugu kultivēšana un to tieša vai netieša izmantošana enerģijas ražošanā. Zālaugi ar spēcīgo sakņu sistēmu spēj uzņemt fosforu un citus augu barības elementus no grūtāk šķīstošiem savienojumiem augsnē, savukārt, izmantojot enerģijas ražošanas blakusproduktus mēslošanā, uzņemtās minerālvielas iespējams atgriezt apritē. Pārejā no fosilās ekonomikas uz t.s. bioloģisko ekonomiku svarīgs izaicinājums ir maksimāla barības elementu cikla noslēgšana un pāreja uz ilgtspējīgāku resursu apsaimniekošanu gan no ekonomiskā, gan ekoloģiskā viedokļa.

Biofermentācija var palīdzēt noslēgt barības vielu ciklu, ļaujot iegūt mēslojuma aizstājējus. Ir lietderīgi izvērtēt biogāzes ražošanas potenciālu ražas novākšanas atliekām. Digestāta mēslojuma izmantošana var sekmēt kultūraugu ražas un augsnes auglības uzlabošanos. Parasti digestāts ir labs NPK avots un ir izmantojams kā efektīvs mēslošanas līdzeklis kultūraugiem, veicinot augu barības elementu reciklāciju un samazinot nepieciešamību pēc rūpnieciski ražotiem mēslošanas līdzekļiem (Holm-Nielsen, Al Seadi, Oleskowicz-Popiel, 2009). Eiropā un daudzviet citur pasaulē digestāts ir svarīgs barības elementu avots. Reģionos ar zemu uzturvielu saturu šis produkts, atgriezts lauksaimniecības zemē neapstrādātā veidā, nodrošina ilgtspējīgu alternatīvu minerālmēsliem. Turklāt, atkārtoti izmantojot bioloģiskās pārstrādes atkritumus, var uzlabot arī anaerobās fermentācijas iekārtu ekonomisko dzīvotspēju (Vaneeckhaute, Meers, Michels, et al., 2012). Dažās valstīs, piemēram, Vācijā, anaerobā fermentācija ir viena no galvenajām metodēm atkritumu biomasas pārvēršanai enerģijā (De Meester, Demeyer, Velghe et al., 2012). Labs fosfora avots ir arī notekūdeņu dūņas un pelni, kuriem piemīt arī skābi neitralizējošas īpašības.

Apjomīga pelnu utilizēšana atkritumu poligonos ir dārga un var radīt vides problēmas (Lindvall, Gustavsson, Samuelson et al., 2015), tāpēc pelnu kā alternatīva mēslošanas līdzekļa izmantošana atkārtotai augu nodrošināšanai ar barības vielām ir uzskatāma par perspektīvu resursu apsaimniekošanas ziņā. Tādā veidā ražas veidošanā izmantotie minerālelementi tiek atgriezti atpakaļ augsnē, sekmējot atkārtotu augu barības vielu izmantošanu, ražas pieaugumu un minerālmēslu ekonomiju. 2016. gadā Somijā veiktā pētījumā tika skaidroti pelnu utilizācijas vides un ekonomiskie aspekti. Izvērtējot koksnes pelnu aprites ciklu, secināts, ka to izmantošana meža mēslošanā samazina ietekmi uz vidi par 10 – 30%, salīdzinot ar deponēšanu, savukārt, globālās sasilšanas potenciāls samazinās par 93%. Ietekmes uz vidi samazinājums saistīts galvenokārt ar to, ka netiek izmantots rūpnieciski ražotais mēslojums, kas ļauj samazināt mēslojuma ražošanas procesā radušās emisijas (Vadlīnijas koksnes pelnu izmantošanai, 2016).

Arī notekūdeņu dūņas var būt nozīmīgs augsnes organisko vielu un augu barības elementu avots. Sadzīves notekūdeņu dūņu mēslojums satur ne tikai organisko vielu un straujai augšanai nepieciešamo slāpekli, bet arī fosforu un kāliju. Bioloģiskajās attīrīšanas iekārtās saražoto sadzīves notekūdeņu dūņas satur vidēji 51g kg^{-1} $N_{kop.}$, 17 g kg^{-1} $P_{kop.}$, un 65% no to masas ir organiskā viela (Lazdiņa, 2009). Ir stingri jāievēro dūņu izmantošanas kritēriji un mēslošanā pieļaujamās normas, ņemot vērā, ka dūņas satur arī noteiktu daudzumu videi un cilvēka veselībai kaitīgu vielu (Nikodemus, Kārkliņš, Kļaviņš, Melecis, 2008). Sadzīves notekūdeņu dūņas var būt vērtīgs minerālvielu avots augiem, kas netiek audzēti pārtikai, piemēram, energoaugiem, kur to izmantošana var kļūt par alternatīvu ilgstošai dūņu uzglabāšanai lagūnās. Notekūdeņu dūņu izmantošana energoaugu audzēšanā rada daudz pozitīvu vides un ekonomisku ieguvumu, un var daļēji aizstāt tradicionālo mēslošanas līdzekļu izmantošanu (Bengtsson, Tillman, 2004; Ahmed, Fawy, Abdel-Hady, 2010).

Kaut arī slāpekļa savienojumi dabā ir plaši sastopami, viena kilograma slāpekļa mēslojuma ieguvei no atmosfēras tiek patērēti gandrīz 60 MJ enerģijas (Huo, Verniks, 2012). Slāpekļa atkārtota izmantošana no biomasas atkritumproduktiem var būtiski ietekmēt vidi, sekmējot pat klimata pārmaiņu mazināšanu (Cobo, Dominguez-Ramos, Irabien, 2018). Liels daudzums no minerālmēslos esošā slāpekļa tiek zaudēts, daļa emitē, daļa tiek izskalota vai novadīta virszemes ūdeņos, izraisot to eitrofikāciju. Atlikušais slāpekļa daudzums augiem bieži

vien ir nepietiekams, tāpēc ir nepieciešama atkārtota mēslošana. Gandrīz visu slāpekļa saturu no biomasas atliekām var atgūt anaerobās fermentācijas laikā, izņemot nelielus zudumus, izdaloties gāzveida NH_3. Digestāts satur gan mineralizētu, gan organisku slāpekli (proporcijā 1: 1). Vairāk nekā 60% slāpekļa nonāk digestāta šķidrajā frakcijā, kas ir augiem viegli izmantojams. Nešķīstošā frakcija ir bagāta ar organisko slāpekli, kam raksturīga lēnāka izdalīšanās vidē (Zabaleta, Rodic, 2015). Kompostēšana izraisa daudz lielākus slāpekļa zudumus, galvenokārt izskalošanās un gāzveida produktu (amonjaka, slāpekļa vai slāpekļa oksīdu) izplūdes dēļ. Sadedzināšana rada gandrīz pilnīgu slāpekļa emisiju gāzveida fāzē, galvenokārt N_2 un NO veidā. Pelnos slāpekļa atlikumi ir ļoti nelieli, mērāmi pāris simtdaļās gramu uz kilogramu biomasas (Chojnacka, Moustakas, Witek-Krowiak, 2020).

Dažāda veida atkritumi var būt vērtīgs izejmateriāls enerģijas ražošanai, tomēr bieži vien tie nonāk atkritumu poligonos, radot neatgriezenisku zaudējumu nozarei un būtisku slogu videi. Pareizi sašķirojot un pārstrādājot atkritumus, var iegūt enerģiju, dažādus materiālus, tostarp labas kvalitātes mēslojumu (Ciesielczuk, Rosik-Dulewska, Poluszyńska et al., 2018). Izstrādājot jaunus mēslošanas līdzekļus, ir svarīgi tos novērtēt lauka apstākļos, izpētīt to ietekmi uz augsnes ražu un kvalitāti. Izmantojot atkritumproduktu vērtību jaunu mēslošanas tehnoloģiju izstrādē, ir svarīgi saglabāt uzturvielu līdzsvaru, ņemt vērā ekonomisko un vides novērtējumu, kultūraugu ražas un augsnes kvalitāti (Vaneeckhaute, Janda, Vanrolleghem et al., 2016).

Aprites ekonomikas koncepcijas pamatā ir atkārtota izmantošana, valorizācija, pārstrāde un dabisko ciklu izmantošana. Lai gan šis jēdziens ir plaši apspriests zinātniski un politiski, praksē tas šobrīd tiek izmantots tikai fragmentāri. Bioloģiskā mēslojuma tehnoloģiju izstrādē ir svarīgi vairāki aspekti: jāmazina ietekme uz vidi, jāizmanto atjaunojamie resursi, tehnoloģijām jānodrošina rentabilitāte un ekonomiskie ieguvumi ražojošajiem uzņēmumiem (Chojnacka, Moustakas, Witek-Krowiak, 2020). Lauksaimnieki nereti dod priekšroku minerālmēsliem, nevis bioloģiskiem mēslošanas līdzekļiem, kuru izmantošana prasa vairāk darba. Tāpēc ir vajadzīgi daži papildu stimuli pārliecināt lauksaimniekus uz atjaunojamo resursu bāzes ražotā mēslojuma izmantošanai, tā varētu būt valsts politika, subsīdijas, atbilstošas infrastruktūras izveide utt. (Wang, Zhu, Zhang, Wang, 2018).

Izmantojot mēslošanā bioenerģijas ražošanas blakusproduktus, svarīgi vērtēt to kvalitāti. Tie var saturēt arī nevēlamus elementus, tāpēc drošāk ir izmantojami enerģētisko augu mēslošanā, kur augu barības vielu aprites cikls ir īsāks un noslēgtāks: augsne – augs – energobloks – blakusprodukti – augsne. Šeit mēslošanas līdzekļos esošie elementi nenonāk pārtikas ķēdē, bet tāpat ir jāseko līdzi, kas un kādā daudzumā tiek ienests augsnē. Galvenā ietekme uz vidi, kas saistīta ar blakusproduktu apsaimniekošanu augsnes un augu sistēmās, ir potenciālais augsnes un ūdens piesārņojums ar barības elementiem, organisko oglekli, smagajiem metāliem, patogēniem, kā arī dažādiem organiskajiem piesārņotājiem. Ir nepieciešama precīza informācija par mēslošanas līdzekļu ķīmisko sastāvu (Alburquerque, Fuente, Ferrer-Costak et al., 2012; Bernal, 2017). Pētījumi gan pierāda – ja bioenerģijas ražošanas izejvielas ir augu valsts produkti un iekārtas darbojas labi, tad fermentācijas atlikumi un pelni parasti nesatur nevēlamus elementus toksiskā koncentrācijā (Lazdiņa, Bebre, Dūmiņš et al., 2017). Šajā darbā tiek pētīta energoaugu izmantošana, kurus biogāzes reaktoros parasti kombinē ar kūtsmēsliem. Šādā veidā iegūtais digestāts ir nosacīti drošs mēslošanas līdzeklis. Tas parasti atbilst mēslošanas līdzekļu minimālajiem kvalitātes kritērijiem. Palielināts smago metālu, antibiotiku vai citu piesārņotāju daudzums var rasties galvenokārt no lopkopības sektorā izmantotajām barības piedevām un ārstniecībā izmantotajiem preparātiem. Pirms digestāta izmantošanas veiktās analīzes ļauj precīzi aprēķināt mēslojuma normas un izslēgt augu produkcijas un augsnes piesārņošanas riskus.

Daudzgadīgo augu sējumos augu barības elementu aprite ir salīdzinoši stabila gada griezumā, jo augsne nepārtraukti ir nosegta ar veģetāciju. Novācot ražu, augs bojā neaiziet, biomasas mineralizācija nenotiek, visi elementi ir saistīti augu daļās. Pateicoties funkcionējošai sakņu sistēmai, tiek ierobežota arī augsnes erozija un augs turpina asimilēt augsnē esošās

barības vielas. Pareizi saplānojot mēslošanas līdzekļu lietošanas normas un režīmu, var praktiski izvairīties no barības elementu zudumiem. Atšķirībā no tradicionālās lauksaimniecības, kur lielākoties tiek audzēti viengadīgie kultūraugi, šeit izpaliek risks par augsnē esošo barības elementu izskalošanos vai emitēšanu, sistēma ir noturīga, jo tā ir slēgta. Pateicoties esošajai veģetācijai, dotais mēslojums tiek efektīvi izmantots – ātri saistīts augu audos jaunās ražas veidošanai, līdz minimumam samazinot zudumu risku. Izmēģinājumi apliecina, ka šķidrā mēslojuma, t.sk., digestāta virspusēja izmantošana platībās ar veģetāciju apmēram uz pusi samazina amonjaka emisiju apjomu salīdzinājumā ar tā lietošanu platībās bez veģetācijas (Pilecka, Grīnfelde, 2019).

Kopsavilkums. Mūsdienu lauksaimniecība ir ļoti atkarīga no rūpnieciski ražotiem mēslošanas līdzekļiem. Arī augstu zālaugu ražu ieguvei nepieciešams atbilstošs augu barības elementu daudzums, kurus var nodrošināt ar dažāda veida mēslošanas līdzekļiem. Minerālmēslu ražošanai tiek izmantots ievērojams daudzums fosilās enerģijas, turklāt enerģijas un mēslošanas līdzekļu izmaksas pieaug, bet augu barības elementu resursi strauji izsīkst. Tajā pašā laikā biogāzes ražošana un biomasas dedzināšana rada augu barības elementiem bagātus blakusproduktus – digestātu un pelnus, kurus svarīgi atkārtoti iekļaut apritē. Minētie blakusprodukti drošāk ir izmantojami enerģētisko augu mēslošanā, kur augu barības vielu aprites cikls ir īsāks un noslēgtāks, izslēdzot mēslošanas līdzekļos esošo elementu tiešu nonākšanu pārtikas ķēdē. Mēslošanas ziņā jācenšas ievērot līdzsvaru, lai intensīva fosilās enerģijas un minerālmēslu izmantošana bioenerģijas augu audzēšanā nenonivelētu to izmantošanas nozīmi. Augošajā bioenerģijas ražošanas sistēmas scenārijā jārēķinās ar ilgtspējīgu resursu izmantošanu. Svarīgs izaicinājums ir maksimāla augu barības elementu cikla noslēgšana un pāreja uz ilgtspējīgu resursu apsaimniekošanu, ļaujot saglabāt augsnes auglību ilgtermiņā.

1.5. Digestāta un koksnes pelnu agronomiskais novērtējums

Digestāts un koksnes pelni satur ievērojamu augu barības vielu daudzumu. Pelnu apglabāšana poligonos joprojām ir izplatīta prakse. Jādara viss iespējamais, lai veicinātu integrētu pieeju biomasas dedzināšanas rezultātā iegūto pelnu izmantošanai, tostarp iespējamai barības elementu reciklācijai jeb atgriešanai uz lauka (Samson, Mehdi, 1998; Bakker, Elbersen, 2005).

1.5.1. Digestāta raksturojums

Digestāts jeb fermentācijas atliekas rodas kā blakusprodukts biomasas anaerobās pārstrādes tehnoloģiskajā procesā, tas ir vērtīgs augu barības elementu avots (Risberg, Cederlund, Pell et al., 2017; Nkoa, 2014), satur daudzus augu augšanai nozīmīgus mikro un makroelementus, tāpēc tam ir liels potenciāls kā mēslošanas līdzeklim (Dubrovskis, Adamovics, 2012; Koszel, Lorencowicz, 2015). Kā izejviela anaerobajai pārstrādei var kalpot jebkura organiskā viela. Lauku reģionos tie var būt kūtsmēsli, pārtikas u.c. ražošanas uzņēmumu organiskie atkritumi, augkopības, meža un kokapstrādes atkritumi, kūdra, sadzīves organiskie atkritumi, notekūdeņu dūņas, augu zaļā masa u.c. (Nkoa, 2014). Piemērotākais materiāls biogāzes ražošanai ir kūtsmēsli, kas ir izplatītākais atkritumu veids lauksaimniecības reģionos. Anaerobā pārstrāde, kas notiek termofīlā režīmā, mēslus padara nekaitīgus un uzreiz izmantojamus. Arī putnu mēslus var izmantot biogāzes ražošanai, kaut arī to C/N attiecība nav metanoģenēzei tik labvēlīga, jo satur daudz slāpekļa. Vislielākais biogāzes ieguves potenciāls Latvijā ir enerģētiskajiem augiem (Adamovičs, 2007). Biogāzes reaktoros tie parasti tiek kombinēti ar kūtsmēsliem un citiem lauksaimniecības un pārtikas pārstrādes atkritumproduktiem.

Digestāta kvalitāte var būt ļoti atšķirīga, atkarībā no fermentēto izejvielu veida. Latvijas biogāzes stacijās digestāts tiek ražots no kūtsmēsliem un lauksaimniecības dūņām (85%), notekūdeņu dūņām (5%) un sadzīves atkritumiem (10%) (Kalniņa, Rugele, Rubulis, 2018). No higiēnas viedokļa digestāts ir mikrobioloģiski stabils produkts ar samazinātu patogēno baktēriju skaitu (Riva, Orzi, Carozzi et al., 2016). Digestāts satur daudzus augu barības elementus, t.sk., slāpekli neorganiskā veidā (vairāk nekā 60% no kopējā N), fosforu un kāliju, tam ir liels potenciāls kā organiskajam mēslojumam ar augstu bioloģisko pieejamību. Digestāts uzlabo arī augsnes kvalitāti, kā rezultātā iegūstamas augstākas ražas (Kataki, Hazarika, Baruah, 2017).

Digestāts kā materiāls, kas paliek pāri pēc biogāzes ražošanas, sastāv no šķidruma, kurā ir izšķīdušas minerālvielas, un nesadalītas organiskās vielas, kurā savukārt ir baktēriju šūnas un vielas ar augstu lignīna saturu. Savukārt digestātu, kā mēslošanai izmantojamu materiālu, atkarībā no sausnas satura, nosacīti var iedalīt divās grupās: šķidrā frakcija ar sausnas saturu <15% un cietā jeb separētā frakcija ar sausnas saturu virs 15%. Separētais digestāts var tikt izmantots līdzīgi kā komposts vai tikt kompostēts kopā ar dažādiem organiskajiem atkritumproduktiem (Mikled, Jiraporncharoen, Potikanond, 2002). Tā būtiska priekšrocība ir samazinātas transportēšanas izmaksas (Teglia, Tremier, Martel, 2011; Moller, Lund, Sommer, 2000). Cietā frakcija ir bagātāka ar fosforu un organisko slāpekli, savukārt šķidrā frakcija satur ievērojamu daudzumu slāpekļa augiem viegli pieejamā formā (Möller, Schulz, Müller, 2010). No agronomiskā viedokļa šķidrā frakcija ir viegli izkliedējama, pēc konsistences līdzīga šķidriem kūtsmēsliem.

Digestāts satur to pašu daudzumu slāpekļa, fosfora, kālija un citu minerālelementu kā oriģinālais materiāls pirms fermentācijas, tāpēc tas ir vērtīgs kultūraugu mēslošanas līdzeklis (Moller, Müller, 2012). Digestāta augstais mēslošanas potenciāls ir saistīts ar augstu augiem pieejamā fosfora, kālija un citu barības elementu saturu (Insam, Gómez-Brandón, Ascher, 2015). Digestāta cietā frakcija satur gan neorganisko, gan organisko P, bet šķidrajā frakcijā dominē neorganiskais P (Bachmann, Uptmoor, Eichler-Löbermann, 2016). Konkurētspējīgu ražu ieguvē būtiska loma ir lietotajam mēslojumam, kurā augu barības elementi atrodas vieglāk uzņemamā formā (Līpenīte, Kārkliņš, Ruža, 2015). Digestāta šķidro frakciju var izmantot mēslošanai, iestrādājot pamatmēslojumā un/vai lietojot kā papildmēslojumu pa augošiem augiem. Liela daļa digestātā esošā slāpekļa ir pārveidojusies amonija formā, tādēļ svarīgi to pēc iespējas ātrāk iestrādāt augsnē. Iestrādājot digestāta šķidro frakciju augsnē ar virskārtu uzirdinošo metodi, slāpekļa zudumi ir niecīgi. Šobrīd digestāta mēslojuma izmantošanu Latvijā regulē MK noteikumi Nr. 834[11], kur tā lietošana pielīdzināta kūtsmēslu izmantošanas prasībām.

Digestāta ķīmiskais sastāvs mainās atkarībā no substrāta un apstrādes procesa biogāzes iekārtā (Alburquerque, Fuente, Ferrer-Costak et al. 2012; Provenzano, Iannuzi, Fabbri, Senesi, 2011). Digestāts var saturēt savienojumus, kas stimulē vai inhibē augsnes mikrobioloģisko aktivitāti (Risberg, Cederlund, Pell et al., 2017). Dati par galvenajiem digestāta agroķīmiskajiem rādītājiem no atšķirīgiem literatūras avotiem apkopoti 1.5. tabulā. Fermentācijas procesā fermentējamā masā notiek dažādas ķīmiskās pārvērtības – amonija satura, pH, C:N attiecības u.c. izmaiņas, kas ietekmē augiem pieejamo mikro un makroelementu daudzumu. Pēc fermentācijas procesa organiskais slāpeklis bioreaktorā baktēriju darbības rezultātā ir pārveidojies minerālā formā, ir stipri palielinājies augiem viegli izmantojamā amonija slāpekļa ($N\text{-}NH_4^+$) daudzums (Mikled, Jiraporncharoen, Potikanond, 2002). Tomēr palielinātais amonija slāpekļa saturs fermentētajā masā negarantē lielāku slāpekļa uzņemšanas efektivitāti un slāpekļa mēslojuma ietaupījumu. Izmēģinājumos atklājās, ka slaucamo govju kūtsmēslu fermentācija samazināja tūlītēji pieejamā fosfora un mikroelementu daļu, tomēr tas

[11] MK noteikumi Nr. 834 Prasības ūdens, augsnes un gaisa aizsardzībai no lauksaimnieciskās darbības izraisīta piesārņojuma. [Tiešsaiste] [skatīts 2021. g. 4. augustā]. Pieejams: https://likumi.lv/ta/id/271376-prasibas-udens-augsnes-un-gaisa-aizsardzibai-no-lauksaimnieciskas-darbibas-izraisita-piesarnojuma

neietekmēja augiem izmantojamo barības vielu daudzumu lauka apstākļos (Moller, Muller, 2012).

1.5. tabula

Digestāta bioķīmisko īpašību apkopojums
(dati no dažādiem literatūras avotiem)

Rādītājs	Vērtības diapazons	Avots
Sausna, %	1.5 – 45.7	Svoboda et al. 2013; Teglia et al. 2011; Gutser et al. 2005
Organiskās vielas, % sausnā	38.6 – 75.4	Teglia et al. 2011; Möller et al. 2008; Voća et al. 2005
Kopējais N, % substrātā	0.12 – 1.5	Gutser et al. 2005; Poetsch et al. 2004
$N–NH_4$, % svaigā materiālā	0.15 – 0.68	Svoboda et al. 2013
$N–NH_4$, % no N_{kop}	35.0 – 81.0	Gutser et al. 2005; Möller et al. 2008; Martin 2004
C_{kop}, % sausnā	36.0 – 45.0	Möller et al. 2008
C:N	2.0 – 24.8	Gutser et al. 2005; Möller et al. 2008
P_{kop}, % svaigā materiālā	0.04 – 0.26	Möller et al. 2010
pH KCl	7.3 – 9.0	Chantigny et al. 2008; Möller et al. 2008;

Plašus pētījumus par digestāta ķīmiskajām īpašībām salīdzinājumā ar cūku šķidrmēsliem un liellopu šķidrmēsliem veikuši zviedru pētnieki (Risberg, Cederlund, Pell et al., 2017). Tika konstatēts, ka ievērojami atšķiras ķīmiskais sastāvs minēto materiālu starpā. Digestātu grupā novērots zemāks kopējā oglekļa saturs un salīdzinoši mazākas tā svārstības (4.3 – 34 kg t^{-1} C svaigā materiālā) nekā šķidrmēslos (attiecīgi 2.5 – 58.0 un 26.5 – 53.7 kg t^{-1} C). Attiecībā uz kopējo slāpekļa saturu būtiskas atšķirības starp digestāta, cūku šķidrmēslu un liellopu šķidrmēslu grupām netika novērotas (attiecīgi 2.4 – 7.6; 1.0 – 7.2 un 2.2 – 5.6 kg t^{-1} N). Organiskā slāpekļa (N_{org}) saturs svārstījās attiecīgi: 0.5 – 2.6; 0.2 – 3.0 un 1.4 – 2.6 kg t^{-1} N robežās. Ievērojami augstāks N_{org} saturs tika konstatēts liellopu un cūku šķidrmēslos salīdzinājumā ar digestātu. Savukārt digestātu grupai bija ievērojami lielāks amonija slāpekļa saturs nekā citām grupām, tas svārstījās starp: 1.9 – 5.3 (digestāts); 0.7 – 3.0 (cūku šķidrmēsli) un 0.7 – 3.2 (liellopu šķidrmēsli) kg t^{-1} $N–NH_4$. Secināts, ka digestātam piemīt gan stimulējoša, gan inhibējoša iedarbība uz potenciālo amonjaka oksidācijas ātrumu, kamēr nefermentētai vircai un šķidrmēsliem gandrīz visos gadījumos bija inhibējoša ietekme. Kopumā digestāta lietošana nepalielināja risku attiecībā uz augsnes mikrobioloģisko aktivitāti. Kūtsmēslu anaerobā fermentācija pirms mēslošanas līdzekļa lietošanas parasti tiek vērtēta pozitīvi, jo iegūtajam meteriālam ir augstāka mineralizēto augu barības elementu proporcija, kā arī fermentācijas rezultātā ievērojami samazinās smaku intensitāte (Insam, Gómez-Brandón, Ascher, 2015; Arthurson, 2009).

Organiskās frakcijas ir svarīgs aspekts digestāta izmantošanai, jo tās nodrošina augsnes organisko vielu apriti jeb reciklāciju, sekmējot bioloģisko, ķīmisko un fizikālo augsnes īpašību uzlabošanos (Jakobsen, 1995; Makadi, Tomocsi, Orosz, 2012). Digestāta kā organiskā mēslošanas līdzekļa lietošana var palielināt kopējo slāpekļa uzņemšanu, dodot būtisku ieguldījumu kultūraugu ražas paaugstināšanā (Möller, Stinner, Deuker, Leithold, 2008; Arthurson, 2009). Digestāta lietošana, ņemot vērā tā sastāvā esošos viegli degradējamos organiskos savienojumus, uzlabo arī augsnes fizikālās īpašības, kas var izpausties kā augsnes blīvuma samazināšanās, struktūras veidošanās, augsnes mitrumietilpības un ūdens vadītspējas palielināšanās (Garg, Pathak, Das, Tomar, 2005). Organisko atkritumu reciklēšana ir veids, kā uzturēt augsnes auglību ar tajā esošo barības elementu labvēlīgu režīmu kultūraugiem

(Tambone, Genevini, D'Imporzano, Adani 2009; Nkoa, 2014). Tam ir būtiska loma vides kvalitātes uzlabošanā.

Digestāta kā mēslošanas līdzekļa kvalitāte atkarīga gan no izejvielām, gan fermentācijas laika. Jo ilgāk norisinās fermentācijas procesi, jo vairāk samazinās organisko vielu daudzums (Stinner, Möller, Leithold, 2008). Salīdzinot fermentētos kūtsmēslus ar nefermentētajiem, novērota kopējā oglekļa samazināšanās par 25 – 50 % (Möller, Stinner, 2009). Pētījumos organiskās vielas degradēšanās norisinājās 11.1 – 38.4% apmērā, atkarībā no izejvielām un hidrolīzes procesa ilguma (Menardo, Gioelli, Balsari, 2011). Ja biogāzes stacijas noslogojums ir augsts un hidrolīzes process īss, tad digestāts var saturēt ievērojamu organisko vielu daudzumu, kas no biogāzes ražošanas viedokļa nav ekonomiski. Jāatzīmē, ka digestātā esošās organiskās vielas samērā vāji pakļaujas degradācijai (salīdzinot ar dzīvnieku ekskrementos esošajām), tādēļ digestāta lietošanas rezultātā var samazināties nevēlamo mikrobu degradācija un augsnes skābekļa patēriņš (Kirchmann, Bernal, 1997).

Digestāta pH līmenis. Digestāta kvalitāte ir atkarīga no hidrolīzes procesa un izejvielu sastāva, tādēļ tā izmantošana un lietošanas efektivitāte var būt ļoti atšķirīga. Tomēr ir vairākas likumsakarības, pēc kurām var vērtēt fermentācijas jeb hidrolīzes procesa rezultātus. Pirmkārt, tas ir digestāta pH līmenis. Parasti digestātam ir sārmaina reakcija jeb augsts pH līmenis, kurš fermentācijas procesā paaugstinās, bet tā diapazons atkarīgs no izejvielu un hidrolīzes procesu kvalitātes. Galējā vērtība nav atkarīga no sākotnējās vērtības (Makadi, Tomocsik, Orosz, 2012). Sārmainuma jeb pH līmeņa pieauguma rezultātā hidrolīzes procesā var rasties amonija karbonāts $(NH_4)_2CO_3$ (Georgacakis, Sievers, Ianotti, 1982). Paaugstināts pH līmenis veicina slāpekļa zudumus no digestāta amonjaka veidā un samazina fosfora izmantojamību augiem (Westerschulte, Federolf, Trautz et al., 2018). Lai samazinātu amonjaka emisijas atmosfērā digestāta uzglabāšanas un izkliedēšanas laikā, tiek praktizēta tā skābināšana, izmantojot sērskābi. Tas izmaina mēslojuma fizikāli ķīmiskās īpašības, palielinot augiem pieejamā slāpekļa un fosfora daudzumu. Gaistošais NH_3 tiek pārvērsts stabilākajā NH_4, kā arī tiek mazināta smaku intensitāte (Regueiro, Siebert, Liu et al., 2020). Ticis novērots, ka paskābinot cūku vircu līdz pH 5.5, fosfora pieejamība augiem palielinājās līdz 70% (Christensen, Hjorth, Keiding, 2009).

Piesārņotāji. Digestāts, atkarībā no izmantoto materiālu avota un veida, var saturēt arī nevēlamus komponentus, piemēram, smagos metālus (Kupper, Bürge, Bachmann et al., 2014; Odlare, Pell, Svensson, 2008), dažādus organiskos piesārņotājus un antibiotiku atliekas (Govasmark, Stäb, Holen et al., 2011; Hellström, Nilsson, Kylin, 2011). Piemēram, dzīvnieku un cilvēku izcelsmes atkritumi var saturēt dažādas patogēnas baktērijas, parazītus, vīrusus, mikroskopiskās sēnes u.c. Dažos pētījumos konstatēts, ka fermentācijas procesā var izdzīvot atsevišķas nezāļu sēklas (Bonetta, Bonetta, Ferretti et al., 2014). Tas izskaidro faktu, ka dažādi organiskie mēslošanas līdzekļi var ietekmēt augsnes mikroorganismu kopienu gan pozitīvi, gan negatīvi (Odlare, Pell, Svensson, 2008).

Digestāta ietekme uz augsnes īpašībām. Digestātam kā mēslojumam ir nozīmīga loma augsnes auglības palielināšanā. Vairāki pētījumi rāda, ka, lietojot vienādās devās digestātu un minerālmēslus, augstāku efektivitāti nodrošināja digestāta mēslojums (Mikled, Jiraporncharoen, Potikanond, 2002; Tilvikiene, Kadziuliene, Dabkevicius et al., 2014). Tomēr jāatzīst, ka šobrīd nav īsti izpētīta digestāta ietekme uz augsnes īpašībām ilgtermiņā. Četru gadu izmēģinājumu rezultāti Zviedrijā (Odlare, Pell, Svensson, 2008) parādījuši, ka dažādu organisko mēslošanas līdzekļu, t.sk., digestāta lietošanas rezultātā ievērojami izmainījās augsnes agroķīmiskās īpašības. Digestāta lietošanas rezultātā, salīdzinājumā ar citiem organiskajiem mēslošanas līdzekļiem, relatīvi palielinājās mikroorganismu biomasas apjoms augsnē, slāpekļa mineralizācijas intensitāte un amonija oksidēšanās potenciāls. Līdzīgi rezultāti iegūti arī citos pētījumos (Tiwari, Tiwari, Upadhyay, 2000).

Lauka izmēģinājumos nitrātu slāpekļa ($N–NO_3$) līmenis augsnē bija līdzīgs, mēslojot ar digestātu, cūku vai liellopu šķidrmēsliem, kā arī izmantojot minerālmēslus (Chantigny, Angers, Belanger et al., 2007). Mēslošana ar digestāta šķidro frakciju no lauksaimniecības atliekām

samazināja augsnes tilpummasu un palielināja tās ūdens vadītspēju, kā arī augsnes mitrumietilpību (Garg, Pathak, Das, Tomar, 2005). Ar ļoti retiem izņēmumiem, kas ir gadījumos, kad izejvielas ir ar ļoti augstu C/N attiecību, kopumā literatūrā tiek atspoguļoti dati par digestāta mēslojuma pozitīvo efektu uz augsnes īpašībām īstermiņā. To apliecina augsnes mikroorganismu masas pieaugums, kā arī slāpekļa un fosfora saturs (Tiwari, Tiwari, Upadhyay, 2000; Tambone, Genevini, Adani, 2007; Nkoa, 2014). Dažādie un pretrunīgie rezultāti, kas ziņoti par augsnes mikroorganismu reakcijām pēc digestāta un nefermentēta organiskā mēslojuma lietošanas, acīmredzot ir saistīti ar būtiskām kvalitātes atšķirībām starp šiem mēslošanas līdzekļiem, kā arī ar pētīto paraugu skaitu (Risberg, Cederlund, Pell et al., 2017).

Paredzams, ka digestāta izmantošana sārmainās reakcijas dēļ varētu paaugstināt augsnes pH līmeni. Tā ir vērtīga īpašība, jo visā pasaulē ir aktuāla augšņu paskābināšanās problēma. Tomēr ir pētījumi, kuros digestāta izmantošana praktiski neietekmēja augsnes pH izmaiņas (Odlare, Pell, Svensson, 2008; Fuchs, Schleiss, 2008). Digestāts var saturēt arī dažādus skābus savienojumus (piem., gallusskābi). Polikondensācija, saistīšanās ar organiskajiem un neorganiskajiem koloīdiem un šo skābju transformēšanās tāpat var ietekmēt augsnes ķīmiskās īpašības un rezultātā pat pazemināt augsnes pH, īpaši augsnēs ar augstu organiskās vielas un neorganisko koloīdu saturu (Tombacz, Szekeres, Baranyi, Micheli, 1998; Tombacz, Filipcsei, Szekeres, Gingl, 1999). Tādēļ ilgstoši izmantojot digestātu, jāveic regulārs augsnes pH monitorings.

Slāpekļa saturs digestātā ir augstāks nekā kompostos, kas skaidrojams ar augstāku slāpekļa koncentrāciju, jo anaerobās fermentācijas procesā degradējas CO_2 un CH_4, bet slāpeklis saglabājas (Tambone, Genevini, D'Imporzano, Adani, 2009). Slāpeklis amonija formā ($N–NH_4$) digestātā ir aptuveni 60 – 80% apmērā no kopējā slāpekļa satura, tā koncentrācija palielinās līdz ar proteīniem bagātu izejvielu pieaugumu. Organiskā slāpekļa pārvēršanās NH_4 formā ļauj augiem to izmantot nekavējoties (Hobson, Wheatley, 1992). Tomēr augsta minerālā slāpekļa koncentrācija, sevišķi vieglās augsnēs, var radīt arī slāpekļa zudumu riskus amonija emisiju (Riva, Orzi, Carozzi et al., 2016) un iespējamās nitrātu izskalošanās dēļ (Chu, Fujii, Morimoto et al., 2007).

Būtiska nozīme amonija emisiju ierobežošanai ir digestāta iestrādes dziļumam. Izkliedējot digestāta šķidro frakciju augsnes virspusē, potenciālie zudumi ir 20 – 35% no kopējā slāpekļa satura, kamēr tiešā iestrāde augsnē slāpekļa zudumus amonija formā samazināja līdz 2 – 3% (Nyord, Søgaard, Hansen, Jensen, 2008). Lai mazinātu slāpekļa zudumus un vides riskus, MK noteikumi Nr. 834[12] paredz, ka digestāts, lietots pamatmēslojumā, ir jāiestrādā augsnē 24 stundu laikā pēc izkliedēšanas, izņemot gadījumus, kad digestātu izkliedē pa augošiem augiem kā papildmēslojumu. Rudenī digestātu lauku mēslošanai lieto tikai kopā ar augu pēcpļaujas atliekām (rugājiem, sasmalcinātiem salmiem, zālāju sakņu masu), iestrādājot tās augsnē ar lobīšanu vai aršanu, vai citu līdzvērtīgu metodi.

Fosfora un kālija koncentrācija digestātā parasti ir augsta (Tambone, Scaglia, D'Imporzano et al., 2010), tāpēc digestāta izmantošana ir labs veids, kā papildināt nabadzīgu augsni ar minētajiem makroelementiem. Viss digestātā esošais fosfors atrodas augiem izmantojamās formās (Börjesson, Berglund, 2007). Vairumā gadījumu fosfora un kālija attiecība digestātā ir 1:3, kas ir ļoti atbilstoša proporcija daudziem kultūraugiem, jo īpaši zālaugiem. Sabalansētai visu barības elementu nodrošināšanai iespējams papildus izmantot minerālmēslus (Makadi, Tomocsik, Orosz, 2012).

Mikroelementu saturs. Augiem, dzīvniekiem un cilvēkiem normālai funkcionēšanai niecīgos daudzumos ir vajadzīgi arī mikroelementi, t.sk., smagie metāli kā varš (Cu), cinks (Zn). Tajā pašā laikā citi, piemēram, kadmijs (Cd), hroms (Cr), dzīvsudrabs (Hg), svins (Pb) ir

[12] MK noteikumi Nr. 834 Prasības ūdens, augsnes un gaisa aizsardzībai no lauksaimnieciskās darbības izraisīta piesārņojuma. [Tiešsaiste] [skatīts 2020. g. 24. novembrī]. Pieejams: https://likumi.lv/ta/id/271376-prasibas-udens-augsnes-un-gaisa-aizsardzibai-no-lauksaimnieciskas-darbibas-izraisita-piesarnojuma

toksiski. Smagie metāli, atšķirībā no organiskajām vielām, nenoārdās hidrolīzes procesā. Galvenie smago metālu avoti ir lopbarības piedevas, pārtikas rūpniecība, dažādi atkritumi, t.sk., sadzīves notekūdeņi (Makadi, Tomocsik, Orosz, 2012). Izmēģinājumos konstatēts, ka pie digestāta normas 150 kg ha^{-1} N kopējā radītā smago metālu (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) slodze augsnē bija mazāka salīdzinājumā ar kompostu vai notekūdeņu dūņu izmantošanu (Pfundtner, 2002).

Digestāta mēslojuma efektivitāte. Saskaņā ar publicētajiem pētījumiem atrodams diezgan daudz informācijas par digestāta fizikāli ķīmiskajām īpašībām, kamēr līdz šim iegūtie rezultāti par mēslošanas efektivitāti nav viennozīmīgi, tā joprojām tiek vērtēta (Teglia, Tremier, Martel, 2011; Makadi, Tomocsik, Orosz, 2012; Bonetta, Bonetta, Ferretti et al., 2014; Tilvikiene, Venslauskas, Povilaitis et al., 2020). Tiek atzīts, ka digestāta lietošana palielina graudaugu (Garg, Pathak, Das, Tomar, 2005; Moller, Stinner, Deuker, Leithold, 2008), kukurūzas, lucernas (Barbosa, Nabel, Jablonowski, 2014) un ganību airenes ražas (Gunnarsson, Bengtsson, Caspersen, 2010). Zviedru zinātnieku (Odlare, Pell, Svensson, 2008) pētījumos konstatēts, ka digestāta mēslojums graudaugiem bijis efektīvāks salīdzinājumā ar nefermentētiem šķidrmēsliem no cūku un liellopu novietnēm. Turklāt digestāts ievērojami stimulēja nitrifikācijas procesus augsnē un augsnes elpošanu. Savukārt citos pētījumos (Abubaker, Cederlund, Arthurson, Pell, 2013) augstāka biomasas raža iegūta, mēslošanā izmantojot cūku šķidrmēslus. Kamolzāles mēslošanā Lietuvā, izmantojot minerālmēslus un digestātu, iegūti līdzvērtīgi rezultāti: pie normas 180 kg ha^{-1} N abi mēslošanas līdzekļi nodrošināja līdzvērtīgu biomasas sausnas ražu, savukārt pie normas 360 kg ha^{-1} N nedaudz augstāka raža tika iegūta digestāta variantā (Tilvikiene, Kadziuliene, Dabkevicius et al., 2014).

Igaunijā veiktajos pētījumos tika salīdzināta digestāta, nefermentētu liellopu šķidrmēslu un minerālmēslu ietekme uz zālaugu ražu, kā arī tika vērtēta dažādas izcelsmes digestātu efektivitāte. Mēslojuma norma 180 kg N ha^{-1} tika rēķināta pēc N–NH_4 daudzuma. Mēslojums tika izkliedēts veģetācijas sākumā un pēc pļāvumiem, dalot kopējo daudzumu trīs lietošanas reizēs. Pētījumi parādīja, ka digestāta lietošana, balstīta uz N–NH_4 saturu ir efektīvs mēslošanas līdzeklis zālaugiem. To var izmantot kā slāpekļa minerālmēslu aizstājēju, bet tā efektivitāte bija nedaudz zemāka salīdzinājumā ar liellopu šķidrmēsliem, jo, rēķinot normu pēc N – NH_4, tika lietots mazāks digestāta, līdz ar to mazāks arī citu augu barības elementu un organisko vielu daudzums. Liellopu vircas kofermentācija ar pakaišu kūtsmēsliem, sienu un skābbarību nemazināja digestāta mēslojuma vērtību zālājos, jo citu substrātu pievienošana palielināja sausnas saturu (Tampere, Viiralt, 2014).

Tika vērtēta ganību airenes un āboliņa maisījuma ražība un ražas kvalitāte, izmantojot atšķirīgus mēslošanas līdzekļus: no šķidrmēsliem iegūta digestāta šķidrā un cietā frakcija; nefermentēti šķidrmēsli; amonija nitrāts un NPK kombinētais mēslojums. Visos variantos trīs gadus pēc kārtas tika nodrošināti 150 kg N ha^{-1} gadā, dodot 100 kg N ha^{-1} veģetācijas sākumā un 50 kg N ha^{-1} pēc pirmā pļāvuma. Iegūtie rezultāti parādīja, ka abu veidu digestāta un nefermentētu šķidrmēslu izmantošana deva līdzvērtīgu zāles ražu komplekso minerālmēslu variantā iegūtajām un pārspēja amonija nitrāta variantu. Attiecībā uz sagremojamību vai slāpekļa saturu atšķirības starp variantiem netika konstatētas. Rezultāti ļauj secināt, ka neorganiskos mēslošanas līdzekļus var aizstāt ar digestātu, nemazinot zālāju ražīgumu (Walsh, Chadwick, 2018). Pētījumā Zviedrijā secināts, ka digestāts var būt efektīvāks mēslošanas līdzeklis smagākās augsnēs ar augstāku māla daļiņu un oglekļa saturu, bet virca un šķidrmēsli vairāk piemēroti vieglākām, smilšainām augsnēm, kurās ir mazāk organiskā oglekļa (Risberg, Cederlund, Pell et al., 2017).

Vērtējot pārtikas atkritumu digestāta (100 un 200 kg N ha^{-1} gadā) izmantošanu kā alternatīvu minerālmēsliem 12–4–6 (lietošanas norma N_{100} gadā) ganību airenes zelmeņa uzturēšanā konstatēts, ka digestāta izmantošana vasarā samazināja zelmeņa izretošanos (Pawlett, Owen, Tibbe, 2018). Gan digestāts, gan minerālmēsli zelmeņa sastāvu ietekmēja līdzvērtīgi, samazinot platlapju nezāļu klātbūtni un tukšo laukumu parādīšanos. Zelmeņa analīzes liecināja, ka digestāta un minerālmēslu variantos slāpekļa un kālija daudzums lapās

bija līdzīgs, bet, lai nodrošinātu vienādu fosfora daudzumu lapās, bija nepieciešama lielāka digestāta deva. Augsts N–NH_4 saturs digestātā neatstāja negatīvu ietekmi uz hlorofila daudzumu lapās. Šie kopumā pozitīvie rezultāti attiecībā uz digestātu rada iespējas attīstīt digestāta kā mēslošanas līdzekļa izmantošanu ne tikai lauksaimniecības sējumos, bet arī dekoratīvajos zelmeņos, piemēram, sporta laukumos, parkos, ceļa malās un citās industriālās platībās. Kopumā vēl ir daudz neskaidrību attiecībā uz digestāta kā mēslošanas līdzekļa ķīmiskajām, bioķīmiskajām un bioloģiskajām īpašībām, ko pierāda arī pretrunīgie izmēģinājumu rezultāti (Moller, Muller, 2012), tādēļ pētījumi šajā jomā ir ļoti aktuāli.

1.5.2. Pelnu raksturojums

Vispopulārākā biomasas atkritumu termiskās apstrādes procedūra ir sadedzināšana. Koksne izsenis tikusi izmantota kā biokurināmais un arī mūsdienās tā tiek plaši izmantota šādiem mērķiem. Tā rezultātā rodas ievērojami koksnes pelnu apjomi. Saskaņā ar koksnes izmantošanas statistikas datiem Latvijā apkures sistēmas un rūpnieciskie patērētāji gadā saražo ap 108 tūkst. tonnu koksnes pelnu, tajā skaitā centralizētajās sistēmās tiek saražotas aptuveni 40 tūkst. tonnas[13]. Tiek lēsts, ka visā pasaulē katru gadu tiek radīti aptuveni 500 miljoni tonnu pelnu, kas rodas biomasas dedzināšanas rezultātā (Silva, Cruz, Tarelho, Rodrigues, 2019). Biomasas pelni ir potenciāls mēslojums kultūraugiem un mežiem. Pelnu īpašību dēļ to izmantošana sevišķi attaisnojas skābās augsnēs. Lauka pētījumi rāda, ka pelnu un organisko atkritumu pievienošana minerālmēsliem uzlabo lauksaimniecisko ražošanu, paaugstina augsnes pH un nodrošina augiem pieejamās barības vielas (Rautaray, Ghosh, Mittra, 2003).

Pelni ir biokurināmā dedzināšanas galējais atkritumprodukts, biomasas cietās atliekas, neorganiskās sastāvdaļas, kuras nevar pārveidot enerģijā. Pelnu daudzums un kvalitāte ir atkarīgi no daudziem faktoriem, ieskaitot sugu, audzēšanas apstākļus, mēslošanu, ražas novākšanas laiku u.c. Sadedzinot koksni un cita veida augu biomasu, atlikumā veidojas pelni, kuru daudzums, atkarībā no izejmateriāla, var svārstīties plašās robežās: no aptuveni 2% vītolu koksnē līdz 20% rīsu sēnalās (Jenkins, Baxter, Miles, Miles, 1998). Pelnos koncentrējas dažādas minerālvielas, kas padara tos par vērtīgu augu barības elementu avotu. Tie satur dažādus augu augšanai un attīstībai svarīgus makro un mikroelementus, izņemot slāpekli, kas dedzināšanas procesā tiek izvadīts atmosfērā ar dūmgāzēm (Mandre, 2006; Fuzesi, Heil, Kovacs, 2015; Lazdiņa, Bebre, Dūmiņš, 2017). Koksnes pelnos ir atrodami visi augu fizioloģiskajiem procesiem nepieciešamie mikroelementi (Lazdiņa, Bebre, Dūmiņš et al., 2017). Tie 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; Insam, Franke-Whittle, Knapp, Plank, 2009). Lielākā daļa pelnos esošo minerālvielu ir oksīdu, hidroksīdu, silikātu un bāzisko katjonu karbonātu maisījums. Daži pelnu oksīdi un hidroksīdi viegli šķīst ūdenī un rada spēcīgu sārmainu reakciju (Ljung, Nordin, 1997), tāpēc pelni darbojas ne tikai kā mēslojums, bet arī kā kaļķošanas līdzeklis.

Statistikas dati par pelnu izmantošanu nav apkopoti, taču saskaņā ar biokurināmā patērētāju aptauju datiem pelnus izmanto lauksaimniecībā vai arī sajauc ar sadzīves atkritumiem un deponē atkritumu poligonos. Lauksaimniecībā nenotiek izmantoto pelnu uzskaite, līdz ar to nav zināms, cik liels pelnu daudzums faktiski nonāk uz laukiem un, cik daudz atkritumu poligonos vai citās vietās. Lielākie kurināmā granulu ražotāji ir reģistrējuši pelnus kā augsnes kaļķošanas materiālu, lai tos varētu likumīgi izmantot lauksaimniecībā.

Atkarībā no augu sugas, augšanas apstākļiem, dedzināšanā izmantotajām auga daļām, dedzināšanas procesa parametriem un uzglabāšanas apstākļiem, pelnu fizikālās un ķīmiskās

[13] Vadlīnijas koksnes pelnu apstrādei un izmantošanai mežsaimniecībā. [Tiešsaiste] [skatīts 2021. g. 15. augustā]. Pieejams: https://www.researchgate.net/profile/.../Vadlinijas+pelnu+izmantosanai.pdf

īpašības var būtiski atšķirties (Demeyer, Nkana, Verloo, 2001). Tas raksturo atšķirīgu pelnu veidu kvalitāti un to piemērotību tālākai izmantošanai.

Pelnu sastāvs. Koksnes pelni sastāv no neorganiskām minerālvielām un organiskiem savienojumiem, kas paliek pelnos nepilnīgas sadedzināšanas dēļ. Kaut arī ogleklis (C) dedzināšanas laikā lielākoties oksidējas un slāpeklis (N) tiek emitēts gāzveida savienojumu formā, vairums citu elementu, kas atrodas augu materiālā, pelnos saglabājas (Steenari, Karlsson, Lindqvist, 1999; Vassiliev, Baxter, Andersen, Vassileva, 2013). Dažādos literatūras avotos publicētie dati par pelnu ķīmisko sastāvu apkopoti 1.6. tabulā. Biomasas nepilnīgas sadegšanas dēļ pelnos zināmā daudzumā var atrast atlikušo oglekli, parasti kā kokogles (Karltun, Saarsalmi, Ingerslev et al., 2008). Visi minētie elementi ir nozīmīgi augu dzīvē, taču tradicionāli pelni galvenokārt tiek lietoti kā kālija, kalcija un arī fosfora avots, kuru īpaši trūkst skābās organiskās augsnēs. Vidējais kālija saturs pelnos ir 50 – 60 g kg^{-1}.

Pelni satur arī plašu mikroelementu spektru, koncentrācija svārstās atkarībā no sadedzinātās koksnes veida. Pelnos atrodas: dzelzs, cinks, arsēns, niķelis, hroms, svins, dzīvsudrabs, varš, bors, molibdēns, vanādijs, bārijs, kadmijs un sudrabs (Demeyer, Nkana, Verloo, 2001; Karltun, Saarsalmi, Ingerslev et al., 2008). Daži no šiem elementiem degšanas laikā daļēji vai pilnīgi iztvaiko, bet citi lielākoties saglabājas pelnos. Kālija, sēra, bora, nātrija un vara daudzums pelnos līdz ar temperatūras pieaugumu krāsnī samazinās, bet magnija, fosfora, mangāna, alumīnija, dzelzs, silīcija un kalcija daudzumu temperatūra neietekmē (Misra, Rogland, Baker, 1993; Miller, Dugwell, Kandiyoti, 2002). Ir novērots, ka zināmā mērā šī ietekme ir atkarīga arī no dedzināmā izejmateriāla (Pitman, 2006).

1.6. tabula

Koksnes pelnu ķīmiskais sastāvs, masas %

Rādītāji	ASV[1]	Ungārijā[2]	Aidaho, ASV[3]	Igaunijā[4]
N	0.15 (0.02 – 0.77)	–	–	0.03
P_2O_5	1.21 (0.23 – 3.21)	0.85	3.21	3.55
K_2O	3.13 (0.12 – 15.65)	6.53	4.94	5.78
Ca	15.0 (2.5 – 33.0)	23.29	31.70	12.30
Fe	0.84 (0.2 – 2.1)	13.46	1.95	1.04
Mg	1.0 (0.1 – 2.5)	2.68	2.25	1.94
pH	10.4 (9.0 – 13.5)	13.0	13.1–13.3	12.1–12.6

[1] – vidējās vērtības un svārstību intervāls 37 pelnu paraugu analīzēm (Campbell, 1990; Muse, Mitchell, 1995; Huang, Campbell, Folk, Mahler, 1992)
[2] – Fuzesi, Heil, Kovacs, 2015
[3] – Etiegni, Campbell, 1991
[4] – Mandre, 2006.

Pelnu fizikālās īpašības. Pelni ir putošs materiāls, kurus pirms lietošanas vēlams samitrināt ar ūdeni. Sausi pelni rada daudz putekļu, kas var nelabvēlīgi ietekmēt darba vidi un izraisīt ādas un acu problēmas cilvēkiem, kas saskaras ar pelniem. Tādēļ pelni pirms lietošanas parasti tiek mitrināti. Samitrinātus pelnus ir vieglāk apstrādāt un izkliedēt. Sausi pelni ar lielu oglekļa saturu ir viegli uzliesmojoši. Pelnu izvākšanas veids no kurtuves ietekmē to tālākās izmantošanas iespējas. Pelnus var izņemt ārā sausā veidā vai samitrinot ar ūdeni. Piemēram, pelni no ārdiem nonāk ūdens vannās, no kurām tos pa transportieriem nogādā uz savākšanas vietu. Pirms izkliedēšanas iepriekš samitrinātos pelnus var nākties sadrupināt, it īpaši pelnus no verdošā slāņa katliem, kas pēc sajaukšanas ar ūdeni veido betonam līdzīgu masu.

Pelnu stabilizēšana. Neapstrādātiem koksnes pelniem ir augsta reaktivitāte, tie satur daudz ķīmiski aktīvu metālu oksīdu, un tiem ir bāziska reakcija. To apstiprina arī veiktie testi, kur konstatēts, ka koksnes pelni ir izteikti sārmaini. Mēslošanas vajadzībām pelnus ieteicams iepriekš apstrādāt, samazinot reaktivitāti (reaģēšanas spēju) un šķīdību. Reaģējot ar ūdeni un

pēc tam ar gaisā esošo oglekļa dioksīdu, pelni kļūst mazāk reaģētspējīgi un ir labāk izmantojami mēslošanai. Šo procesu sauc par cietināšanu jeb stabilizēšanu. Apstrādes mērķis ir stabilizēt pelnus un padarīt tos pēc iespējas viendabīgākus, kā arī samazināt pelnos esošās smalkās frakcijas daudzumu. Stabilizēšanas rezultātā tiek sekmēta metālu oksīdu pārvēršanās hidroksīdos un pēc tam karbonātos, tādējādi padarot tos mazāk aktīvus, saudzīgākus augiem un apkārtējai videi. Karbonāti ir mazāk šķīstoši nekā hidroksīdi, tāpēc stabilizētiem pelniem ir ierobežotas izskalošanās iespējas, un augi ilgāku laiku tiek nodrošināti ar barības vielām. Pelnu apstrāde, it īpaši granulēšana, samazina kaitīgo elementu koncentrāciju, pelnu reaģētspēju un putekļveida daļiņu izplatību. Pelnu reaktivitāti attiecībā uz pH līmeni un sasāļošanos samazina, palielinot pelnu agregātu cietību un daļiņu lielumu. Tas samazina faunas un floras bojājumu risku, kas saistīts ar paaugstinātu vides sārmainību un traucētām osmotiskajām reakcijām. Viendabīgu produktu ir vieglāk izkliedēt, nodrošinot vienmērīgāku platības pārklājumu[14].

Pelnu izmantošanas regulējumi. Attiecībā uz pelnu izmantošanu lauksaimniecības zemju mēslošanā un ielabošanā normatīvie akti paredz, ka pelnu izmantošana ir pieļaujama, ja tie ir reģistrēti Valsts augu aizsardzības dienestā. Obligāts priekšnosacījums pelnu izmantošanai mežā[15] ir pelnu samitrināšana un stabilizācija, līdz visi metālu oksīdi pārvēršas karbonātos. Lai koksnes pelnus varētu realizēt kā kaļķojamo materiālu, tos sagatavo saskaņā ar MK noteikumos Nr. 506 definētajiem kritērijiem[16] un reģistrē Valsts Augu aizsardzības dienestā (VAAD). Noteikumos ir atrunāta minimālā neitralizēšanas spēja, izteikta kā kalcija karbonāta ($CaCO_3$) ekvivalents (% no sausas masas), un kaļķošanas materiālam piemērojamās specifiskās prasības. Kaļķošanas materiāla pavaddokumentos, etiķetē vai marķējumā tiek deklarēti kvalitātes rādītāji: neitralizācijas spēja, mitrums, daļiņu saturs, kuras ir smalkākas par 1 mm, kalcija (Ca), magnija (Mg) daudzums, norāde par kaļķošanas materiāla iedarbību. Papildus var deklarēt par 1 mm rupjāka izmēra daļiņu frakciju satura īpatsvaru. Informācija par reģistrētajiem produktiem ir atrodama mēslošanas līdzekļu un substrātu sarakstā[17].

Izmantošana. Pelni tradicionāli tiek izmantoti kā mēslošanas līdzeklis, un pētījumi rāda, ka tos var sekmīgi izmantot gan lauksaimniecībā, gan mežsaimniecībā (Fritze, Perkiomaki, Saarela et al., 2000). Koksnes pelni lauksaimniecības zemēs tiek izmantoti arī kā kaļķošanas materiāls (Steenari, Karlsson, Lindqvist, 1999). Pelnu spēja paaugstināt augsnes pH līmeni kālija, magnija un kalcija oksīdu, hidroksīdu un karbonātu darbības rezultātā, ir vērā ņemama priekšrocība pelnu izmantošanai skābās augsnēs.

Efektivitāte. Pelnu kaļķošanas un mēslošanas efekts izskaidrojams ne tikai ar pelnos esošo kalcija un magnija karbonātu klātbūtni, bet arī ar to dispersitāti (Pitman, 2006). Pētījumos pierādīts, ka pelnos esošie augu barības elementi ir augiem labi pieejami. Pelnu lietošana palielināja augiem izmantojamā fosfora, kālija, kalcija un magnija daudzumu augsnē (Park, Yanai, Sahm et al., 2005; Fuzesi, Heil, Kovacs, 2015). Pelni, kā jau kaļķojamais materiāls, pozitīvi ietekmē arī augsnes fizikālās īpašības (struktūras veidošanos, porainību u.c.) Tie palielina arī augsnes katjonu apmaiņas kapacitāti, jo bāziskie katjoni (Ca, Mg, K) stimulē pH-atkarīgā negatīvā lādiņa veidošanos augsnes koloidālajā frakcijā un māla minerālu struktūrās (Demeyer, Nkana, Verloo, 2001). Pastāv arī uzskats, ka pelnu mēslojuma efekts nav ilgstošs un turpinās neilgu laiku – aptuveni gadu (Fritze, Perkiomaki, Saarela et al., 2000; Zimmerman, Frey, 2002).

---

[14] Vadlīnijas koksnes pelnu apstrādei un izmantošanai mežsaimniecībā. Pelnu apstrāde. [Tiešsaiste] [skatīts 2020. g. 3. novembrī]. Pieejams: https://www.researchgate.net › project › download

[15] Koku augšanas apstākļu uzlabošanas pētījumu programma 2016.-2021. gadam. [Tiešsaiste] [skatīts 2021. g. 14. aprīlī]. Pieejams: http://www.silava.lv/userfiles/file/Projektu%20parskati/2016_Lazdins_LVM.pdf

[16] MK noteikumi Nr.506 Mēslošanas līdzekļu un substrātu identifikācijas, kvalitātes atbilstības novērtēšanas un tirdzniecības noteikumi. [Tiešsaiste] [skatīts 2020. g. 25.martā]. Pieejams: https://likumi.lv/doc.php?id=276480

[17] Mēslošanas līdzekļu un substrātu saraksts. [Tiešsaiste] [skatīts 2020. g. 14. oktobrī]. Pieejams: http://www.vaad.gov.lv/sakums/registri/meslosanas-lidzekli-un-meslosanas-plani/meslosanas-lidzeklu-registrs.aspx

Igaunijā veiktajos pētījumos secināts, ka atkarībā no pielietotās pelnu devas un no tā izrietošās augsnes pH līmeņa paaugstināšanās, slāpekļa koncentrācija augšējos augsnes slāņos samazinās (Mandre, 2006). Līdzīgi secinājumi par pazeminātu slāpekļa koncentrāciju pēc pelnu lietošanas parādās arī citos pētījumos (Fritze, Smolander, Levula et al., 1994). Izmēģinājumos Zviedrijā atklāts, ka skujkoku audzēs šāds efekts attiecībā uz slāpekļa pieejamību saglabājas pat 10 gadus pēc pelnu lietošanas (Bramryds, Fransmans, 1995), kas var liecināt, ka paaugstināts pH stimulēja slāpekļa imobilizāciju, jo aktīvāk sāka sadalīties skujkoku nobiras. Augiem izmantojamā slāpekļa pieejamības izmaiņas sārmainās augsnēs var rasties mineralizācijas vai nitrifikācijas procesu izmaiņu rezultātā (Bäckman, Klemedtsson, 2003).

Kaut arī pelni ir vērtīgs kaļķošanas līdzeklis, kā arī fosfora un mikroelementu avots (Clapham, Zibilske, 1992), ir jābūt ļoti uzmanīgiem ar izvēlētajām lietošanas devām, jo strauja augsnes pH palielināšanās var mazināt dažu augu barības elementu mobilitāti augsnē. Eksperimentos tika novērota augiem pieejamā fosfora samazināšanās pie pelnu devas 5 t ha^{-1}. Tā turpinājās divus gadus pēc lietošanas, bet pēc tam augiem pieejamā fosfora daudzums palielinājās. Pārejošas izmaiņas augiem izmantojamā fosfora koncentrācijā augsnē var būt saistītas ar ķīmiskajiem procesiem augsnē, jo augsnē veidojas augiem grūti izmantojamie kalcija un magnija fosfāti (Clarholm, 1994).

Pelnus var attiecināt kā ķīmiski aktīvu kaļķošanas materiālu, tāpēc īpaši straujām augsnes ķīmisko īpašību izmaiņām pēc koksnes pelnu lietošanas ir pakļauta tieši augsnes virskārta. Lietojot 1 – 7 t ha^{-1} pelnu mēslojumu, par 0.3 – 2.4 vienībām palielinājās augsnes virskārtas pH (Ozolincius, Buozyte, Varnagiryte-Kabasinskiene, 2007; Perucci, Monaci, Onofri et al., 2008). Dziļākajos slāņos neitralizējošie efekti bija daudz mērenāki vai arī neparādījās vispār (Arvidsson, Vestin, Lundkvist, 2002). Arī Zviedrijā veiktajos izmēģinājumos atklājies, ka pelnu mēslojuma ietekme uz augsnes pH un makroelementu daudzumu pēc 6 gadu miežabrāļa zelmeņa mēslošanas bija novērojama tikai augsnes virskārtā (0 – 20 cm). Salīdzinājumā ar kontroli, augiem pieejamā magnija daudzums augsnē bija būtiski augstāks, tāpat pelnu mēslojuma ietekmē paaugstinājās augiem pieejamā kalcija, fosfora, kālija saturs un pH līmenis (Lindvall, Gustavsson, Samuelsson et al., 2015). Lizimetros savāktā augsnes ūdens paraugu analīzes apstiprina pH līmeņa paaugstināšanos: kontroles variantā 30 cm dziļumā pH KCl bija 5.9, bet variantos ar pelnu mēslojumu 2.5 t ha^{-1} un 5 t ha^{-1} augsnes šķīduma pH KCl bija attiecīgi 6.4 un 7.1. Tika konstatēta arī Ca^{2+}, Mg^{2+} un K^{+} palielināšanās augsnes šķīdumā (Mandre, 2006), kas apstiprinās arī citos līdzīgos pētījumos (Rumpf, Ludwig, Mindrup, 2001). Būtiskas atšķirības starp dažādu fosfora mēslošanas līdzekļu variantiem netika konstatētas, kas liecina, ka pelnos esošā fosfora piejamība augiem bija līdzvērtīga minerālmēslos esošajam (Lindvall, Gustavsson, Samuelsson et al., 2015).

Analizējot koksnes pelnu (5 un 20 t ha^{-1}) ietekmi uz Itālijas lauksaimniecības zemes fizikāli ķīmiskajām, mikrobioloģiskajām un bioķīmiskajām īpašībām, novērota pH un elektrovadītspējas paaugstināšanās, kā arī mikroorganismu biomasas oglekļa samazināšanās pirmajos mēnešos pēc pelnu iestrādes, tomēr ilgtermiņa sekas konstatētas netika (Perucci, Monaci, Onofri et al., 2008). Pētījumos Ungārijā pēc pelnu lietošanas slāpekļa izmaiņas augsnē konstatētas netika, bet palielinājās augsnes kālija, fosfora, sēra, magnija, kalcija un cinka saturs. Tomēr tas būtiski nepalielināja ganību airenes augu garumu, dzinumu skaitu, zaļmasas ražu un barības elementu saturu biomasā (Fuzesi, Heil, Kovacs, 2015). Vairāki pētījumi (Maljanen, Jokinen, Saari, 2006; Ozolincius, Armolaitis, Raguotis et al., 2006) rāda, ka biomasas pelnu izmantošana pozitīvi ietekmē augsnes ekosistēmu ar noteikumu, ka mēslošanā tiek izmantoti labas kvalitātes pelni un tiek pielietotas samērīgas pelnu devas.

Izmēģinājumi parāda, ka pelnus var sekmīgi izmantot lauksaimniecībā skābu augšņu ielabošanai un bagātināšanai ar augu barības elementiem. Ieteicamā pelnu deva ir 1 – 5 t ha^{-1}. Lietojot augstākas devas, pastāv risks pārsniegt optimālo P_2O_5 un K_2O daudzumu, kas var izsaukt barības vielu izskalošanos no augsnes virskārtas nepietiekamas vielu saistītspējas apstākļos. Augsnēs ar zemu slāpekļa saturu ieteicams pelnus kombinēt ar slāpekļa mēslojumu. Koksnes pelnu izmantošanai lauksaimniecībā ir arī nozīmīga ekonomiskā nozīme, jo to

izmantošana aramzemēs var samazināt pelnu deponēšanas apjomus poligonos un daļēji aizstāt augsnes ielabotājus un mēslošanas līdzekļus (Fuzesi, Heil, Kovacz, 2015).

Dažādi piesārņotāji. Vērtējot pelnu mēslojuma iespējamo ietekmi uz vidi, ļoti svarīga ir pelnu kvalitāte. Svarīgs priekšnoteikums pelnu ilgtspējīgai izmantošanai lauksaimniecībā un mežsaimniecībā ir to kvalitāte, t.sk., smago metālu un dažādu bioloģisko piesārņotāju saturs, kas var uzkrāties pelnos. Īpaša vērība tam jāvelta, ja pelni tiek izmantoti lauksaimniecības kultūraugu mēslošanas vajadzībām. Izmēģinājumu rezultāti rāda, ka ne vienmēr pelni ir droši izmantojami mēslošanā, sevišķi pārtikā lietojamiem kultūraugiem. Pirmkārt, jāņem vērā toksisko savienojumu koncentrācija pelnos, kura atkarīga no sadedzināto izejvielu kvalitātes. Vēl viens būtisks jautājums attiecībā uz pelnu izmantošanu ir toksisko vielu izskalošanās gruntsūdeņos, it īpaši kombinācijā ar paaugstinātu pH un augstu nātrija saturu (Williams, 1997).

Salīdzinājumā ar akmeņogļu pelniem, koksnes pelni ir sārmaināki un tajos ir zemāks smago metālu saturs. Augstas koncentrācijas Ag, Cd, Cr, Pb, Zn un Cu saturs pelnos var parādīties, ja tiek sadedzināti koksnes atkritumi, kuru virsmas iepriekš apstrādātas ar rūpniecības konservantiem (Krook, Martensson, Eklund, 2006). Tīra koka dedzināšanas rezultātā pelnos parasti ir vidēja vara koncentrācija. Augsts vara saturs konstatēts gadījumos, kad tīram kokam pievienota cita biomasa, īpaši ceļmalas apstādījumi un koksnes apstrādes materiāli. Zviedru pētnieki nerekomendē lauksaimniecības zemēs izmantot dažādu atkritumu dedzināšanā iegūtos pelnus, jo to sastāvā var būt palielināts smago metālu un citu nevēlamu elementu daudzums (Lindvall, Gustavsson, Samuelsson et al., 2015). Koksnes pelni ir drošāk izmantojami mēslošanas mērķiem, ja tie degšanas laikā tiek sadalīti "vieglajā" jeb sodrēju un izdedžu frakcijās, jo smagie metāli, izņemot cinku, uzkrājas sodrējos. Sodrēji ir vieglākā frakcija, kas veidojas sadegšanas procesā, tie tiek deponēti katla iekšpusē vai filtros. Sodrēji ir toksiskāki nekā izdedži, tajos koncentrējas viegli gaistoši smagie metāli. Sodrējos var būt liela vara, hroma, svina, arsēna un sevišķi kadmija koncentrācija, un tādus pelnus nedrīkst izmantot kā mēslojumu (Pitman, 2006). Lielākoties koksnes pelnu radītais smago metālu, radionuklīdu un dioksīnu piesārņojums ir minimāls un tiem nav raksturīga būtiska ietekme uz ekosistēmu funkcijām.

Kopsavilkums. Digestāts un koksnes pelni ir labs augu barības elementu avots. Digestāts satur relatīvi daudz augiem viegli izmantojamo barības vielu, t.sk., makro un mikroelementus, kā arī organiskās vielas. Digestātā esošajam slāpeklim un fosforam ir augsta mineralizācijas pakāpe, līdz ar to minētie augu barības elementi ir efektīvi izmantojami. Digestāta sastāvā esošā organiskā frakcija var veicināt augsnes organisko vielu apriti, sekmējot augsnes bioloģisko, ķīmisko un fizikālo īpašību uzlabošanos. Minētajiem procesiem ir būtiska loma vides kvalitātes uzlabošanā. Pelnos koncentrējas ļoti plašs minerālvielu spektrs, tie ir bagāti ar Ca, K un P. Pelnos atrodami gandrīz visi augu fizioloģiskajiem procesiem nepieciešamie mikroelementi, tie darbojas ne tikai kā mēslojums, bet arī kā kaļķošanas līdzeklis. Šobrīd esošie pētījumu rezultāti par pelnu un digestāta izmantošanu augsnes auglības celšanā un kultūraugu apgādē ar barības elementiem gan īstermiņā, gan arī ilgtermiņā ir samērā fragmentāri un nepilnīgi, kaut gan šo materiālu nozīme aizvien pieaug gan kopumā, gan arī attiecībā uz to izmantošanu zālaugu mēslošanā. Tāpēc šāda profila pētījumi ir nepieciešami un aktuāli, sevišķi ņemot vērā Eiropas Savienībā deklarēto apņemšanos līdz 2030. gadam ievērojami samazināt gan fosilās enerģijas avotu izmantošanu, gan arī minerālmēslu lietošanu. Augu barības elementu atkārtota izmantošana no jebkura veida ražošanas, kā arī sadzīves blakusproduktiem un atkritumproduktiem ir vēl viens ES deklarētais stratēģiskais virziens. Ir nepieciešamība apkopot pieejamo informāciju un veikt pētījumus par digestāta un pelnu mēslojuma izmantošanas iespējām zālaugu mēslošanā, kas ļautu: 1) kompensēt daļu no biomasas veidošanai nepieciešamajām augu barības elementiem; 2) kāpināt kultūraugu ražas un; 3) samazināt minerālmēslu izmantošanas apjomus. Promocijas darba ietvaros veiktais pētījums var dot ieguldījumu minēto jautājumu risināšanā.

2. MATERIĀLS UN METODES

2.1. Lauka izmēģinājumu apstākļi un metodes

Lauka izmēģinājumi veikti no 2012. līdz 2016. gadam LLU Zemkopības zinātniskā institūta izmēģinājumu augseku laukos Skrīveros: viens izmēģinājums iekārtots Pardenču laukā līdzās daudzgadīgo enerģētisko augu plantācijai (56°41' ziemeļu platuma un 25°08' austrumu garuma); otrs – mikroizmēģinājums stiebrzāļu selekcijas augseku laukā (56°37' ziemeļu platuma un 25°07' austrumu garuma).

Atbilstoši Latvijas teritorijas fizioģeogrāfiskajam iedalījumam, izmēģinājumu lauki atrodas Viduslatvijas zemienes Madlienas nolaidenuma dienvidrietumu daļā. Tā izvietojusies uz robežas starp mēreni vēso ziemeļrietumu Vidzemes – IIIc agroklimatisko apakšrajonu un mēreni silto Austrumlatvijas zemienes – IVb apakšrajonu. Līdz ar to vidējā gaisa temperatūru summa gadā svārstās no 1800 līdz 2000ºC, bet vidējā augsnes temperatūru summa svārstās no 2000 līdz 2200ºC, kas pilnībā atbilst zālaugu audzēšanas prasībām. Valdošās mitrās jūras gaisa masas parasti nodrošina pietiekamu mitruma daudzumu – vidējais nokrišņu daudzums gadā Latvijā svārstās ap 692 mm[18]. Izmēģinājumu lauka reljefs – viļņots līdzenums. Reljefs un augsnes veidojušās uz glacigēniem nogulumiem, dominē morēnas mālsmilts un smilšmāls.

2.1.1. Augsnes raksturojums

Lai pētītu digestāta un pelnu kā zālaugu mēslošanas līdzekļu efektivitāti, tika iekārtoti divi lauka izmēģinājumi:

1) mēslošanas izmēģinājums Pardenču laukā, kur atšķirīgām zālaugu sugām tika pielietoti dažādi mēslošanas līdzekļi, taču tika nodrošināts vienāds galveno augu barības elementu (NPK) daudzums, un;

2) mikroizmēģinājums, kur tika salīdzinātas atšķirīgas digestāta normas un tā lietošanas režīms, lai pētītu digestāta mēslojuma efektivitāti miežabrāļa sējumā.

Miežabrāļa un auzeņairenes mēslošanas izmēģinājums iekārtots Pardenču augseku laukā 2012. gada vasarā. Augsne – virsēji velēnglejotā (Latvijas augšņu..., 2009). Augsnes granulometriskais sastāvs – smalks smilšmāls. Atbilstoši starptautiskajai augšņu klasifikācijas sistēmai (WRB 2015) – Endocalcaric Katostagnic Glossic Retisol (Aric, Cutanic, Drainic, Katoloamic, Ochric) (IUSS Working group..., 2015). Augsnes atseguma kopskatu skat. 2.1. att.

Augsnes virskārta raksturojas ar vidēju (smilšmāls) granulometrisko sastāvu (1. pielikums). Izmēģinājumu lauks ir labi iekultivēts, iepriekš ilgstoši audzēti lauksaimniecības kultūraugi, pārsvarā daudzgadīgie zālaugi sēklu ieguvei. Augsne meliorēta, labi drenēta, erozija nav novērota, pēdējos gados nedaudz sablīvēta ar smago tehniku. Augsnes blīvums svārstās robežās no 1528 līdz 1618 kg m^{-3}, tāpēc augsnes virskārta vērtējama kā vidēji irdena. Izmēģinājumu lauks raksturojas ar vidēji dziļu aramkārtu (23 – 27 cm) un vidēju humusa saturu augsnē (29.1 – 34.3 g kg^{-1}). Augsnes reakcija pH KCl 5.9 – 6.5, augiem izmantojamā fosfora (P_2O_5) saturs aramkārtā – 235.3 – 352.3 mg kg^{-1} (ļoti augsts nodrošinājums), kālija saturs (K_2O) – 127.5 – 155.9 mg kg^{-1} (vidējs nodrošinājums). Detalizēts augsnes morfoloģiskais apraksts, un augšņu klasifikācija veidota atbilstoši Latvijas (Kārkliņš, 2008) un starptautiskajam klasifikatoram (IUSS Working Group WRB, 2014). Detalizēts augsnes morfoloģiskais raksturojums skatāms 1. pielikumā.

[18] Latvijas klimats. Latvijas vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs. [Tiešsaiste] [skatīts 2021.gada 7.augustā]. Pieejams: https://www.meteo.lv/lapas/laika-apstakli/klimatiska-informacija/latvijas-klimats/latvijas-klimats?id=1199&nid=562

2.1. att. **Augsnes profila atsegums Pardenču izmēģinājumu laukā**

2.1.2. Izmēģinājumu varianti

Miežabrāļa 'Bamse' mēslošanas mikroizmēģinājums ar atšķirīgām digestāta normām un lietošanas režīmu iekārtots LLU Zemkopības zinātniskā institūta stiebrzāļu selekcijas augseku laukā Skrīveros. Augsne – virsēji velēnglejotā, smilšmāls. Atbilstoši starptautiskajai augšņu klasifikācijas sistēmai (WRB 2015) Eutric Retisol (Aric, Cutanic, Drainic, Loamic, Ochric). Augsnes agroķīmiskie rādītāji pirms izmēģinājuma ierīkošanas: augsnes reakcija pH KCl 6.4, humusa saturs 25.1 g kg^{-1}. Augiem izmantojamā fosfora saturs 187.2 mg kg^{-1} P_2O_5 (augsts nodrošinājums), kālija saturs 110.4 mg kg^{-1} K_2O (vidējs nodrošinājums); sēra saturs 29.2 mg kg^{-1} (augsts nodrošinājums).

Zālaugu šķirņu raksturojums. Mēslošanas izmēģinājumos tika iekļautas divas zālaugu sugas: miežabrālis (*Phalaris arundinacea* L.) 'Bamse' un auzeņairene (x *Festulolium*) 'Felina'.

Miežabrāļa šķirne 'Bamse' ir radīta Zviedrijā. Tā veidota kā industriāla šķirne bioenerģijas ražošanas vajadzībām, galvenokārt kurināmo granulu un brikešu ražošanai. Šīs šķirnes augiem ir raksturīgi gari, rupji stiebri, kā arī samazināts lapu īpatsvars zelmenī. Augu garums sasniedz vidēji 170 – 180 cm. Šķirne ir vidēji agrīna, ziedēt sāk jūnija III dekādē, sēklas nogatavina strauji un nevienmērīgi, tās mūsu apstākļos parasti ir vācamas jūlija I vai II dekādē. Miežabrālim 'Bamse' raksturīga laba ziemcietība. Labi aug irdenās, ar gaisu un barības vielām bagātās augsnēs, kur spēj strauji savairoties ar apakšzemes dzinumiem. Patīk mitrums, spēj izturēt arī applūšanu, var audzēt gan minerālaugsnēs, gan kūdras augsnēs, ir ļoti atsaucīgs pret slāpekļa mēslojumu. Piemērotos audzēšanas apstākļos spēj nodrošināt augstas sausnas ražas (10 – 12 t ha^{-1}).

Auzeņairenes šķirne 'Felina' ir radīta Čehijā. Tā ir niedru auzenes tipa šķirne, kura ir daudzziedu airenes un niedru auzenes (*L. multiflorum* Lam. × *F. arundinacea* Schreber) hibrīds. Vecāku formas lielā mērā nosaka arī šīs šķirnes īpašības. Atšķirībā no airenes tipa auzeņaireņu hibrīdiem, 'Felinai' ziedkopa ir skara, un tai piemīt daudzziedu airenes un niedru auzenes morfoloģiskās un ģenētiskās īpašības. 'Felina' ir ziemcietīga šķirne, nodrošina augstas sausnas ražas, labos augšanas apstākļos var iegūt 11 – 12 t ha^{-1}.

Mēslošanas varianti. Pardenču izmēģinājumā tika pētīta atšķirīgu mēslošanas līdzekļu lietošanas efektivitāte miežabrāļa 'Bamse' un auzeņairenes 'Felina' mēslošanā, izmantojot bioenerģijas ražošanas blakusproduktus – koksnes pelnus no komunālo saimniecību katlumājām un digestātu no lopkopības saimniecībām. Minēto produktu efektivitāte tika salīdzināta ar minerālmēsliem un kontroli bez mēslojuma lietošanas. Tādējādi kopumā tika salīdzināti 5 varianti (iekavās norādīti variantu saīsinājumi, kādi tiks lietoti tabulās un attēlu leģendās):

1. bez mēslošanas līdzekļu lietošanas – kontrole (K);
2. minerālmēsli (Mm);
3. koksnes pelni (P);
4. digestāts (D1) – digestāta pilnā norma, lietota vienu reizi sezonā – agri pavasarī pēc veģetācijas atjaunošanās;
5. digestāts (D2) – digestāta norma lietota dalīti divas reizes sezonā – agri pavasarī pēc veģetācijas atjaunošanās un rudenī pēc biomasas novākšanas.

Izmēģinājuma varianti tika izkārtoti pilnībā randomizēti četros atkārtojumos (2. pielikums). Pamatmēslojums iestrādāts trīs dienas pirms zālaugu sējas – 26.07.2012. Zālaugu sēja veikta 29.07.2012 parastajā rindsējā ar sējmašīnu 'Nordsten NS-1025'. Zālaugu izsējas norma: miežabrālim 12 kg ha^{-1}; auzeņairenei 15 kg ha^{-1}. Viena lauciņa platība 43.2 m^2, uzskaites platība sausnas ražas noteikšanai 10 m^2.

Mēslošanas līdzekļu normas tika izvēlētas ar aprēķinu, lai katrā mēslošanas variantā tiktu iestrādāts vienāds daudzums (kg ha^{-1}) galveno augu barības elementu: slāpekļa (N); fosfora (P_2O_5) un kālija (K_2O), attiecīgi $N_{100}P_{80}K_{160}$ gadā. Iztrūkstošie barības elementu daudzumi, kas veidojas pēc digestāta un pelnu lietošanas, pēc nepieciešamības tika kompensēti ar minerālmēsliem: amonija nitrātu (34.4% N); superfosfātu (20.0% P_2O_5), kālija sulfātu

(51% K_2O) un kālija hlorīdu (60% K_2O). Šie minerālmēslu veidi tika izmantoti arī minerālmēslu variantā (Mm). Sējas gadā mēslojuma normas tika samazinātas uz pusi, lietojot 50 kg ha^{-1} N; 40 kg ha^{-1} P_2O_5; 80 kg ha^{-1} K_2O. Mēslošanas līdzekļu izkliede tika veikta manuāli, katram lauciņam atsevišķi. Izmēģinājuma ierīkošanas gadā mēslojums pēc izkliedes nekavējoties iestrādāts augsnē ar dziļirdinātāju. Nākamajos izmēģinājumu gados mēslojums izkliedēts augsnes virskārtā pa augošu zelmeni. Variantā D2 digestāta norma tika dalīta uz pusēm: viena puse tika izkliedēta agri pavasarī veģetācijas sākumā; otra – veģetācijas beigās pēc zālaugu zelmeņu novākšanas.

Mikroizmēģinājumā stiebrzāļu selekcijas augseku laukā Skrīveros tika salīdzināti 7 miežabrāļa mēslošanas varianti, izmantojot dažādas digestāta lietošanas normas, kuras tika aprēķinātas atbilstoši vajadzīgajai slāpekļa normai (no 0 līdz 150 kg ha^{-1} N). Tika salīdzināti arī dažādi digestāta lietošanas režīmi (no 1 līdz 3 mēslošanas reizēm veģetācijas periodā). Mēslošanas varianti un to atšifrējumi skatāmi 2.1. tabulā.

2.1. tabula

Mikroizmēģinājuma mēslošanas varianti

Varianta nosaukums	Digestāta mēslojums, vadoties pēc N normas	Mēslojuma lietošanas režīms
N0	Bez mēslojuma (kontrole)	Netika lietots
N30	30 kg ha^{-1} N	Veģetācijas perioda sākumā
N60	60 kg ha^{-1} N	Veģetācijas perioda sākumā
N60 (30+30)	60 kg ha^{-1} N	Dalīti: 30 kg ha^{-1} N veģetācijas sākumā; 30 kg ha^{-1} N pēc 1. pļāvuma
N90 (30+30+30)	90 kg ha^{-1} N	Dalīti: 30 kg ha^{-1} N veģetācijas sākumā; 30 kg ha^{-1} N pēc 1. pļāvuma; 30 kg ha^{-1} N pēc 2. pļāvuma
N120 (40+40+40)	120 kg ha^{-1} N	Dalīti: 40 kg ha^{-1} N veģetācijas sākumā; 40 kg ha^{-1} N pēc 1. pļāvuma; 40 kg ha^{-1} N pēc 2. pļāvuma
N150 (50+50+50)	150 kg ha^{-1} N	Dalīti: 50 kg ha^{-1} N veģetācijas sākumā; 50 kg ha^{-1} N pēc 1. pļāvuma; 50 kg ha^{-1} N pēc 2. pļāvuma

Mēslojuma varianti izkārtoti randomizēti 4 atkārtojumos. Izmēģinājums iekārtots, ar plastikāta maliņām norobežojot katru lauciņu 1 m^2 platībā. Plastikāta maliņas tika ievietotas augsnē 20 cm dziļumā un nostiprinātas līdz ar augsnes virskārtu. Pirms miežabrāļa sējas nepieciešamā digestāta mēslojuma norma katrā lauciņā tika izkliedēta un iestrādāta augsnē manuāli. Sēja veikta 2012. gada 17. augustā, izmantojot mazgabarīta rokas sējmašīnu. Izsējas norma 15 kg ha^{-1} sēklas. Sējas gadā miežabrālis pirms ziemošanas vienlaicīgi visā izmēģinājumā appļauts, neveicot ražas uzskaiti.

Mēslošanas līdzekļu sastāvs. Mēslošanai tika izmantota digestāta šķidrā frakcija, kas iegūta raudzēšanas procesa noslēgumā, separējot fermentācijas atliekas no biorekatora. Lietotā digestāta sausnas saturs svārstījās no 4.4 līdz 5.4% ar vidējo organiskās vielas saturu 3.7%. Pirms katras lietošanas reizes tika veiktas digestāta ķīmiskās analīzes, lai noskaidrotu augu galveno barības elementu (NPK) saturu un pēc tā attiecīgi izrēķinātu precīzas lietojamā mēslojuma devas.

Slāpekļa satura noteikšanai digestātā tika izmantota modificēta Kjeldāla metode, kas ir standarta metode kopējā slāpekļa noteikšanai. Augu barības elementu saturs izmēģinājumā izmantotajam digestātam svārstījās šādās robežās: 2.08 – 5.10 g L^{-1} N; 0.47 – 1.76 g L^{-1} P_2O_5; 2.20 – 4.44 g L^{-1} K_2O (2.2. tab.). Slāpeklis digestātā galvenokārt bija amonija formā ($N–NH_4$),

tas svārstījās no 1.69 līdz 2.47 g L^{-1} N–NH_4, kas vidēji sastādīja 58 – 85% no kopējā slāpekļa daudzuma digestātā.

Pirms izmēģinājuma sējas pamatmēslojumā lietotais digestāts abos izmēģinājumos tika iestrādāts augsnē, turpmākajos zālaugu zelmeņa izmantošanas gados digestāts tika izkliedēts virspusēji augošam zelmenim. Mēslošanas izmēģinājumā Pardenčos pelnu variantā izmantoja stabilizētus koksnes pelnus no Siguldas pašvaldības katlumājas. Līdzīgi kā digestātam, arī koksnes pelniem pirms lietošanas tika vērtēts to ķīmiskais sastāvs, dati apkopoti 2.2. tabulā.

2.2. tabula

Izmēģinājumos izmantotā digestāta un koksnes pelnu ķīmiskais sastāvs

Mēslošanas līdzeklis, izcelsme	N, g L^{-1}	P_2O_5, g L^{-1}	K_2O, g L^{-1}	pH KCl	Sausnas saturs, %	N–NH_4, g L^{-1}
Digestāts* (2012)	2.08	1.67	3.33	7.9	5.4	n.d.
Digestāts* (2013)	2.71	0.47	2.20	8.0	4.8	1.69
Digestāts* (2014)	4.20	1.76	4.44	7.9	4.4	2.47
Digestāts* (2015)	5.10	0.70	3.70	8.3	n.d.	n.d.
Digestāts BMI**13-1	2.80	0.67	2.50	8.2	3.5	2.38
Digestāts BMI**13-2	3.50	0.69	2.64	8.2	3.4	n.d.
Digestāts BMI**14-1	2.50	0.71	2.30	8.1	3.7	2.13
Koksnes pelni 2012, Sigulda***	0.40	10.90	31.6	n.d.	n.d.	–
Koksnes pelni 2013, Sigulda	0.20	4.50	38.0	n.d.	n.d.	–

* Fermentācijas atliekas no biogāzes ražotnēm lopkopības saimniecībās
** Biomehānikas institūts Rīgā, kur tika veikti zālaugu fermentācijas eksperimenti
*** Stabilizēti koksnes pelni no Siguldas pašvaldības katlumājas

2.1.3. Novērojumi un uzskaites veģetācijas periodā, veiktās analīzes

Izmēģinājumu laikā zālaugiem veica dažādus fenoloģiskos novērojumus, tika vērtēta ziemcietība un noturība zelmenī, tika mērīts zelmeņa garums (cm) uz lauka un noņemtajiem paraugkūļiem, kā arī fiksētas zālaugu attīstības fāzes. Pirmajā, otrajā un trešajā lietošanas gadā tika uzskaitīta zālaugu zaļmasas un sausnas raža divos pļaušanas režīmos: viena pļāvuma režīmā un divu pļāvumu režīmā. Laboratorijā tika veikti produktīvo stiebru garuma mērījumi paraugkūļiem, kuri tika nogriezti ar sirpi katrā lauciņā pirms ražas uzskaites. Zālaugu paraugiem tika vērtēta sausnas kvalitāte. Pirms izmēģinājumu sējas 2012. gadā un zālaugu ceturtajā lietošanas gadā (2016. g.) tika noņemti augsnes paraugi agroķīmisko rādītāju vērtēšanai.

Sausnas ražas uzskaite abos izmēģinājumos tika veikta divos pļaušanas režīmos:

1) pļaujot vienu reizi sezonā augu atmiršanas fāzē septembra beigās – oktobra sākumā (viena pļāvuma režīms);

2) pļaujot divas reizes sezonā – pirmo pļāvumu veica pilnas skarošanas/vārpošanas fāzē jūnija vidū; otro pļāvumu veica augu atmiršanas fāzē septembra beigās – oktobra sākumā (divu pļāvumu režīms).

Pardenču izmēģinājumā zaļmasas ražas noteikšanai tika izmantots zaļmasas novākšanas kombains ‘Hege 212’, zelmeņa pļaušanas augstums 4 – 5 cm. Zaļās masas ražas uzskaite veģetācijas sezonā veikta ar tiešo uzskaites metodi, nopļaujot visa uzskaites lauciņa platību un uzreiz to nosverot.

Mikroizmēģinājumā miežabrāļa sausnas ražas uzskaite veikta manuāli, nogriežot miežabrāļa zelmeni ar sirpi vai šķērēm 0.5 m^2 lielā platībā. Pļaušanas jeb augu griešanas augstums mikroizmēģinājumā bija 3 – 4 cm.

Pirms pļaušanas no katra lauciņa tika noņemts zaļās masas paraugs vidēji 500 g. Paraugu ievietoja žāvskapī 55°C temperatūrā un žāvēja līdz gaissausam stāvoklim, pēc tam tika noteikts sausnas saturs un veiktas sausnas ķīmiskās analīzes.

Ražas struktūras analīzes. Lai noteiktu zelmeņa struktūrelementu (lapas, stiebri, vārpas/skaras) īpatsvaru zālaugu zelmeņiem atšķirīga mēslojuma variantos, tika veiktas zelmeņa struktūras analīzes. Pirms ražas uzskaites katrā lauciņā tika noņemts aptuveni 500 g liels zaļmasas paraugs. To nogādāja laboratorijā, kur paraugs tika nosvērts un nomērīts pirms sadalīšanas pa atsevišķām frakcijām. Veicot paraugu šķirošanu, tika atsevišķi nodalīti un uzskaitīti: produktīvie un neproduktīvie stiebri; stiebru un ceru lapas, kā arī vārpas un skaras. Veicot lapu uzskaites, lapas plātne tika atdalīta – nokniebta ar pirkstiem vai nogriezta ar šķērēm vietā, kur tā atiet no stiebra. Katra zelmeņa frakcija tika ievietota speciāli paraugu žāvēšanai domātā metāla kastītē ar sietiņa pamatni un ievietota žāvskapjos 55°C temperatūrā. Katra zelmeņa frakcija pirms un pēc žāvēšanas tika atsevišķi nosvērta uz elektroniskajiem svariem ar precizitāti 0.01 g. Zelmeņa struktūras analīzes tika veiktas pirmā pļāvuma paraugiem divu pļāvumu režīmā un t.s. rudens pļāvuma paraugiem viena pļāvuma režīmā.

Sausnas ķīmiskās analīzes tika veiktas LVMI 'Silava' Meža vides laboratorijā. Atsevišķām zelmeņa frakcijām viena pļāvuma režīmā noteica šādus rādītājus: oglekļa (C); slāpekļa (N); fosfora (P); kālija (K); sēra (S) saturu. Atsevišķām zelmeņa frakcijām divu pļāvumu režīmā pirmajā pļāvumā un vidējiem zelmeņu paraugiem otrajā pļāvumā noteica šādus rādītājus: oglekļa (C); slāpekļa (N); fosfora (P); kālija (K); sēra (S); kalcija (Ca) un magnija (Mg) saturu. Analīzēm izmantotās metodes apkopotas 2.3. tabulā.

2.3. tabula

Zālaugu zelmeņu ķīmiskā sastāva noteikšanas metodes

Rādītājs	Metode
Pelni	Atbilstoši LVS CEN/TS 14775
Ogleklis (C)	Izmantots elementanalizators LECO CR-12 (LVS ISO 10694)
Slāpeklis (N)	Izmantota modificēta Kjeldāla metode atbilstoši LVS ISO 11261
Fosfors (P)	Izmantojot spektrofotometriju atbilstoši LVS EN 14672
Kālijs (K)	Veikta paraugu mineralizācija konc. slāpekļskābē atbilstoši LVS ISO 11466 un noteikšana ar liesmas atomabsorbcijas spektrometriju
Sērs (S)	Izmantots elementanalizators ELTRA CS-530
Kalcijs (Ca)	Veikta paraugu mineralizācija konc. slāpekļskābē atbilstoši LVS ISO 11466 un noteikšana ar liesmas atomabsorbcijas spektrometriju
Magnijs (Mg)	Veikta paraugu mineralizācija konc. slāpekļskābē atbilstoši LVS ISO 11466 un noteikšana ar liesmas atomabsorbcijas spektrometriju

Augsnes fizikālās un agroķīmiskās analīzes tika veiktas pirms izmēģinājumu iekārtošanas 2012. gadā, kā arī pēc četriem gadiem izmēģinājumu noslēgumā 2016. gadā. Augsnes paraugi tika noņemti saskaņā ar apstiprinātu metodiku[19]. Noteiktie parametri un pielietotās metodes apkopotas 2.4. tabulā. Augsnes paraugi fizikāli ķīmiskajām analīzēm tika sagatavoti atbilstoši standartam LVS ISO 11464.

[19] Augsnes agroķīmiskā analīze laboratorijā. [Tiešsaiste] [skatīts 2021.gada 17.augustā]. Pieejams: https://www.vaad.gov.lv/lv/pakalpojumi/augsnes-agrokimiska-analize-laboratorija

2.4. tabula

Augsnes agroķīmisko rādītāju noteikšanas metodes

Rādītājs	Metode
Augsnes granulometriskais sastāvs	Slapjā sijāšana un sedimentācija (LVS ISO 11277)
Augsnes blīvums	100 mL metāla cilindri (LVS ISO 11272:1998)
Augsnes apmaiņas skābums pH	1.0 M KCl uzduļķojums (LVS ISO 10390/NAC)
Kopējais oglekļis	Sausā sadedzināšana (LVS ISO 10694)
Karbonāti	Volumetriski (LVS ISO 10693:1995)
Kopējais slāpeklis	Modificēta Kjeldāla metode (LVS ISO 11261)
Augiem izmantojamais fosfors	0.2 M HCl ekstraktā, spektrofotometriski (LVS 398)
Augiem izmantojamais kālijs	0.2 M HCl ekstraktā, spektrofotometriski (LVS 398)
Minerālais slāpeklis (nitrātu un amonija)	0.1 M NaCl ekstraktā, spektrofotometriski

2.1.4. Mēslošanas efektivitātes aprēķini

Lai noskaidrotu **iznesi** jeb augu barības elementu masu, kuru ar zālaugu sausnas ražu aizvāca projām no lauka, tika veikti aprēķini pēc 1. formulas:

$$I = \frac{m \times c}{100}, \quad (1)$$

kur I – iznese kg ha^{-1},
m – sausnas raža, t ha^{-1},
c – augu barības elementa saturs sausnā, kg t^{-1}.

Augu barības elementu bilance tika aprēķināta gan pēc masas (iedotais no iznestā, kg ha^{-1}) (2. formula), gan procentuāli (iedotais daudzums pret iznesto) (3. formula):

$$ABEbil = IE - IZ, \quad (2)$$

kur ABEbil – augu barības elementa bilance, kg ha^{-1},
IE – ar mēslojumu iedotais augu barības elementu daudzums, kg ha^{-1},
IZ – ar zālaugu sausnas ražu iznestais augu barības elementu daudzums, kg ha^{-1}.

$$ABEbil\% = \frac{ABEie \times 100}{ABEiz}, \quad (3)$$

kur ABEbil% – augu barības elementa bilance, %
IE – ar mēslojumu iedotais augu barības elementu daudzums, kg ha^{-1},
IZ – ar zālaugu sausnas ražu iznestais augu barības elementu daudzums, kg ha^{-1}.

Slāpekļa izmantošanās efektivitāte jeb ražas indekss (N_R) tika aprēķināts, izmantojot 4. formulu (Doberman, 2005):

$$NR = \frac{YN}{FN}, \quad (4)$$

kur Y_N – sausnas raža, kg ha^{-1},
F_N – lietotā slāpekļa daudzums, kg ha^{-1}.

Slāpekļa izmantošanās agronomiskā efektivitāte (N_{AE}) jeb t.s. mēslojuma izmantošanās agronomiskais vērtējums aprēķināts, ņemot vērā sausnas ražu mēslotajā un nemēslotajā variantā, kā arī lietotā slāpekļa daudzumu (Doberman, 2005) (5. formula):

$$N_{AE} = \frac{YN - Y0}{FN}, \quad (5)$$

kur YN – sausnas raža mēslotajā variantā (kg ha^{-1}),

Y0 – sausnas raža nemēslotajā variantā (kg ha^{-1}),
FN – lietotā slāpekļa daudzums (kg ha^{-1}).

Reizēm figurē arī termins **slāpekļa kopējā izmantošanās efektivitāte (N_{kop})** jeb apvienotais slāpekļa izmantošanās efektivitātes indekss, kas praktiski ir tā pati iepriekš minētā slāpekļa izmantošanās efektivitāte un apvieno gan ar mēslojumu lietotā, gan augsnē esošā slāpekļa izmantošanas efektivitāti. To var aprēķināt pēc formulas (6) (Doberman, 2005):

$$N_{kop} = \frac{Y0}{FN} + N_{AE}, \quad (6)$$

kur Y0 – sausnas raža nemēslotajā variantā (kg ha^{-1}),
FN – lietotā slāpekļa daudzums (kg ha^{-1}),
N_{AE} – slāpekļa izmantošanās agronomiskā efektivitāte.

Iegūtie rādītāji visos gadījumos ir relatīvi, jo viss iegūtās ražas apjoms vai arī ražas pieaugums tiek attiecināts uz slāpekli, ignorējot fosfora un kālija ietekmi.

Augu barības elementu izmantošanās daudzums no ar mēslojumu iedotā ABE daudzuma nav precīzi izskaitļojams, tāpēc to dēvē par **"šķietamo izmantošanos".** Lai spriestu par lietotā mēslojuma izmantošanos, tika aprēķināts slāpekļa, fosfora un kālija tā sauktais "šķietamās izmantošanās" koeficients ($N_{šķ}$, $P_{šķ.}$ un $K_{šķ.}$). Lietotais pieņēmums – augu barības elementa iznesas starpība mēslotajā un nemēslotajā variantā, attiecināta pret ar mēslojumu iedoto slāpekļa (fosfora vai kālija) daudzumu (Rao et al., 1992). Aprēķinā tiek pieņemts, ka augi vienādā daudzumā izmanto augu barības elementus no augsnes gan kontroles, gan arī mēslotajos variantos.

2.1.5. Datu matemātiskā apstrāde

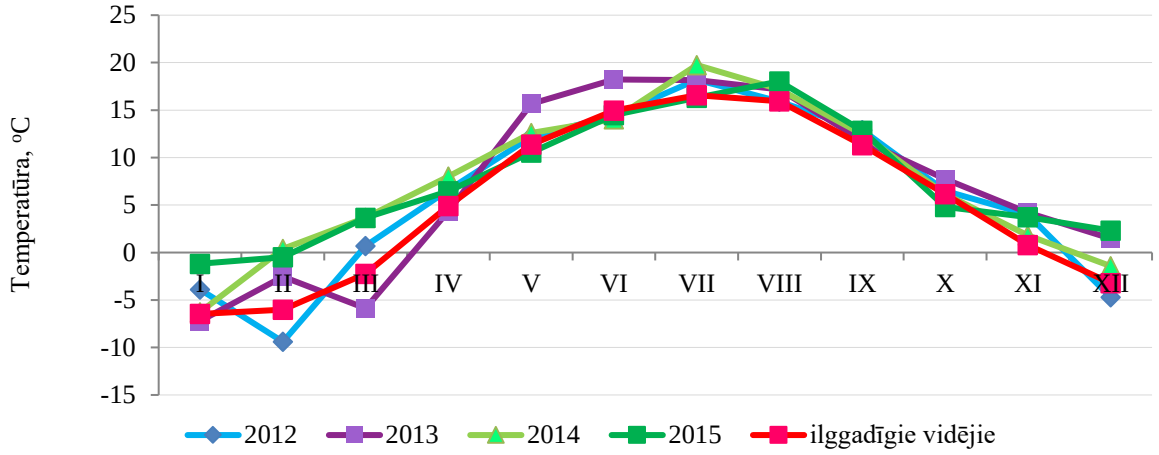
Izmēģinājumos iegūtie dati statistiski apstrādāti, izmantojot aprakstošās un variācijas statistikas metodiku (aritmētiskais vidējais, standartnovirze, minimums, maksimums, variācijas koeficients u.c.). Variācijas koeficients (V%) < 10% raksturots kā zems, > 20% kā augsts. Datu analīzei izmantotas *„Microsoft Office Excel 2003"* datorprogrammas, pielietojot divfaktoru un daudzfaktoru dispersijas analīzi, korelācijas un faktoranalīzes metodes. Iegūto datu būtiskuma vērtēšanai un kopējo sakarību analīzei izmantoja Fišera kritēriju (F). Atšķirības starp variantu vidējiem rādītājiem vērtētas, izmantojot robežstarpību ar ticamību 0.05 ($Rs_{0.05}$) (*Excel for Windows 2003*).

2.2. Meteoroloģisko apstākļu raksturojums izmēģinājumu gados

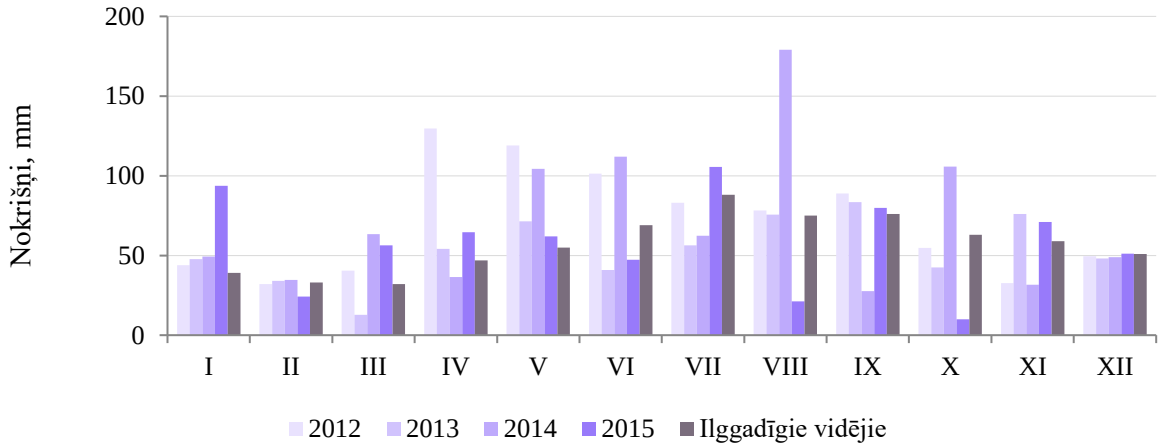
Informācija par meteoroloģiskajiem apstākļiem izmēģinājumu veikšanas gados iegūta no Skrīveru meteostacijas datiem. Šie dati salīdzināti ar daudzgadīgo enerģētisko augu plantācijā Pardenčos iegūtajiem datiem no nokrišņu savācējiem (4. pielikums). Meteoroloģiskie apstākļi pa gadiem ievērojami svārstījās. Gan temperatūras, gan nokrišņu daudzuma ziņā, vērtējot datus vidēji pa mēnešiem un dekādēm, bija vērojamas būtiskas novirzes uz vienu un otru pusi.

2012. gads, kad tika iekārtots izmēģinājums, raksturojas ar pastiprinātām lietavām veģetācijas periodā. Kopējais nokrišņu daudzums 2012. gadā bija 928 mm, kas krietni pārsniedza ilggadīgo vidējo rādītāju, sasniedzot 139% no normas. Ilgstošo lietavu dēļ aprīlī un maijā ilggadējā vidējā nokrišņu norma tika ievērojami pārsniegta, nolija attiecīgi 276% un 216% nokrišņu salīdzinājumā ar normu (2.3. att.). Arī jūnijā lietus lija daudz vairāk nekā ierasts, pārsniedzot ilggadējos vidējos rādītājus un sasniedzot 147% no normas. Gada otrajā pusē nokrišņu daudzums stabilizējās, no jūlija līdz oktobrim un arī decembrī nokrišņi bija tuvu ilggadīgo vidējo rādītājiem. Vienīgais nosacīti sausais mēnesis 2012. gadā bija novembris, kurā nokrišņu daudzums bija gandrīz uz pusi mazāks nekā ierasts un izkrita tikai 55% no normas

(4. pielikums). Attiecībā uz vidējo gaisa temperatūru 2012. gadā, tā gandrīz visos mēnešos bija 0.3 līdz 3.2°C augstāka par normu. Vēsākie 2012. gadā bija februāris, jūnijs un decembris, kad vidējā gaisa temperatūra bija attiecīgi –3.4°C; –0.6°C un –1.5°C salīdzinājumā ar ilggadīgiem vidējiem rādītājiem (2.2. att., 3. pielikums).



2.2. att. **Vidējā gaisa temperatūra (°C) pa mēnešiem 2012. – 2015. gadā un ilggadīgie vidējie rādītāji** (Skrīveru meteostacijas dati)



2.3. att. **Nokrišņu daudzums (mm) pa mēnešiem 2012. – 2015.gadā un ilggadīgie vidējie rādītāji** (Skrīveru meteostacijas dati)

2013. gada veģetācijas periodā nokrišņu daudzums bija nedaudz zem normas un to sadalījums bija ļoti nevienmērīgs – ilgstošiem sausuma un karstuma periodiem sekoja spēcīgas, īslaicīgas lietusgāzes, kas nespēja pilnvērtīgi nodrošināt zālaugiem nepieciešamo mitruma daudzumu, sevišķi atāla ataugšanas laikā jūlijā un augustā. Pavasaris kopumā nokrišņu daudzuma ziņā bija tuvu ilggadīgiem vidējiem. Krietni mazāk, tikai 40% no normas, nolija martā. Toties, atsākoties veģetācijai, aprīlī un arī maijā, vidējais nokrišņu daudzums nedaudz (+15% un +30%, attiecīgi) pārsniedza ilggadīgo vidējo normu (2.3. att.). Aprīlī vēl bija ļoti bieza sniega segu, kas līdz ar temperatūras paaugstināšanos strauji pazuda. Maija otrā dekādē novēroti bieži nokrišņi un negaisi. Savukārt vasaru var raksturot kā salīdzinoši sausu: jūnijā un jūlijā nokrišņu daudzums bija gandrīz uz pusi zemāks, attiecīgi tikai 59% un 64% no normas. Augustā un septembrī lietus lija mēreni. Otrā augusta dekāde bija bagāta ar nokrišņiem un negaisiem, taču trešā dekāde bija diezgan sausa. Septembra sākums un beigas bija lietainas, bet mēneša vidū valdīja sauss un saulains laiks. Salīdzinoši sauss bija oktobris, tikai 67% no

ilggadīgajiem vidējiem, toties lietaināks bija novembris, kad nokrišņu daudzums sasniedza 129% no normas. Decembrī nokrišņi izkrita tuvu normai.

Gaisa temperatūru ziņā 2013. gadā bija vērojamas krasas novirzes no ilggadīgiem vidējiem rādītājiem: marts bija sauss, saulains un sniegots, ar mēneša vidējo gaisa temperatūru –5.5 grādi, kas ir par 4.2 grādi zemāka par normu. Aprīlī vidējā gaisa temperatūra bija 4.0°C, kas ir par 0.9°C zemāka par ilggadīgo vidējo. Aprīļa pirmajā dekādē vēl valdīja ziemai raksturīgi laika apstākļi, naktīs bieži termometra stabiņam noslīdot zem –10°C. Meteoroloģiskais pavasaris iestājās tikai ap 10. aprīli, kas ir apmēram divas nedēļas vēlāk par ierasto. Savukārt maijs un jūnijs bija līdz šim siltākie mēneši Latvijas gaisa temperatūras novērojumu vēsturē: vidējā gaisa temperatūra bija 15.7 °C jeb +4.3°C maijā un 18.2°C jeb +3.3°C jūnijā. Visi atlikušie gada mēneši, sākot ar augustu, bija siltāki par ilggadīgo vidējo normu (+0.5... +4.7°C). Oktobra pirmajā pusē rudenīgs vēsums mijās ar neierastu siltumu, pirmās dekādes beigās un otrās dekādes sākumā gaiss iesila līdz 17 grādiem (vidējā mēneša temperatūra bija +1.6°C). Ilggadīgie vidējie rādītāji tika pārsniegti arī novembrī un decembrī, kad vidējā mēneša gaisa temperatūra bija attiecīgi +3.4°C un +4.7°C. Ļoti silta izvērtās gada nogale – no 16. novembra līdz mēneša beigām diennakts vidējā gaisa temperatūra bija +2°C līdz +6°C, kas ir 6 – 8 grādi augstāk par normu. Silts laiks bija arī visu decembri, augiem turpinājās veģetācija. Kopumā 2013. gads bija labvēlīgs daudzgadīgo zālaugu augšanai un attīstībai.

2014. gada ziema raksturojas ar mērenā klimata zonai netipiskiem apstākļiem. Iepriekšējais rudens bija silts un lietains, augsne piesātinājās ar mitrumu, augiem turpinājās veģetācija. Siltums turpinājās arī janvāra 1. dekādē, bet janvāra vidū sākās sals, kas katru nakti arvien pieņēmās spēkā, sasniedzot –22°C līdz –24°C mēneša 3. dekādē. Sniega praktiski nebija, anticiklona ietekmē, debesīm skaidrojoties, zeme sasala aizvien dziļāk un tika fiksēts minimāls nokrišņu daudzums. Kailsals turpinājās gandrīz mēnesi: no 12. janvāra līdz 8. februārim. Tikpat strauji kā atnācis, februāra sākumā aukstais gaiss atkāpās, termometra stabiņš pakāpās virs nulles, diennakts vidējā gaisa temperatūra bija 5 – 8 grādi augstāka par normu. Mēneša vidējā gaisa temperatūra izlīdzinājās, janvārī tā bija tuvu normai, februārī par 6.4°C pārsniedza ilggadīgos vidējos rādītājus. Arī visos pārējos gada mēnešos vidējā gaisa temperatūra bija 1.0 – 5.9°C virs normas, izņemot jūniju, kad temperatūra bija 0.9°C zemāka par normu.

2014. gadu kopumā var raksturot kā siltu un nokrišņiem bagātu ar ļoti nevienmērīgu nokrišņu sadalījumu. Vairākos mēnešos ilggadīgo vidējo nokrišņu norma tika krietni pārsniegta: martā 198% no normas; maijā 190%; jūnijā 162%. Vislietainākais bija augusts, kad nokrišņu daudzums gandrīz 2.5 reizes pārsniedza normu, sasniedzot 239%, piedevām absolūtais vairākums (123 mm no kopējiem 179 mm mēnesī) nolija augusta 3. dekādē. Septembrī, pēc lietainā augusta, iestājās sauss un saulains laika periods. Oktobrī atkal bija daudz nokrišņu, sevišķi mēneša otrajā dekādē, kad nokrišņu daudzums trīs reizes pārsniedza dekādes normu. Kopā oktobrī nolija 105.7 mm jeb 168% no normas. Novembris 2014. gadā bija sausākais mēnesis pēc septembra, tajā nolija tikai puse no ilggadīgās vidējās normas. Decembrī nokrišņu daudzums bija tuvu normai.

Kopumā 2014. gada veģetācijas periodu var raksturot kā zālaugu augšanai labvēlīgu – nokrišņiem bagātu un siltu. Pārbaudījums daudziem augiem bija bargais kailsals ziemošanas laikā, kad varēja labi izvērtēt augu ziemcietību.

2015. gada pirmie trīs mēneši raksturojās ar krietni siltākiem laika apstākļiem, salīdzinot ar ilggadīgiem vidējiem rādītājiem. Janvāris, ar vidējo gaisa temperatūru –1.2°C, bija 5.5°C siltāks par normu, turklāt gaisa vidējā temperatūra 15 dienas turējās virs 0°C. Februārī un martā vidējā gaisa temperatūra bija attiecīgi 5.5°C un 5.9°C virs normas. Arī aprīlis bija nedaudz (+1.6°C) siltāks par ierasto. Savukārt maijs, jūnijs un jūlijs bija par 0.3°C līdz 0.8°C vēsāki par normu. Jūnijā netika pārspēts neviens maksimālās gaisa temperatūras rekords, bet minimālās gaisa temperatūras rekordi tika pārspēti vairākas reizes. Augustā un septembrī vidējā gaisa temperatūra bija nedaudz virs normas (+2.1 un +1.5°C), savukārt oktobris bija par 1.4°C vēsāks

par normu. Gada nogale atkal izvērtās krietni siltāka par ilggadīgos vidējos novērojumos fiksēto: +2.9^{o}C novembrī un +5.5^{o}C decembrī.

2015. gada ziemas mēneši bija nokrišņiem bagāti, sevišķi janvāris, kad ilggadīgā vidējā nokrišņu norma tika krietni pārsniegta (241%). Februārī nokrišņu bija mazāk (74%), bet marts atkal bija lietaināks, izkrita 176% no normas. Arī aprīlī un maijā nokrišņu bija vairāk par normu, attiecīgi 137% un 113%. Jūnijs bija diezgan sauss, nolija tikai 47.4 mm jeb 69% no normas. Atsevišķās jūlija dienās tika novēroti ļoti stipri nokrišņi ar spēcīgiem pērkona negaisiem, nolija 105.6 mm, kas ir 120% no normas. Ļoti sauss bija augusts, kopējais nokrišņu daudzums bija 21.2 mm, kas sastāda tikai 28% no ilggadīgiem vidējiem rādītājiem. Septembrī nokrišņi bija normas robežās, bet oktobrī lietus praktiski nebija, pa visu mēnesi nolija tikai 10 mm jeb 16% no normas. Novembrī un decembrī savukārt nokrišņi bija normas robežās, attiecīgi 121% un 100%.

Kopumā var secināt, ka gaisa temperatūras beidzamajos gados paaugstinās, ziemas kļūst siltākas un īsākas, bet vasarās aizvien biežāk uznāk karstuma un sausuma periodi, kas mēdz atstāt būtisku ietekmi uz kultūraugu ražību.

3. IZMĒĢINĀJUMU REZULTĀTI UN DISKUSIJA

3.1. Zālaugu produktivitāte atšķirīgos mēslošanas variantos

Zālaugu sausnas ražu lielā mērā nosaka izmantotā suga, audzēšanas apstākļi, mēslojums, kā arī zelmeņa lietošanas gads. Zālaugu biomasu bioenerģijai var vākt atšķirīgos veidos – pļaujot intensīvi vairākas reizes sezonā vai, veicot vienu pļāvumu veģetācijas beigās. Svarīgi skaidrot, cik lielu un kādas kvalitātes ražu var iegūt, izmantojot atšķirīgu agrotehnisko pasākumu kompleksu, lai ar iespējami mazākiem ieguldījumiem iegūtu augstas zālaugu sausnas ražas ar izmantošanas mērķim atbilstošu kvalitāti.

3.1.1. Miežabrāļa un auzeņairenes sausnas raža mēslošanas ietekmē

Miežabrāļa un auzeņairenes raža, izmantojot atšķirīgus mēslošanas līdzekļus ar ekvivalentu NPK devu, pētīta trīs lietošanas gadu ciklā – pirmais, otrais un trešais lietošanas gads (l.g.). Tika skaidrots, cik lielu sausnas ražu iespējams ievākt, pielietojot atšķirīgus pļaušanas režīmus, kā arī tika pētīts ražas sadalījumu pa pļāvumiem.

Miežabrāļa sausnas raža divu pļāvumu režīmā. Neraugoties uz ekvivalentu augu galveno barības elementu (NPK) nodrošinājumu visos mēslošanas variantos, miežabrāļa pirmā pļāvuma sausnas raža mēslotajos variantos svārstījās plašā amplitūdā: 4.49 – 5.94 t ha^{-1}; 3.62 – 6.12 t ha^{-1}; 2.57 – 5.12 t ha^{-1}, attiecīgi 1., 2. un 3. lietošanas gadā. Būtiski ($p < 0.05$) augstāka sausnas raža visos trīs lietošanas gados iegūta lietojot pelnu mēslojumu (vidēji 5.61 t ha^{-1}) un minerālmēslus (vidēji 5.66 t ha^{-1}), starp minētajiem variantiem netika konstatētas būtiskas ($p < 0.05$) atšķirības (3.1. tab.). Digestāta mēslojums, lietots gan vienu reizi sezonā (D1), gan dalīti (D2), nodrošināja būtiski augstāku miežabrāļa sausnas ražu salīdzinājumā ar kontroles variantu. Tomēr abos digestāta mēslojuma variantos ražas līmenis bija būtiski ($p < 0.05$) zemāks nekā pelnu (P) un minerālmēslu (Mm) variantos. Nemēslotajā jeb kontroles variantā pirmā pļāvuma sausnas raža pa gadiem svārstījās no 1.85 līdz 2.69 t ha^{-1}. Vidēji trīs lietošanas gados miežabrāļa sausnas raža kontroles variantā bija 2.25 t ha^{-1}, kas sastādīja tikai 48 % no iegūtās vidējās sausnas ražas mēslotajos variantos.

3.1. tabula

Miežabrāļa pirmā pļāvuma sausnas raža divu pļāvumu režīmā, t ha^{-1}

Mēslošanas variants	Zelmeņa lietošanas gads			
	pirmais (2013)	otrais (2014)	trešais (2015)	vidēji 3 gados
Kontrole	2.69±0.27*	2.19±0.24	1.85±0.13	2.25±0.15
Minerālmēsli	**5.73****±0.30	**6.12**±0.23	**5.12**±0.35	**5.66**±0.22
Pelni	**5.94**±0.61	**5.95**±0.52	**4.95**±0.32	**5.61**±0.44
Digestāts 1×	4.55±0.35	4.45±0.28	2.57±0.16	3.86±0.21
Digestāts 2×	4.49±0.36	3.62±0.34	3.11±0.19	3.74±0.21
$Rs_{0.05}$	1.37	1.17	0.85	0.92

* – norādīta standartnovirze šeit un turpmāk

** – atzīmētas ražas, kuras ir būtiski ($p < 0.05$) augstākas par visos citos mēslošanas variantos iegūtajām

Otrā pļāvuma sausnas raža pa gadiem un mēslošanas variantiem svārstījās daudz mazākā mērā. Mēslotajos variantos tā variēja šādās robežās: 1.71 – 2.63 t ha^{-1}; 2.07 – 2.68 t ha^{-1}; 1.73 – 2.26 t ha^{-1}, attiecīgi pirmajā, otrajā un trešajā lietošanas gadā (3.2. tab). Kontroles variantā otrā pļāvuma sausnas ražas pa gadiem bija attiecīgi: 1.39 t ha^{-1}; 1.82 t ha^{-1} un 1.68 t ha^{-1}. Būtiski ($p < 0.05$) augstāka sausnas raža otrajā pļāvumā 1. un 2. lietošanas gadā konstatēta, lietojot pelnu mēslojumu; 3. lietošanas gadā, līdzīgi kā pirmajā pļāvumā, būtiski

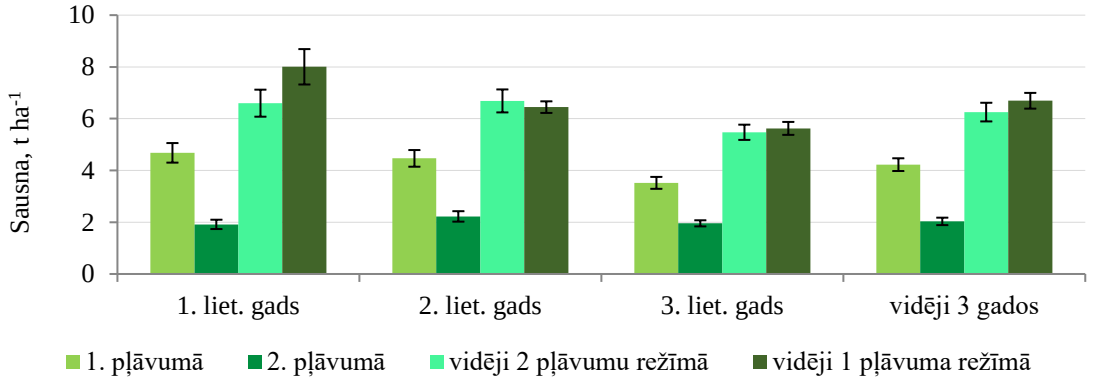
augstāka otrā pļāvuma sausnas raža konstatēta, lietojot pelnu mēslojumu un minerālmēslus. Vidēji trīs lietošanas gados būtiski ($p < 0.05$) augstāku miežabrāļa otrā pļāvuma sausnas ražu nodrošināja minerālmēslu un pelnu mēslojumi.

3.2. tabula

Miežabrāļa otrā pļāvuma sausnas raža divu pļāvumu režīmā, t ha^{-1}

Mēslošanas variants	Zelmeņa lietošanas gads			
	pirmais (2013)	otrais (2014)	trešais (2015)	vidēji 3 gados
Kontrole	1.39±0.04	1.82±0.18	1.68±0.09	1.63±0.09
Minerālmēsli	2.08±0.21	2.43±0.32	**2.25**±0.11	**2.25**±0.20
Pelni	**2.63**±0.33	**2.68**±0.23	**2.26**±0.15	**2.52**±0.23
Digestāts 1×	1.77±0.11	2.07±0.20	1.73±0.18	1.86±0.15
Digestāts 2×	1.71±0.21	2.12±0.08	1.86±0.06	1.90±0.05
$Rs_{0.05}$	0.71	0.74	0.39	0.55

Ražas sadalījumu pa pļāvumiem lielā mērā ietekmē gan pļaušanas laiks, gan arī nokrišņu daudzums veģetācijas periodā (Poiša, 2015; Platače, 2018). Augstāko sausnas ražu daudzgadīgajiem zālaugiem parasti nodrošina pirmais pļāvums (Lemežiene, Kanapeckas, Tarakanovas et al., 2004; Adamovičs, 2009; Gūtmane, 2011). Tas apstiprinājās arī šajā izmēģinājumā: pirmā pļāvuma sausnas ražas īpatsvars miežabrālim pa gadiem sastādīja: 66 – 73%; 54 – 72%; 52 – 70% no kopražas, attiecīgi pirmajā, otrajā un trešajā lietošanas gadā (3.1. att.). Salīdzinoši zemākas svārstības pa pļāvumiem konstatētas kontroles jeb nemēslotajā variantā, kur pirmā pļāvuma sausnas raža atkarībā no zelmeņa lietošanas gada sastādīja tikai 52 – 66% no kopražas.



3.1. att. **Miežabrāļa sausnas raža divu pļāvumu režīmā vidēji visos mēslojuma variantos**

3.3. tabula

Miežabrāļa sausnas kopraža divu pļāvumu režīmā, t ha^{-1}

Mēslošanas variants	Zelmeņa lietošanas gads			
	pirmais (2013)	otrais (2014)	trešais (2015)	vidēji 3 gados
Kontrole	4.08±0.24	4.01±0.37	3.53±0.21	3.87±0.17
Minerālmēsli	**7.82**±0.43	**8.54**±0.39	**7.36**±0.43	**7.91**±0.38
Pelni	**8.57**±0.94	**8.62**±0.73	**7.21**±0.46	**8.14**±0.67
Digestāts 1×	6.32±0.46	6.52±0.35	4.30±0.21	5.71±0.33
Digestāts 2×	6.20±0.54	5.74±0.38	4.97±0.16	5.64±0.25
$Rs_{0.05}$	1.96	1.61	1.10	1.37

Visa veida mēslojuma izmantošana abos pļāvumos nodrošināja būtiski augstākas miežabrāļa sausnas ražas salīdzinājumā ar kontroles variantu (3.3. tab.). Vidēji trīs gadu periodā augstākās miežabrāļa sausnas ražas divu pļāvumu režīmā iegūtas, lietojot minerālmēslus un pelnu mēslojumu, kas salīdzinājumā ar kontroli nodrošināja divas reizes augstākas sausnas ražas: 7.91 t ha^{-1} (ražas pieaugums 104%) un 8.14 t ha^{-1} (ražas pieaugums 110%), attiecīgi minerālmēslu un pelnu variantā.

Arī digestāta mēslojums deva būtisku ($p < 0.05$) ražas pieaugumu salīdzinājumā ar kontroles variantu: par 48% un 46%, attiecīgi lietojot digestāta normu vienā paņēmienā un dalīti. Tomēr digestāta mēslojuma lietošana nenodrošināja pelnu un minerālmēslu variantos iegūto ražas līmeni. Tas varētu tikt skaidrots ar iespējamām slāpekļa emisijām $N–NH_4$ veidā, ņemot vērā faktu, ka digestātā liela daļa slāpekļa bija amonija formā un digestāts, tāpat kā citi mēslošanas līdzekļi, zelmeņu izmantošanas gados tika izkliedēts virspusēji. Kaut arī slāpekļa emisijas netika noteiktas, citviet pētījumos atklājas, ka mēslošanas līdzekļos esošais amonija slāpeklis bez iestrādes augsnē daļēji emitē (Pilecka, Grīnfelde, 2019).

Miežabrāļa sausnas raža viena pļāvuma režīmā mēslotajos variantos svārstījās šādās robežās: 7.44 – 10.00 t ha^{-1}; 6.75 – 7.11 t ha^{-1} un 4.41 – 8.99 t ha^{-1}, attiecīgi 1., 2. un 3. lietošanas gadā (3.4. tab.). Lietotais mēslojums nodrošināja būtiski augstākas sausnas ražas ($p < 0.05$) visos variantos salīdzinājumā ar nemēsloto variantu. Kontroles variantā miežabrāļa sausnas ražas ar katru lietošanas gadu būtiski samazinājās: no 6.36 t ha^{-1} pirmajā uz 4.74 t ha^{-1} otrajā un 2.71 t ha^{-1} trešajā lietošanas gadā, jo ar ražu no lauka iznestie augu barības elementi nekādā veidā netika kompensēti. To nespēja kompensēt arī miežabrāļa spēja augu atmiršanas fāzē pārvietot augu barības elementus no virszemes daļām uz saknēm, kas nodrošina augus nākamajā sezonā ar daļu no augšanai nepieciešamajiem barības elementiem (Lindvall, Gustavsson, Samuelsson et al., 2015). Līdz šim veiktie pētījumi pierāda efektīvu iekšējā slāpekļa un citu barības elementu pārvietošanu no miežabrāļa dzinumiem uz saknēm (Partala, Mela, Esala un Ketoja, 2001). Tomēr mūsu izmēģinājumā miežabrāļa pļaušana septembrī acīmredzot neļāva pilnvērtīgi norisināties šiem procesiem, tādēļ kontroles variantā bija novērojams krass ražas samazinājums pa gadiem.

3.4. tabula

Miežabrāļa sausnas raža viena pļāvuma režīmā, t ha^{-1}

Mēslošanas variants	Zelmeņa lietošanas gads			
	pirmais (2013)	otrais (2014)	trešais (2015)	vidēji 3 gados
Kontrole	6.36±0.80	4.74±0.37	2.71±0.30	4.6±0.33
Minerālmēsli	8.56±0.28	**6.77**±0.24	**8.99**±0.33	**8.11**±0.19
Pelni	**10.00**±1.15	**6.75**±0.16	**7.49**±0.21	**8.08**±0.40
Digestāts 1×	7.44±0.71	**6.86**±0.08	4.41±0.18	6.24±0.31
Digestāts 2×	7.66±0.48	**7.11**±0.27	4.52±0.23	6.43±0.29
$Rs_{0.05}$	2.32	0.84	0.82	0.98

Miežabrālis sējas gadā attīstās lēnām, pilnu ražu tas parasti nodrošina tikai otrajā vai pat trešajā gadā pēc sējas (Landström, Lomakka, Andersson, 1996; Adamovičs, 2009; Jansone, Rancane, Berzins, Stesele, 2012). Mūsu izmēģinājumā, sausnas raža pirmajos divos lietošanas gados divu pļāvumu režīmā vidēji visos mēslošanas variantos bija gandrīz identiskas: 6.60 un 6.69 t ha^{-1}, attiecīgi 1. un 2. lietošanas gadā (3.1. att.). Savukārt viena pļāvuma režīmā būtiski augstāka ($p < 0.05$) sausnas raža tika iegūta 1. lietošanas gadā – 8.00 t ha^{-1} salīdzinājumā ar 6.45 t ha^{-1} 2. lietošanas gadā. Ievērojamais ražas kritums 2. lietošanas gadā skaidrojams ar bargajiem ziemošanas apstākļiem 2014. gada ziemā, kura raksturojās ar mērenā klimata zonai īpaši netipiskiem apstākļiem (3., 4. pielikums). Ilgstošais kailsals bija pārbaudījums visiem ziemojošajiem augiem, arī zālaugiem. Miežabrāļa zelmeņiem pavasarī tika konstatēti mēreni bojājumi. Ja divu pļāvumu režīmā nokrišņiem bagātā sezona sekmēja miežabrāļa cerošanu un

atāla intensīvu ataugšanu pēc pļaušanas, tad viena pļāvuma režīmā ziemas postījumi un izretinātais zelmenis atstāja paliekošu iespaidu uz sausnas ražu 2. lietošanas gadā.

Savukārt 3. lietošanas gadā bija vērojams būtisks ražas samazinājums abos pļaušanas režīmos, iegūtās sausnas ražas vidēji bija 5.47 t ha^{-1} un 5.62 t ha^{-1}, attiecīgi divu un viena pļāvuma režīmā (3.1. att.). Vidēji trijos lietošanas gados augstāka miežabrāļa sausnas raža tika ievākta viena pļāvuma režīmā, tomēr statistiski būtiskas ($p < 0.05$) atšķirības starp abiem pļaušanas režīmiem konstatētas netika – vidējā sausnas raža bija 6.69 t ha^{-1} viena pļāvuma režīmā un 6.25 t ha^{-1} divu pļāvumu režīmā.

Auzeņairenes sausnas raža divu pļāvumu režīmā. Auzeņairenes pirmā pļāvuma sausnas ražas, atkarībā no izmantotā mēslošanas līdzekļa, pa gadiem svārstījās šādās robežās: 2.94 – 3.94 t ha^{-1}; 1.39 – 2.02 t ha^{-1}; 3.55 – 5.48 t ha^{-1}, attiecīgi 1., 2. un 3. lietošanas gadā (3.5. tab.). Augstāko auzeņairenes 1. pļāvuma ražu vidēji visos trīs lietošanas gados, līdzīgi kā miežabrālim, nodrošināja pelnu (3.78 t ha^{-1}) un minerālmēslu (3.48 t ha^{-1}) mēslojumi, kuru izmantošana auzeņairenes zelmeņos trīs lietošanas gadu periodā nodrošināja būtiski ($p < 0.05$) augstākas sausnas ražas. Kontroles variantā pirmā pļāvuma sausnas ražas pa gadiem svārstījās no 0.53 t ha^{-1} 2. lietošanas gadā līdz 2.06 t ha^{-1} 1. lietošanas gadā jeb nodrošināja tikai 45% no vidējās sausnas ražas mēslotajos variantos. Lai kompensētu biomasas ražas veidošanā patērēto augu barības elementu daudzumu, nepieciešama pastāvīga un mērķtiecīga to papildināšana (Kering, Butler, Biermacher, Guretzky, 2012).

3.5. tabula

Auzeņairenes pirmā pļāvuma sausnas raža divu pļāvumu režīmā, t ha^{-1}

Mēslošanas variants	Zelmeņa lietošanas gads			
	pirmais (2013)	otrais (2014)	trešais (2015)	vidēji 3 gados
Kontrole	2.06±0.16	0.53±0.21	1.67±0.12	1.42±0.15
Minerālmēsli	**3.19**±0.26	**2.02**±0.32	**5.24**±0.24	**3.48**±0.20
Pelni	**3.94**±0.31	**1.91**±0.30	**5.48**±0.39	**3.78**±0.32
Digestāts 1×	3.10±0.16	**1.39**±0.12	3.55±0.24	2.68±0.13
Digestāts 2×	2.94±0.26	**1.50**±0.17	3.85±0.25	2.76±0.22
$Rs_{0.05}$	0.81	0.82	0.84	0.67

Otrajā pļāvumā auzeņairenes vidējās sausnas ražas trīs gadu periodā svārstījās no 0.67 t ha^{-1} kontroles variantā līdz 1.58 t ha^{-1} minerālmēslu variantā (3.6. tab.), kas sastādīja tikai 29 % no kopražas.

3.6. tabula

Auzeņairenes otrā pļāvuma sausnas raža divu pļāvumu režīmā, t ha^{-1}

Mēslošanas variants	Zelmeņa lietošanas gads			
	pirmais (2013)	otrais (2014)	trešais (2015)	vidēji 3 gados
Kontrole	0.54±0.08	0.58±0.12	0.87±0.16	0.67±0.10
Minerālmēsli	**1.07**±0.14	**1.63**±0.15	**2.05**±0.25	**1.58**±0.10
Pelni	**1.08**±0.09	**1.87**±0.10	**1.73**±0.11	**1.56**±0.10
Digestāts 1×	0.75±0.07	0.88±0.08	1.23±0.12	0.95±0.05
Digestāts 2×	0.82±0.13	0.99±0.07	1.30±0.06	1.04±0.07
$Rs_{0.05}$	0.33	0.37	0.52	0.30

Ilggadīgos Latvijā veiktos izmēģinājumos par zālaugu sausnas ražas veidošanās dinamiku konstatēts, ka būtiski augstāku sausnas ražu zālaugi nodrošina 1. pļāvumā (Bērziņš, Antonijs, Rumpāns, 1999). Atālu sausnas ražas īpatsvars, atkarībā no meteoroloģiskajiem un citiem

apstākļiem, auzeņairenēm svārstījās no 12.8% līdz 30% no kopējās sausnas ražas veģetācijas periodā (Gūtmane, Adamovičs, 2011). Atšķirīgos pētījumos secināts, ka proporcionāli augstākas pirmā pļāvuma ražas dod augstražīgākās šķirnes (Camlin, 1997; Wilkins, Humphreys, 2003; Gūtmane, 2011). Vērtējot izmēģinājumā iegūtās ražas pa gadiem un pļāvumiem, var secināt, ka, atšķirībā no pirmā pļāvuma ražas, otrā pļāvuma raža pa izmantošanas gadiem pieauga, tā vidēji bija: 0.85 t ha^{-1}; 1.19 t ha^{-1} un 1.44 t ha^{-1}, attiecīgi 1., 2., un 3. lietošanas gadā. Acīmredzot to sekmēja augstāks nokrišņu daudzums veģetācijas periodā kopumā un labvēlīgāks nokrišņu sadalījums atāla ataugšanas laikā.

Auzeņairenes kopraža divu pļāvumu režīmā pa gadiem svārstījās šādās robežās: 2.61 – 5.02 t ha^{-1}; 1.11 – 3.78 t ha^{-1}; un 2.55 – 7.29 t ha^{-1}, attiecīgi 1., 2. un 3. lietošanas gadā (3.7. tab.). Augstākās sausnas ražas iegūtas, lietojot pelnu mēslojumu un minerālmēslus, attiecīgi 5.34 t ha^{-1} un 5.06 t ha^{-1} vidēji trīs zelmeņa lietošanas gados, ražas lielums šo variantu starpā būtiski neatšķīrās. Digestāta mēslojums nodrošināja būtiski ($p < 0.05$) augstāku sausnas ražu salīdzinājumā ar nemēsloto variantu, tajā pašā laikā iegūtās ražas, gan lietojot digestātu dalīti, gan vienā paņēmienā, bija būtiski ($p < 0.05$) zemākas salīdzinājumā ar pelnu mēslojuma un minerālmēslu variantos iegūtajām. Nedaudz augstāku auzeņairenes sausnas ražu nodrošināja digestāta dalīta lietošana (D2 variantā), tomēr atšķirības abu variantu starpā nebija būtiskas ($p < 0.05$).

3.7. tabula

Auzeņairenes sausnas kopraža divu pļāvumu režīmā, t ha^{-1}

Mēslošanas variants	Zelmeņa lietošanas gads			
	pirmais (2013)	otrais (2014)	trešais (2015)	vidēji 3 gados
Kontrole	2.61±0.24	1.11±0.33	2.55±0.28	2.09±0.24
Minerālmēsli	**4.26**±0.27	**3.65**±0.47	**7.29**±0.39	**5.06**±0.31
Pelni	**5.02**±0.39	**3.78**±0.39	**7.21**±0.49	**5.34**±0.41
Digestāts 1×	3.84±0.17	2.27±0.19	4.78±0.24	3.63±0.17
Digestāts 2×	3.76±0.33	2.49±0.24	5.15±0.30	3.80±0.29
$Rs_{0.05}$	0.98	1.16	1.06	0.92

Auzeņairenes sausnas raža viena pļāvuma režīmā mēslotajos variantos pa gadiem svārstījās šādās robežās: 5.31 – 7.73 t ha^{-1}; 2.48 – 5.66 t ha^{-1} un 4.16 – 7.86 t ha^{-1} attiecīgi pirmajā, otrajā un trešajā lietošanas gadā (3.8. tab.). Lietotais mēslojums nodrošināja būtiski augstākas ($p < 0.05$) sausnas ražas visos variantos salīdzinājumā ar kontroles variantu, kur auzeņairenes sausnas ražas svārstījās no 1.19 t ha^{-1} (2. l.g.) līdz 3.54 t ha^{-1} (1. l.g.).

3.8. tabula

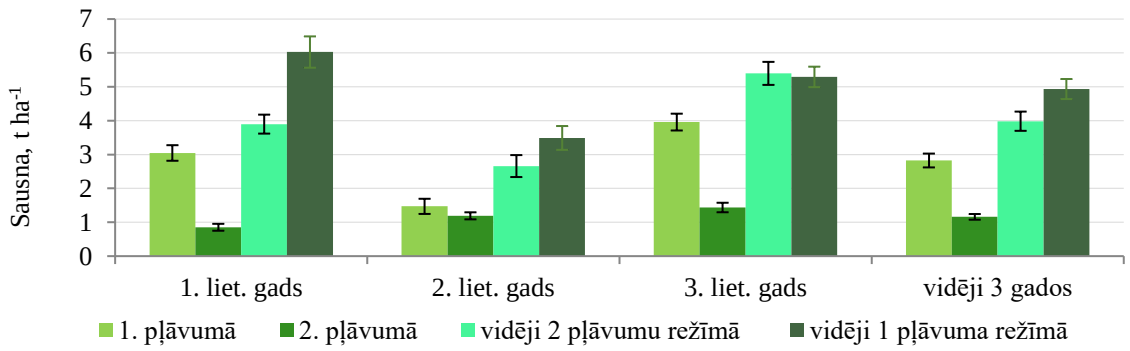
Auzeņairenes sausnas raža viena pļāvuma režīmā, t ha^{-1}

Mēslošanas variants	Zelmeņa lietošanas gads			
	pirmais (2013)	otrais (2014)	trešais (2015)	vidēji 3 gados
Kontrole	3.54±0.36	1.19±0.20	2.57±0.22	2.43±0.18
Minerālmēsli	**7.43**±0.40	**5.27**±0.25	**7.86**±0.11	**6.85**±0.19
Pelni	**7.73**±0.62	**5.66**±0.60	**7.68**±0.58	**7.02**±0.52
Digestāts 1×	**6.12**±0.49	2.85±0.47	4.19±0.33	4.39±0.34
Digestāts 2×	5.31±0.44	2.48±0.24	4.16±0.27	3.98±0.25
$Rs_{0.05}$	1.63	1.24	1.17	1.11

Vērtējot mēslošanas efektivitāti trīs gadu periodā, var secināt, ka augstākās auzeņairenes sausnas ražas viena pļāvuma režīmā iegūtas pelnu mēslojuma variantā (7.02 t ha^{-1}). Līdzvērtīga

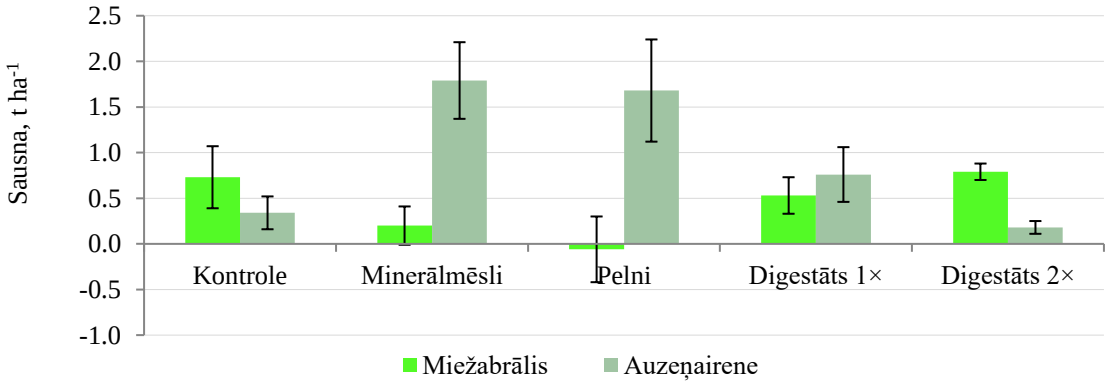
sausnas raža (vidēji 6.85 t ha^{-1}) tika iegūta arī, lietojot minerālmēslus. Digestāta mēslojums vidēji trīs zelmeņa lietošanas gados nenodrošināja minerālmēslu un pelnu mēslojuma variantos iegūto sausnas ražas līmeni, auzeņairenes sausnas raža bija 4.39 t ha^{-1}, lietojot digestāta normu vienā paņēmienā un 3.98 t ha^{-1}, lietojot digestāta normu dalīti.

Auzeņairenes sausnas raža būtiski ($p < 0.05$) atšķīrās pa zelmeņa lietošanas gadiem: divu pļāvumu režīmā tā vidēji bija 3.90; 2.70 un 5.40 t ha^{-1}, attiecīgi 1., 2., 3. lietošanas gadā (3.2. att.). Būtiski augstāka sausnas raža divu pļāvumu režīmā tika iegūta 3. lietošanas gadā, savukārt 2. lietošanas gadā bija vērojams būtisks ražas samazinājums salīdzinājumā ar 1. un 3. lietošanas gadu. To izraisīja bargie ziemošanas apstākļi 2014. gada ziemā, kad ilgstoša kailsala ietekmē auzeņairenes zelmeņi tika stipri izretināti. Viens no kritiskajiem faktoriem plašākai ganību airenes audzēšanai mūsu platuma grādos ir tās neapmierinošā ziemcietība (Lemežiene, Kanapeckas, Tarakanovas et al., 2004; Berzins, Rungis, Rancane et al., 2018). Tāpēc selekcionāri veido starpsugu hibrīdus, kuriem ir ievērojami labāka ziemcietība (Thomas, Morgan, Humphreys, 2003; Gūtmane, 2011), un kuriem pēc ziemas postījumiem raksturīgas labas atjaunošanās spējas, sevišķi atālos (Bērziņš, Rancāne, Stesele, Vēzis, 2018). Tas uzskatāmi bija vērojams arī mūsu izmēģinājumā, kur auzeņairenes zelmeņi divu pļāvumu režīmā 3. lietošanas gadā spēja nodrošināt būtiski augstāku sausnas ražu salīdzinājumā ar ražām 1. un 2. lietošanas gadā, savukārt viena pļāvuma režīmā sausnas raža 3. lietošanas gadā būtiski neatšķīrās no 1. lietošanas gada ražas. Vidēji trīs lietošanas gados būtiski augstāka auzeņairenes sausnas raža tika iegūta viena pļāvuma režīmā.



3.2. att. **Auzeņairenes sausnas raža divu pļāvumu režīmā – vidēji visos mēslojuma variantos, t ha^{-1}**

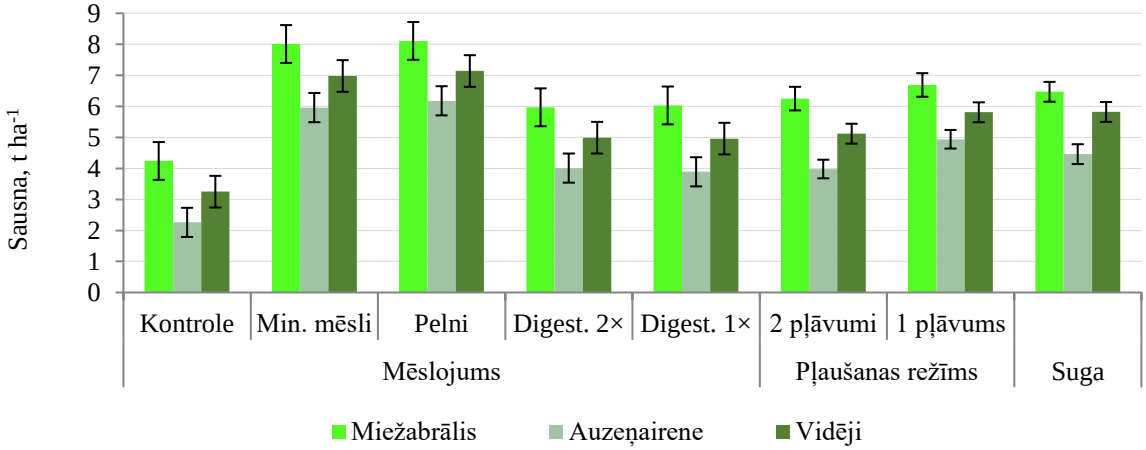
Salīdzinot sausnas ražas abos pļaušanas režīmos, ir secināts, ka tās atšķīrās pa pļāvumiem, izmantošanas gadiem, sugām un arī mēslošanas variantiem, bet kopumā trīs lietošanas gados augstāka sausnas raža tika iegūta viena pļāvuma režīmā, turklāt būtiski augstāka sausnas raža viena pļāvuma režīmā bija auzeņairenei, lietojot minerālmēslus un pelnu mēslojumu (3.3. att.).



3.3. att. **Sausnas ražas pieaugums vai samazinājums viena pļāvuma režīmā salīdzinājumā ar divu pļāvumu režīmu (vidēji trīs gados), t ha^{-1}**

Sausnas raža vidēji abos pļaušanas režīmos svārstījās: no 4.24 t ha^{-1} kontroles variantā līdz 8.11 t ha^{-1} pelnu variantā miežabrālim; un no 2.26 t ha^{-1} kontroles variantā līdz 6.18 t ha^{-1} pelnu variantā auzeņairenei (3.4. att.). Vidējā sausnas raža abām sugām abos pļaušanas režīmos svārstījās no 3.25 līdz 7.14 t ha^{-1}, attiecīgi kontroles un pelnu variantā. Nebūtiski zemāka sausnas raža (6.98 t ha^{-1}) vidēji abām sugām abos pļaušanas režīmos iegūta, lietojot minerālmēslus. Tas parāda, ka pelnu mēslojuma un minerālmēslu variantos tika iegūtas būtiski ($p < 0.05$) augstākas sausnas ražas salīdzinājumā ar kontroli un digestāta mēslojuma variantiem, kuros vidējā sausnas raža svārstījās ap 5 t ha^{-1} (4.99 t ha^{-1}, lietojot digestātu vienā paņēmienā un 4.96 t ha^{-1}, lietojot digestātu dalīti). Šajā izmēģinājumā netika konstatēta būtiska atšķirība starp digestāta izmantošanas režīmiem, bet digestāta mēslojuma efektivitāte salīdzinājumā ar minerālmēslu un pelnu variantiem bija būtiski zemāka. Iegūtie rezultāti saskan ar Lietuvā veiktajiem pētījumiem par digestāta izmantošanas efektivitāti miežabrāļa un niedru auzenes sējumos, kas salīdzināta ar minerālmēsliem: lietojot vienādu slāpekļa devu (N90) miežabrāļa un niedru auzenes sējumos, augstāku efektivitāri nodrošināja minerālmēslu izmantošana (Pociene, Kadziuliene, 2016). Savukārt kamolzāles mēslošanā iegūti atšķirīgi rezultāti, tur pie 180 kg N ha^{-1} netika konstatētas būtiskas atšķirības sausnas ražas ziņā starp digestāta un minerālmēslu variantiem (Tilvikiene, Venslauskas, Povilaitis et al., 2020).

Tika konstatētas būtiskas atšķirības sausnas ražas ziņā starp zālaugu sugām: vidēji trīs gadu periodā abos pļaušanas režīmos visos mēslojuma variantos būtiski ($p < 0.05$) augstāku sausnas ražu nodrošināja miežabrāļa zelmeņi – 6.47 t ha^{-1}, kamēr auzeņairenes vidējā raža bija tikai 4.46 t ha^{-1}.



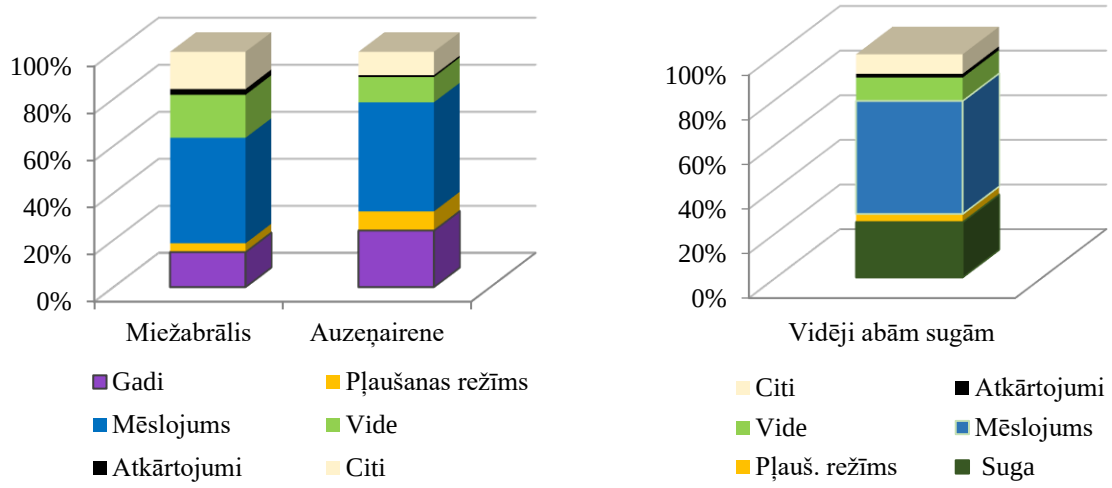
3.4. att. **Sausnas raža atšķirīgu faktoru ietekmē vidēji divos pļaušanas režīmos, t ha^{-1}**

Salīdzinot ievāktās sausnas ražas pa pļaušanas režīmiem, var secināt, ka, neskatoties uz zināmām atšķirībām sugu starpā, kopumā būtiski augstāka sausnas raža tika iegūta viena pļāvuma režīmā – vidēji abām sugām 5.81 t ha^{-1} salīdzinājumā ar 5.12 t ha^{-1} divu pļāvumu režīmā (3.4. att.).

Faktoru analīze parādīja, ka noteicošā loma zālaugu sausnas ražas ziņā bija lietotajam mēslojumam, kura ietekmes īpatsvars bija 54.9% miežabrālim un 51.9% auzeņairenei (3.5. att.). Nākamais nozīmīgākais faktors izrādījās lietošanas gads, kura ietekmes īpatsvars bija 18.2% miežabrālim un 26.9% auzeņairenei. Liela nozīme zālaugu sausnas ražas veidošanā bija vides kvalitātei, t.sk., meteoroloģiskajiem apstākļiem, kuri sausnas ražas lielumu noteica 22.4% un 12.0% apmērā, attiecīgi miežabrālim un auzeņairenei. Nozīmīga ietekme bija arī pļaušanas režīmam, tā ietekmes īpatsvars zālaugu sausnas ražas veidošanā svārstījās no 4.6% miežabrālim līdz 9.1% auzeņairenei.

Vērtējot faktoru ietekmi uz sausnas ražu abām sugām kopā, nozīmīgākais faktors bija mēslojums (56.6%), tam sekoja zālaugu suga, kas 27.7% apmērā ietekmēja sausnas ražas

iznākumu (3.5. att.). Vides apstākļu ietekme vidēji trīs izmantošanas gados bija 11.7%. Pļaušanas režīms sausnas ražu ietekmēja salīdzinoši nelielā apmērā, tikai 4.1%. Tas rāda, ka zālaugu sausnas ražas veidošanās ir cieši saistīta ar dažādiem faktoriem, t.sk., ziemošanas apstākļiem, mitruma nodrošinājumu un nokrišņu sadalījumu veģetācijas periodā utt. Lietuvā veiktajos pētījumos konstatēts, ka kamolzāles sausnas ražu lielā mērā ietekmēja slāpekļa deva, izmantotais mēslošanas līdzeklis un konkrētā gada meteoroloģiskie apstākļi (Tivikiene, Venslauskas, Povilaitis et al., 2020).



3.5. att. **Faktoru ietekme uz zālaugu sausnas ražu, %**

Arī citviet veiktajos pētījumos konstatēts, ka mēslojumam ir ļoti liela nozīme zālaugu ražības kāpināšanā. LLU izmēģinājumos ar daudzgadīgiem zālaugiem secināts, ka, regulāri izmantojot minerālmēslus, iegūts ražas pieaugums vismaz 30–50% apmērā (Adamovičs, Dubrovskis, Plūme u.c., 2009). Tāpat ir noskaidrots, ka fosfora un kālija mēslojums pozitīvi ietekmē daudzgadīgo zālaugu ražību (Christian,Yates, Riche, 2006). Liela nozīme ir arī zālaugu sugai un šķirnei. Izmēģinājumos konstatēts, ka zālaugu produktivitātes un ražas stabilitātes līmenis lielā mērā ir atkarīgs no sugu ģenētiskā potenciāla (Lemežiene, Kanapeckas, Tarakanovas, Nekrošas, 2004; Gūtmane, 2011; Bērziņš, Rancāne, Stesele, Vēzis, 2018).

Kopsavilkums. Būtiska nozīme zālaugu sausnas ražas ziņā bija gan zālaugu sugai, gan lietotajam mēslojumam, gan arī pļaušanas režīmam. Kopumā miežabrāļa sausnas ražas bija būtiski augstākas salīdzinājumā ar auzeņaireni. Vidēji trīs gadu periodā augstāka sausnas raža abām zālaugu sugām tika iegūta pelnu (P) un minerālmēslu (Mm) variantos. Salīdzinot sausnas ražu abos pļaušanas režīmos, secināts, ka rezultāti nav viennozīmīgi: sausnas ražas atšķīrās pa pļāvumiem, izmantošanas gadiem, sugām un arī mēslošanas variantiem, bet kopumā trīs lietošanas gados augstāka sausnas raža tika iegūta viena pļāvuma režīmā. Faktoru analīze rāda, ka zālaugu sausnas ražu visvairāk ietekmēja mēslojums: 54.9% apmērā miežabrālim un 51.9% apmērā auzeņairenei, kā arī suga (27.7%). Liela nozīme sausnas ražas ziņā bija lietošanas gadam, kura ietekmes īpatsvars svārstījās vidēji 18 – 27% apmērā.

3.1.2. Miežabrāļa sausnas raža atkarībā no digestāta normas mikrolauciņos

Lai padziļināti pētītu digestāta mēslojuma efektivitāti, tika iekārtots lauka izmēģinājums ar savstarpēji norobežotiem nelieliem lauciņiem 1 m^2 platībā, t.s., mikroizmēģinājums. Izmēģinājumā tika pētīta atšķirīgu digestāta normu un lietošanas režīmu izmantošanas efektivitāte miežabrāļa ‘Bamse’ mēslošanā. Miežabrāļa 1. pļāvuma sausnas ražas atkarībā no lietotās digestāta normas pa gadiem svārstījās šādās robežās: 4.69 – 8.37 t ha^{-1}; 1.88 –

5.53 t ha^{-1}; 2.54 – 4.78 t ha^{-1} attiecīgi 1., 2. un 3. lietošanas gadā. Vidēji trīs lietošanas gados būtiski ($p < 0.05$) augstākas sausnas ražas 1. pļāvumā, salīdzinot ar visiem citiem mēslošanas variantiem, tika iegūtas variantos: N150 (50+50+50) (5.96 t ha^{-1}); N120 (40+40+40) (5.70 t ha^{-1}) un N60 (5.67 t ha^{-1}) (3.9. tab.).

3.9. tabula

Miežabrāļa pirmā pļāvuma sausnas raža divu pļāvumu režīmā, t ha^{-1}

Mēslošanas variants	Zelmeņa lietošanas gads			
	pirmais (2013)	otrais (2014)	trešais (2015)	vid. 3 gados
N0	4.69±0.38	1.88±0.14	2.54±0.23	3.04±0.06
N30	6.81±0.23	2.89±0.42	3.51±0.43	4.40±0.26
N60	**8.37**±0.28	4.19±0.24	**4.44**±0.48	**5.67**±0.19
N60 (30+30)	5.61±0.32	3.52±0.42	3.38±0.22	4.17±0.08
N90 (30+30+30)	6.76±0.27	4.26±0.38	**4.78**±0.65	5.26±0.21
N120 (40+40+40)	**7.71**±0.29	**4.89**±0.61	**4.51**±0.43	**5.70**±0.27
N150 (50+50+50)	7.15±0.34	**5.53**±0.57	**5.20**±0.54	**5.96**±0.25
$Rs_{0.05}$	0.77	1.17	0.98	0.52

Miežabrāļa 2. pļāvuma sausnas raža, atkarībā no lietotās digestāta normas, pa gadiem svārstījās šādās robežās: 2.30 – 3.27 t ha^{-1}; 2.05 – 3.53 t ha^{-1}; 1.44 – 2.48 t ha^{-1}, attiecīgi 1., 2. un 3. lietošanas gadā. Vidēji trīs lietošanas gados visos mēslotajos variantos, izņemot N30, tika iegūtas būtiski ($p < 0.05$) augstākas 2. pļāvuma sausnas ražas salīdzinājumā ar kontroli, bet minēto variantu starpā ražas līmenis būtiski neatšķīrās (3.10. tab.).

3.10. tabula

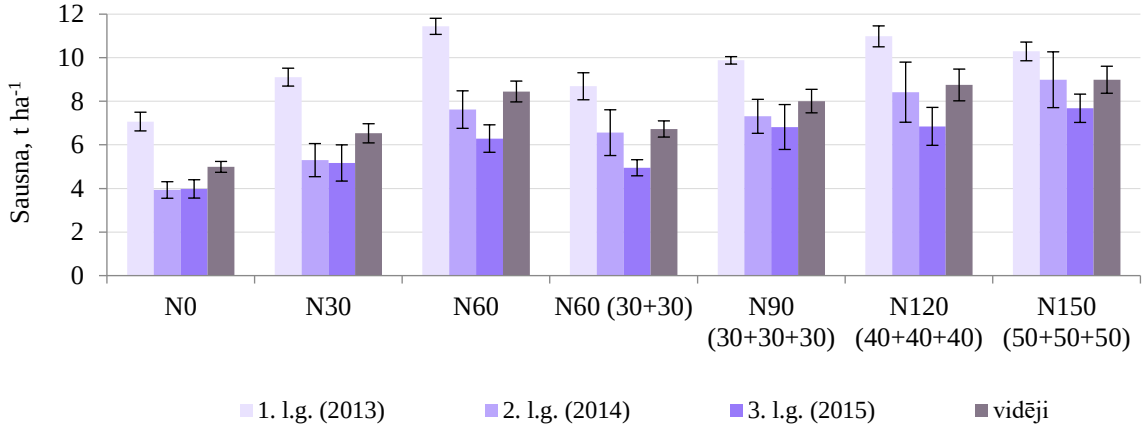
Miežabrāļa otrā pļāvuma sausnas raža divu pļāvumu režīmā, t ha^{-1}

Mēslošanas variants	Zelmeņa lietošanas gads			
	pirmais (2013)	otrais (2014)	trešais (2015)	vid. 3 gados
N0	2.38±0.16	2.05±0.29	1.44±0.23	1.96±0.21
N30	2.30±0.23	2.42±0.47	1.67±0.42	2.13±0.19
N60	**3.07**±0.32	**3.42**±0.79	1.85±0.17	**2.78**±0.37
N60 (30+30)	**3.08**±0.31	3.04±0.88	1.57±0.22	**2.56**±0.35
N90 (30+30+30)	**3.12**±0.26	3.06±0.50	2.04±0.44	**2.74**±0.33
N120 (40+40+40)	**3.27**±0.42	**3.53**±0.81	**2.34**±0.47	**3.05**±0.48
N150 (50+50+50)	**3.13**±0.32	**3.46**±0.72	**2.48**±0.28	**3.02**±0.40
$Rs_{0.05}$	0.48	1.09	0.63	0.55

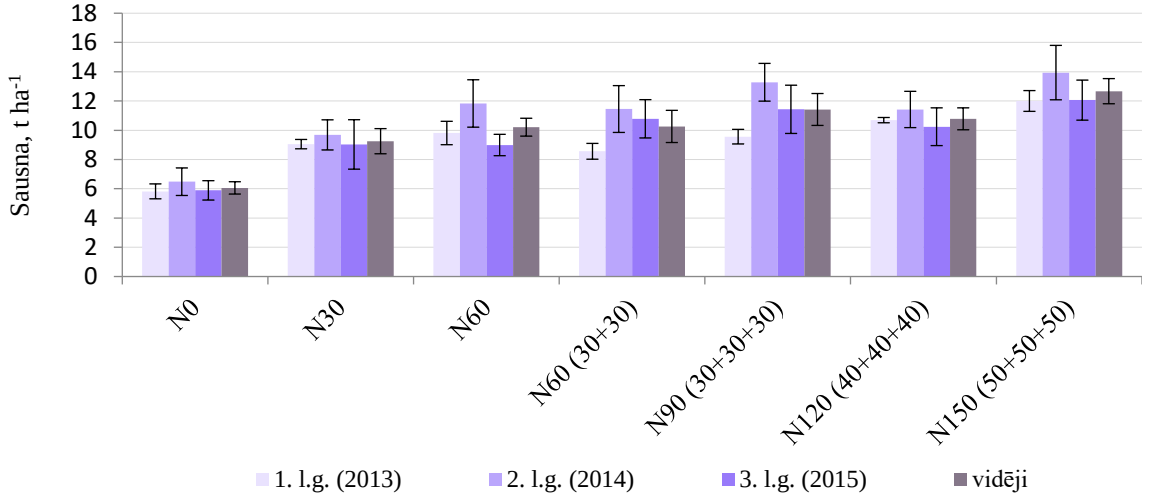
Miežabrāļa sausnas raža divu pļāvumu režīmā vidēji trīs lietošanas gados svārstījās no 4.99 t ha^{-1} nemēslotajā (kontroles) variantā līdz 8.99 t ha^{-1} variantā ar augstāko digestāta devu (N150 (50+50+50)). Augsta sausnas raža tika iegūta arī variantos: N120 (40+40+40) (8.75 t ha^{-1}) un N60 (8.45 t ha^{-1}). Digestāta mēslojums visos variantos nodrošināja būtiski ($p < 0.05$) augstāku sausnas ražu salīdzinājumā ar kontroli (3.6. att.).

Miežabrāļa sausnas raža viena pļāvuma režīmā vidēji trīs lietošanas gados svārstījās: 5.82 – 12.0 t ha^{-1}; 6.48 – 13.94 t ha^{-1}; 5.89 – 12.06 t ha^{-1} attiecīgi 1., 2. un 3. lietošanas gadā. Vidēji trīs lietošanas gados būtiski ($p < 0.05$) augstāka sausnas raža tika iegūta variantā N150 (50+50+50) (12.67 t ha^{-1}) (3.7. att.). Tika novērota tendence – līdz ar digestāta normas palielināšanu paaugstinājās miežabrāļa sausnas raža, tomēr atšķirības variantu starpā lielākoties nebija statistiski būtiskas ($p < 0.05$). Lietuvā veiktajos izmēģinājumos (Tilvikiene,

Venslauskas, Povilaitis et al., 2020) augstākas digestāta normas nodrošināja būtiski augstākas kamolzāles sausnas ražas. Jāatzīmē gan, ka minētajos izmēģinājumos tika izmantotas ievērojami augstākas mēslojuma normas ar lielāku "soli" (N90; N180; N270; N360; N450), tāpēc kopumā var secināt, ka novērotās tendences ir līdzīgas. Literatūrā arī norādīts, ka palielinot slāpekļa mēslojuma normu, mēslojuma efektivitāte pakāpeniski pazeminās (Gūtmane, 2011).



3.6. att. **Miežabrāļa sausnas raža divu pļāvumu režīmā, t ha^{-1}**

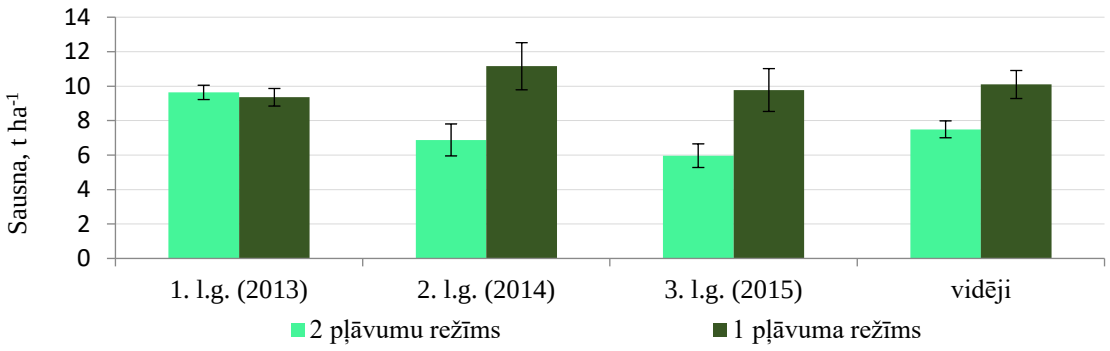


3.7. att. **Miežabrāļa sausnas raža viena pļāvuma režīmā, t ha^{-1}**

Būtiski ($p < 0.05$) augstākas miežabrāļa sausnas ražas 2. un 3. lietošanas gadā, kā arī vidēji trīs lietošanas gados tika iegūtas viena pļāvuma režīmā salīdzinājumā ar divu pļāvumu režīmu (3.7. att.). Izņēmums bija pirmais lietošanas gads, kad sausnas raža abos lietošanas režīmos bija gandrīz identiska. Iegūtie rezultāti saskan ar citviet pētījumos iegūtajiem datiem (Wrobel, Caulman, Smith, 2008; Heinsoo, Hein, Melts et al., 2011; Kallioinen, Uusitalo, Pahkala et al., 2012; Kolodziej, Stachyra, Antonkiewicz et al., 2016), kur, tāpat kā mūsu izmēģinājumā, augstāka sausnas raža iegūta, pļaujot miežabrāli vienu reizi sezonā. Tas parāda augu barības vielu pārvietošanas nozīmi, kas sevišķi raksturīga miežabrālim. Augu atmiršanas fāzē barības elementi no virszemes daļām tiek transportēti uz sakneņiem. Ņemot vērā, ka sējas gadā appļaušana rudenī visam izmēģinājumam tika veikta vienlaicīgi, 1. lietošanas gadā netika novērotas būtiskas atšķirības pļaušanas režīmu starpā (9.63 t ha^{-1} un 9.35 t ha^{-1}, attiecīgi divu un viena pļāvuma režīmā). Savukārt nākamajos miežabrāļa zelmeņa izmantošanas gados uzskatāmi parādījās viena pļāvuma režīma priekšrocības. Pļaujot miežabrāli vienu reizi sezonā augu atmiršanas fāzē, tika iegūta būtiski augstāka sausnas raža: 11.15 t ha^{-1} salīdzinājumā ar

6.87 t ha^{-1} 2. lietošanas gadā; 9.77 t ha^{-1} salīdzinājumā ar 5.96 t ha^{-1} 3. lietošanas gadā vidēji visos mēslotajos variantos.

Vidēji trīs lietošanas gados miežabrāļa sausnas raža bija 7.49 t ha^{-1} divu pļāvumu režīmā un 10.09 t ha^{-1} viena pļāvuma režīmā (3.8. att.). Igauņu pētnieki Heinsoo, Hein, Melts et al. (2011) ziņo, ka augstākā sausnas raža (12.7 t ha^{-1}) minerālaugsnē audzētam miežabrālim iegūta, vācot zelmeni oktobra otrajā pusē.



3.8. att. **Miežabrāļa sausnas raža atšķirīgos pļaušanas režīmos, t ha^{-1}**

Kopsavilkums. Visu digestāta mēslojuma normu lietošana trīs gadu periodā nodrošināja būtiski ($p < 0.05$) augstāku sausnas ražu salīdzinājumā ar kontroli. Miežabrāļa sausnas raža divu pļāvumu režīmā svārstījās no 4.99 t ha^{-1} nemēslotajā variantā līdz 8.99 t ha^{-1} variantā ar augstāko digestāta normu (N150 (50+50+50). Tikai nedaudz zemāka sausnas raža divu pļāvumu režīmā tika iegūta variantos N120 (40+40+40) (8.75 t ha^{-1}) un N60 (8.45 t ha^{-1}). Līdzīgas tendences konstatētas arī viena pļāvuma režīmā, kur būtiski ($p < 0.05$) augstāka sausnas raža tika iegūta variantā N150 (50+50+50) (12.67 t ha^{-1}). Salīdzinot sausnas ražu pa pļaušanas režīmiem secināts, ka viena pļāvuma režīmā vidēji trīs lietošanas gados iegūta būtiski ($p < 0.05$) augstāka miežabrāļa sausnas raža salīdzinājumā ar divu pļāvumu režīmu, attiecīgi 10.09 t ha^{-1} un 7.49 t ha^{-1}.

3.2. Zālaugu sausnas ražas struktūra

Zālaugu zelmeņus veido vismaz divi komponenti: lapas un stiebri, kuru daudzums var mainīties dažādu faktoru ietekmē. Zālaugu zelmeņu biomasas kvalitāte var būtiski atšķirties atkarībā no minēto struktūrelementu īpatsvara sausnas ražā. Atkarībā no pļaušanas laika, nozīmīgu īpatsvaru var sastādīt arī vārpas un/vai skaras (turpmāk ziedkopas). Zinot atsevišķu struktūrelementu īpatsvaru un analizējot to ķīmisko sastāvu, tā saucamo "vēlamo" un "nevēlamo" elementu klātbūtni, var secināt, kam jāpievērš īpaša uzmanība zelmeņu veidošanā, kādi faktori jāņem vērā un, kādi agrotehniskie paņēmieni pielāgojami energokultūru audzēšanā atšķirīgiem izmantošanas mērķiem.

3.2.1. Mēslojuma ietekme uz miežabrāļa un auzeņairenes ražas struktūru

Miežabrāļa zelmeņu sausnas struktūras analīzes parādīja, ka stiebru īpatsvars divu pļāvumu režīmā vidēji trīs lietošanas gados 1. pļāvumā svārstījās no 61.0% līdz 70.2%. Būtiski zemāks (46.6% – 51.6%) stiebru īpatsvars tika konstatēts 2. pļāvumā (3.11. tab.). Lapu īpatsvars miežabrālim svārstījās no 28.2% līdz 37.6% 1. pļāvumā un no 48.4% līdz 53.4% 2. pļāvumā. Ziedkopas sastādīja salīdzinoši niecīgu ražas daļu, tikai 1.4 – 1.8% no 1. pļāvuma sausnas ražas. Otrajā pļāvumā miežabrālis praktiski neveidoja ģeneratīvos dzinumus, tādēļ to īpatsvars ražā

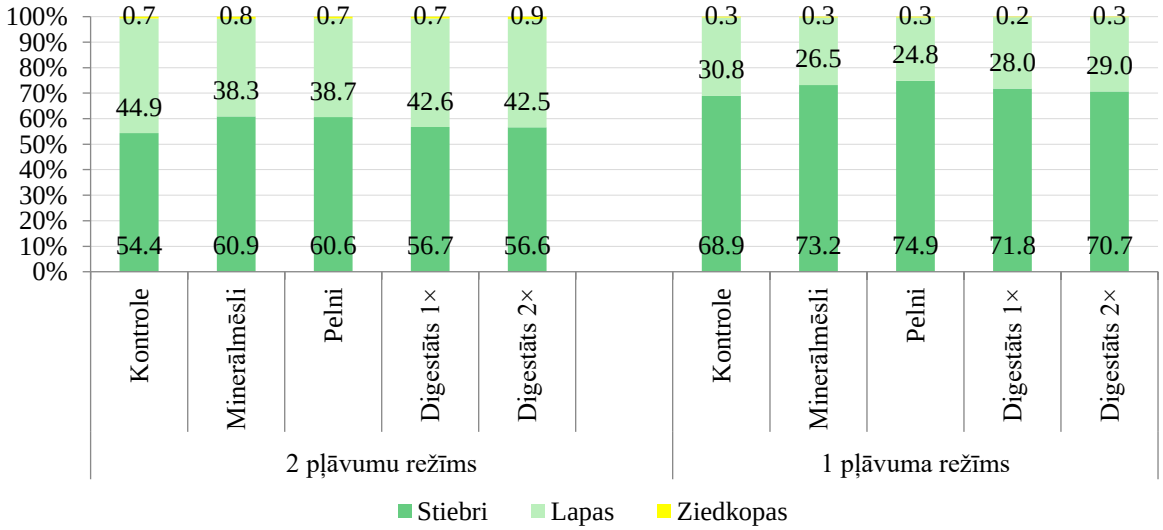
netika vērtēts. Būtiski augstāku ($p < 0.05$) stiebru īpatsvaru, kas vērtējams pozitīvi biokurināmā ražošanai, 1. pļāvumā nodrošināja minerālmēslu un pelnu mēslojumi. Minētajos mēslošanas variantos bija augstākais stiebru īpatsvars arī 2. pļāvumā, bet atšķirības šajā gadījumā nebija statistiski būtiskas ($p < 0.05$).

3.11. tabula

Miežabrāļa zelmeņa sausnas ražas struktūra, %

Mēslošanas variants	Pirmais pļāvums			Otrais pļāvums	
	stiebri	lapas	skaras	stiebri	lapas
Kontrole	61.0±1.33	**37.6**±1.40	1.5±0.36	47.8±1.61	52.3±1.61
Minerālmēsli	**70.2**±2.43	28.2±2.70	1.6±0.41	51.6±1.57	48.4±1.57
Pelni	**70.1**±2.89	28.5±3.18	1.4±0.41	51.1±1.58	48.9±1.58
Digestāts 1×	64.5±2.90	**34.1**±2.87	1.4±0.31	48.9±1.45	51.1±1.45
Digestāts 2×	66.7±1.77	31.5±1.83	1.8±0.41	46.6±1.93	53.4±1.93
$Rs_{0.05}$	8.35	8.96	1.40	6.01	6.01

Līdzīgas tendences parādījās arī viena pļāvuma režīmā: augstākais stiebru īpatsvars bija pelnu un minerālmēslu variantos, attiecīgi 74.9% un 73.2%; zemākais stiebru īpatsvars (68.9%) tika konstatēts kontroles variantā (3.9. att., 5. pielikums). Ziedkopu īpatsvars viena pļāvuma režīmā fiksēts pavisam niecīgā daudzumā: 0.2 – 0.3% apmērā. Tas skaidrojams ar to, ka vēlīnā zelmeņa ražas vākšanas termiņa dēļ ziedkopas bija bojātas un daļēji iznīcinātas: nobirušas, nolūzušas utt.



3.9. att. **Miežabrāļa sausnas ražas struktūra atšķirīgos pļaušanas režīmos, %**

Auzeņairenes sausnas ražā stiebru īpatsvars kopumā bija zemāks salīdzinājumā ar miežabrāli. Pirmajā pļāvumā divu pļāvumu režīmā stiebru īpatsvars svārstījās no 44.0% pelnu variantā līdz 50.5% minerālmēslu variantā; lapu īpatsvars attiecīgi svārstījās no 38.5% kontroles variantā līdz 43.7% pelnu variantā (3.12. tab.). Ziedkopas savukārt auzeņairenes zelmeņos sastādīja ievērojami augstāku īpatsvaru salīdzinājumā ar miežabrāli: 1. pļāvuma ražā svārstījās no 9.8% minerālmēslu variantā līdz 13.5% kontroles variantā. Jāatzīst gan, ka atšķirības pa mēslošanas variantiem ne lapu, ne stiebru, ne ziedkopu īpatsvara ziņā nebija statistiski būtiskas ($p < 0.05$).

Auzeņairenes otrā pļāvuma zelmenis bija ļoti lapains, lapu īpatsvars sastādīja no 87.9% pelnu variantā līdz 93.9% kontroles variantā; stiebru īpatsvars svārstījās no 6.1% līdz 12.1%

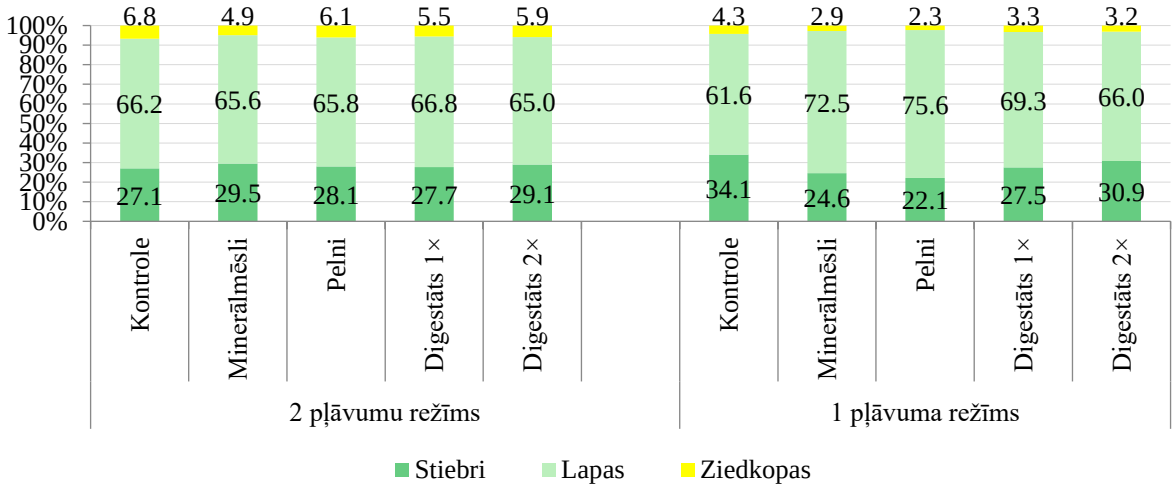
attiecīgi kontroles un pelnu variantā (3.12. tab.). Datu analīze parādīja, ka līdzīgi kā auzeņairenes 1. pļāvuma zelmenim, arī 2. pļāvumā atšķirības pa mēslošanas variantiem nebija statistiski būtiskas ($p < 0.05$). Otrajā pļāvumā auzeņairene tāpat kā miežabrālis ģeneratīvos dzinumus praktiski neveidoja.

3.12. tabula

Auzeņairenes zelmeņa sausnas ražas struktūra, %

Mēslošanas variants	Pirmais pļāvums			Otrais pļāvums	
	stiebri	lapas	skaras	stiebri	lapas
Kontrole	48.0±3.52	38.5±4.46	13.5±1.81	6.1±1.96	93.9±1.96
Minerālmēsli	50.5±5.46	39.7±5.14	9.8±1.25	8.5±2.71	91.5±2.71
Pelni	44.0±0.66	43.7±0.74	12.3±0.60	12.1±1.63	87.9±1.63
Digestāts 1×	48.6±3.28	40.3±3.68	11.1±1.90	6.7±1.69	93.3±1.69
Digestāts 2×	49.2±2.47	39.0±3.28	11.8±1.13	8.9±2.56	91.1±2.56
$Rs_{0.05}$	10.82	11.86	3.74	6.33	6.33

Auzeņairenes stiebru īpatsvars viena pļāvuma režīmā svārstījās no 22.1% pelnu variantā līdz 34.1% kontroles variantā; lapu īpatsvars no 61.6% līdz 75.6% attiecīgi kontroles un pelnu variantā (3.10. att., 6. pielikums). Ziedkopu īpatsvars iepriekšminēto iemeslu dēļ (nolūšana, nobiršana utt.), līdzīgi kā miežabrālim, arī auzeņairenei viena pļāvuma režīmā bija ievērojami zemāks salīdzinājumā ar 1. pļāvumu, tas svārstījās no 2.3% pelnu variantā līdz 4.3% kontroles variantā. Atšķirības starp mēslošanas variantiem nebija statistiski būtiskas ($p < 0.05$).



3.10. att. **Auzeņairenes sausnas ražas struktūra atšķirīgos pļaušanas režīmos, %**

Kopsavilkums. Zelmeņa sausnas ražas struktūru ietekmēja gan zālaugu suga, gan pļaušanas režīms, gan pļaušanas laiks un izmantotais mēslojums. Būtiski augstāku ($p < 0.05$) stiebru īpatsvaru sausnas ražā un līdz ar to arī biokurināmā ražošanai atbilstošāko biomasu nodrošināja miežabrāļa zelmeņi. Gan miežabrālim, gan auzeņairenei būtiski augstāks stiebru īpatsvars tika konstatēts viena pļāvuma režīmā. Savukārt divu pļāvumu režīmā abām zālaugu sugām būtiski augstāks stiebru īpatsvars tika konstatēts pirmajā pļāvumā. Sevišķi krasa atšķirība konstatēta auzeņairenes zelmeņiem, kuriem 2. pļāvums veidojās izteikti lapaināks, lapu īpatsvars svārstījās 87.9 – 93.9% robežās. Salīdzinājumam, miežabrālim 2. pļāvumā lapu īpatsvars sastādīja tikai aptuveni 50% (48.4 – 53.4%). Arī mēslojumam bija nozīme zelmeņa struktūras veidošanā – būtiski ($p < 0.05$) augstāku stiebru īpatsvaru miežabrāļa zelmeņiem nodrošināja minerālmēslu un pelnu mēslojumi. Līdzīgas tendences tika novērotas arī auzeņairenei, bet šajā gadījumā atšķirības nebija statistiski būtiskas.

3.2.2. Miežabrāļa ražas struktūra atkarībā no digestāta mēslojuma normas

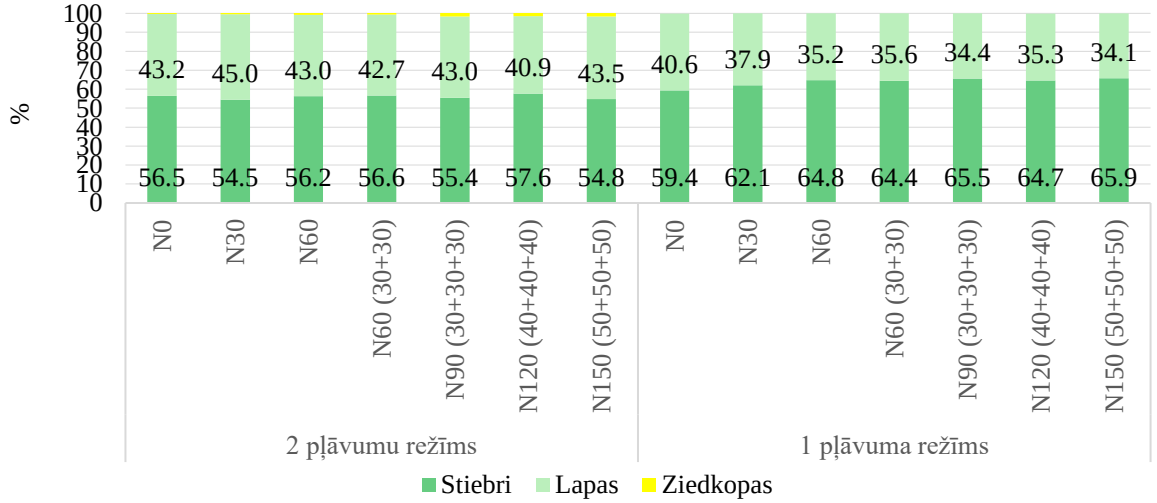
Izmantojot miežabrāļa mēslošanā atšķirīgas digestāta normas, stiebru īpatsvars 1. pļāvuma sausnas ražā vidēji trīs lietošanas gados svārstījās no 60.6% līdz 65.2% (3.13. tab.), taču būtiskas atšķirības starp mēslošanas variantiem konstatētas netika. Otrā pļāvuma sausnas ražā stiebru īpatsvars bija būtiski ($p < 0.05$) zemāks salīdzinājumā ar pirmo pļāvumu, tas svārstījās no 45.8% līdz 48.8%, un līdzīgi kā pirmajā pļāvumā, arī šeit netika konstatētas būtiskas atšķirības mēslošanas variantu starpā. Lapu īpatsvars miežabrāļa sausnas ražā svārstījās no 30.5% līdz 37.9% 1. pļāvumā; un no 51.2% līdz 54.2% 2. pļāvumā (3.13. tab.; 7., 8. pielikums). Skaru īpatsvars 1. pļāvumā svārstījās no 1.4% līdz 5.1%, un šeit iezīmējās skaidra likumsakarība: jo augstāka slāpekļa deva, jo augstāks bija skaru īpatsvars. Ja digestāta mēslojuma zemākās normas nenodrošināja būtiski ($p < 0.05$) augstāku skaru īpatsvaru salīdzinājumā ar kontroles variantu, tad sākot ar digestāta normu N90 (30+30+30), visos variantos tika konstatēts būtiski ($p < 0.05$) augstāks skaru īpatsvars. Iegūtie rezultāti ļāva secināt, ka, palielinot digestāta mēslojuma normu, palielinājās skaru īpatsvars, kas ir īpaši nozīmīgs rādītājs sēklaudzēšanas sējumos.

3.13. tabula

Miežabrāļa zelmeņa sausnas ražas struktūra atšķirīgos pļāvumos, %

Mēslošanas variants	Pirmais pļāvums			Otrais pļāvums	
	stiebri	lapas	skaras	stiebri	lapas
N0	64.1±3.45	34.6±3.68	1.4±0.60	48.3±1.48	51.8±1.48
N30	60.6±3.37	37.9±3.76	1.5±0.66	47.9±2.48	52.2±2.48
N60	65.2±1.08	32.3±0.90	2.4±0.45	46.4±1.95	53.6±1.95
N60 (30+30)	63.6±1.12	33.7±1.53	2.7±0.53	48.4±3.39	51.6±3.39
N90 (30+30+30)	61.7±2.22	33.5±1.53	**4.8**±1.72	47.6±3.27	52.2±3.27
N120 (40+40+40)	64.9±1.07	30.5±1.52	**4.6**±1.22	48.8±4.19	51.2±4.19
N150 (50+50+50)	62.0±1.40	32.9±1.56	**5.1**±1.95	45.8±2.59	54.2±2.59
$Rs_{0.05}$	7.26	7.28	1.45	8.57	8.57

Salīdzinot miežabrāļa sausnas ražas struktūru pa pļaušanas režīmiem, būtiski ($p < 0.05$) augstāks stiebru īpatsvars tika konstatēts viena pļāvuma režīmā: stiebru īpatsvars svārstījās no 54.5% līdz 57.6% (vidēji 56.0%); un no 59.4% līdz 65.9% (vidēji 63.8%) attiecīgi divu pļāvumu un viena pļāvuma režīmā (3.11.att., 9. pielikums).



3.11. att. **Miežabrāļa sausnas ražas struktūra atšķirīgos pļaušanas režīmos, %**

Kaut arī netika fiksētas būtiskas atšķirības stiebru īpatsvara ziņā atšķirīgu digestāta mēslojuma normu starpā, viena pļāvuma režīmā iezīmējās tendence – jo augstāka digestāta norma, jo augstāks stiebru īpatsvars. Lapu īpatsvars svārstījās no 40.9% līdz 45.0%; un no 34.2% līdz 40.6% attiecīgi pirmajā pļāvumā un rudens pļāvumā.

Kopsavilkums. Stiebru īpatsvars 1. pļāvuma sausnas ražā vidēji trīs lietošanas gados svārstījās no 60.6% līdz 65.2%. Otrā pļāvuma sausnas ražā stiebru īpatsvars bija būtiski ($p < 0.05$) zemāks, svārstījās no 45.8% līdz 48.8%. Būtiskas ($p < 0.05$) atšķirības miežabrāļa ražas struktūras ziņā mēslošanas variantu starpā konstatētas netika. Tas sasaucas ar iepriekš aprakstītajiem pētījumu rezultātiem, kur ražas struktūras ziņā netika konstatētas būtiskas atšķirības digestāta mēslojuma un kontroles variantu starpā. Skaru īpatsvars 1. pļāvumā svārstījās no 1.4% līdz 5.1%, iezīmējot likumsakarību: jo augstāka digestāta norma, jo augstāks skaru īpatsvars. Salīdzinot miežabrāļa zelmeņu sausnas ražas struktūru pa pļaušanas režīmiem, būtiski ($p < 0.05$) augstāks stiebru īpatsvars konstatēts viena pļāvuma režīmā jeb rudens pļāvumā – vidēji 63.8% salīdzinājumā ar 56.0% pirmajā pļāvumā divu pļāvumu režīmā. Rudens pļāvumā iezīmējās tendence – jo augstāka digestāta norma, jo augstāks bija stiebru īpatsvars.

3.3. Zālaugu sausnas ķīmiskais sastāvs

Zālaugu ķīmisko sastāvu nevar viennozīmīgi vērtēt, ņemot vērā, ka zelmenis sastāv no atsevišķiem struktūrelementiem – stiebriem, lapām skarām/ vārpām, kuru īpatsvars mainās atkarībā no pļaušanas laika. Pirmā pļāvuma (divu pļāvumu režīmā) un t.s. rudens pļāvuma (viena pļāvuma režīmā) zelmeņiem ķīmiskās analīzes tika veiktas atsevišķiem struktūrelementiem: stiebriem, lapām un skarām/ vārpām. Lai noteiktu zelmeņa vidējo ķīmisko sastāvu pa pļāvumiem, tika veikts pārrēķins, ņemot vērā katra struktūrelementa īpatsvaru un ķīmisko sastāvu. Otrā pļāvuma miežabrāļa un auzeņairenes zelmeņi bija viendabīgāki, daudz lapaināki, tāpēc tiem netika veiktas struktūras analīzes, zelmeņa ķīmiskais sastāvs tika vērtēts zelmenim kopumā, neizdalot pa atsevišķām struktūrelementu grupām.

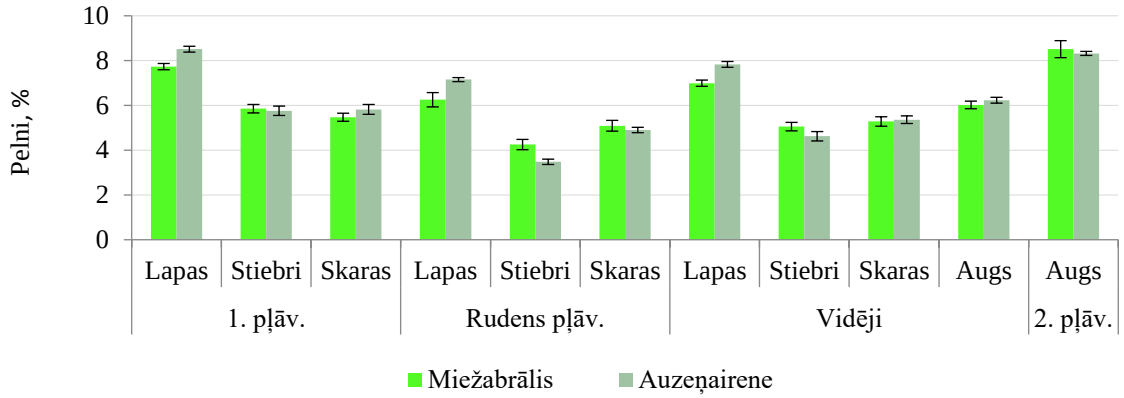
3.3.1. Mēslojuma ietekme uz zālaugu sausnas ķīmisko sastāvu

Pelni. Viens no svarīgiem biomasas kvalitātes rādītājiem ir pelni. Zālaugiem kopējais pelnu saturs mēdz svārstīties plašās robežās – no 2% līdz pāri par 20% (Boström, Skoglund, Grimm et al., 2012). Ja nobriedušas zāles sausnā pelnu saturs ir lielāks par 10%, tas parasti liecina par augsnes daļiņu klātbūtni (Kortelainen, Jokiniemi, Nuutinen et al., 2015). Standartos noteikts, ka pelnu saturs miežabrāļa sausnā, kuru paredzēts izmantot kurināmajam, nedrīkst pārsniegt 8% (Platače, 2018).

Apkopojot divu gadu zālaugu sausnas ķīmisko analīžu rezultātus, var secināt, ka atsevišķus rādītājus būtiski ietekmēja mēslošanas līdzekļa veids, zālaugu suga, pļaušanas laiks, kā arī auga daļa (3.12. att.; 10., 19. pielikums). Miežabrāļa lapās, salīdzinājumā ar auzeņairenes lapām, konstatēts būtiski ($p < 0.05$) zemāks pelnu saturs, kas kurināmā izejmateriālam vērtējams pozitīvi: 7.7% un 8.5% 1. pļāvumā; 6.3% un 7.2% rudens pļāvumā, attiecīgi miežabrālim un auzeņairenei. Gan miežabrāļa, gan auzeņairenes stiebros bija būtiski ($p < 0.05$) zemāks pelnu saturs salīdzinājumā ar lapām: tas svārstījās ap 5.8% 1. pļāvumā un ap 3.5 – 4.3% rudens pļāvumā. Vidēji pirmajā un rudens pļāvumā pelnu saturs stiebros auzeņairenei (4.6%) un miežabrālim (5.1%) būtiski neatšķīrās, kamēr pelnu saturs auzeņairenes lapās (7.8%) bija būtiski ($p < 0.05$) augstāks nekā miežabrālim (7.0%).

Izšķiroša nozīme pelnu satura ziņā bija pļaušanas laikam – gan miežabrālim, gan auzeņairenei būtiski ($p < 0.05$) zemāks pelnu saturs tika konstatēts rudens pļāvumā, kas varētu būt skaidrojams ar augu barības elementu translokāciju no virszemes daļām uz saknēm, kā arī minerālvielu mehānisku izskalošanos ar nokrišņu ūdeņiem no atmirstošajām augu daļām.

Līdzīgi rezultāti iegūti arī citviet pētījumos (Burvall, 1997; Lewandowski, Scurlock, Lindwall, Christom, 2003; Xiong, Landstrom, Olsson, 2009; Adamovičs, Platače, Gulbe, Ivanovs, 2017). Bioenerģijas ražošanas sektorā minētās parādības vērtējamas pozitīvi, jo, pirmkārt, samazināts pelnu saturs uzlabo kurināmā īpašības, otrkārt, daļa barības elementu paliek uz lauka, un tos augi atkārtoti var izmantot nākamās ražas veidošanai. Apkopojot abu sugu vidējos, konstatēts, ka pelnu saturs pirmajā un rudens pļāvumā attiecīgi bija: 8.1% un 6.7% lapās; 5.8% un 3.9% stiebros. Iegūtie dati ļauj secināt, ka, veicot zālaugu pļaušanu augu atmiršanas fāzē, kad stiebru īpatsvars zelmenī ir augstāks, var iegūt kvalitatīvāku izejmateriālu kurināmā ražošanai, jo pelnu saturs stiebros ir ievērojami zemāks, tas svārstās ap 5%, kas ir robežvērtība kvalitatīvam kurināmajam materiālam. Tāpēc biokurināmā ražošanai ieteicams izvēlēties zālaugu šķirnes ar samazinātu lapu īpatsvaru zelmenī un pļaušanu atlikt uz iespējami vēlāku termiņu rudenī.



3.12. att. **Pelnu saturs zālaugu sausnā, %**

Pelnu saturs miežabrāļa skarās un auzeņairenes vārpās (turpmāk ziedkopās) bija gandrīz identisks – vidēji 5.3% miežabrālim un 5.4% auzeņairenei (3.12. att.). Pirmajā pļāvumā pelnu saturs zālaugu ziedkopās abām sugām bija pielīdzināms pelnu saturam stiebros. Rudens pļāvumā pelnu saturs zālaugu ziedkopās bija augstāks nekā stiebros. Salīdzinot pelnu saturu atšķirīgos pļaušanas termiņos, tika konstatēts, ka rudens pļāvumā pelnu saturs ziedkopās abām sugām bija būtiski zemāks nekā 1. pļāvumā. Kaut arī rudens pļāvumā pelnu saturs ziedkopās bija nedaudz augstāks nekā stiebros, atšķirības kopumā nebija būtiskas ($p < 0.05$). Vērtējot mēslojuma ietekmi uz pelnu saturu, var secināt, ka miežabrālim zemākais pelnu saturs bija ražīgākajiem zelmeņiem, kuri tika iegūti, lietojot minerālmēslus un pelnu mēslojumu. Auzeņairenei būtiskas atšķirības mēslošanas variantu starpā konstatētas netika.

Ņemot vērā atsevišķu struktūrelementu īpatsvaru ražā un sausnas ķīmisko analīžu rezultātus, tika aprēķināts katra pļāvuma ķīmiskais sastāvs vidēji abām sugām vidēji divos gados. Būtiski augstāks ($p < 0.05$) pelnu saturs bija 2. pļāvuma zelmeņiem – vidēji 8.42%, kamēr 1. pļāvuma zelmenī tas bija par aptuveni 2% zemāks, svārstījās 6.54% robežās (3.14. tab.). Savukārt viszemākais pelnu saturs un līdz ar to atbilstošākā kvalitāte kurināmā ražošanai tika iegūta rudens pļāvumā, kur vidējais pelnu saturs bija 5.44%. Iegūtie rezultāti saskan ar citos pētījumos konstatēto, kur minēts, ka pelnu saturs zālaugu biomasā svārstījās vidēji no 6.60% līdz 8.05% (Bakker, Elbersen, 2005; Heinsoo, Hein, Melts et al., 2011; Platače, 2018).

Faktoru analīze parādīja, ka pelnu saturu zālaugu sausnā būtiski ietekmēja gan mēslojums, gan suga, gan pļaušanas laiks (3.14. tab., 10., 19. pielikums). Būtiski ($p < 0.05$) zemāks pelnu saturs miežabrāļa sausnā bija, lietojot minerālmēslus un pelnu mēslojumu. Savukārt auzeņairenei pelnu saturs starp mēslošanas variantiem pa pļaušanas termiņiem variēja. Apkopojot abu sugu datus, būtiski zemāks ($p < 0.05$) pelnu saturs zālaugu sausnā konstatēts minerālmēslu variantā. Iepriekš analizētie sausnas ražas un struktūras dati parādīja, ka minerālmēslu variantā kopumā trīs gados tika iegūtas augstākās sausnas ražas ar augstāko

stiebru īpatsvaru. Tas liecina, ka konkrētajos apstākļos minerālmēsli tika izmantoti salīdzinoši efektīvāk, nodrošinot gan augstāku sausnas ražu, gan veicinot intensīvāku stiebru veidošanos zelmenī. Tas savukārt sekmēja kurināmā ražošanai atbilstošāka izejmateriāla ieguvi ar zemāku pelnu saturu.

3.14. tabula

Pelnu saturs auzeņairenes un miežabrāļa sausnā, %

Mēslošanas variants / Suga	Pļāvums			Vidēji
	pirmais	otrais	rudens	
F/F_{05}=8.6/3.4				
Kontrole	6.34±0.22	**9.03**±0.67	5.72±0.13	**7.03**±0.34
Minerālmēsli	6.44±0.08	7.74±0.38	5.01±0.32	6.39±0.21
Pelni	6.68±0.06	7.86±0.08	5.53±0.15	6.69±0.09
Digestāts 1×	6.74±0.39	8.40±0.47	5.33±0.25	6.82±0.11
Digestāts 2×	6.51±0.10	**9.05**±0.39	5.59±0.03	**7.05**±0.11
Vidēji	6.54±0.06	8.42±0.40	5.44±0.18	×
F/F_{05}=14.0/4.2				
Miežabrālis	6.27±0.12	8.51±0.71	4.83±0.29	6.54±0.29
Auzeņairene	**6.81**±0.01	8.32±0.08	**6.05**±0.06	**7.06**±0.05

Pelnu daudzumu zālaugu sausnā lielā mērā noteica zālaugu suga: būtiski ($p < 0.05$) zemāks pelnu saturs tika konstatēts miežabrālim pirmajā un rudens pļāvumā. Otrajā pļāvumā pelnu satura ziņā starp sugām netika konstatētas būtiskas atšķirības. Tas galvenokārt skaidrojams ar zelmeņa struktūras izmaiņām – miežabrālis atšķirībā no auzeņairenes veidoja lapaināku atālu, stiebru daudzums tajā bija minimāls. Apkopojot visu trīs pļaušanas termiņu datus, konstatēts, ka miežabrāļa sausnā pelnu saturs bija būtiski ($p < 0.05$) zemāks salīdzinājumā ar auzeņaireni: attiecīgi 6.54% un 7.06%. Platačes (2018) pētījumos par zālaugu izmantošanu cietā biokurināmā ražošanai vidējais pelnu saturs miežabrālim bija 7.36%, auzeņairenei 7.14%, un tika secināts, ka pelnu saturs ir atkarīgs no sugas un meteoroloģiskajiem apstākļiem. Pelnu saturs var mainīties pa gadiem, bet proporcionālās izmaiņas saglabājas.

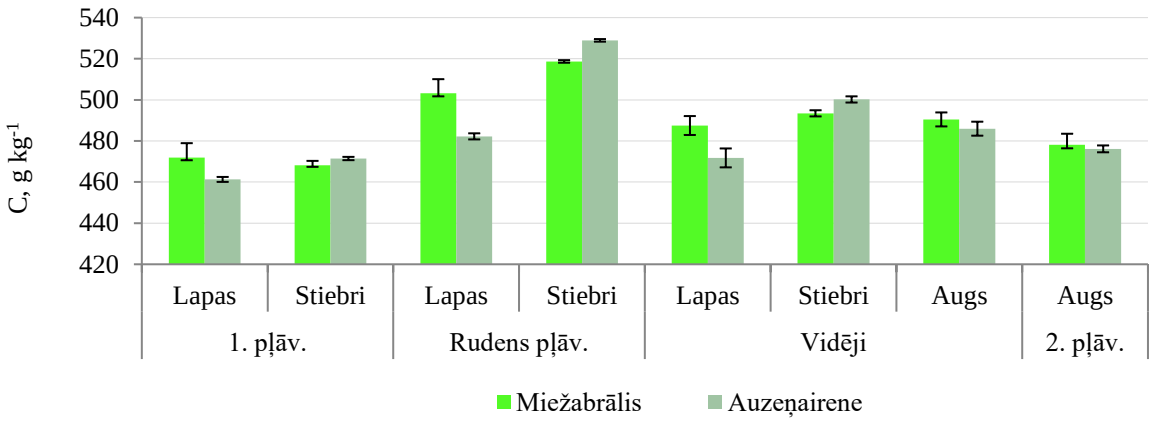
Ogleklis (C) ir galvenais degošais elements kurināmajā. Augu sausnā tas parasti svārstās ap 450 g kg^{-1} C (Demirbas, 2004). Mūsu izmēģinājumā oglekļa daudzums variēja atkarībā no auga daļas, zālaugu sugas, pļaušanas laika: tas svārstījās vidēji no 454 līdz 539 g kg^{-1}. Oglekļa saturu ietekmēja arī izmantotais mēslojums, būtiski ($p < 0.05$) augstāks oglekļa saturs bija minerālmēslu variantā: 492.3 g kg^{-1} vidēji pirmā un rudens pļāvuma sausnā; un 483.1 g kg^{-1} 2.pļāvuma sausnā (12., 20. pielikums). Salīdzinot atšķirīgu auga daļu ķīmisko sastāvu, būtiski augstāks oglekļa saturs tika konstatēts stiebros (3.13. att.). Auzeņairenes stiebros abos pļaušanas režīmos oglekļa saturs bija būtiski ($p < 0.05$) augstāks nekā miežabrālim. Attiecībā uz lapām – būtiski ($p < 0.05$) augstāks oglekļa saturs konstatēts miežabrāļa lapās salīdzinājumā ar auzeņaireni. Līdz ar to vidējais oglekļa saturs zālaugu sausnā sugu starpā būtiski ($p < 0.05$) neatšķīrās.

Vērtējot oglekļa saturu atšķirīgos pļāvumos, būtiski ($p < 0.05$) augstāks oglekļa saturs konstatēts rudens pļāvumā – vidēji 505.9 g kg^{-1} C. Pirmā un otrā pļāvuma zelmeņos oglekļa saturs būtiski neatšķīrās, tas bija attiecīgi 475.1 un 477.1 g kg^{-1} C (3.15. tab.). Vērtējot atšķirības zālaugu sugu starpā, konstatēts, ka būtiski augstāks oglekļa saturs bija miežabrālim: rudens pļāvumā vidēji 514.2 g kg^{-1}, 1. un 2. pļāvumā attiecīgi 471.7 g kg^{-1} un 478.1 g kg^{-1}, kamēr auzeņairenei tas svārstījās no 476.2 2. pļāvumā līdz 497.6 g kg^{-1} rudens pļāvumā. Līdzīgas tendences parādās arī citviet veiktajos pētījumos Latvijā – vidējais oglekļa saturs miežabrāļa sausnā svārstījās ap 451.1 g kg^{-1} mēslotajos zelmeņos un ap 449.3 g kg^{-1} nemēslotajos (Platače, 2018).

3.15. tabula

Oglekļa saturs zālaugu sausnā atšķirīgos pļāvumos, g kg^{-1} C

Mēslošanas variants / Suga	Pļāvums			Vidēji
	pirmais	otrais	rudens	
F/F$_{05}$=21.1/3.3				
Kontrole	472.3±3.21	474.0±8.05	504.7±2.99	483.7±4.75
Minerālmēsli	478.5±2.55	483.1±2.52	510.2±3.56	**490.6**±1.18
Pelni	479.3±0.29	479.9±4.50	503.2±5.42	487.5±3.40
Digestāts 1×	473.1±3.07	475.9±5.74	506.8±3.10	485.3±3.97
Digestāts 2×	472.6±1.81	472.6±5.80	504.5±1.85	483.2±1.92
Vidēji	475.1±1.16	477.1±5.32	505.9±2.64	×
F/F$_{05}$=8.0/4.2				
Miežabrālis	471.7±1.06	478.1±7.20	**514.2**±5.50	**488.0**±4.59
Auzeņairene	**478.6**±1.27	476.2±3.45	497.6±0.22	484.1±1.50



3.13. att. **Oglekļa saturs zālaugu sausnā, g kg^{-1} C**

Slāpeklis (N) zālaugu sausnā kurināmajam nav vēlams, jo tas degšanas laikā emitē, līdz ar to lielā mērā ir atbildīgs par NO_x emisijām no sadedzināšanas sistēmām un slāpekļa zudumiem no ekosistēmām (Bakker, Elbersen, 2005; Tonn, Thumm, Claupein, 2010). Ieteicamais slāpekļa daudzums biomasā, kuru plāno izmantot kurināmā ražošanai, ir < 0.6% jeb < 6 g kg^{-1} (Obernberger, Brunner, Barnthaler, 2006), bet standartā LVS EN ISO 17225-6:2014 (SIST EN ISO 17225-2:2021)[20] noteikts, ka slāpekļa saturs sausnā nedrīkst pārsniegt 2%. Mūsu izmēģinājumā vidējais slāpekļa saturs svārstījās no 11.11 g kg^{-1} līdz 20.73 g kg^{-1} 1. pļāvuma sausnā; no 11.04 g kg^{-1} līdz 14.26 g kg^{-1} 2. pļāvuma sausnā un no 6.53 g kg^{-1} līdz 11.45 g kg^{-1} rudens pļāvuma sausnā (14. pielikums). Arī citviet veiktajos pētījumos iegūti līdzīgi dati, vienu reizi sezonā vāktajam miežabrāļa zelmenim vidējais slāpekļa saturs bija 11.3 g kg^{-1} (Platače, 2018). Būtiski ($p < 0.05$) augstāks slāpekļa saturs bija pelnu un minerālmēslu variantos – vidēji abos pļaušanas režīmos attiecīgi 13.10 g kg^{-1} N un 12.65 g kg^{-1} N, kamēr kontroles un digestāta variantos vidējais slāpekļa saturs trīs pļāvumos bija būtiski zemāks par iepriekšminētajiem, tas svārstījās no 10.91 līdz 11.39 g kg^{-1} N_{kop}. Iegūtie rezultāti saskan ar citviet pētījumos konstatēto (Nilsson, Bernesson, Hansson, 2011; Tilvikiene, Kadžiuliene, Dabkevičius et al., 2014), kas

[20] Solid biofuels - Fuel specifications and classes - Part 2: Graded wood pellets (ISO 17225-2:2021). [Tiešsaiste] [skatīts 2021. g. 25. augustā]. Pieejams: https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/5e415858-a1b4-42ea-aa30-9e4f0b675725/en-iso-17225-2-2021

apstiprina, ka slāpekļa saturs biomasā pieaug, palielinot slāpekļa mēslojuma devu un pļaušanu veicot agrīnākās zālaugu attīstības fāzēs.

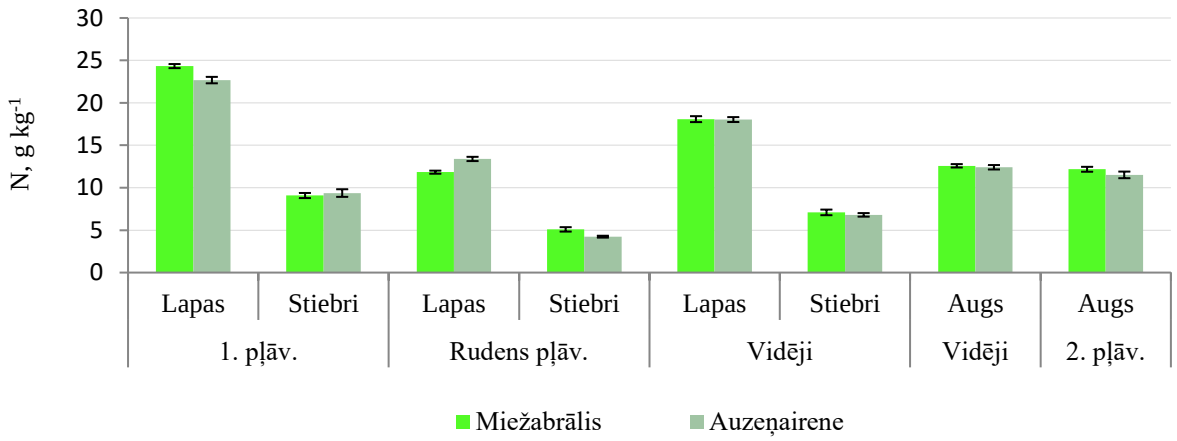
Būtiskas atšķirības slāpekļa satura ziņā bija vērojamas arī sugu starpā – zemāks slāpekļa saturs un līdz ar to atbilstošāka kvalitāte kurināmā ražošanai bija miežabrāļa zelmeņiem: vidēji 12.88 g kg^{-1} N 1. pļāvuma sausnā; 12.82 g kg^{-1} N 2. pļāvuma un 7.03 g kg^{-1} N rudens pļāvuma sausnā (3.16. tab.). Auzeņairenei vidējais slāpekļa saturs svārstījās no 10.46 g kg^{-1} N rudens pļāvumā līdz 16.25 g kg^{-1} N 1. pļāvumā. Līdzīgas tendences parādās arī citviet veiktajos izmēģinājumos – miežabrālim slāpekļa saturs ir zemāks nekā auzeņairenei, attiecīgi 11.3 g kg^{-1} N un 11.8 g kg^{-1} N (Platače, 2018). Izmēģinājumu rezultāti parādīja, ka kvalitatīvāko izejmateriālu kurināmajam slāpekļa satura ziņā iespējams nodrošināt, variējot pļaušanas laiku – rudens pļāvumā bija būtiski zemāks slāpekļa saturs abām zālaugu sugām visos mēslošanas variantos.

3.16. tabula

Kopējā slāpekļa saturs zālaugu sausnā atšķirīgos pļāvumos, g kg^{-1} N

Mēslošanas variants / Suga	Pļāvums			Vidēji
	pirmais	otrais	rudens	
F/F_{05}=34.2/3.3				
Kontrole	12.08±0.10	13.18±0.90	7.95±0.67	11.07±0.11
Minerālmēsli	**16.35**±0.58	11.84±0.25	**9.75**±0.61	**12.65**±0.31
Pelni	**18.51**±0.83	11.29±0.32	**9.49**±0.58	**13.10**±0.19
Digestāts 1×	13.84±0.89	12.12±0.25	8.21±0.79	11.39±0.47
Digestāts 2×	12.03±0.09	12.40±0.44	8.31±0.70	10.91±0.06
Vidēji	14.56 ±0.09	12.17±0.43	8.74±0.67	×
F/F_{05}=46.2/4.2				
Miežabrālis	12.88±0.26	**12.82**±0.43	7.03±0.73	10.91±0.19
Auzeņairene	**16.25**±0.08	11.51±0.44	**10.46**±0.61	**12.74**±0.03

Salīdzinot slāpekļa daudzumu lapās un stiebros, atklājās, ka zālaugu lapas satur vidēji 2.5 reizes vairāk slāpekļa nekā stiebri (3.14. att., 23. pielikums).

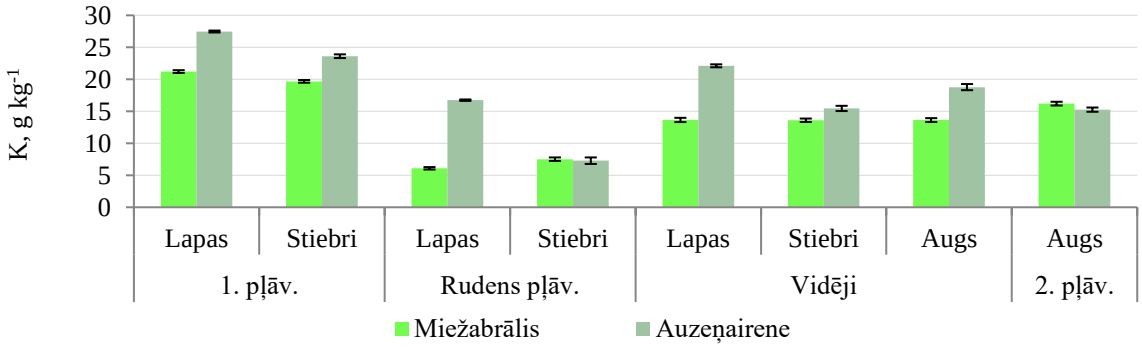


3.14. att. **Kopējā slāpekļa saturs zālaugu sausnā, g kg^{-1} N**

Arī citu pētnieku izmēģinājumos secināts, ka slāpeklis vairāk koncentrējas lapās un jaunajos dzinumos, stiebros tā ir mazāk (Lanning, Eleuterius, 1989). Slāpekļa saturs cieši korelē ar kopproteīna daudzumu (15. pielikums), tādēļ zelmeņiem ar augstāku lapu īpatsvaru parasti ir augstāka lopbarības kvalitāte, bet bioenerģijas ražošanai lietderīgāk izmantot biomasu ar zemāku slāpekļa daudzumu. Salīdzinot slāpekļa saturu miežabrāļa un auzeņairenes starpā, var

secināt, ka atkarībā no pļāvuma nedaudz mainījās slāpekļa saturs atsevišķos struktūrelementos, bet atšķirības lielākoties nebija būtiskas. Savukārt mēslojuma variantu starpā visos pļāvumos – gan lapās, gan stiebros būtiski augstāks slāpekļa saturs bija, lietojot pelnu mēslojumu un minerālmēslus (13., 20. pielikums).

Kālijs (K) pazemina pelnu kušanas temperatūru, kas vērtējams kā negatīvs process, jo var izraisīt pelnu sakušanu, cietu gabalu veidošanos un kurtuvju mehānismu bojājumus (Kalnačs, Grehovs, Grigale u.c., 2008; Alakangas, 2010; Vassilev, Baxter, Andersen, Vassileva, 2010). Tāpēc, audzējot zālaugus biokurināmā ražošanai, jācenšas rast iespējas samazināt kālija daudzumu sausnā. Rudens pļāvuma sausnā kālija saturs bija būtiski zemāks (2 – 4 reizes salīdzinājumā ar 1. pļāvumu). Lapās rudens pļāvumā vidēji bija 10.64 –12.02 g kg^{-1} K; stiebros 6.41 – 8.25 g kg^{-1} K, kamēr 1. pļāvumā kālija saturs svārstījās ļoti plašā amplitūdā: lapās no 18.87 g kg^{-1} K miežabrālim kontroles variantā līdz 32.63 g kg^{-1} K auzeņairenei minerālmēslu variantā; stiebros attiecīgi no 18.51 g kg^{-1} K līdz 26.81 g kg^{-1} K (15., 20. pielikums). Salīdzinot sugu starpā, konstatēts, ka miežabrālim visos pļāvumos gan stiebros, gan lapās bija būtiski zemāks kālija saturs (3.15. att.), pie kam, atšķirībā no auzeņairenes, miežabrāļa lapās un stiebros kālija saturs bija līdzvērtīgs. Turpretī auzeņairenes lapās visos pļāvumos konstatēts būtiski augstāks kālija saturs nekā stiebros: vidēji 22.1 g kg^{-1} K lapās un 13.65 g kg^{-1} K stiebros. Veicot kālija pārrēķinu zelmeņiem pa pļāvumiem pēc struktūrelementu īpatsvara, tika konstatētas šādas sakarības: zemākais kālija saturs bija rudens pļāvumā – vidēji 9.36 g kg^{-1} K, augstākais 1. pļāvumā – vidēji 21.82 g kg^{-1} K (3.17. tab.).



3.15. att. **Kālija saturs zālaugu sausnā, g kg^{-1} K**

3.17. tabula

Kālija saturs zālaugu sausnā atšķirīgos pļāvumos, g kg^{-1} K

Mēslošanas variants / Suga	Pļāvums			Vidēji
	pirmais	otrais	rudens	
F/F_{05}=2.1/3.3				
Kontrole	18.54±0.06	16.30±0.24	8.56±0.81	14.47±0.17
Minerālmēsli	**23.44**±0.09	15.41±0.56	6.77±1.72	15.21±0.73
Pelni	21.88±0.59	15.08±0.70	**10.60**±0.63	15.85±0.64
Digestāts 1×	**23.42**±1.37	16.74±0.11	**10.82**±0.13	**16.99**±0.54
Digestāts 2×	21.84±0.30	17.45±1.68	**10.03**±0.40	**16.44**±0.62
Vidēji	21.82±0.06	16.20±0.39	9.36±0.16	×
F/F_{05}=37.4/4.2				
Miežabrālis	19.82±0.06	15.26±0.37	7.08±0.31	14.05±0.21
Auzeņairene	**23.83**±0.07	17.13±0.41	**11.64**±0.63	**17.53**±0.22

Kaut arī rezultāti variēja pa pļāvumiem, kopumā zālaugu sausna ar zemāko kālija saturu tika iegūta kontroles variantā, savukārt būtiski ($p < 0.05$) augstāks kālija saturs bija ar digestātu

mēslotajos zelmeņos, kas varētu būt skaidrojams ar to, ka digestātā esošais kālijs bija augiem viegli uzņemamā formā. Miežabrāļa sausnā visos pļāvumos konstatēts būtiski ($p < 0.05$) zemāks kālija saturs salīdzinājumā ar auzeņaireni, vidējie rādītāji bija attiecīgi 14.05 g kg^{-1} K un 17.53 g kg^{-1} K. Līdzīgas tendences – augstāks kālija saturs mēslošanas ietekmē salīdzinājumā ar nemēslotajiem zelmeņiem un variantos ar zemākām kālija mēslojuma devām parādās arī citu pētnieku izmēģinājumos (Bērziņš, Antonijs, Rumpāns, 1999; Adamovičs, 2009). Tāpat ir secināts, ka ievērojamas atšķirības kālija satura ziņā ir sastopamas atšķirīgu zālaugu sugu starpā, tikai kālija saturs bija salīdzinoši augstāks – 22.1 g kg^{-1} miežabrālim un 26.9 g kg^{-1} auzeņairenei (Platače, 2018).

Fosfora (P) saturs zālaugu sausnā bija salīdzinoši zems, tas vidēji svārstījās 0.5 – 2.5 g kg^{-1} P robežās. Augstāks fosfora saturs bija lapās (16., 20., 23. pielikums), turklāt 1. pļāvuma lapās tas bija būtiski augstāks (1.97 – 2.66 g kg^{-1} P) salīdzinājumā ar rudens pļāvumu, kur fosfora saturs lapās svārstījās no 1.68 līdz 2.11 g kg^{-1} P. Zemākais fosfora saturs konstatēts auzeņairenes stiebros rudens pļāvumā (0.48 – 0.79 g kg^{-1} P), kamēr miežabrāļa stiebros tas bija ievērojami (2 – 3 reizes) augstāks, svārstījās no 1.12 – 2.20 g kg^{-1} P. Pirmā un otrā pļāvuma zelmeņos kopumā netika konstatētas būtiskas atšķirības fosfora satura ziņā, bet rudens pļāvumā tas bija būtiski ($p < 0.05$) zemāks. Tika konstatētas arī atšķirības starp sugām: būtiski augstāks fosfora saturs visos pļāvumos kopumā bija miežabrāļa zelmeņos. Atšķirībā no slāpekļa un kālija, kuru saturs mēslotajos zelmeņos bija būtiski augstāks, fosfora satura ziņā rezultāti variēja (3.18. tab.).

3.18. tabula

Fosfora saturs zālaugu sausnā atšķirīgos pļāvumos, g kg^{-1} P

Mēslošanas variants / Suga	Pļāvums			Vidēji
	pirmais	otrais	rudens	
F/F_{05}=14.5/3.3				
Kontrole	2.39±0.01	2.54±0.03	**1.85**±0.04	**2.26**±0.01
Minerālmēsli	2.10±0.02	2.28±0.09	1.01±0.06	1.80±0.06
Pelni	2.12±0.02	2.12±0.07	1.50±0.03	1.91±0.02
Digestāts 1×	2.43±0.02	2.49±0.04	1.67±0.05	**2.20**±0.04
Digestāts 2×	2.39±0.09	**2.70**±0.07	1.62±0.01	**2.24**±0.06
Vidēji	2.29±0.03	2.43±0.05	1.53±0.04	×
F/F_{05}=48.9/4.2				
Miežabrālis	**2.42**±0.02	**2.87**±0.04	1.59±0.06	**2.29**±0.04
Auzeņairene	2.15±0.04	1.99±0.05	1.47±0.02	1.87±0.05

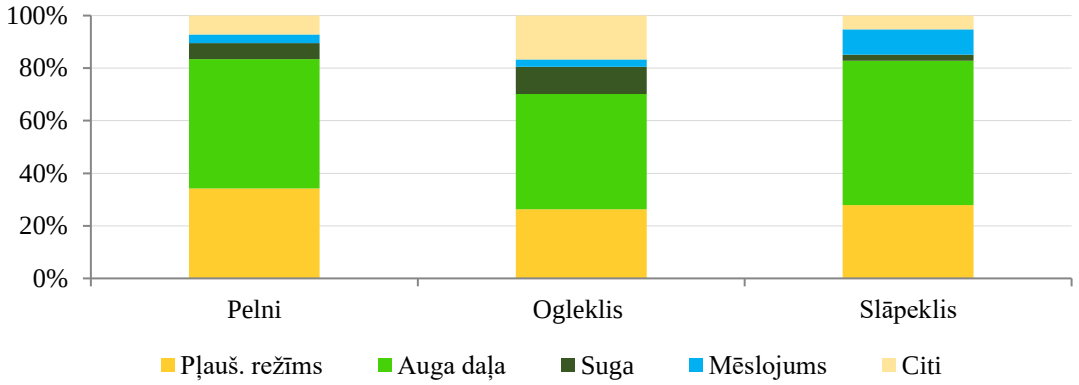
Kalcija (Ca) saturs vidēji 1. pļāvumā svārstījās šādās robežās: 1.9 – 3.4 g kg^{-1} Ca lapās; 0.28 – 0.73 g kg^{-1} Ca stiebros (24. pielikums). Augstākais kalcija saturs 1. pļāvumā bija, lietojot pelnu mēslojumu (17., 21. pielikums). Otrajā pļāvumā kalcija saturs visiem zelmeņiem bija ļoti līdzīgs (1.5 – 1.9 g kg^{-1} Ca). Sugu starpā kalcija satura ziņā netika konstatētas būtiskas atšķirības.

Magnija (Mg) saturs zālaugu biomasā bija ļoti līdzīgs kalcija saturam: 1. pļāvumā vidēji 1.9 – 3.2 g kg^{-1} Mg lapās un 0.56 – 1.25 g kg^{-1} Mg stiebros; 2. pļāvuma zelmenī tas svārstījās vidēji ap 1.5 – 2.2 g kg^{-1} Mg (24. pielikums). Arī tendences bija ļoti līdzīgas – augstākais magnija saturs abos pļāvumos konstatēts pelnu mēslojuma variantos (18., 21. pielikums). Tas varētu būt skaidrojams ar augsto kalcija un magnija saturu pelnu mēslojumā. Salīdzinot magnija saturu sugu starpā, atklājās, ka salīdzinoši bagātāki ar šo elementu bija miežabrāļa zelmeņi.

Sēra (S) saturs vidēji divos lietošanas gados miežabrālim visos pļāvumos svārstījās no 1839.9 mg kg^{-1} S pelnu mēslojuma variantā līdz 2480.6 mg kg^{-1} S minerālmēslu variantā (13., 20. pielikums). Auzeņairenes sausnā kopumā bija zemāks sēra saturs, tas svārstījās no

1322.6 mg kg^{-1} S, lietojot pelnu mēslojumu, līdz 1561.7 mg kg^{-1} S, lietojot digestāta mēslojumu vienā paņēmienā. Sēra klātbūtne kurināmajā nav vēlama, jo degšanas laikā var veidoties nevēlamas emisijas (Alakangas, 2010), turklāt sērs izraisa kurināšanas iekārtu eroziju. Sēra daudzumu biomasā var samazināt, izmantojot mēslojumu bez sēra klātbūtnes un veicot pļaušanu iespējami nobriedušākam zelmenim ar augstāku stiebru īpatsvaru. Izmēģinājumu dati parāda, ka lapas saturēja ievērojami lielāku sēra daudzumu nekā stiebri (23. pielikums). Ar to izskaidrojams fakts, ka būtiski augstāks sēra saturs bija 2. pļāvuma zelmenim, kuram raksturīgs augstāks lapu īpatsvars. Viszemākais sēra saturs bija rudens pļāvumā.

Datu analīze parādīja, ka zālaugu sausnas ķīmiskais sastāvs lielā mērā bija atkarīgs no dažādiem faktoriem. Izšķiroša nozīme pelnu satura ziņā bija zelmeņa frakcijai jeb auga daļai (49.2%) un pļaušanas režīmam (34.2%). Sugas izvēle pelnu saturu ietekmēja 6.1% apmērā, mēslojums – 3.3% apmērā (3.16. att.). Arī oglekļa un slāpekļa saturu lielā mērā noteica zelmeņa frakcija (attiecīgi 43.9% un 54.9%) un pļaušanas režīms (attiecīgi 26.3% un 27.9%). Oglekļa saturu 10.3% apmērā noteica sugas izvēle, savukārt slāpekļa saturu 9.6% apmērā ietekmēja lietotais mēslojums.



3.16. att. **Atšķirīgu faktoru ietekme uz zālaugu sausnas ķīmisko sastāvu**

Kopumā var secināt, ka mūsu izmēģinājumā iegūtie rezultāti saskanēja ar citu pētnieku atzinumiem (Prochnow, Heiermann, Plöchl et al., 2009; Poiša, 2015; Platače, 2018), kuri secinājuši, ka biomasas kvalitāti lielā mērā ietekmē augšanas apstākļi, zālaugu suga, pļaušanas režīms un mēslojums.

Kopsavilkums. Zālaugu sausnas ķīmisko sastāvu būtiski ietekmēja zālaugu suga un pļaušanas laiks, mazāk mēslojuma veids. Būtiskas atšķirības konstatētas atšķirīgās auga daļās.

Pelnu saturs, atkarībā no sugas, pļaušanas laika un auga daļas, svārstījās no 3.48% (auzeņairenes stiebros rudens pļāvumā) līdz 8.51% (miežabrāļa zelmenī 2. pļāvumā). Visu trīs pļaušanas termiņu vidējie dati liecina, ka miežabrāļa zelmenī pelnu saturs bija būtiski ($p < 0.05$) zemāks salīdzinājumā ar auzeņaireni: attiecīgi 6.5% un 7.1%. Gan miežabrāļa, gan auzeņairenes stiebros bija būtiski ($p < 0.05$) zemāks pelnu saturs salīdzinājumā ar lapām. Mēslošanas variantu starpā miežabrālim zemākais pelnu saturs tika konstatēts ražīgākajiem zelmeņiem, kuri tika iegūti, lietojot pelnu mēslojumu un minerālmēslus. Auzeņairenei savukārt pelnu satura ziņā starp mēslošanas variantiem netika konstatētas būtiskas atšķirības. Vērtējot abas sugas kopā, būtiski zemāks ($p < 0.05$) pelnu saturs tika konstatēts, lietojot minerālmēslus. Augstākais pelnu saturs abām sugām tika konstatēts otrajā pļāvumā, zemākais – rudens pļāvumā. Zālaugu sausnu ar viszemāko pelnu saturu un attiecīgi atbilstošāko kvalitāti kurināmā ražošanai nodrošināja rudens pļāvums ar vidējo pelnu saturu abām sugām 5.44%.

Oglekļa (C) saturs sausnā atkarībā no auga daļas, zālaugu sugas un pļaušanas laika variēja vidēji no 454 līdz 539 g kg^{-1} C. Būtiski ($p < 0.05$) augstāks oglekļa saturs konstatēts stiebros minerālmēslu variantā. Kopumā bagātāki ar oglekli bija miežabrāļa zelmeņi. Būtiski ($p < 0.05$) augstāks oglekļa saturs konstatēts rudens pļāvumā – vidēji 505.9 g kg^{-1} C, kamēr pirmā

(475.1 g kg^{-1} C) un otrā (477.1 g kg^{-1} C) pļāvuma zelmeņos oglekļa saturs būtiski neatšķīrās. Oglekļa saturs nedaudz variēja atkarībā no mēslošanas līdzekļa, bet tam nebija būtiska ietekme.

Slāpekļa (N) saturs zālaugu sausnā, atkarībā no pļaušanas laika, abām sugām vidēji svārstījās šādās robežās: 11.11 – 20.73 g kg^{-1} N 1. pļāvumā; 1.04 g kg^{-1} – 14.26 g kg^{-1} N 2. pļāvumā; 6.53 g kg^{-1} – 11.45 g kg^{-1} N rudens pļāvumā. Būtiski ($p < 0.05$) augstāks slāpekļa saturs vidēji abos pļaušanas režīmos bija pelnu (vidēji 13.1 g kg^{-1} N) un minerālmēslu (12.65 g kg^{-1} N) variantos, kamēr kontroles un digestāta variantos tas svārstījās attiecīgi no 10.91 līdz 11.39 g kg^{-1} N. Būtiskas atšķirības slāpekļa satura ziņā bija vērojamas arī sugu starpā – zemāks slāpekļa saturs bija miežabrāļa zelmeņiem. Būtiski zemāks slāpekļa saturs abām zālaugu sugām visos mēslošanas variantos konstatēts rudens pļāvumā. Zālaugu stiebros bija vidēji 2.5 reizes zemāks slāpekļa saturs salīdzinājumā ar lapām.

Kālija (K) saturs biokurināmajā vēlams pēc iespējas zemāks. Pētīto zālaugu sausnā būtiski zemāks kālija saturs (vidēji 9.36 g kg^{-1} K) tika konstatēts rudens pļāvumā, kur tā daudzums salīdzinājumā ar 1. pļāvumu (vidēji 21.82 g kg^{-1} K) bija pat 2 – 4 reizes zemāks. Sugu starpā būtiski zemāks kālija saturs bija miežabrālim: vidēji 14.05 g kg^{-1} K miežabrālim un 17.53 g kg^{-1} K auzeņairenei. Atšķirībā no auzeņairenes, kuras lapās konstatēts būtiski augstāks kālija saturs salīdzinājumā ar stiebriem, miežabrāļa lapās un stiebros kālija saturs būtiski neatšķīrās. Kaut arī rezultāti atšķīrās pa pļāvumiem, kopumā zemākais kālija saturs bija nemēslotajos zelmeņos, savukārt būtiski augstāks kālija saturs bija ar digestātu mēslotajos zelmeņos.

Fosfora (P) saturs bija salīdzinoši zems, tas vidēji svārstījās no 0.5 līdz 2.5 g kg^{-1} P. Stiebros fosfora saturs bija būtiski zemāks salīdzinājumā ar lapām. Pirmā un otrā pļāvuma zelmeņu starpā netika konstatētas būtiskas atšķirības, bet rudens pļāvumā fosfora saturs bija būtiski ($p < 0.05$) zemāks. Būtiskas atšķirības fosfora satura ziņā tika konstatētas arī sugu starpā – zemāks P saturs visos pļāvumos bija miežabrālim.

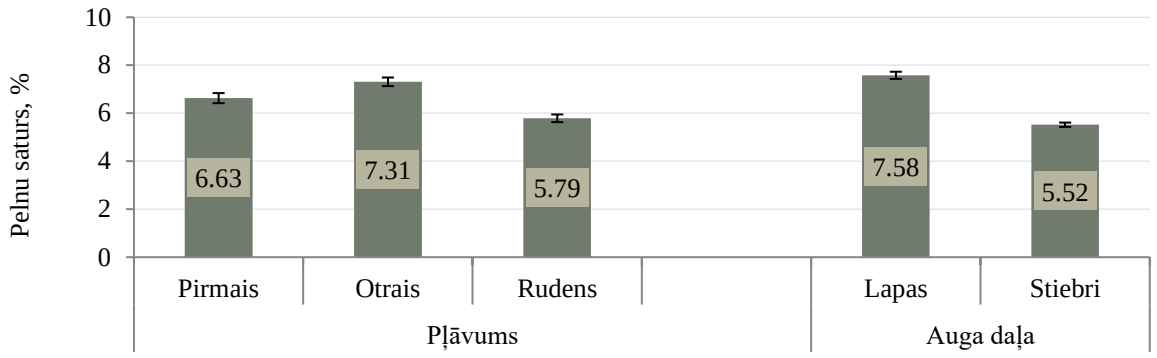
Kopumā var secināt, ka lielākoties mēslošanas līdzekļu ietekme uz zālaugu, sevišķi miežabrāļa, sausnas ķīmisko sastāvu nebija būtiska ($p < 0.05$).

3.3.2. Miežabrāļa sausnas ķīmiskais sastāvs atkarībā no digestāta normas

Vidējais pelnu saturs miežabrāļa sausnā atšķirīgos digestāta mēslojuma variantos būtiski neatšķīrās, tas vidēji viena un divu pļāvumu režīmā svārstījās no 6.2% līdz 6.9%. Būtiskas atšķirības starp mēslošanas variantiem netika konstatētas arī oglekļa, slāpekļa, fosfora un kālija satura ziņā. Vidēji abos pļaušanas režīmos tie svārstījās šādās robežās: 469.9 – 480.0 g kg^{-1} C; 13.4 – 15.2 g kg^{-1} N; 2.1 līdz 2.5 g kg^{-1} P; 15.5 – 17.4 g kg^{-1} K (25. pielikums). Līdzīgi rezultāti iegūti arī Adamoviča et al. (2019) pētījumos, kur secināts, ka oglekļa saturs miežabrāļa biomasā būtiski nemainās atkarībā no slāpekļa mēslojuma daudzuma. Slāpekļa normas palielinājums no 30 kg ha^{-1} līdz 180 kg ha^{-1} palielināja vidējo oglekļa saturu tikai par 2%. Savukārt citviet pētījumos (Platače, 2018) minēts, ka pelnu, oglekļa, slāpekļa un kālija saturs zālaugu sausnā pieaug līdz ar mēslojuma normas palielināšanu. Slovākijā ilgtermiņā veiktos pētījumos secināts, ka mēslotajos variantos līdz ar zālaugu ražas pieaugumu palielinās arī makroelementu saturs sausnā (Vargova, Kanianska, Kizekova et al., 2020). Arī iepriekš aprakstītajos pētījumos mēslojuma ietekme uz zālaugu ķīmisko sastāvu nav vērtējama viennozīmīgi. Augstāks oglekļa, slāpekļa, kālija, kalcija un magnija saturs zālaugu sausnā kopumā bija mēslotajos variantos. Savukārt pelnu un fosfora satura ziņā tendences drīzāk bija pretējas. Visādā ziņā mēslojuma ietekme uz ķīmisko sastāvu abos izmēģinājumos bija salīdzinoši neliela.

Miežabrāļa zelmeņa ķīmiskais sastāvs būtiski atšķīrās atkarībā no auga daļas un pļaušanas termiņa. Lapās tika konstatēts būtiski ($p < 0.05$) augstāks pelnu saturs salīdzinājumā ar stiebriem, vidējais rādītājs bija attiecīgi 7.58% un 5.52% (3.17. att.). Būtiskas atšķirības pelnu satura ziņā tika konstatētas arī starp atšķirīgiem pļāvumiem: zemākais pelnu saturs (5.79%) bija

rudens pļāvumam; augstākais (7.31%) – 2. pļāvumam. Pirmā pļāvuma pelnu saturs vidēji bija 6.63%, kas bija būtiski ($p < 0.05$) zemāks salīdzinājumā ar 2. pļāvumu, bet būtiski ($p < 0.05$) augstāks salīdzinājumā ar rudens pļāvumu.



3.17. att. **Pelnu saturs atšķirīgos miežabrāļa pļāvumos un daļās, %**

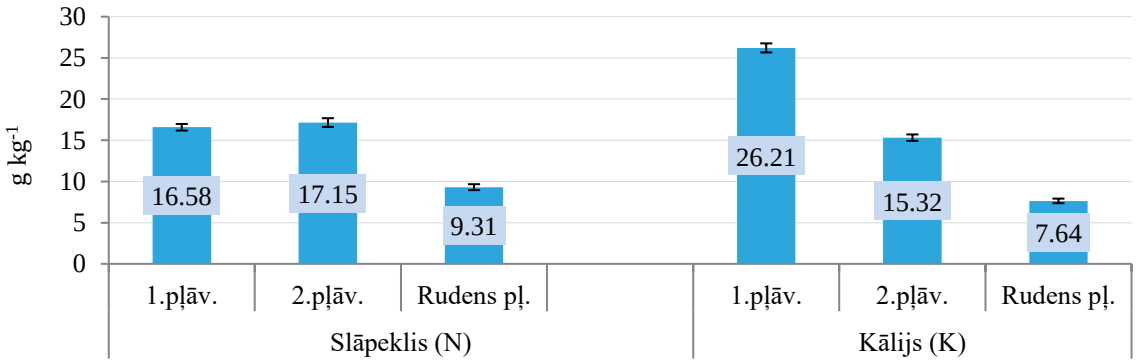
Būtiskas atšķirības miežabrāļa zelmeņiem pa pļāvumiem konstatētas arī atsevišķu ķīmisko elementu satura ziņā. Oglekļa saturs svārstījās no 466.84 g kg^{-1} 2. pļāvumā līdz 479.9 g kg^{-1} rudens pļāvumā, tikai nedaudz zemāks (477.92 g kg^{-1}) tas bija 1. pļāvumā, un datu analīze apstiprināja būtiski ($p < 0.05$) augstāku oglekļa saturu pirmajam un rudens pļāvumam salīdzinājumā ar 2. pļāvumu (3.19. tab.). Būtiski augstāks sēra (160.32 g kg^{-1} S) un fosfora (2.69 g kg^{-1} P) saturs tika konstatēts otrajam pļāvumam. Zemākais fosfora saturs (1.60 g kg^{-1} P) bija rudens pļāvumā. Bagātāks ar kalciju un magniju bija otrais pļāvums.

3.19. tabula

Miežabrāļa sausnas ķīmiskais sastāvs atšķirīgos pļāvumos, g kg^{-1} sausnā

Pļāvumi	Ogleklis (C)	Sērs (S)	Fosfors (P)	Kalcija (Ca)	Magnijs (Mg)
F/F_{05}	8.3/3.5	78.0/3.5	143.8/3.5	16.2/4.7	5.6/4.7
Pirmais	**477.92**	59.62	2.42	1.27	1.63
Otrais	466.84	**160.32**	**2.69**	**1.59**	**1.85**
Rudens	**479.90**	68.73	1.60	×	×
$Rs_{0.05}$	7.23	18.60	0.14	0.17	0.20

Slāpekļa satura ziņā būtiski ($p < 0.05$) augstāki rādītāji bija 1. un 2. pļāvuma zelmeņiem, attiecīgi 16.58 g kg^{-1} un 17.15 g kg^{-1}, kamēr rudens pļāvumā slāpekļa saturs bija samazinājies gandrīz uz pusi, miežabrāļa sausnā tika konstatēti tikai 9.31 g kg^{-1} N (3.18. att.).



3.18. att. **Slāpekļa un kālija saturs miežabrāļa sausnā, g kg^{-1}**

Līdzīgas tendences novērotas arī kālija satura ziņā, tikai šeit kālija samazinājums bija lineārs: no 26.21 g kg^{-1} 1. pļāvumā uz 15.32 g kg^{-1} 2. pļāvumā, un visbeidzot uz 7.64 g kg^{-1} rudens pļāvumā, tādējādi kālija saturs būtiski ($p < 0.05$) atšķīrās starp visiem trim pļaušanas termiņiem (3.18. att., 27. pielikums).

Arī fosfora satura ziņā tika konstatētas būtiskas ($p < 0.05$) atšķirības starp visiem trim pļāvumiem: augstākais (2.69 g kg^{-1} P) bija 2. pļāvumā, pirmais un rudens pļāvums saturēja attiecīgi 2.42 g kg^{-1} un 1.60 g kg^{-1} P. Augstākais sēra saturs tika konstatēts 2. pļāvumā (1603.17 mg kg^{-1} S). Pirmajā un rudens pļāvumā sēra saturs bija ievērojami zemāks (attiecīgi 596.17 mg kg^{-1} S un 687.29 mg kg^{-1} S), turklāt atšķirības šo zelmeņu starpā nebija būtiskas ($p < 0.05$). Ar kalciju un magniju salīdzinoši bagātāki bija 2. pļāvuma zelmeņi (3.21. tab.).

3.20. tabula

Miežabrāļa sausnas ķīmiskais sastāvs, g kg^{-1}

Auga daļa	Ogleklis (C)	Sērs (S)	Slāpeklis (N)	Kālijs (K)	Fosfors (P)	Kalcijs (Ca)	Magnijs (Mg)
F/F_{05}	49.9/4.1	10.5/4.1	308.5/4.1	2.5/4.1	2.8/4.1	252.3/4.7	335.8/4.7
Lapas	**489.32**	**96.72**	**19.30**	17.59	2.05	**2.40**	**3.10**
Stiebri	475.39	49.17	10.30	16.74	1.96	0.93	1.19
$Rs_{0.05}$	4.01	9.46	1.04	1.09	0.10	0.20	0.23

Augstāks oglekļa saturs tika konstatēts lapās. Statistiskās analīzes parādīja, ka 1. pļāvuma lapas saturēja būtiski ($p < 0.05$) vairāk oglekļa nekā stiebri, attiecīgi 496.79 g kg^{-1} pret 472.06 g kg^{-1} C (26. pielikums). Savukārt rudens pļāvumā oglekļa atšķirības stiebru un lapu starpā nebija būtiskas. Miežabrāļa lapas bija gandrīz divas reizes bagātākas ar slāpekli un sēru nekā stiebri, attiecīgi 19.3 g kg^{-1} N un 967.15 mg kg^{-1} S lapās pret 10.3 g kg^{-1} N un 491.7 mg kg^{-1} S stiebros (3.20. tab.). Tāpat lapas saturēja arī būtiski augstāku kalcija un magnija daudzumu salīdzinājumā ar stiebriem: attiecīgi 2.4 g kg^{-1} Ca un 3.10 g kg^{-1} Mg lapās; 0.93 g kg^{-1} Ca un 1.19 g kg^{-1} Mg stiebros. Jāatzīmē gan, ka kālija un fosfora satura ziņā lapās un stiebros konstatētās atšķirības nebija statistiski būtiskas ($p < 0.05$).

Kopsavilkums. Miežabrāļa zelmeņa ķīmiskais sastāvs atšķirīgu digestāta normu ietekmē būtiski nemainījās: vidējais pelnu saturs miežabrāļa sausnā vidēji viena un divu pļāvumu režīmā pa mēslošanas variantiem svārstījās no 6.2% līdz 6.9%. Tāpat netika konstatētas būtiskas atšķirības oglekļa, slāpekļa un kālija satura ziņā. Būtiskas atšķirības pelnu satura ziņā tika konstatētas atšķirīgu pļāvumu sausnā: zemākais pelnu saturs (5.79%) bija rudens pļāvumā; augstākais (7.31%) bija 2. pļāvumā. Datu analīze apstiprināja būtiski ($p < 0.05$) augstāku oglekļa saturu pirmajam un rudens pļāvumam salīdzinājumā ar 2. pļāvumu. Slāpekļa saturs rudens pļāvumā bija samazinājies gandrīz uz pusi salīdzinājumā ar 1. un 2. pļāvumu. Tika konstatēts lineārs kālija samazinājums pa pļāvumiem: no 26.21 g kg^{-1} 1. pļāvumā uz 15.32 g kg^{-1} 2. pļāvumā un uz 7.64 g kg^{-1} rudens pļāvumā, nodrošinot būtiskas ($p < 0.05$) atšķirības starp visiem trim pļaušanas termiņiem. Arī auga daļai bija būtiska nozīme sausnas ķīmiskā sastāva ziņā: lapās konstatēts būtiski ($p < 0.05$) augstāks pelnu saturs salīdzinājumā ar stiebriem, kā arī būtiski augstāks sēra, slāpekļa, kalcija un magnija saturs, kas ļauj secināt, ka lapaini zelmeņi ir mazāk piemēroti kurināmā ražošanai.

3.4. Augu barības elementu iznese ar zālaugu ražu

Ar augu barības elementu iznesi var vērtēt barības vielu vajadzību un iespējamās augsnes izmaiņas ilgtermiņā, kā arī prognozēt potenciālos vides riskus. Mēslošanas līdzekļu izmantošanai jābūt racionālai, nav ieteicams lietot pārmērīgi augstas viena vai otra barības

elementa devas, lai: 1) izslēgtu vides piesārņošanu; 2) taupītu līdzekļus un; 3) kāpinātu mēslošanas efektivitāti. Regulāri lietojot nepietiekamas mēslojuma devas un nenodrošinot kultūraugu ar vajadzīgo barības elementu daudzumu, pieļaujot, ka ar ražu no lauka tiek aizgādāts lielāks barības elementu daudzumu nekā nodrošināts ar dažāda veida mēslošanas līdzekļiem, pakāpeniski samazinās augu barības vielu krājumi augsnē. Tādēļ ļoti svarīgi sekot līdzi augu barības elementu bilancei. Tā ir atkarīga no sausnas ražas, kura tiek aizgādāta projām no lauka un barības elementu satura sausnā. Jo bilance tuvāka nullei, jo lietotais mēslojums tuvāk 100% – gai izmantošanai. Tas liecina par pamatotu mēslošanas devu aprēķinu un garantē ilgtspējīgu saimniekošanu, nenodarot kaitējumu videi un nepasliktinot augsnes vispārējo stāvokli. Ilgtspējīgā saimniekošanas sistēmā ar mēslojumu būtu jānodrošina augu barības elementu nepieciešamība ~120% apmērā. Tādējādi ~20% augu barības elementu paliek pāri augsnes mikroorganismu pilnvērtīgai funkcionēšanai, ļaujot tiem intensīvi darboties, vairoties un pilnvērtīgi veikt savas funkcijas. Šāda pieeja nodrošina aktīvus mikrobioloģiskos procesus augsnē, kas ir būtiski augsnes auglības uzturēšanā un uzlabošanā. Īpaši svarīgi lietot agronomiski pamatotas slāpekļa un fosfora devas, jo minētie ir biogēnie elementi. To noplūde var izraisīt eitrofikāciju, kā rezultātā ūdenstilpnes piesātinās ar augu barības vielām. Tas savukārt var veicināt dažādu ūdensorganismu pārmērīgu savairošanos un ūdenstilpņu aizaugšanu (Kārkliņš, 2012), izmainot ekosistēmu struktūru un funkcijas (Smith, Tilman, Nekola, 1999), kā arī izraisot bioloģiskās daudzveidības samazināšanos un ūdens kvalitātes pazemināšanos (Suding, Collins, Gough et al., 2005).

3.4.1. Mēslojuma ietekme uz augu barības elementu iznesi

Veiktajos pētījumos tika aprēķināta slāpekļa, fosfora un kālija tā sauktā saimnieciskā iznese (turpmāk tekstā – iznese) jeb augu barības elementu daudzums, kuru gadā vai visā pētījumu periodā aizgādāja projām no lauka ar novākto zālaugu sausnas ražu. Fosfora un kālija izneses tika rēķinātas lauksaimniekiem ierastajā oksīdu formā.

Augu barības elementu iznese pa gadiem svārstījās plašā amplitūdā, un tā bija cieši saistīta ar iegūto sausnas ražu, kā arī ražas ķīmisko sastāvu. Tādējādi faktori, kas ietekmēja šos lielumus, summāri atspoguļojās arī izneses skaitliskajās vērtībās. Lielāko ietekmi uz iznesi veidoja pētītā zālaugu suga un zelmeņa pļaušanas režīms (28., 29., 30. pielikums).

Slāpekļa (N) iznese gadā vidēji divu pļāvumu režīmā miežabrālim variēja no 31.8 kg ha^{-1} N līdz 107.2 kg ha^{-1} N 1. pļāvumā, un no 22.3 kg ha^{-1} N līdz 35.7 kg ha^{-1} N 2. pļāvumā, attiecīgi kontroles un pelnu mēslojuma variantos (3.21. tab.).

3.21. tabula

Slāpekļa iznese vidēji gadā (2013. – 2014.), kg ha^{-1} N

Suga	Mēslošanas variants	Pļāvums			
		pirmais	otrais	kopā abos	rudens
Miežabrālis	Kontrole	31.8±2.20	22.3±1.26	54.0±3.21	39.0±3.11
	Minerālmēsli	79.4±2.10	33.8±1.75	113.2±3.07	69.1±0.44
	Pelni	107.2±5.42	35.7±2.93	142.9±8.30	68.2±5.17
	Digestāts 1×	65.0±4.75	29.4±1.62	94.5±6.14	56.3±2.69
	Digestāts 2×	51.4±3.61	29.2±0.78	80.6±4.26	40.5±0.82
Auzeņairene	Kontrole	15.6±1.66	7.6±0.52	23.2±2.17	22.1±2.43
	Minerālmēsli	49.6±1.92	17.7±0.87	67.3±1.53	78.7±4.07
	Pelni	55.7±4.13	17.6±0.55	73.3±4.66	77.2±2.82
	Digestāts 1×	35.0±1.32	9.5±0.55	44.6±1.57	42.0±2.83
	Digestāts 2×	27.4±1.09	11.9±0.90	39.4±1.51	36.6±2.14

Vidēji gadā divu pļāvumu režīmā miežabrālis iznesa no 54.0 kg ha^{-1} N bez mēslojuma izmantošanas līdz 142.9 kg ha^{-1} N, lietojot pelnu mēslojumu. Viena pļāvuma režīmā slāpekļa iznese bija aptuveni divas reizes zemāka, tā variēja no 39.0 kg ha^{-1} N bez mēslojuma lietošanas līdz 69.1 kg ha^{-1} N, lietojot minerālmēslus (3.25. tab.). Arī citviet pētījumos iegūtie dati (Burvall, 1997; Kering, Butler, Biermacher, Guretzky, 2012) apstiprina, ka miežabrāļa atmiršanas fāzē liela daļa slāpekļa no auga virszemes daļām tiek pārvietota uz sakneņiem, kā arī izskalojas ar nokrišņu ūdeņiem. Tas samazina augu barības vielu iznesi (Hadders, Olsson, 1997) un ļauj augiem pavasarī uzsākt strauju ataugšanu (Partala, Mela, Esala, Ketoja, 2001).

Auzeņairenes sējumā slāpekļa iznese abos pļaušanas režīmos bija būtiski zemāka salīdzinājumā ar miežabrāli. To lielā mērā ietekmēja sausnas raža, kas auzeņairenei šajā izmēģinājumā bija būtiski zemāka. Pirmajā pļāvumā slāpekļa iznese variēja no 15.6 kg ha^{-1} N bez mēslojuma lietošanas līdz 55.7 kg ha^{-1} N, lietojot pelnu mēslojumu; 2. pļāvumā no 7.6 kg ha^{-1} N bez mēslojuma līdz 17.7 kg ha^{-1} N, lietojot minerālmēslus. Kopā divos pļāvumos auzeņairene iznesa no 23.2 kg ha^{-1} N bez mēslojuma lietošanas līdz 73.3 kg ha^{-1} N, lietojot pelnu mēslojumu. Auzeņairenei, atšķirībā no miežabrāļa, slāpekļa iznese viena un divu pļāvumu režīmā būtiski neatšķīrās, viena pļāvuma režīmā tā svārstījās no 22.1 kg ha^{-1} N, nelietojot mēslojumu, līdz 78.7 kg ha^{-1}, lietojot minerālmēslus (3.21. tab.). Iegūtie dati uzskatāmi parāda būtiskas atšķirības abu zālaugu sugu starpā slāpekļa aprites ziņā.

Fosfora (P_2O_5) iznese salīdzinājumā ar slāpekli veidojās ievērojami zemāka. Miežabrālim divu pļāvumu režīmā tā gadā vidēji svārstījās šādās robežās: 1. pļāvumā no 12.5 kg ha^{-1} P_2O_5 bez mēslojuma lietošanas līdz 32.6 kg ha^{-1} P_2O_5, lietojot minerālmēslus; 2. pļāvumā no 11.7 kg ha^{-1} P_2O_5 bez mēslojuma lietošanas līdz 16.4 kg ha^{-1} P_2O_5, lietojot pelnu mēslojumu (3.22. tab.). Miežabrāļa zelmeņi kopā divos pļāvumos iznesa no 24.2 kg ha^{-1} P_2O_5 kontroles variantā līdz 48.0 kg ha^{-1} P_2O_5 pelnu variantā. Viena pļāvuma režīmā fosfora iznese miežabrālim bija gandrīz divas reizes zemāka nekā divu pļāvumu režīmā, savukārt starp mēslošanas variantiem fosfora iznese variēja daudz mazākā mērā – no 22.2 kg ha^{-1} P_2O_5 bez mēslojuma lietošanas līdz 26.5 kg ha^{-1} P_2O_5, lietojot pelnu mēslojumu.

Auzeņairenei fosfora iznese bija vidēji divas reizes zemāka nekā miežabrālim: 1. pļāvumā tā variēja no 6.7 kg ha^{-1} P_2O_5 bez mēslojuma lietošanas līdz 14.0 kg ha^{-1} P_2O_5, lietojot pelnu mēslojumu; 2. pļāvumā no 2.7 kg ha^{-1} P_2O_5 bez mēslojuma lietošanas līdz 6.3 kg ha^{-1} P_2O_5, lietojot minerālmēslus (3.22. tab.). Kopā divos pļāvumos auzeņairene iznesa no 9.4 kg ha^{-1} P_2O_5 bez mēslojuma līdz 19.8 kg ha^{-1} P_2O_5, lietojot pelnus. Viena pļāvuma režīmā fosfora iznese auzeņairenei bija vidēji par 50% zemāka nekā divu pļāvumu režīmā: no 6.0 kg ha^{-1} P_2O_5 kontroles variantā līdz 12.9 kg ha^{-1} P_2O_5 minerālmēslu variantā.

3.22. tabula

Fosfora iznese vidēji gadā (2013. – 2014.), kg ha^{-1} P_2O_5

Suga	Mēslošanas variants	P_2O_5, kg ha^{-1}			
		1. zāle	2. zāle	kopā 2 pļāv.	rudens zāle
Miežabrālis	Kontrole	12.5±0.86	11.7±0.67	24.2±1.41	22.2±1.77
	Minerālmēsli	32.6±0.86	14.3±0.74	46.9±1.28	25.1±0.16
	Pelni	31.6±1.60	16.4±1.34	48.0±2.92	26.5±2.01
	Digestāts 1×	25.0±1.83	14.2±0.78	39.2±2.51	22.1±1.06
	Digestāts 2×	20.5±1.44	15.0±0.40	35.5±1.78	21.0±0.43
Auzeņairene	Kontrole	6.7±0.71	2.7±0.19	9.4±0.89	6.0±0.65
	Minerālmēsli	12.7±0.49	6.3±0.31	19.0±0.38	12.9±0.67
	Pelni	14.0±1.04	5.8±0.18	19.8±1.21	11.5±0.42
	Digestāts 1×	12.4±0.47	3.5±0.20	16.0±0.56	9.6±0.64
	Digestāts 2×	11.3±0.45	3.9±0.30	15.2±0.57	9.6±0.56

Kālija (K_2O) iznese bija visaugstākā, apmēram 1.5 – 2 reizes augstāka salīdzinājumā ar slāpekļa iznesi. Vidēji pa pļāvumiem tā sastādīja: 191%; 154% un 151% no slāpekļa izneses attiecīgi pirmajam, otrajam un rudens pļāvumam. Būtiskas atšķirības kālija izneses ziņā tika konstatētas gan starp pļaušanas režīmiem, gan sugām: miežabrālis lielāko kālija daudzumu viena pļāvuma režīmā iznesa pelnu variantā (75.1 kg ha^{-1} K_2O), bet divu pļāvumu režīmā minerālmēslu variantā (207.3 kg ha^{-1} K_2O). Auzeņairenei augstākā kālija iznese abos pļaušanas režīmos bija, lietojot pelnu mēslojumu – 115 un 134.6 kg ha^{-1} K_2O, attiecīgi divu pļāvumu režīmā un viena pļāvuma režīmā (3.23. tab.). Kālija iznese divu pļāvumu režīmā 1. pļāvuma zelmenī miežabrālim ievērojami variēja: no 59.5 kg ha^{-1} K_2O bez mēslojuma izmantošanas līdz 162.1 kg ha^{-1} K_2O, lietojot minerālmēslus. Otrajā pļāvumā tā svārstījās salīdzinoši daudz mazāk: no 33.1 kg ha^{-1} K_2O bez mēslojuma lietošanas līdz 51.2 kg ha^{-1} K_2O, lietojot pelnu mēslojumu. Kopā divos pļāvumos ar miežabrāļa ražu vidēji gadā tika iznesti no 92.6 kg ha^{-1} K_2O bez mēslojuma lietošanas līdz 207.3 kg ha^{-1} K_2O, lietojot pelnu mēslojumu. Tikai nedaudz zemāka kālija iznese (202.3 kg ha^{-1}) bija, lietojot minerālmēslus, tādējādi apstiprinot, ka pelnu un minerālmēslu variantos kālija iznese bija būtiski ($p < 0.05$) augstāka salīdzinājumā ar iznesēm abos digestāta mēslojuma variantos, kur tā svārstījās no 152.0 līdz 170.5 kg ha^{-1}.

3.23. tabula

Kālija iznese vidēji gadā (2013. – 2014.), kg ha^{-1} K_2O

Suga	Mēslošanas variants	K_2O, kg ha^{-1}			
		1. zāle	2. zāle	kopā 2 pļāv.	rudens zāle
Miežabrālis	Kontrole	59.5±4.11	33.1±1.88	92.6±5.59	45.2±3.60
	Minerālmēsli	162.1±4.29	45.2±2.34	207.3±5.41	70.6±0.45
	Pelni	151.1±7.64	51.2±4.2	202.3±11.77	75.1±5.69
	Digestāts 1×	132.2±9.66	38.3±2.11	170.5±11.44	69.8±3.33
	Digestāts 2×	110.6±7.76	41.4±1.10	152.0±8.68	80.8±1.64
Auzeņairene	Kontrole	31.7±3.38	11.7±0.81	43.4±4.17	38.6±4.23
	Minerālmēsli	80.7±3.12	28.0±1.38	108.7±2.49	129.8±6.71
	Pelni	83.9±6.22	31.1±0.97	115.0±7.16	134.6±4.91
	Digestāts 1×	72.2±2.73	17.1±0.98	89.3±3.15	85.6±5.76
	Digestāts 2×	65.1±2.58	20.8±1.58	85.9±3.20	52.5±3.07

Viena pļāvuma režīmā kālija iznese miežabrālim bija 2 – 3 reizes zemāka, tā vidēji gadā variēja no 45.2 kg ha^{-1} K_2O bez mēslojuma lietošanas līdz 75.1 kg ha^{-1} K_2O, lietojot pelnu mēslojumu (3.23. tab.). Tas apstiprina, ka kālijs miežabrāļa atmiršanas fāzē tiek efektīvi pārvietots no virszemes daļām uz saknēm. Līdzīgi rezultāti ir iegūti arī citās valstīs veiktajos pētījumos, kur secināts, ka pavasarī vāktajā miežabrāļa sausnā nevēlamo elementu, t.sk., kālija un hlora koncentrācija bija apmēram sešas reizes zemāka (Landström, Lomakka, Anderson, 1996; Burvall, 1997; Paulrud, Nilsson, 2001; Annuk, Allik, Annuk, 2017). Šo īpatnību noteikti jāņem vērā kultivējot zālaugus bioenerģijai kā kurināmā izejmateriālu. Veicot pļaušanu vienu reizi sezonā pēc iespējas vēlāk rudenī, ir iespēja būtiski ietaupīt uz mēslošanas līdzekļu izmantošanas rēķina, vienlaicīgi uzlabojot biomasas kvalitāti kurināmā izejmateriālam, kā arī samazinot iespējamās emisijas dedzināšanas laikā.

Ja salīdzina kālija iznesi sugu starpā, var secināt, ka auzeņairene ar sausnas ražu divu pļāvumu režīmā iznesa vidēji divas reizes mazāk K_2O salīdzinājumā ar miežabrāli – tās izneses 1. pļāvumā svārstījās no 31.7 kg ha^{-1} K_2O līdz 83.9 kg ha^{-1} K_2O; 2. pļāvumā no 11.7 kg ha^{-1} līdz 31.1 kg ha^{-1}, attiecīgi bez mēslojuma lietošanas un lietojot pelnu mēslojumu. Kopā divos pļāvumos auzeņairene iznesa no 43.4 kg ha^{-1} K_2O kontroles variantā līdz 115 kg ha^{-1} K_2O pelnu variantā. Viena pļāvuma režīmā auzeņairene iznesa no 38.6 kg ha^{-1} kontroles variantā līdz 134.6 kg ha^{-1} pelnu variantā, ražīgākajiem zelmeņiem minerālmēslu un pelnu mēslojuma

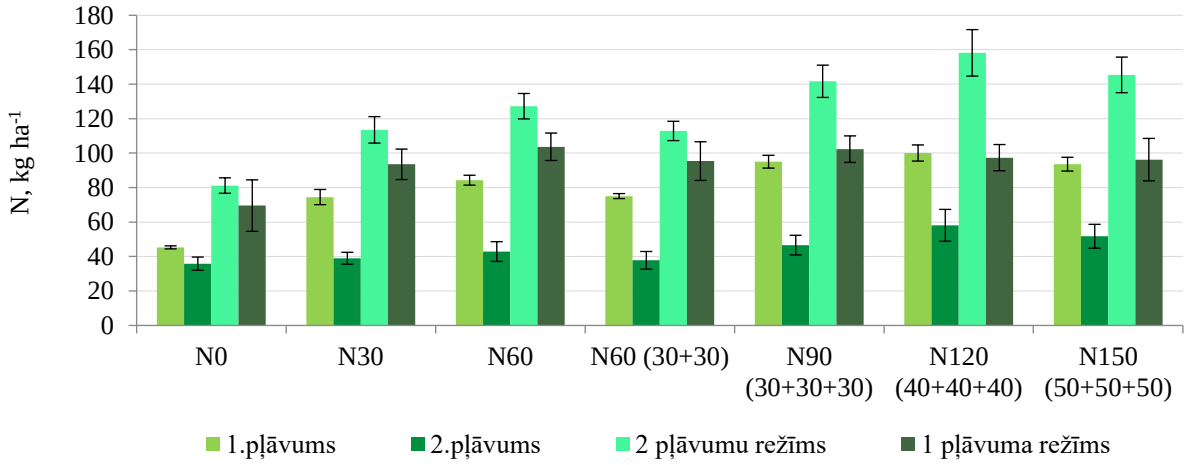
variantos gandrīz divas reizes pārsniedzot miežabrāļa izneses. Atšķirībā no miežabrāļa, auzeņairenei kālija iznese pa pļaušanas režīmiem būtiski neatšķīrās.

Kopsavilkums. Augu barības elementu iznese būtiski atšķīrās starp sugām, pļaušanas režīmiem un arī mēslošanas variantiem. Kopumā būtiski augstāku slāpekļa, fosfora un kālija daudzumu ar sausnas ražu iznesa miežabrālis. Pļaujot miežabrāli vienu reizi sezonā augu atmiršanas fāzē, visu trīs minēto barības elementu iznese samazinājās 2 – 3 reizes, kas neapstiprinājās auzeņairenes gadījumā, ļaujot secināt, ka abu sugu starpā ir vērojama būtiska atšķirība augu barības elementu apritē: miežabrālis, augiem novecojot, efektīvi pārvieto augu barības elementus no virszemes daļām uz sakneņiem, ko nevar attiecināt uz auzeņaireni. Tāpēc miežabrāli biokurināmā ražošanai ir izdevīgi pļaut iespējami vēlāk rudenī vai pat atlikt pļaušanu uz pavasari, kas ļauj iegūt gan kvalitatīvāku biomasu ar samazinātu minerālvielu saturu, gan ievērojami ietaupīt uz mēslojuma rēķina. Augstākā augu barības elementu iznese abām sugām bija minerālmēslu un pelnu variantos, kur attiecīgi tika iegūtas arī augstākās sausnas ražas.

3.4.2. Augu barības elementu iznese atkarībā no digestāta mēslojuma normas

Izmantojot miežabrāļa mēslošanā atšķirīgas digestāta normas un režīmu, augu barības elementu iznese svārstījās atkarībā no mēslojuma normas, zelmeņa izmantošanas gada, mēslojuma lietošanas un pļaušanas režīma.

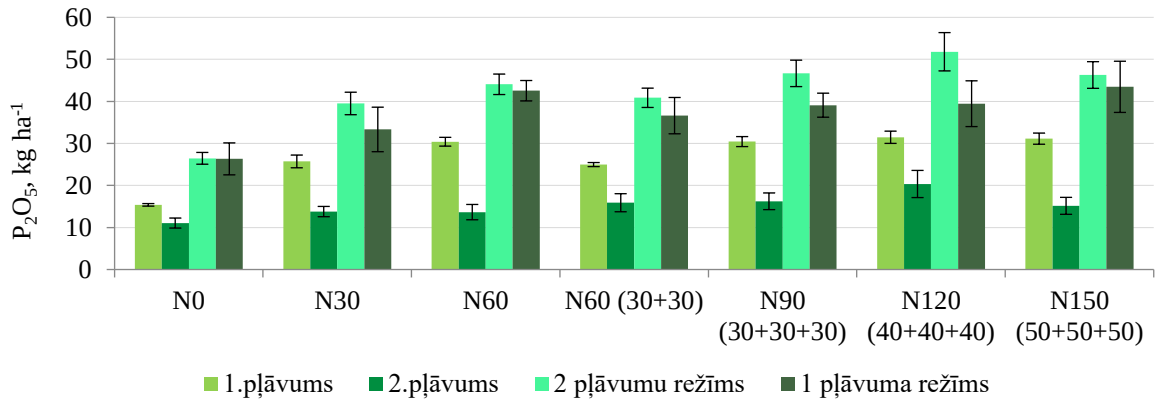
Slāpekļa iznese gadā vidēji, atkarībā no mēslojuma varianta, svārstījās šādās robežās: 69.56 – 103.7 kg ha^{-1} N viena pļāvuma režīmā; 81.19 – 158.21 kg ha^{-1} N divu pļāvumu režīmā (32. pielikums). Zemākā slāpekļa iznese abos pļaušanas režīmos konstatēta nemēslotajā variantā; augstākā variantos N60 viena pļāvuma režīmā un N120 (40+40+40) divu pļāvumu režīmā (3.19. att.). Būtiski ($p < 0.05$) augstāka slāpekļa iznese divu pļāvumu režīmā gan 1. pļāvumā, gan abos pļāvumos kopā bija 1. lietošanas gadā (31. pielikums). Savukārt viena pļāvuma režīmā būtiski ($p < 0.05$) augstāka slāpekļa iznese bija 2. lietošanas gadā (32. pielikums). Iznese cieši korelēja ar miežabrāļa sausnas ražu, kas mikroizmēģinājumā viena pļāvuma režīmā bija būtiski augstāka 2. lietošanas gadā, bet divu pļāvumu režīmā 1. lietošanas gadā. Salīdzinot slāpekļa iznesi gadā pa pļaušanas režīmiem konstatēts, ka vidēji visos mēslošanas variantos trīs lietošanas gados viena pļāvuma režīmā tika iznests par 25% mazāks slāpekļa daudzums nekā divu pļāvumu režīmā: attiecīgi 94.01 un 125.74 kg ha^{-1} N.



3.19. att. **Slāpekļa (N) iznese vidēji trīs lietošanas gados, kg ha^{-1}**

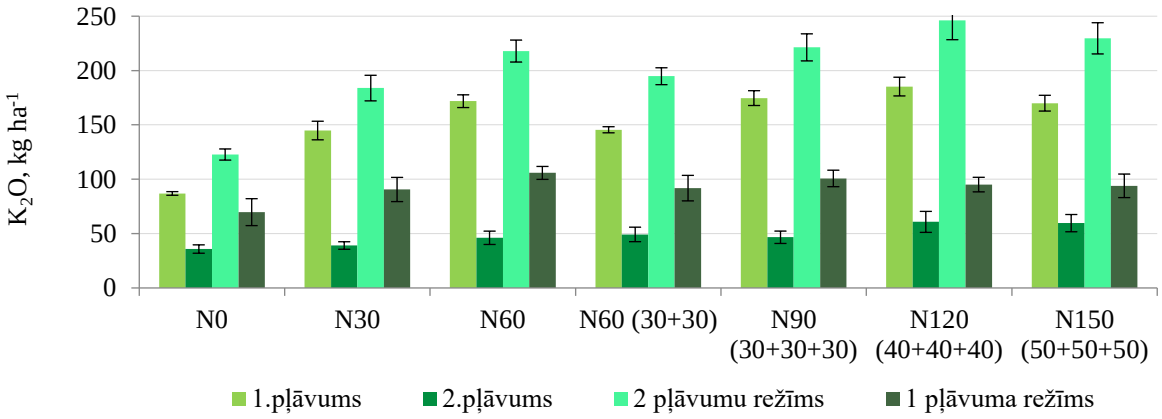
Fosfora (P_2O_5) iznese bija salīdzinoši daudz zemāka salīdzinājumā ar slāpekli un kāliju: vidēji trīs lietošanas gados divu pļāvumu režīmā tika iznesti 26.46 – 51.81 kg ha^{-1} P_2O_5 gadā; viena pļāvuma režīmā 26.32 – 43.47 kg ha^{-1} P_2O_5 gadā. Salīdzinot izneses pa pļaušanas režīmiem, atšķirībā no slāpekļa un kālija, fosfora gadījumā netika konstatētas būtiskas

atšķirības (33., 34. pielikums). Augstākā fosfora iznese viena pļāvuma režīmā bija digestāta mēslojuma variantos N150 (50+50+50) un N60, attiecīgi 43.47 kg ha^{-1} un 42.54 kg ha^{-1} gadā; savukārt divu pļāvumu režīmā lielākais fosfora daudzums tika iznests, lietojot digestāta normas N120 (40+40+40); N90 (30+30+30) un N150 (50+50+50), kur tika iznesti attiecīgi 51.81 kg ha^{-1}; 46.67 kg ha^{-1}; 46.28 kg ha^{-1} (3.20. att.). Augstākā fosfora iznese vidēji visos mēslošanas variantos viena pļāvuma režīmā tika fiksēta 2. lietošanas gadā – 40.97 kg ha^{-1} P_2O_5 (vidēji trīs gados tā bija 37.26 kg ha^{-1} P_2O_5). Savukārt divu pļāvumu režīmā būtiski ($p < 0.05$) augstāka fosfora iznese bija 1. lietošanas gadā – 54.23 kg ha^{-1} P_2O_5 (vidēji trīs gados tā bija 42.23 kg ha^{-1} P_2O_5) (34. pielikums).



3.20. att. **Fosfora (P_2O_5) iznese vidēji trīs lietošanas gados, kg ha^{-1}**

Kālija (K_2O) iznese vidēji trīs lietošanas gados divu pļāvumu režīmā bija 2 – 2.5 reizes augstāka salīdzinājumā ar slāpekļa iznesi. Atkarībā no digestāta normas tā svārstījās no 122.74 līdz 246.02 kg ha^{-1} K_2O gadā (36. pielikums). Savukārt viena pļāvuma režīmā kālija iznese stipri līdzinājās slāpekļa iznesei, tā svārstījās no 69.74 līdz 105.84 kg ha^{-1} K_2O gadā. Zemākā kālija iznese abos pļaušanas režīmos, līdzīgi kā slāpeklim, konstatēta nemēslotajā variantā; augstākā divu pļāvumu režīmā bija, lietojot digestāta mēslojumu N60 (217.95 kg ha^{-1}) un N120 (40+40+40) (246.02 kg ha^{-1}); viena pļāvuma režīmā, lietojot digestāta mēslojuma N60 (105.84 kg ha^{-1}) (3.21. att.). Būtiski ($p < 0.05$) augstāka kālija iznese viena pļāvuma režīmā bija 2. lietošanas gadā – 101.49 kg ha^{-1} K_2O vidēji visos variantos. Savukārt divu pļāvumu režīmā būtiski ($p < 0.05$) augstāka kālija iznese bija 1. lietošanas gadā – 266.09 kg ha^{-1} K_2O (35., 36. pielikums). Vērtējot kālija iznesi pa pļaušanas režīmiem, konstatēts, ka vidēji visos mēslošanas variantos trīs lietošanas gados viena pļāvuma režīmā tika iznests apmēram uz pusi mazāks kālija daudzums nekā divu pļāvumu režīmā: attiecīgi 92.54 un 202.32 kg ha^{-1} gadā.



3.21. att. **Kālija (K_2O) iznese vidēji trīs lietošanas gados, kg ha^{-1}**

Kopsavilkums. Augu barības elementu iznese svārstījās plašā amplitūdā atkarībā no digestāta normas, zelmeņa izmantošanas gada, mēslojuma lietošanas, kā arī pļaušanas režīma. Ar miežabrāļa sausnas ražu visvairāk no augsnes tika iznests kālijs, vidēji trīs gados tie bija 202.32 kg ha^{-1} K_2O gadā divu pļāvumu režīmā un 92.54 kg ha^{-1} K_2O gadā viena pļāvuma režīmā. Arī slāpekļa iznesi būtiski ietekmēja pļaušanas laiks un režīms: gandrīz uz pusi lielāka slāpekļa iznese tika konstatēta 1. pļāvumā salīdzinājumā ar 2. pļāvumu, to galvenokārt noteica zelmeņa ražas atšķirības. Savukārt viena pļāvuma režīmā zālaugi iznesa par 25% mazāku slāpekļa daudzumu nekā divu pļāvumu režīmā, attiecīgi 94.01 kg ha^{-1} N gadā un 125.74 kg ha^{-1} N gadā, un šīs atšķirības galvenokārt noteica zelmeņa ķīmiskais sastāvs. Fosfora iznese pa pļaušanas režīmiem variēja mazāk. Līdzīgi kālijam un slāpeklim, lielākais fosfora daudzums tika iznests divu pļāvumu režīmā, bet fosfora izneses ziņā atšķirības mēslošanas variantu starpā lielākoties nebija būtiskas. Kopumā var secināt, ka augstākā augu barības elementu iznese bija, lietojot augstākas digestāta normas dalīti (N90 (30+30+30); N120 (40+40+40); N150 (50+50+50), kā arī variantā ar vienā piegājienā lietotu digestāta normu N60. Minētajos mēslošanas variantos tika iegūtas augstākās miežabrāļa sausnas ražas, kas galvenokārt arī noteica barības elementu izneses apjomus.

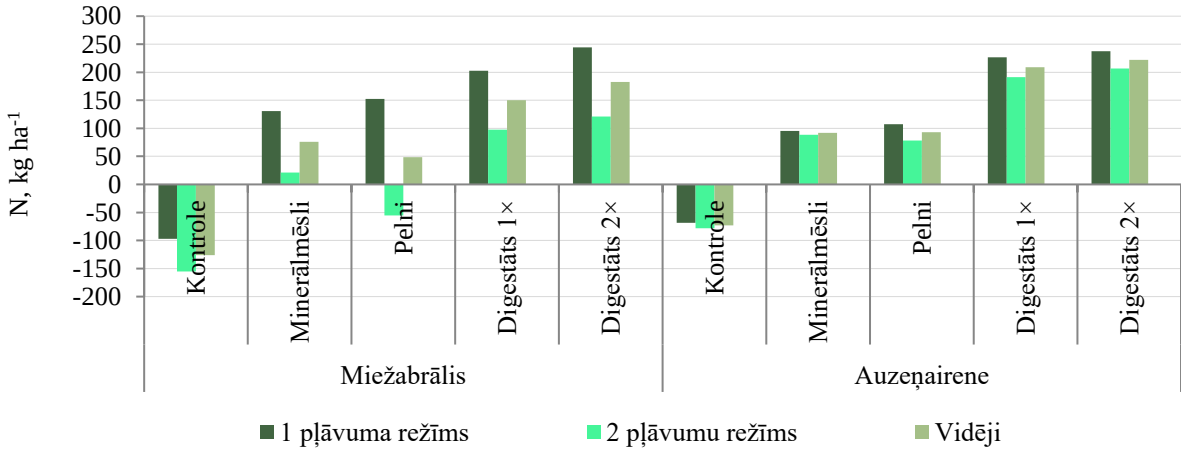
3.4.3. Augu barības elementu bilance

Augu barības elementu (NPK) bilance tika rēķināta visam izmēģinājumu periodam kopā, sākot no sējumu ierīkošanas līdz ražas novākšanai 3. lietošanas gadā. NPK bilance šajā darbā tika aprēķināta kā starpība starp ar mēslojumu ienesto slāpekļa, fosfora un kālija daudzumu un to NPK daudzumu, kas tika iznests ar novākto ražu (saimnieciskā iznese) (skat. 3.4. nod.). Ja pārskata periodā veidojās augu barības elementu pārpalikums, ienese bija lielāka par iznesi, veidojās pozitīva bilance (izsakot procentuāli > 100%) un otrādi, iznesei pārsniedzot ienesi, veidojās negatīva bilance (izsakot procentuāli < 100%).

Vērtējot slāpekļa, fosfora un kālija bilanci trīs lietošanas gados, var secināt, ka viena pļāvuma režīmā visos mēslošanas variantos tā veidojās pozitīva – tika ienests lielāks minēto augu barības elementu daudzums nekā augi patērēja ražas veidošanai. Kontroles jeb nemēslotajā variantā trīs gadu periodā likumsakarīgi veidojās negatīva ABV bilance abos pļaušanas režīmos: viena pļāvuma režīmā tā vidēji bija -97.1 kg ha^{-1} N miežabrālim un -68.3 kg ha^{-1} N auzeņairenei; divu pļāvumu režīmā -155 kg ha^{-1} N miežabrālim un -78.1 kg ha^{-1} N auzeņairenei (3.22. att.).

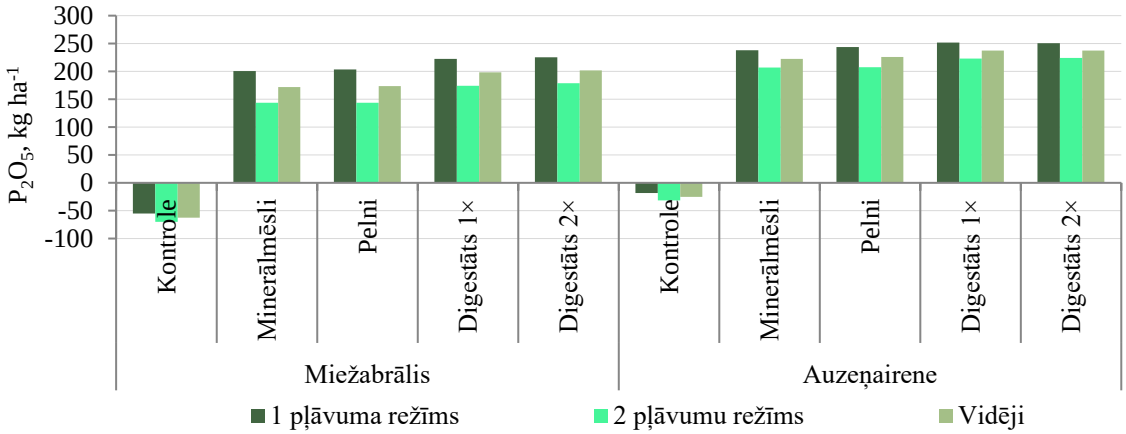
Slāpekļa bilance visos mēslotajos variantos veidojās pozitīva, t.i., ar novākto ražu tika iznests mazāks slāpekļa daudzums nekā tika iedots ar mēslojumu. Izmēģinājumu periodā kopā ar mēslošanas līdzekļiem tika ienesti 350 kg ha^{-1} N. Zālaugus pļaujot vienu reizi gadā, slāpekļa bilance ievērojami svārstījās atkarībā no lietotā mēslošanas līdzekļa, kas galvenokārt saistāms ar iegūtās sausnas ražas apjomu. Piemēram, miežabrālim slāpekļa bilance svārstījās no 131 kg ha^{-1} N jeb 160%, lietojot minerālmēslus, līdz 244 kg ha^{-1} N jeb 330%, lietojot digestāta kopējo normu dalīti divas reizes sezonā (D2); auzeņairenei no 95 kg ha^{-1} N jeb 137%, lietojot minerālmēslus, līdz 237 kg ha^{-1} N jeb 312%, lietojot digestātu dalīti divas reizes sezonā (D2). Divu pļāvumu režīmā slāpekļa bilance kopumā bija zemāka, kas nozīmē, ka ienestais slāpekļa daudzums bija tuvāks patērētajam. Atsevišķos mēslojuma variantos veidojās pat negatīva slāpekļa bilance – miežabrālim tā svārstījās no -55 kg ha^{-1} N jeb 86%, lietojot pelnu mēslojumu, līdz 121 kg ha^{-1} N jeb 153%, lietojot digestātu dalīti (D2); auzeņairenei no 78 kg ha^{-1} N jeb 129%, lietojot pelnu mēslojumu, līdz 206 kg ha^{-1} N jeb 244%, lietojot digestātu dalīti (D2). Iegūtie rezultāti ļauj secināt, ka divu pļāvumu režīmā ar ražu tika aizgādāts ievērojami lielāks slāpekļa daudzums nekā viena pļāvuma režīmā, un šeit galvenā nozīme bija slāpekļa saturam zālaugu sausnā ražas vākšanas laikā. Salīdzinot slāpekļa bilanci sugu starpā, konstatēts, ka miežabrālis ražas veidošanai kopumā patērēja lielāku slāpekļa daudzumu, jo tā sausnas raža bija būtiski augstāka, līdz ar to slāpekļa bilance veidojās zemāka. Savukārt viena pļāvuma

režīmā slāpekļa bilance miežabrālim bija ievērojami augstāka, jo ražas vākšana tika veikta augu atmiršanas fāzē, kad liela daļa slāpekļa bija paspējusi pārvietoties no augu virszemes daļām uz sakneņiem, daļa palikusi uz lauka nobirušajās lapās u.c. auga daļās, daļa izskalojusies no zālaugu audiem ar nokrišņu ūdeņiem. Literatūrā ir atrodami daudzi pierādījumi līdzīgai slāpekļa apritei sakneņu tipa zālaugu sējumos (Partala, Mela, Esala, Ketoja, 2001; Lindvall, Gustavsson, Samuelsson et al., 2015).



3.22.att. **Slāpekļa (N) bilance trīs lietošanas gados, kg ha^{-1}**

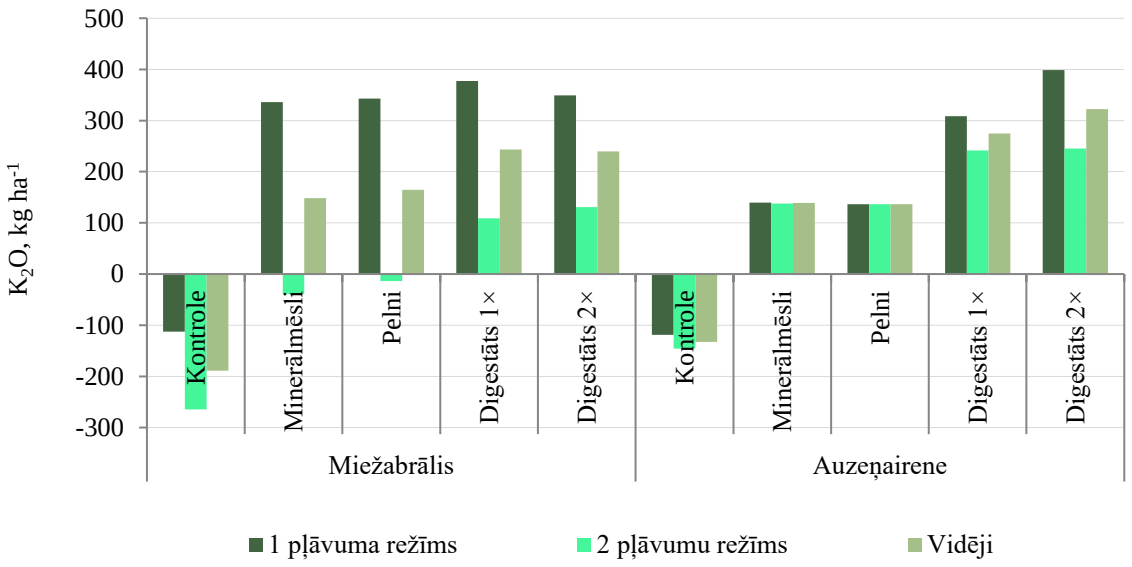
Fosfora (P_2O_5) bilance mēslojuma ietekmē abos pļaušanas režīmos gan miežabrālim, gan auzeņairenei veidojās līdzīga. Izmēģinājumu periodā kopā ar mēslošanas līdzekļiem tika ienesti 280 kg ha^{-1} P_2O_5. Fosfora bilance viena pļāvuma režīmā miežabrālim svārstījās no 200 kg ha^{-1} P_2O_5 jeb 351%, lietojot minerālmēslus, līdz 225 kg ha^{-1} P_2O_5 jeb 511%, lietojot digestātu dalīti (D2); auzeņairenei no 238 kg ha^{-1} P_2O_5 jeb 668%, lietojot minerālmēslus, līdz 252 kg ha^{-1} P_2O_5 jeb 998%, lietojot digestātu vienā paņēmienā (D1) (3.23. att.). Savukārt divu pļāvumu režīmā P bilance svārstījās: miežabrālim no 143 kg ha^{-1} P_2O_5 jeb 205%, lietojot minerālmēslus, līdz 178 kg ha^{-1} P_2O_5 jeb 276%, lietojot digestātu dalīti (D2); auzeņairenei no 206 kg ha^{-1} P_2O_5 jeb 382%, lietojot minerālmēslus, līdz 224 kg ha^{-1} P_2O_5 jeb 503%, lietojot digestātu dalīti (D2). Arī P aprites gadījumā var izdarīt līdzīgu secinājumu – lai gan fosfors tika iznests daudz mazākos apjomos, tā bilance pa pļaušanas režīmiem veidojās ļoti atšķirīga.



3.23.att. **Fosfora (P_2O_5) bilance trīs lietošanas gados, kg ha^{-1}**

Kālija (K_2O) bilance viena pļāvuma režīmā mēslotajos variantos miežabrālim veidojās diezgan līdzīga. Kopā izmēģinājumu periodā ar mēslošanas līdzekļiem augsnē tika ienesti 560 kg ha^{-1} K_2O. Kālija bilance svārstījās no 336 kg ha^{-1} K_2O jeb 250%, lietojot minerālmēslus,

līdz 377 kg ha^{-1} K_2O jeb 307%, lietojot visu digestāta normu vienā paņēmienā (D1) (3.24. att.). Auzeņairenei kālija bilance viena pļāvuma režīmā stipri svārstījās pa variantiem: no 136 kg ha^{-1} K_2O jeb 132% lietojot pelnu mēslojumu, līdz 399 kg ha^{-1} K_2O jeb 348%, lietojot digestātu dalīti (D2). Divu pļāvumu režīmā kālija bilance, līdzīgi kā slāpeklim, veidojās ievērojami zemāka, atsevišķos variantos bija pat negatīva. Miežabrālim mēslošanas ietekmē kālija bilance svārstījās no -39 kg ha^{-1} K_2O jeb 93%, lietojot minerālmēslus, līdz 131 kg ha^{-1} K_2O jeb 131%, lietojot digestātu dalīti (D2); auzeņairenei no 136 kg ha^{-1} K_2O jeb 132%, lietojot pelnu mēslojumu, līdz 245 kg ha^{-1} K_2O jeb 178% lietojot digestātu dalīti (D2). Vērtējot kālija bilanci, uzskatāmi parādījās pļaušanas režīma nozīme augu barības elementu apritē – pie vienādām NPK mēslojuma devām un līdzvērtīgām miežabrāļa sausnas ražām kālija iznese trīs gadu periodā atšķīrās vairākkārtīgi, līdz pat 375 kg ha^{-1}.



3.24.att. **Kālija (K_2O) bilance trīs lietošanas gados, kg ha^{-1}**

Jāņem vērā, ka augu barības elementu bilances aprēķini tika veikti, balstoties tikai uz saimniecisko iznesi jeb to augu barības elementu daudzumu, kuri tika aizgādāti projām ar virszemes sausnas ražu. Daudzgadīgie zālaugi veido arī apjomīgu sakņu sistēmu, kura akumulē ievērojamu daudzumu augu barības elementu. Sakņu sistēmas biomasas apjoms var sastādīt apmēram 50% no kopējās auga masas un fiksēt līdz pat 60% no kopējā slāpekļa daudzuma (Carlsson, Huss-Danell, 2003; Līpenīte, Kārkliņš, 2015).

Kopsavilkums. Iegūtie dati parādīja, ka, veicot pļaušanu vienu reizi sezonā augu atmiršanas fāzē abām zālaugu sugām visos mēslojuma lietošanas variantos veidojās pozitīva barības elementu bilance. Savukārt divu pļāvumu režīmā bilances rādītāji atšķīrās: miežabrālim visos variantos ABV bilance bija apmēram uz pusi zemāka nekā viena pļāvuma režīmā, turklāt atsevišķos variantos bilance bija pat negatīva – slāpeklim, lietojot pelnu mēslojumu, un kālijam, lietojot minerālmēslus. Auzeņairenei slāpekļa un kālija bilance abos pļaušanas režīmos bija līdzīga. Tas skaidrojams ar atšķirībām sausnas ķīmiskā sastāva ziņā – miežabrālim viena pļāvuma režīmā bija būtiski zemāks NPK saturs salīdzinājumā ar divu pļāvumu režīmā ievākto sausnu, bet auzeņairenei NPK saturs abos pļaušanas režīmos bija līdzīgs. Savukārt auzeņairenes sausnas raža viena pļāvuma režīmā bija augstāka, un tas zināmā mērā izlīdzināja barības vielu bilanci abos pļaušanas režīmos. Kontroles variantā bez mēslojuma izmantošanas abām zālaugu sugām abos pļaušanas režīmos veidojās negatīva augu barības elementu bilance. Izmēģinājumā konstatēti augsti fosfora bilances rādītāji, kas ļauj secināt, ka augsnēs ar vidēju un augstu fosfora nodrošinājumu lietojamas zemākas fosfora mēslojuma normas. Mēslošanas variantu starpā zemākā augu barības elementu bilance veidojās, lietojot minerālmēslus un pelnu mēslojumu, bet augstākā, lietojot digestāta mēslojumu dalīti (D2).

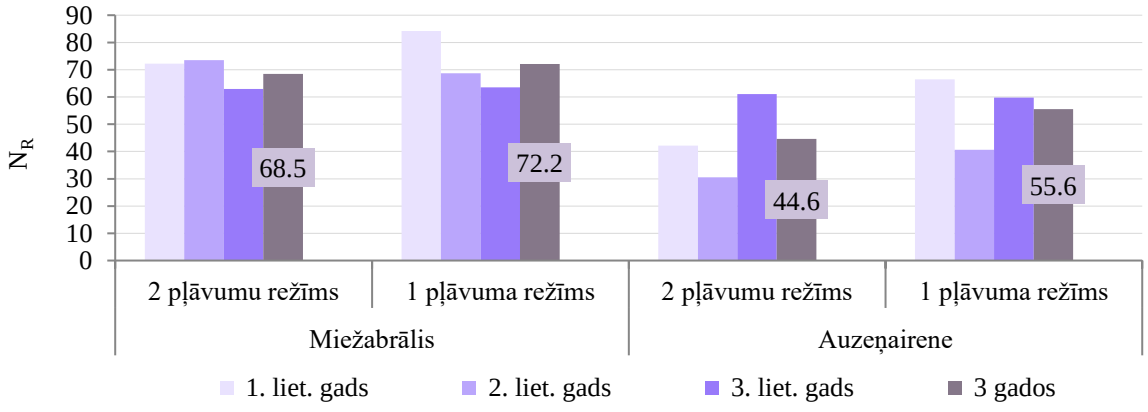
3.4.4. Slāpekļa izmantošanās agronomiskā efektivitāte

Lai novērtētu slāpekļa izmantošanās efektivitāti sistēmas līmenī un izprastu slāpekļa apriti, tiek lietotas atšķirīgas slāpekļa bilances aprēķināšanas metodes, izmantojot ievades, uzglabāšanas un patēriņa procesu aplēses pēc masas bilances. Pētījumos secināts, ka tikai apmēram puse no visa patērētā slāpekļa tiek izmantota kultūraugu ražas veidošanā, viss pārējais palielina t.s. reaktīvā slāpekļa (Nr) izplūšanu atmosfērā, virszemes un pazemes ūdeņos, negatīvi ietekmējot vides kvalitāti, ekosistēmas pakalpojumus, bioloģisko daudzveidību, kā arī cilvēku veselību (Smil, 1999). Pārpalikums vai deficīts ir sistēmas bagātināšanas (iznese < ienese) vai iztukšošanas (iznese > ienese) mērs, vai vienkārši neuzskaitītā slāpekļa vērtības samazināšanās. Šo pieeju izmanto pētījumos, kuru mērķis ir noteikt, kas notiek ar slāpekļa pārpalikumu, vai arī, lai vērtētu slāpekļa plūsmu ilgtermiņā un tā ietekmi uz augsnes un vides procesiem ekosistēmās (Doberman, 2005).

Slāpekļa izmantošanās efektivitātes (NIE) aprēķinus izmanto, lai norādītu attiecību starp to slāpekļa daudzumu, kas tiek novests no lauka ar ražu un lietotā slāpekļa mēslojuma daudzumu, jeb kā izneses/ieneses attiecību. Aprēķini par NIE sniedz informāciju par lietotā slāpekļa mēslojuma izmantošanās efektivitāti lauksaimnieciskās ražošanas sistēmā, tā ļauj precīzāk novērtēt lauksaimniecības produktivitāti nekā vadoties tikai no slāpekļa bilances. Reizēm to dēvē arī par slāpekļa kopējās izmantošanās efektivitāti (N_{kop}) jeb apvienoto slāpekļa izmantošanās efektivitātes indeksu. Jebkurā gadījumā šis rādītājs ir nozīmīgāks praktiķiem. Tas apvieno gan ar mēslojumu lietotā, gan augsnē esošā slāpekļa izmantošanās efektivitāti.

Vērtējot slāpekļa izmantošanās efektivitāti jeb ražas indeksu N_R (iegūtā sausnas raža pret lietoto N daudzumu jeb sausnas raža nemēslotajā variantā pret lietotā slāpekļa daudzumu summētu ar slāpekļa agronomiskās izmantošanās efektivitāti), tika konstatēts, ka vidēji trīs lietošanas gados viena pļāvuma režīmā N_R indekss svārstījās: miežabrālim no 62.4, lietojot digestātu vienā paņēmienā (D1), līdz 81.1, lietojot minerālmēslus; auzeņairenei no 39.8, lietojot digestātu dalīti (D2), līdz 70.2, lietojot pelnu mēslojumu. Salīdzinoši zemāks N_R indekss konstatēts divu pļāvumu režīmā: miežabrālim vidēji trīs lietošanas gados tas bija robežās no 56.4, lietojot digestātu dalīti (D2) līdz 81.4, lietojot pelnu mēslojumu; auzeņairenei no 36.3, lietojot digestātu vienā paņēmienā (D1), līdz 53.4, lietojot pelnu mēslojumu (38. pielikums).

Augstāks ražas indekss miežabrālim bija 1. lietošanas gadā: 72.3 un 84.2, attiecīgi divu pļāvumu un viena pļāvuma režīmā. Savukārt auzeņairenei augstāks N_R indekss bija 3. lietošanas gadā, kad netika konstatētas būtiskas atšķirības starp pļaušanas režīmiem: N_R indekss bija 59.7 un 61.1, attiecīgi divu un viena pļāvuma režīmā. Vidēji trīs lietošanas gados būtiski augstāks slāpekļa izmantošanās jeb ražas indekss abos pļaušanas režīmos bija miežabrālim – vidēji 68.5 un 72.2, attiecīgi divu un viena pļāvuma režīmā, kamēr auzeņairenei tas bija būtiski zemāks – vidēji 44.6 un 55.6, attiecīgi divu un viena pļāvuma režīmā (3.25. att.).



3.25. att. **Slāpekļa izmantošanās efektivitāte jeb ražas indekss (N_R)**

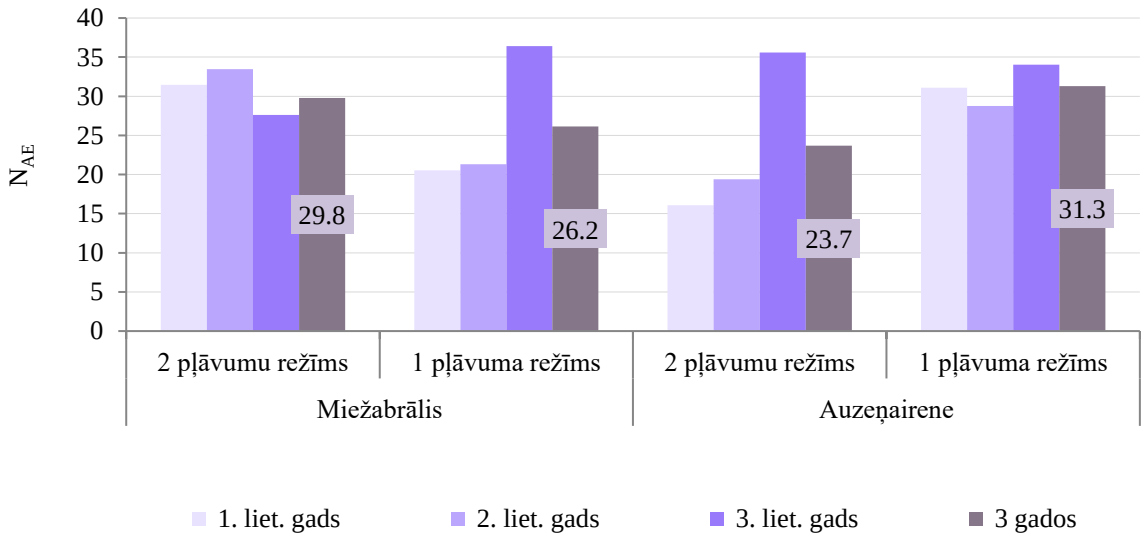
Kopumā abām sugām augstāka slāpekļa izmantošanās efektivitāte jeb augstāks ražas indekss tika iegūts viena pļāvuma režīmā – 63.9 salīdzinājumā ar 56.6 divu pļāvumu režīmā. Augstākā slāpekļa izmantošanās efektivitāte (84.2) vidēji visos mēslojuma variantos bija miežabrālim 1. lietošanas gadā viena pļāvuma režīmā. Vērtējot atšķirības mēslošanas variantu starpā, augstākais N_R indekss abām sugām abos pļaušanas režīmos konstatēts, lietojot pelnu mēslojumu: vidēji 81.1 miežabrālim un 61.8 auzeņairenei. Tikai nedaudz zemāki zālaugu ražas indeksi iegūti, lietojot minerālmēslus: vidēji 80.1 un 59.6, attiecīgi (37. pielikums). Graudaugiem līdzīgā veidā aprēķinātais ražas indekss parasti svārstās ap 40 – 70 (kg graudu kg^{-1} N), vērtības virs >70 tiek iegūtas pie zemām slāpekļa devām vai ļoti efektīvi pārvaldītās sistēmās (Doberman, 2005). Zālaugiem slāpekļa izmantošanās efektivitāte bija salīdzinoši augstāka.To var skaidrot ar atšķirībām ražas uzskaitē, ņemot vērā, ka zālaugiem tika uzskaitīta visa virszemes masa, kamēr graudaugiem līdzīgos aprēķinos ņēma vērā tikai graudu raža.

Slāpekļa izmantošanās agronomiskā efektivitāte (N_{AE}) jeb t.s. agronomiskais vērtējums palīdz labāk izprast faktorus, kas nosaka slāpekļa uzņemšanu un mēslojuma izmantošanas efektivitāti īstermiņā atšķirīgos vides apstākļos, kā arī ļauj salīdzināt dažādus slāpekļa izmantošanās veidus un tehnoloģijas, ņemot vērā sausnas ražu mēslotajā un nemēslotajā variantā, kā arī lietotā slāpekļa daudzumu.

Slāpekļa izmantošanās agronomiskās efektivitātes aprēķini ļāva novērtēt lietotā slāpekļa izmantošanās efektivitāti, t.sk., to efektivitāti, ar kādu augs izmantoja katru papildus iegūto mēslojuma vienību. Izmantotā slāpekļa agronomiskā efektivitāte (N_{AE}) tika vērtēta, ņemot vērā zālaugu sausnas ražas atšķirības mēslotajos variantos un kontroles variantā, kurā netika izmantots nekāda veida mēslojums.

Iegūtie rezultāti parādīja, ka slāpekļa izmantošanās agronomiskā efektivitāte (N_{AE}) miežabrālim svārstījās no 16.4 līdz 35.1 vienībām viena pļāvuma režīmā un no 17.7 līdz 42.7 vienībām divu pļāvumu režīmā. Auzeņairenes sējumā slāpekļa izmantošanās agronomiskā efektivitāte attiecīgi svārstījās no 15.5 līdz 45.9 un no 15.4 līdz 32.5 (38. pielikums).

Ja salīdzina slāpekļa izmantošanās agronomisko efektivitāti atšķirīgos pļaušanas režīmos, tad var secināt, ka nedaudz augstāka N_{AE} miežabrālim tika konstatēta divu pļāvumu režīmā, kur tā bija 29.8 vienības salīdzinājumā ar 26.2 vienībām viena pļāvuma režīmā. Savukārt auzeņairenei augstāka slāpekļa izmantošanās agronomiskā efektivitāte bija viena pļāvuma režīmā, kur N_{AE} bija 31.3, kamēr divu pļāvumu režīmā tā bija tikai 23.7 (3.26. att.).



3.26. att. **Slāpekļa izmantošanās agronomiskā efektivitāte (N_{AE})**

Kaut arī slāpekļa izmantošanās agronomiskā efektivitāte abos pļaušanas režīmos bija diezgan līdzīga, tomēr nedaudz augstāka, vērtējot abām sugām kopā, tā izrādījās viena pļāvuma režīmā: 28.7 pret 26.7. Zālaugu sugu starpā netika konstatētas būtiskas atšķirības N_{AE} ziņā: miežabrālim vidēji abos pļaušanas režīmos N_{AE} bija 28.0; auzeņairenei – 27.5. Vidēji trīs gados abām sugām abos pļaušanas režīmos N_{AE} bija 27.7, turklāt šis rādītājs pa gadiem pieauga no 24.8 līdz 33.4, attiecīgi 1. un 3. lietošanas gadā.

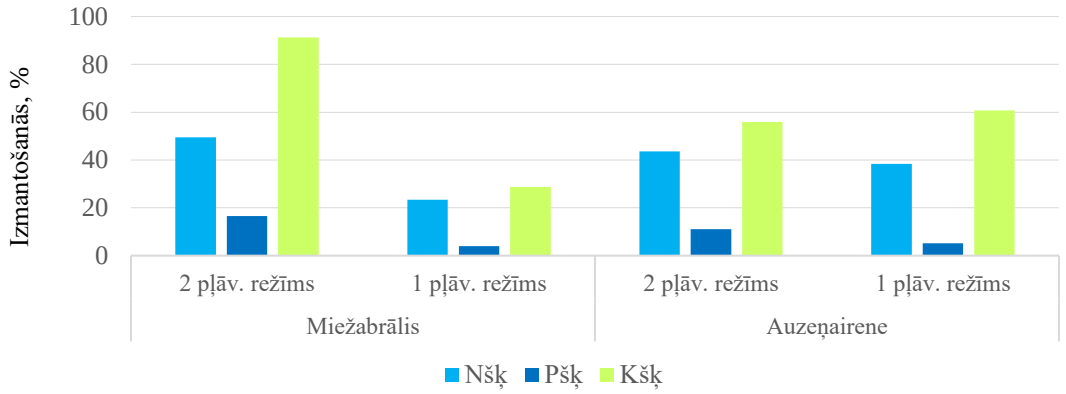
Kopumā iegūtie slāpekļa izmantošanās agronomiskās efektivitātes (N_{AE}) rādītāji zālaugiem vērtējami kā salīdzinoši augsti, ja salīdzina ar graudaugiem, kuriem slāpekļa izmantošanās agronomiskās efektivitātes (N_{AE}) indekss vidēji svārstās 10 – 30 robežās un indekss >30 tiek vērtēts kā ļoti augsts. Tādu graudaugiem parasti iegūst vai nu efektīvi pārvaldītās sistēmās vai pie zemām slāpekļa lietošanas normām, vai arī pie zema augsnes dabiskā nodrošinājuma ar slāpekli.

Izmēģinājumos secināts, ka slāpekļa izmantošanās efektivitāte jeb ražas indekss (N_R) jeb t.s. slāpekļa kopējā izmantošanās efektivitāte palielinās, pieaugot augsnes nodrošinājumam ar slāpekli, kā arī palielinot lietotā slāpekļa agronomisko efektivitāti (N_{AE}). Savukārt slāpekļa izmantošanās agronomisko efektivitāti N_{AE} var palielināt, apvienojot šādu faktoru efektivitāti: palielinot slāpekļa mēslojuma izmantošanās efektivitāti jeb ražas indeksu (N_R), optimizējot kultūraugu izvēles iespējas un uzlabojot augsnes apsaimniekošanas praksi atbilstoši konkrētajai situācijai (Doberman, 2005).

Jāatzīmē, ka izmantoto augu barības elementu daudzums no tā daudzuma, kuru iedod ar mēslojumu, nav precīzi izskaitļojams, tāpēc mēdz dēvēt par **"šķietamo izmantošanos".** Šo rādītāju var aprēķināt arī kā starpību starp slāpekļa uzņemšanu mēslotajā (F_N) un slāpekļa uzņemšanu nemēslotajā (F_0) variantā. Tā ir ar ražu iznestā slāpekļa proporcija no lietotā slāpekļa daudzuma (Rao et al., 1992). Rēķinot šādā veidā, slāpekļa šķietamā izmantošanās ($N_{šķ}$) cieši korelēja ar iznesi: viena pļāvuma režīmā salīdzinājumā ar divu pļāvumu režīmu tā bija ievērojami zemāka (40., 41. pielikums). Tas skaidrojams ar to, ka pļaušanas laikā augu atmiršanas fāzē, slāpekļa saturs zālaugu sausnā jau bija ievērojami samazinājies, ņemot vērā īpatnību pārvietot augu barības elementus no virszemes daļām uz saknēm. Sevišķi tas attiecināms uz miežabrāļa zelmeņiem, kur vidēji trīs gados slāpekļa šķietamā izmantošanās pa pļaušanas režīmiem atšķīrās apmēram uz pusi – tā svārstījās no 23.4 viena pļāvuma režīmā līdz 49.5 divu pļāvumu režīmā (3.28. att.).

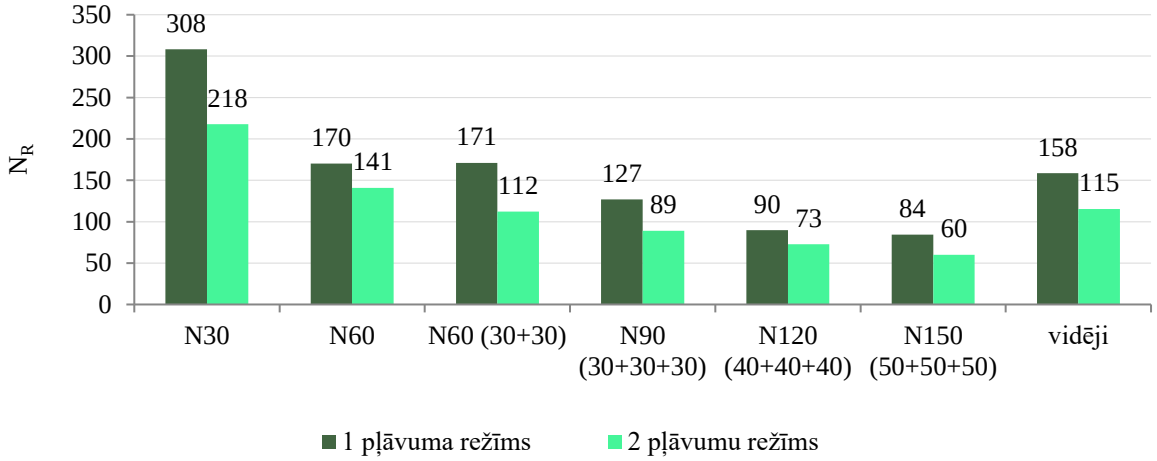
Auzeņairenei atšķirības pa pļaušanas režīmiem bija mazāk izteiktas: vidēji trīs gados slāpekļa šķietamā izmantošanās $N_{šķ}$ bija 38.4 un 43.6, attiecīgi viena un divu pļāvumu režīmā. Šie dati parāda atšķirības abu zālaugu sugu starpā augu barības elementu izmantošanā un pārvietošanā.

Līdzīgā veidā rēķinot kālija un fosfora t.s. šķietamās izmantošanās koeficientus, tika konstatēts, ka miežabrālim kālija šķietamā izmantošanās ($K_{šķ}$) divu pļāvumu režīmā bija trīs reizes augstāka nekā viena pļāvuma režīmā, attiecīgi 91.3 un 28.7, kamēr auzeņairenei atšķirības bija nebūtiskas – 55.9 un 60.7, attiecīgi divu un viena pļāvuma režīmā (3.28. att.). Fosfora šķietamās izmantošanās koeficients ($P_{šķ}$) miežabrālim divu pļāvumu režīmā bija četras reizes augstāks nekā viena pļāvuma režīmā: attiecīgi 16.6 un 4.0. Auzeņairenei $P_{šķ}$ vidēji bija 11.0 un 5.2, attiecīgi divu pļāvumu un viena pļāvuma režīmā. Iegūtie dati ļauj izdarīt secinājumus par atsevišķu augu barības elementu saturu atšķirīgu zālaugu sugu sausnā atšķirīgās attīstības fāzēs, kas cieši sasaucas ar to uzņemšanas un izmatošanās efektivitāti.



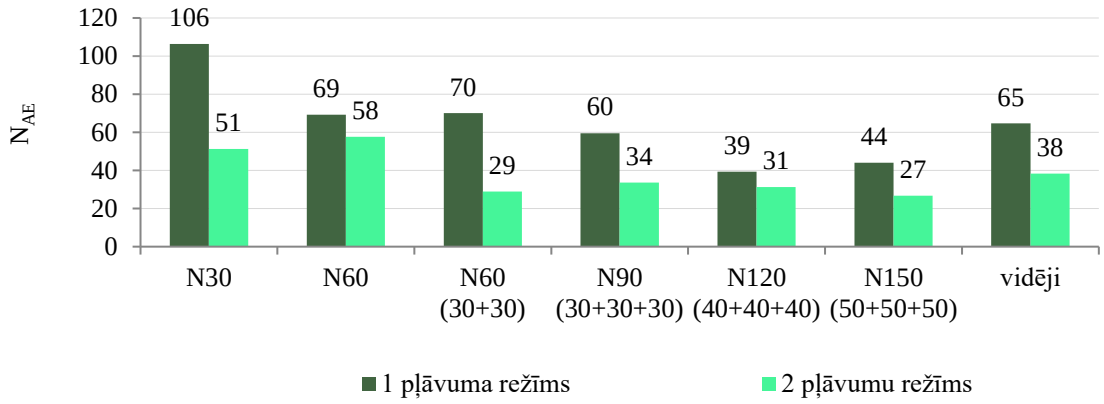
3.28. att. **Slāpekļa, fosfora un kālija šķietamās izmantošanās indeksi**

Slāpekļa izmantošanās efektivitāte atšķirīgu digestāta mēslojuma normu ietekmē. Vērtējot slāpekļa izmantošanās efektivitāti jeb ražas indeksu (N_R) digestāta mēslojuma variantos mikroizmēģinājumā, var secināt, ka N_R negatīvi korelēja ar slāpekļa normu: -0.44 un -0.48, attiecīgi viena pļāvuma un divu pļāvumu režīmā. Jo zemāka slāpekļa norma, jo augstāka bija slāpekļa izmantošanās efektivitāte jeb ražas indekss. Variantā N30 iegūtie N_R indeksi bija 308 un 218, attiecīgi viena pļāvuma un divu pļāvumu režīmā. Savukārt variantā ar augstāko slāpekļa normu N150 (50+50+50) ražas indeksi bija viszemākie: 84 un 60, attiecīgi viena pļāvuma un divu pļāvumu režīmā (3.29. att.). Kopumā augstāka slāpekļa izmantošanās efektivitāte konstatēta viena pļāvuma režīmā, kur ražas indekss vidēji visos mēslošanas variantos bija158 salīdzinājumā ar indeksu 115, kas tika iegūts divu pļāvumu režīmā (43. pielikums).



3.29. att. **Slāpekļa izmantošanās efektivitātes jeb ražas indeksi (N_R) mikroizmēģinājumā**

Arī slāpekļa izmantošanās agronomiskās efektivitātes indekss (N_{AE}), līdzīgi kā ražas indekss (N_R), mikroizmēģinājumā augstāks bija viena pļāvuma režīmā, kur vidēji visos mēslojuma variantos tas bija 64.7, kamēr divu pļāvumu režīmā N_{AE} vidēji bija 38.3 (43. pielikums). Atšķirīgos mēslošanas variantos viena pļāvuma režīmā N_{AE} svārstījās no 44 variantā ar augstāko digestāta normu N150 (50+50+50) līdz 106 digestāta mēslojuma variantā N30. Arī citviet pētījumos konstatēts, ka lietotā slāpekļa mēslojuma agronomiskā efektivitāte samazinās, pieaugot mēslojuma normai (Jermušs, 2010; Līpenīte, Kārkliņš, Ruža, 2018). Salīdzinot slāpekļa izmantošanās efektivitāti atšķirīgos pļaušanas režīmos, gandrīz uz pusi zemāks slāpekļa izmantošanās agronomiskās efektivitātes indekss tika konstatēts divu pļāvumu režīmā, kur N_{AE} svārstījās no 27 līdz 58, attiecīgi pie N150 (50+50+50) un N30 normām (3.30. att.).



3.30. att. **Slāpekļa izmantošanās agronomiskās efektivitātes indeksi (N_{AE}) mikroizmēģinājumā**

Kopsavilkums. Augstāka slāpekļa izmantošanās efektivitāte jeb augstāks ražas indekss (N_R) abām sugām tika iegūts viena pļāvuma režīmā. Atšķirīgos lietošanas gados tika konstatēta atšķirīga slāpekļa izmantošanās efektivitāte: miežabrālim abos pļaušanas režīmos augstāks N_R bija 1. lietošanas gadā, savukārt auzeņairenei augstāks N_R tika iegūts divu pļāvumu režīmā 3. lietošanas gadā. Būtiski augstāka slāpekļa izmantošanās efektivitāte tika konstatēta miežabrālim salīdzinājumā ar auzeņaireni. Vērtējot atšķirības starp mēslošanas līdzekļiem, augstākā slāpekļa izmantošanās efektivitāte jeb ražas indekss N_R abām sugām tika konstatēts pelnu variantā. Tikai nedaudz zemāks N_R tika iegūts minerālmēslu variantā. Lietojot atšķirīgas digestāta mēslojuma normas, tika konstatēta negatīva korelācija slāpekļa normai ar slāpekļa izmantošanās efektivitāti jeb ražas indeksu (N_R): -0.44 un -0.48, attiecīgi viena pļāvuma un divu pļāvumu režīmā. Tika konstatēta likumsakarība – jo zemāka slāpekļa norma, jo augstāks bija slāpekļa izmantošanās efektivitātes jeb ražas (N_R) indekss.

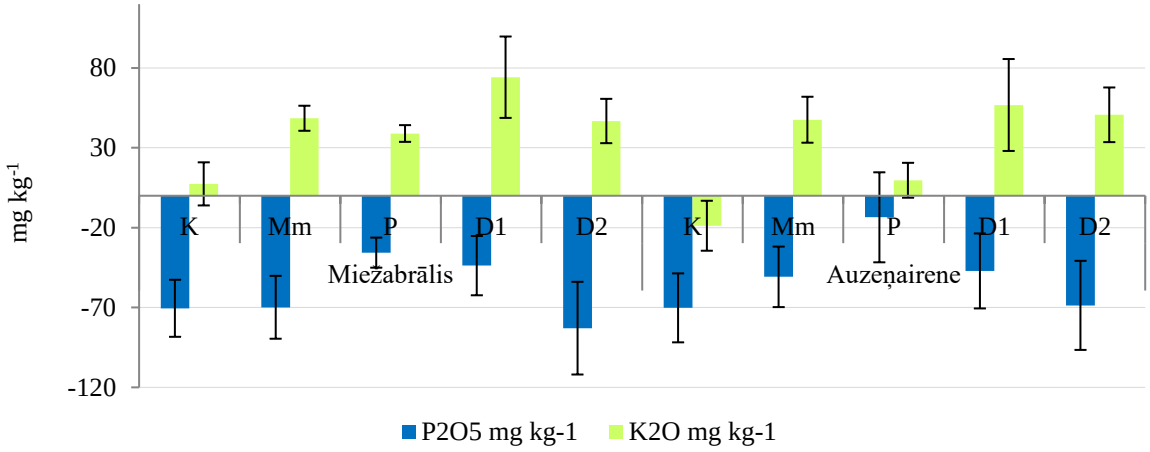
3.5. Augsnes agroķīmisko rādītāju izmaiņas mēslošanas ietekmē

Lai vērtētu augsnes agroķīmisko rādītāju iespējamās izmaiņas mēslošanas rezultātā, tika veiktas augsnes analīzes pirms zālaugu sējas un mēslojuma lietošanas, un atkārtoti pēc četriem gadiem (44., 45. pielikums). Analīžu rezultāti atsevišķiem parametriem uzrādīja nebūtiskas izmaiņas pa mēslošanas variantiem, t.sk., augsnes pH līmenim (pH H_2O un pH KCl). Neskatoties uz atšķirīgu mēslošanas līdzekļu izmantošanu zālaugu mēslošanā, augsnes pH līmenis četru gadu periodā palika praktiski nemainīgs. Iegūtie rezultāti neapstiprina pieņēmumu par to, ka regulāra digestāta mēslojuma izmantošana būtiski paaugstina augsnes pH līmeni. Iespējams, šādi procesi norisinās ļoti pakāpeniski, bet mūsu izmēģinājumos četru gadu laikā netika konstatētas statistiski pierādāmas izmaiņas. Līdzīgi rezultāti iegūti arī citviet pētījumos, kur konstatēts, ka digestāta izmantošana augsnes pH praktiski neietekmē (Odlare, Pell, Svensson, 2008; Fuchs, Schleiss, 2008). Salīdzinoši augstāks augsnes pH līmenis tika konstatēts pelnu mēslošanas variantā, kas norāda uz pelnu mēslojuma tendenci paaugstināt augsnes pH līmeni. Tomēr arī šajā gadījumā atšķirības nebija būtiskas, kaut gan pelni izsenis tiek izmantoti augsnes skābuma neitralizēšanai. Tam par iemeslu, iespējams, bija paralēla minerālmēslojuma izmantošana trūkstošo barības elementu kompensēšanai, kā arī fakts, ka mēslojums zelmeņa izmantošanas gados tika lietots virspusēji. Pastāv arī uzskats, ka pelnu mēslojuma efekts ir īslaicīgs, tas turpinās apmēram gadu (Fritze, Perkiomaki, Saarela et al., 2000; Zimmerman, Frey, 2002).

Organiskās vielas satura ziņā netika novērotas būtiskas ($p < 0.05$) izmaiņas mēslošanas variantu starpā (44., 45. pielikums). Augstāks organiskās vielas saturs tika konstatēts digestāta

mēslojuma variantos (46., 47. pielikums), kas norāda uz organiskā mēslojuma izmantošanas pozitīvo ietekmi augsnes oglekļa krājumu palielināšanā.

Augsnes analīžu rezultāti rāda, ka mēslotajos variantos salīdzinājumā ar kontroli bija augstāks augiem viegli izmantojamā fosfora saturs. Būtiski ($p < 0.05$) augstāks tas bija pelnu variantā (45. pielikums). Vērtējot kālija saturu, var secināt, ka visos mēslotajos variantos kālija daudzums bija palielinājies (vidēji +27.15 mg kg^{-1} K_2O), nodrošinot būtisku ($p < 0.05$) kālija satura pieaugumu augsnē. Labākos rezultātus šajā gadījumā nodrošināja digestāta mēslojuma izmantošana, kas pozitīvi ietekmēja kālija rezervju pieaugumu augsnē (3.31. att.). Zemākais fosfora un kālija saturs likumsakarīgi konstatēts nemēslotajos variantos.



3.31. att. **Augiem viegli izmantojamā fosfora (P_2O_5) un kālija (K_2O) izmaiņas augsnē mēslošanas rezultātā**

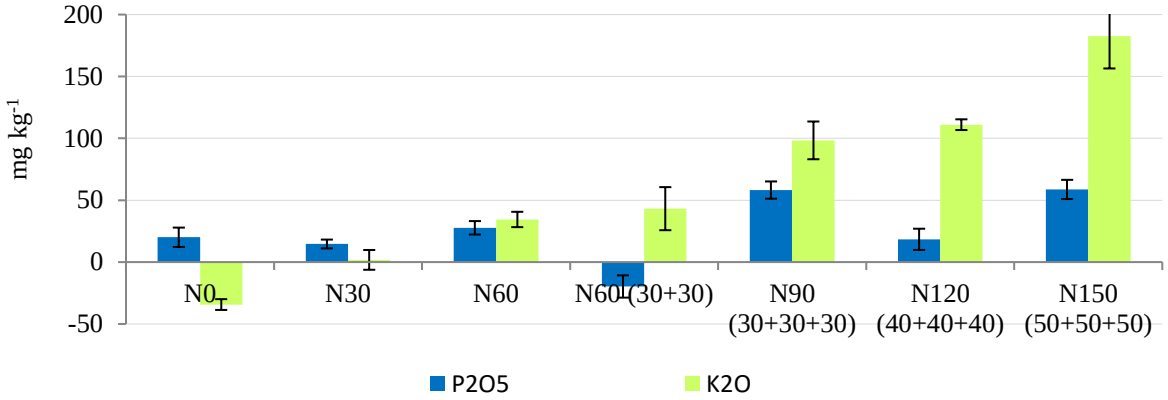
Iegūtie augsnes analīžu rezultāti parāda, ka augsnei raksturīga ievērojama buferspēja, tāpēc agroķīmisko rādītāju izmaiņas četru gadu periodā bija niecīgas. Pie līdzīgiem secinājumiem zālaugu mēslošanas ilgtermiņa izmēģinājumos nonākuši arī slovāku pētnieki (Vargova, Kanianska, Kizekova et al., 2020). Tur konstatēts, ka regulāra minerālmēslu izmantošana pazemināja augsnes pH līmeni, taču augsnes paskābināšanās novērota arī kontroles variantā bez mēslojuma izmantošanas. Tas norāda uz to, ka pastāvīgai bāzes katjonu aizgādāšanai ar novākto biomasu un augsnes substrātam raksturīgajai buferspējai bija svarīgāka ietekme nekā pašiem mēslošanas līdzekļiem.

Vērtējot digestāta mēslojuma ietekmi uz augsnes rādītājiem mikroizmēģinājumā, konstatēts, ka digestāta izmantošana miežabrāļa mēslošanā četru gadu periodā sekmējusi pozitīvas tendences augu barības vielu satura ziņā (46., 47. pielikums). Jo lielāka bija lietotā digestāta norma, jo vairāk palielinājās augiem pieejamā fosfora un kālija krājumi augsnē (3.32. att.). Izmēģinājumā tika konstatēta cieša korelācija starp lietoto digestāta normu un: organiskās vielas saturu ($r = 0.93$); augsnes pH H_2O ($r = 0.25$); augsnes pH KCl ($r = 0.64$); fosfora saturu ($r = 0.92$) un kālija saturu, kur tika konstatēta visciešākā korelācija ($r = 0.99$). Kaut arī vairumam rādītāju palielinājums nebija būtisks ($p < 0.05$), pozitīvās tendences liecina, ka regulāra digestāta izmantošana zālaugu mēslošanā var uzlabot augsnes agroķīmiskos rādītājus ilgtermiņā.

Digestāta lietošana četru gadu periodā nodrošināja būtisku ($p < 0.05$) augiem izmantojamā kālija palielinājumu augsnē, kurš tika konstatēts visos digestāta mēslošanas variantos. Izņēmums bija tikai variantā ar zemāko digestāta normu (N30), kur kālija satura izmaiņas nebija būtiskas.

Būtisks ($p < 0.05$) fosfora satura pieaugums augsnē, salīdzinājumā ar kontroles un zemākās digestāta normas (N 30) variantiem, konstatēts variantā ar visaugstāko digestāta normu (N150 (50+50+50)). Pārējos variantos, kaut arī mēslošanas ietekmē augiem pieejamā fosfora saturs palielinājās, konstatētās atšķirības nebija statistiski pierādāmas. Literatūrā ir

aprakstīti rezultāti par digestāta mēslojuma pozitīvo ietekmi uz augsnes īpašībām, ko apliecina augsnes mikroorganismu masas, slāpekļa un fosfora satura palielinājums augsnē (Tiwari, Tiwari, Upadhyay, 2000; Mikled, Jiraporncharoen, Potikanond, 2002; Tambone, Genevini, Adani, 2007; Nkoa, 2014).



3.32. att. **Augiem viegli izmantojamā fosfora (P_2O_5) un kālija (K_2O) izmaiņas augsnē digestāta mēslojuma ietekmē**

Arī augsnes reakcijas ziņā novērotas pozitīvas tendences – augstāks augsnes pH līmenis bija variantos ar augstākām digestāta normām, kas ļauj secināt, ka digestāta izmantošana intensīvā zālaugu audzēšanas sistēmā izslēdz augsnes paskābināšanos. Iespējams, augstāku digestāta normu lietošana ilgtermiņā var nodrošināt augsnes pH pakāpenisku paaugstināšanos. Latvijas apstākļos šāda tendence būtu vērtējama pozitīvi, ņemot vērā augsto augsnes platību īpatsvaru ar palielinātu hidrolītisko skābumu. Nereti tieši palielināts augsnes skābums ierobežo prasīgāku kultūraugu audzēšanu un kavē pilnvērtīgu augsnē esošo augu barības vielu izmantošanu.

Minerālā slāpekļa (N_{min}) dinamika augsnē mikroizmēģinājumā. Viegli izmantojamie slāpekļa resursi jeb minerālā slāpekļa daudzums augsnē ir svarīgs faktors kultūraugu ražības nodrošināšanā. Veģetācijas laikā minerālā slāpekļa krājumi mainās, to ietekmē gan augsnes mikrobioloģiskie procesi, gan lietotais mēslojums. Beidzamajā laikā tiek pievērsta īpaša uzmanība minerālā slāpekļa saturam augsnē, jo līdztekus augu nodrošinājumam ar barības vielām, kas nepieciešams ražas veidošanai, palielināts minerālā slāpekļa daudzums var izraisīt arī nevēlamus procesus, t.sk., izskaloties no augsnes un emitēt, samazinot kopējos slāpekļa resursus augsnē. Tāpēc svarīgi sekot līdzi minerālā slāpekļa dinamikai sezonas gaitā un zināt tā atlikumu augsnē veģetācijas perioda beigās. Tas ļauj sekmīgāk plānot mēslošanas nepieciešamību un samazināt potenciālos slāpekļa zudumus ziemošanas periodā (Robertson, Groffman, 2007; Kārkliņš, Līpenīte, Ruža, 2017).

Minerālā slāpekļa analīzes, kas tika veiktas atšķirīgos digestāta mēslojuma variantos atšķirīgā augsnes dziļumā (0 – 20 cm; 20 – 40 cm; 40 – 60 cm) trīs reizes sezonā (pirms katras mēslošanas reizes) trīs gadu periodā parādīja, ka minerālā slāpekļa sadalījums augsnes slānī, kur izvietojas galvenā miežabrāļa sakņu masa, bija samērā vienmērīgs. Tā daudzums vidēji trīs gadu periodā svārstījās no 39.7 kg ha^{-1} augsnes dziļākajā slānī (40 – 60 cm) līdz 45.2 kg ha^{-1} augsnes virskārtā (0 – 20 cm) (48., 49., 50. pielikums). Citviet pētījumos (Staugaitis, Vaisvila, Mazvila et al., 2007; Kolodziejczyk, 2013; Kārkliņš, Līpenīte, Ruža, 2017), vērtējot minerālā slāpekļa daudzumu 0 – 90 cm dziļumā, konstatēts, ka apmēram puse no minerālā slāpekļa krājumiem atrodas augsnes virskārtā 0 – 30 cm slānī, bet daudz mazāk tas ir atrodams dziļākajā 60 – 90 cm slānī. Mūsu izmēģinājumā minerālā slāpekļa daudzums 0 – 60 cm dziļumā bija salīdzinoši vienmērīgs. To varēja sekmēt miežabrāļa apjomīgā sakņu sistēmu, kas veidojās vairāku gadu garumā. Kaut arī atsevišķas miežabrāļa saknes mēdz iestiepties augsnē dziļāk par 1 m, galvenā sakņu masa izvietojas augsnes virskārtā.

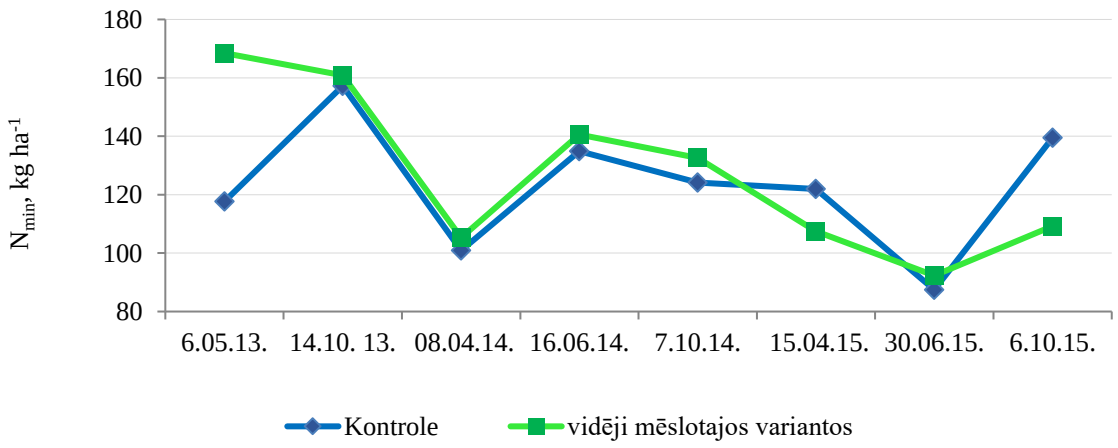
Salīdzinot minerālā slāpekļa daudzumu mēslotajos variantos un kontroles variantā, būtiskas atšķirības konstatētas netika. Augsnes paraugi tika ņemti pirms mēslojuma izkliedes, tāpēc atšķirības minerālā slāpekļa daudzuma ziņā mēsloto variantu starpā nebija būtiskas (3.24. tab.). Tas ļauj secināt, ka lietotais mēslojums tika efektīvi izmantots, neradot izskalošanās riskus augu miera periodā.

3.24. tabula

N_{min} krājumi augsnes 0 – 60 cm slānī atkarībā no mēslojuma normas, kg ha^{-1}

Mēslošanas variants	1. liet. g. (2013)		2. liet. g. (2014)			3. liet. g. (2015)		
	6.05.	14.10.	8.04.	16.06.	7.10.	15.04.	30.06.	6.10.
Kontrole	117.7	157.2	100.9	134.9	124.1	121.9	87.5	139.4
N90 (30+30+30)	195.7	135.4	113.5	136.9	129.9	97.5	89.8	96.3
N120 (40+40+40)	143.1	189.3	113.5	136.1	144.0	106.5	86.7	109.9
N150 (50+50+50)	166.6	158.0	88.8	148.8	123.9	118.3	100.5	121.5

Vairākos izmēģinājumos konstatēts, ka minerālā slāpekļa resursi strauji palielinās tūlīt pēc mēslojuma lietošanas. Pēc tam, apmēram mēneša laikā, augiem intensīvi augot, tie būtiski samazinās (Kayser, Seidel, Muller, Isselstein, 2008; Kārkliņš, Līpenīte, Ruža, 2017). Vērtējot minerālā slāpekļa izmaiņas mūsu izmēģinājumā, var redzēt, ka zemākais līmenis bija pavasarī, tūlīt pēc veģetācijas atjaunošanās (3.33. att.). Pēc mēslojuma izkliedes N_{min} daudzums strauji pieauga, bet turpmākās veģetācijas gaitā pakāpeniski samazinājās. Zināmas atšķirības konstatētas pa gadiem, 2013. gadā kopumā minerālā slāpekļa līmenis bija augstāks. Šajā gadā pavasarī pirms mēslojuma lietošanas konstatētas arī ievērojamas atšķirības starp mēslotajiem variantiem un kontroli. Tas varētu būt skaidrojams ar pēkšņi uznākušo siltuma vilni paraugu ņemšanas laikā, jo ir zināms, ka paaugstinoties gaisa temperatūrai augsnē, strauji pieaug minerālā slāpekļa daudzums. Atšķirības starp variantiem (mēslotais un nemēslotais) acīmredzot sekmēja mēslojuma lietošana sējas gadā. Mēslotajos variantos bija saglabājies zināms slāpekļa pārpalikums, kuru miežabrālis sējas gadā rudens periodā agrīnas attīstības stadijā nebija paspējis izmantot. Zināms, ka miežabrālis attīstās salīdzinoši lēni, maksimālo ražu tas parasti dod tikai otrajā lietošanas gadā. Tas izskaidro augu barības elementu patēriņa intensitātes atšķirības sējas gadā un zelmeņa lietošanas gados.

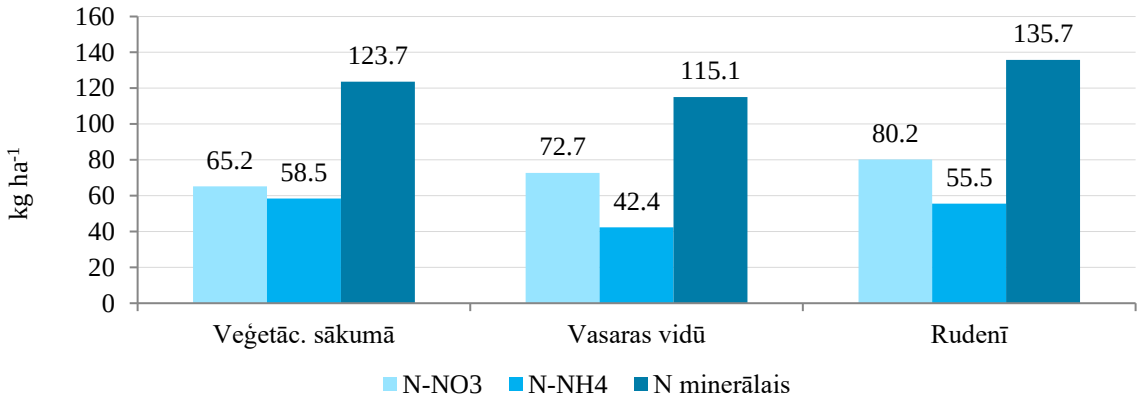


3.33. att. **Minerālā slāpekļa dinamika augsnē, kg ha^{-1}**

Trīs gadu dati ļauj secināt, ka visa veģetācijas perioda garumā minerālā slāpekļa daudzums miežabrāļa sējumā bija samērā izlīdzināts: nedaudz zemāks (115.1 kg ha^{-1}) tas bija augu aktīvās augšanas laikā – vasaras vidū, bet neliels uzkrājums veidojās veģetācijas beigu

posmā (135.7 kg ha^{-1}). Taču zudumu riskus tas neradīja, jo augsne nepārtraukti bija nosegta ar veģetējošu kultūraugu.

Vērtējot amonija slāpekļa un nitrātu slāpekļa attiecību, varēja secināt, ka pa gadiem tā bija atšķirīga: augsts amonija slāpekļa īpatsvars konstatēts 1. lietošanas gada pavasarī, ko, iespējams, ietekmēja augstāka gaisa temperatūra paraugu ņemšanas laikā. Savukārt 2. un 3. lietošanas gadā veģetācijas sākumā amonija slāpekļa īpatsvars bija vidēji 2 – 3 reizes zemāks salīdzinājumā ar nitrātu slāpekli (48., 49., 50. pielikums). Tas saskan ar citu pētnieku iegūtajiem datiem, kuri rāda, ka nitrātu slāpekļa īpatsvars mēdz būt ievērojami lielāks salīdzinājumā ar amonija slāpekli (Kārkliņš, Līpenīte, Ruža, 2017). Trīs gadu dati rāda, ka veģetācijas sākumā nitrātu slāpekļa īpatsvars bija tikai nedaudz lielāks par amonija slāpekļa daudzumu: 65.2 kg ha^{-1} N–NO_3; 58.5 kg ha^{-1} N–NH_4. Veģetācijas gaitā pieauga nitrātu slāpekļa īpatsvars augsnē, vasaras vidū tas vidēji bija 72.7 kg ha^{-1} N–NO_3, rudenī 80.2 kg ha^{-1} N–NO_3. Amonija slāpekļa īpatsvars vidēji bija par 30 – 40% zemāks: attiecīgi 42. 4 kg ha^{-1} N–NH_4 un 55.5 kg ha^{-1} N–NH_4 (3.34. att.). Salīdzinoši augstais amonija slāpekļa daudzums augsnē būtu skaidrojams ar digestātā esošo augsto amonija slāpekļa īpatsvaru.



3.34. att. **Minerālā slāpekļa dinamika veģetācijas periodā vidēji trīs gadu periodā, kg ha^{-1}**

Minerālā slāpekļa diagnostika ļauj precīzāk izstrādāt kultūraugu mēslošanas rekomendācijas, ņemot vērā augsnē esošos resursus. Kā norāda Knight (2006), vispārējās situācijas izvērtēšanai konkrētā laukā vislabāk izmantot pavasarī noteiktos minerālā slāpekļa rādītājus. Palielinātam minerālā slāpekļa saturam par iemeslu var būt augstu slāpekļa mēslojuma normu lietošana, kā arī augsts organiskās vielas saturs augsnē. Mūsu izmēģinājumā minerālā slāpekļa nodrošinājums pavasarī svārstījās ap 123.7 kg ha^{-1}, kas vērtējams kā vidējs. Ar digestāta mēslojumu tika lietotas mērenas slāpekļa normas (analīzes tika veiktas variantos ar kopējo N devu 90; 120 un 150 kg ha^{-1}), arī organiskās vielas saturs augsnē nebija augsts. Zinātnieki Lielbritānijā (Chambers, Richardson, 1993) atklājuši saistību starp minerālā slāpekļa krājumiem augsnē un audzēto kultūraugu. Piemēram, graudaugu un cukurbiešu laukos minerālā slāpekļa krājumi svārstījās robežās no 40 līdz 120 kg ha^{-1}, bet intensīvas organisko mēslu lietošanas apstākļos, kā arī pēc zālaugu iearšanas minerālā slāpekļa resursi mēdza paaugstināties virs 200 kg ha^{-1}.

Kopsavilkums. Augsnes agroķīmiskie rezultāti parādīja augsnei raksturīgo buferspēju, apstiprinot, ka augsne ir noturīga sistēma. Četru gadu periodā atšķirīgu mēslošanas līdzekļu lietošana ar nelieliem izņēmumiem kopumā būtiski ($p < 0.05$) neizmainīja augsnes agroķīmiskos rādītājus. Iegūtie rezultāti neapstiprināja pieņēmumu par digestāta mēslojuma būtisku ietekmi uz augsnes pH līmeni, tā iespējamo paaugstināšanos dažu gadu laikā, kaut gan variantos ar augstākām digestāta mēslojuma normām tika konstatēts augstāks pH līmenis. Salīdzinoši augstāki pH rādītāji tika konstatēti pelnu mēslošanas variantā, kas parāda pelnu mēslojuma spēju neitralizēt paaugstinātu augsnes skābumu. Visu lietoto mēslošanas līdzekļu

ietekmē paaugstinājās augiem viegli izmantojamā fosfora saturs, sevišķi pelnu mēslojuma variantā. Visos mēslotajos variantos būtiski ($p < 0.05$) palielinājās kālija saturs, visvairāk to sekmēja digestāta mēslojuma izmantošana. Jo lielāka bija lietotā digestāta norma, jo vairāk palielinājās augiem pieejamā fosfora un kālija krājumi augsnē. Minerālā slāpekļa analīzes parādīja, ka miežabrāļa sējumā nodrošinājums ar slāpekli bija vidējs, minerālā slāpekļa sadalījums 0 – 60 cm augsnes dziļumā bija diezgan vienmērīgs. Augstāks bija nitrātu slāpekļa īpatsvars salīdzinājumā ar amonija slāpekli. Minerālā slāpekļa daudzums augsnē veģetācijas periodā būtiski nesvārstījās, ļaujot secināt, ka augiem pieejamais slāpeklis, kas tika iedots ar digestāta mēslojumu, tika izmantots efektīvi. Iegūtie dati rāda, ka, atkarībā no zelmeņa vecuma, slāpekļa mēslojumu miežabrālis izmantoja ar atšķirīgu intensitāti.

3.6. Miežabrāļa un auzeņairenes mēslošanas ekonomiskais izvērtējums

Līdzās saimnieciskajam un ekoloģiskajam enerģētisko zālaugu audzēšanas vērtējumam – videi draudzīgi enerģijas ieguves risinājumi, bezatlikumu tehnoloģiju izmantošana utt., ļoti būtisks ir ekonomiskais aspekts. To, vai ilgtermiņā būs perspektīva kāda kultūrauga audzēšana un viena vai otra agrotehnisko pasākumu kompleksa izmantošana, lielā mērā noteiks finansiālie apsvērumi. Tāpēc šajā nodaļā tiek salīdzinātas atšķirīgu mēslošanas līdzekļu, t.sk., minerālmēslu, koksnes pelnu un digestāta izmantošanas izmaksas, pie nosacījuma, ka tiek nodrošinātas ekvivalentas galveno augu barības elementu (NPK) normas. Tiek salīdzinātas arī zālaugu mēslošanas izmaksas, izmantojot atšķirīgas digestāta mēslojuma normas.

Mēslojuma lietošanas izmaksu aprēķinam tika ņemtas vērā šādas pozīcijas:

1. mēslojuma iegādes izmaksas;
2. mēslojuma transportēšanas no iegādes vietas līdz laukam izmaksas;
3. mēslojuma izsējas (izkliedes) izmaksas.

Mēslošanas līdzekļu iegādes izmaksas. Pelnus katlumājās parasti piedāvā par brīvu, jo visbiežāk tos ir spiesti deponēt kā atkritumus un tas veido papildu izmaksas. Pēc LVMI "Silava" pētnieku datiem, pelnu deponēšanas izmaksas sastāda aptuveni 39.50 EUR par tonnu. Tādēļ katlumāju apsaimniekotāji labprāt sadarbojas ar lauksaimniekiem un mežkopjiem, kompensējot pelnu iekraušanas izmaksas. Katlumājas bieži vien pilnībā vai daļēji sedz arī transporta izmaksas līdz saimniecībai, bet tas šajos aprēķinos netika ņemts vērā. Aprēķinā netika iekļautas digestāta iegādes izmaksas, jo biogāzes ražotnēs digestāts nepārtraukti uzkrājas un nepieciešams regulāri atbrīvot lagūnas. Izmantoto minerālmēslu: amonija salpetris (34.4% N); vienkāršais superfosfāts (19% P2O5); kālija hlorīds (60% K2O) iegādes izmaksas rēķināja, balstoties uz vidējām 2020. gada minerālmēslu cenām. Izmantojot minētos minerālmēslu veidus, viena tīrvielas kilograma cenas bija šādas: N = 0.844 EUR kg^{-1}; P_2O_5 = 1.684 EUR kg^{-1}; K_2O = 0.267 EUR kg^{-1}.

Transportēšanas izmaksas rēķinātas, izmantojot tehnisko pakalpojumu vidējo cenu apkopojumu Latvijā pēdējo piecu gadu laikā (2016. – 2020.)[21]. Minerālmēslu (līdz 10 t) transportēšana izmaksā 0.76 EUR km^{-1}, pelnu un digestāta (līdz 30 t) transportēšana izmaksā 0.89 EUR km^{-1}. Izmaksas rēķinātas, pieņemot, ka transportēšanas attālums ir 20 km.

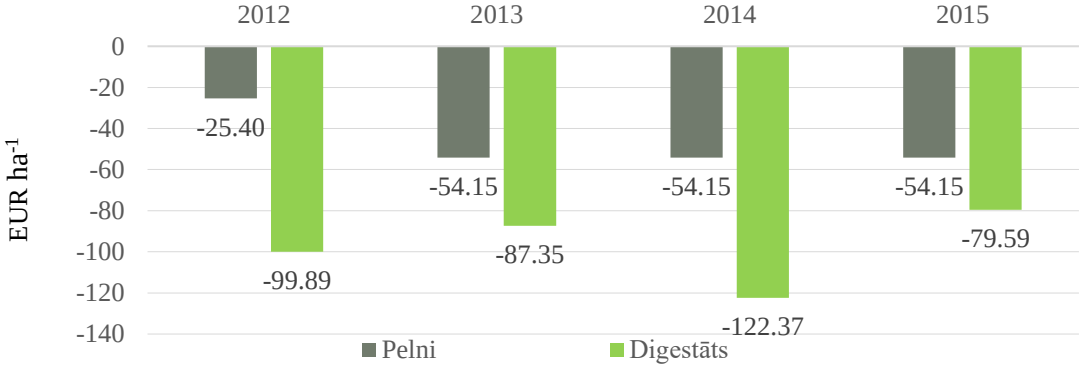
Izkliedēšanas izmaksas rēķinātas, par pamatu ņemot tehnisko pakalpojumu vidējās cenas pēdējo piecu gadu laikā. Pelniem veikti aprēķini, pieņemot, ka tiks izmantoti granulētie pelni. Daudzviet katlumājās tehnoloģiskajā procesā pelnus no kurtuvēm uzreiz sajauc ar ūdeni un iegūst granulētos pelnus. Tie ir pietiekami birstoši, lai izkliedētu ar minerālmēslu kliedētāju. Gadījumos, kad pelni nav granulēti, to izkliedi var pielīdzināt cietā organiskā mēslojuma

[21] Tehnisko pakalpojumu vidējo cenu salīdzinājums Latvijā 2019. un 2018. gadā. [Tiešsaiste] [skatīts 2021. g. 15. aprīlī]. Pieejams: http://new.llkc.lv/sites/default/files/baskik_p/pielikumi/1.tabula_4.pdf

izkliedes izmaksām, bet šāda veida pelnu izmantošana, sevišķi mežsaimniecībā, netiek akceptēta, jo aprēķināt lietošanas devas un veikt vienmērīgu izkliedi ir praktiski neiespējami.

Galvenās izmaksas augu barības vielām, kas tiek nodrošinātas ar pelniem un digestātu, sastādīja transportēšana un izkliede. Minerālmēslu lietošanā liela nozīme ir konkrētā mēslošanas līdzekļa izvēlei, jo šajā gadījumā augstāko izmaksu īpatsvaru sastādīja mēslošanas līdzekļa cena. Rēķinot pēc 2020. gada minerālmēslu cenām, viena tīrvielas kilograma izmantošana zālaugu mēslošanā izmaksāja: 1.021 EUR kg^{-1} N (amonija nitrāts), 1.861 Eur kg^{-1} P_2O_5 (superfosfāts 19%); 0.443 Eur kg^{-1} K_2O (kālija hlorīds). Piemēram, slāpeklim 1 kg izmaksu pozīcijas bija šādas: cena 0.8442 Eur kg^{-1}; transports 0.00152 EUR kg^{-1}; izkliede 0.1755 EUR kg^{-1}. Līdzīgus rezultātus uzrāda arī citu pētnieku veiktie aprēķini. Piemēram, Platačes (2018) pētījumos par zālaugu mēslošanas izmaksām konstatēts, ka viens slāpekļa tīrvielas kilograms, izmantojot mēslošanā minerālmēslus, izmaksāja 1.046 EUR kg^{-1}.

Salīdzinot atšķirīgu mēslošanas līdzekļu izmantošanas izmaksas miežabrāļa un auzeņairenes mēslošanā, kur tika nodrošināts ekvivalents augu galveno barības elementu (slāpekļa, fosfora un kālija) daudzums, var secināt, ka visaugstākās izmaksas veidojās minerālmēslu variantā – 163.48 EUR ha^{-1} sējas gadā un 314.48 EUR ha^{-1} zelmeņa izmantošanas gados. Salīdzinoši zemākas izmaksas veidojās pelnu variantā – 138.08 EUR ha^{-1} un 260.75 EUR ha^{-1}, attiecīgi sējas gadā un zelmeņa izmantošanas gados. Digestāta mēslojuma izmantošanas izmaksas uz platības vienību bija viszemākās, tās sastādīja 63.59 EUR ha^{-1} sējas gadā un no 192.53 EUR ha^{-1} līdz 235.31 EUR ha^{-1} zelmeņa izmantošanas gados (51. pielikums). Salīdzinājumā ar minerālmēsliem, pelnu izmantošana ļāva ietaupīt 25.40 EUR ha^{-1} sējas gadā un 54.15 EUR ha^{-1} zelmeņa izmantošanas gados. Digestāta izmantošana izrādījās vēl ekonomiskāka, tā ļāva ietaupīt 99.89 EUR ha^{-1} sējas gadā un no 79.59 līdz 122.37 EUR ha^{-1} zelmeņa izmantošanas gados (3.35. att.). Grafiski atainotas mēslošanas līdzekļu lietošanas izmaksas, pieņemot, ka minerālmēslu lietošanas izmaksas ir bāzes jeb nulles līnija.

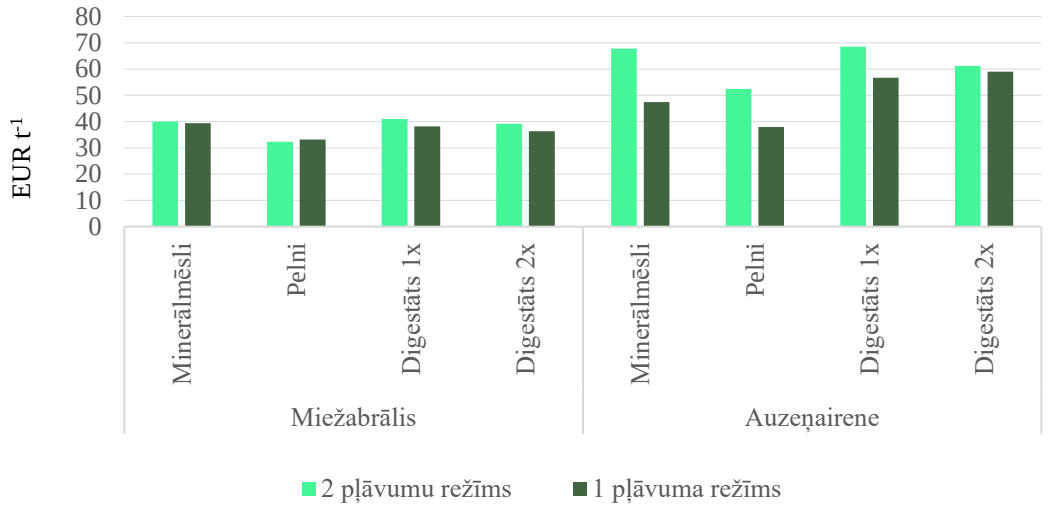


3.35. att. **Pelnu un digestāta mēslojuma izmantošanas izmaksas salīdzinājumā ar minerālmēsliem, EUR ha^{-1}**

Rēķinot mēslošanas izmaksas uz saražotās miežabrāļa sausnas tonnu, vidēji trīs gadu periodā divu pļāvumu režīmā tās svārstījās no 32.28 EUR t^{-1}, lietojot pelnu mēslojumu, līdz 40.94 EUR t^{-1}, lietojot digestātu vienā paņēmienā (D1); viena pļāvuma režīmā izmaksas bija ļoti līdzīgas, tās svārstījās no 33.17 EUR t^{-1}, lietojot pelnu mēslojumu, līdz 39.44 EUR t^{-1}, lietojot minerālmēslus (3.36. att.).

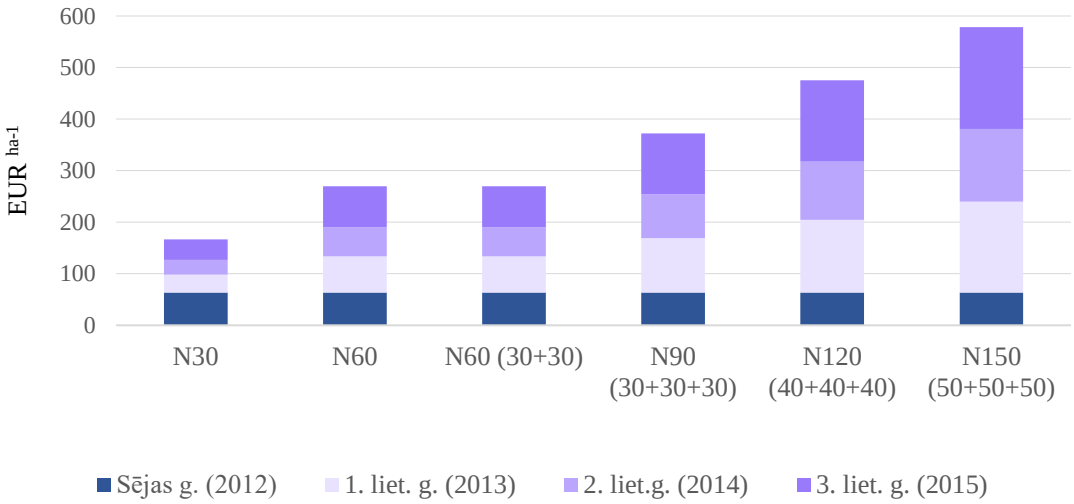
Mēslošanas izmaksas uz saražotās auzeņairenes sausnas tonnu bija augstākas, vidēji trīs gadu periodā divu pļāvumu režīmā svārstījās no 52.36 EUR t^{-1}, lietojot pelnu mēslojumu, līdz 68.48 EUR t^{-1}, lietojot digestātu vienā paņēmienā (D1); viena pļāvuma režīmā, atšķirībā no miežabrāļa, auzeņairenei izmaksas bija ievērojami zemākas, tās svārstījās no 37.92 EUR t^{-1}, lietojot pelnu mēslojumu, līdz 56.65 EUR t^{-1}, lietojot digestātu vienā paņēmienā (D1). Veiktie aprēķini ļauj secināt, ka kopumā zemākas mēslošanas izmaksas veidojās viena pļāvuma režīmā (52. pielikums). Miežabrāļa mēslošanas izmaksas uz saražotās sausnas vienību divu pļāvumu

režīmā bija vidēji par 40% zemākas salīdzinājumā ar auzeņaireni; viena pļāvuma režīmā miežabrāļa mēslošanas izmaksas uz sausnas tonnu bija vidēji par 10% līdz 40% zemākas salīdzinājumā ar auzeņaireni.



3.36. att. **Mēslošanas līdzekļu izmaksas uz saražotās zālaugu sausnas tonnu atšķirīgos pļaušanas režīmos, EUR t^{-1}**

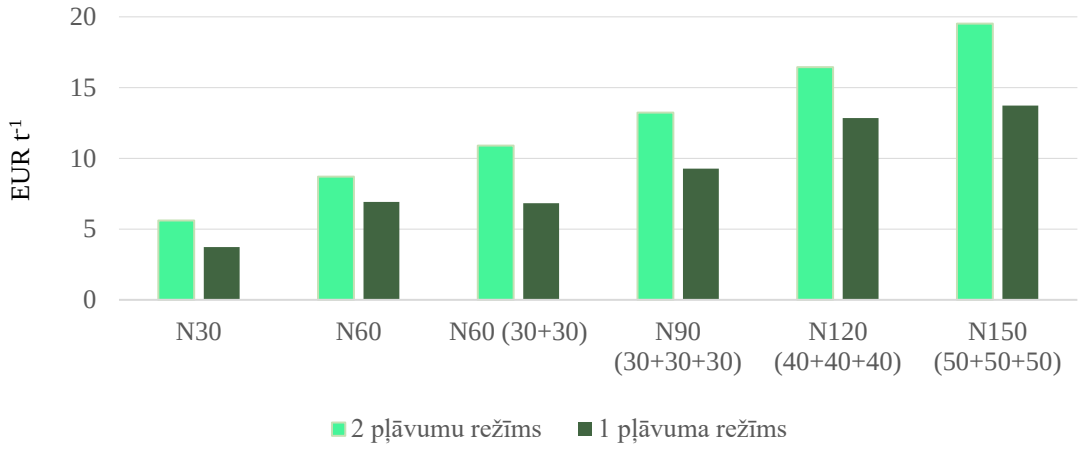
Digestāta izmantošanas ekonomiskais pamatojums. Digestāta mēslojuma izmantošanas izmaksas miežabrālim atkarībā no normas un digestāta sastāva pa gadiem svārstījās šādās robežās: no 35.29 EUR ha^{-1} līdz 176.43 EUR ha^{-1} 1. lietošanas gadā; no 28.23 EUR ha^{-1} līdz 141.10 EUR ha^{-1} 2. lietošanas gadā; no 39.52 EUR ha^{-1} līdz 197.60 EUR ha^{-1} 3. lietošanas gadā (3.37. att.). Miežabrāļa sējas gadā, kad tika lietota vienāda digestāta norma visos variantos (40 kg ha^{-1} N), mēslošanas izmaksas bija 63.33 EUR ha^{-1}. Jo zemāka digestāta norma, jo proporcionāli zemākas bija mēslojuma lietošanas izmaksas uz hektāru un otrādi, jo galvenās izmaksas digestāta mēslojuma izmantošanā sastādīja transportēšana un izkliede.



3.37. att. **Digestāta mēslojuma izmaksas četru gadu audzēšanas periodā, EUR ha^{-1}**

Vērtējot mēslošanas izmaksas uz vienu saražotās miežabrāļa sausnas tonnu, konstatēts, ka salīdzinoši zemākas izmaksas bija viena pļāvuma režīmā, kur tās svārstījās no 3.73 EUR t^{-1} variantā ar zemāko digestāta normu N 30 līdz 13.74 EUR t^{-1} variantā ar augstāko digestāta normu N150 (50+50+50) (3.38. att.). Salīdzinoši augstākas izmaksas veidojās divu pļāvumu

režīmā, kur tās svārstījās no 5.61 EUR t^{-1} variantā ar zemāko digestāta normu N 30 līdz 19.52 EUR t^{-1} variantā ar augstāko digestāta normu N150 (50+50+50). Vidēji viena pļāvuma režīmā mēslošanas izmaksas uz vienu saražoto sausnas tonnu bija par 40% (svārstījās robežās no 30% līdz 60%, atkarībā no varianta) zemākas nekā divu pļāvumu režīmā (53. pielikums).



3.38. att. **Digestāta mēslojuma izmaksas uz saražotās miežabrāļa sausnas tonnu, EUR t^{-1}**

Kopsavilkums. Bioenerģijas ražošanas blakusproduktu izmantošana zālaugu mēslošanā ļauj ievērojami samazināt mēslošanas izmaksas uz hektāru. Jo koncentrētāks mēslošanas līdzeklis ar augstāku augu barības elementu saturu, jo zemākas veidojās izmaksas, tāpēc ka bioenerģijas ražošanas blakusproduktu, jo īpaši, digestāta mēslojuma lietošanai lielāko izmaksu daļu sastādīja to izkliede. Mēslošanas izmaksas uz saražotās zālaugu sausnas tonnu ir cieši saistītas ar sausnas ražu. Zemākās mēslošanas izmaksas bija, lietojot pelnu mēslojumu, kas zālaugiem nodrošināja augstākās sausnas ražas. Lietojot digestāta mēslojumu, tika iegūtas salīdzinoši zemākas sausnas ražas, tādēļ mēslošanas izmaksas uz saražotās zālaugu sausnas tonnu veidojās augstākas. Taču šeit jāņem vērā digestāta kā organiskā mēslošanas līdzekļa pozitīvā ietekme uz augsnes īpašībām, kā arī augu barības elementu aprites cikla nodrošināšana digestāta mēslojuma lietošanas rezultātā, un tam ir ļoti nozīmīga loma. Izmantojot modernākas digestāta izkliedes tehnoloģijas, kas mēslojumu ļauj iestrādāt augsnē vismaz daļēji, iespējams būtiski samazināt augu barības elementu zudumus, paaugstināt mēslojuma izmantošanas efektivitāti un rezultātā kāpināt zālaugu ražas līmeni. Kopumā var secināt, ka digestāta un pelnu izmantošana zālaugu mēslošanā ir perspektīva arī no ekonomiskā viedokļa.

SECINĀJUMI

1. Pelnu mēslojuma lietošana, kompensējot trūkstošos augu barības elementus ar minerālmēsliem, nodrošināja līdzvērtīgu iegūto sausnas ražas līmeni: 8.11 t ha^{-1} (pelni) un 8.01 t ha^{-1} (minerālmēsli) miežabrālim; 6.18 t ha^{-1} (pelni) un 5.96 t ha^{-1} (minerālmēsli) auzeņairenei.
2. Digestāta mēslojums nodrošināja būtisku zālaugu sausnas ražas pieaugumu salīdzinājumā ar kontroli – 42% miežabrālim un 75% auzeņairenei vidēji abos pļaušanas režīmos, tomēr nesasniedza minerālmēslu variantā iegūto ražas līmeni. Netika konstatētas būtiskas atšķirības sausnas ražas pieaugumam starp digestāta mēslojuma lietošanas režīmiem, kas ļauj secināt, ka būtiskāka nozīme bija kopējam ienestā mēslojuma daudzumam.
3. Augstāka digestāta mēslojuma norma nodrošināja augstāku miežabrāļa sausnas ražu, kura vidēji svārstījās no 6.53 t ha^{-1} līdz 8.99 t ha^{-1} divu pļāvumu režīmā; un no 9.25 t ha^{-1} līdz 12.67 t ha^{-1} viena pļāvuma režīmā. Efektīvākā digestāta mēslojuma norma divu pļāvumu režīmā bija N60. Viena pļāvuma režīmā miežabrāļa sausnas raža pieauga proporcionāli mēslojuma normai, turklāt katri ar digestātu papildus iedotie 30 kg ha^{-1} N palielināja sausnas ražu vidēji par 1 t ha^{-1}.
4. Būtiski augstāka sausnas raža iegūta viena pļāvuma režīmā: vidēji visos mēslošanas variantos abām sugām – 5.81 t ha^{-1} salīdzinājumā ar 5.12 t ha^{-1} divu pļāvumu režīmā; izmēģinājumā ar atšķirīgām digestāta normām iegūtas attiecīgi 10.09 t ha^{-1} un 7.49 t ha^{-1}. Vidēji abos pļaušanas režīmos būtiski augstāku sausnas ražu nodrošināja miežabrālis – vidēji 6.47 t ha^{-1}, salīdzinājumā ar 4.46 t ha^{-1} auzeņairenei.
5. Zelmeņa struktūru būtiski ietekmēja: a) zālaugu suga: b) pļaušanas režīms; c) pļaušanas laiks; d) izmantotais mēslojums. Augstāks stiebru īpatsvars konstatēts: a) miežabrāļa zelmeņos; b) viena pļāvuma režīmā; c) 1. pļāvumā salīdzinājumā ar 2. pļāvumu; d) lietojot minerālmēslus un pelnu mēslojumu.
6. Zālaugu sausnas ķīmisko sastāvu būtiski ietekmēja: a) zālaugu suga – zemāks pelnu saturs bija miežabrālim – 6.5% pret 7.1% auzeņairenei; b) pļaušanas laiks – zemāks pelnu un slāpekļa, bet augstāks oglekļa saturs bija rudens pļāvumā; c) auga daļa – zemāks pelnu un slāpekļa saturs, un augstāks oglekļa saturs bija stiebros. Tika konstatēts lineārs kālija satura samazinājums pa pļāvumiem, nodrošinot būtiskas atšķirības starp visiem trim pļaušanas termiņiem: 26.21 g kg^{-1} K 1. pļāvumā; 15.32 g kg^{-1} K 2. pļāvumā un 7.64 g kg^{-1} K rudens pļāvumā.
7. Augu barības elementu iznesi būtiski ietekmēja: a) suga; b) pļaušanas režīms; c) mēslošanas līdzeklis; d) iegūtā sausnas raža. Augstāka NPK iznese bija: a) miežabrālim; b) divu pļāvumu režīmā; c) lietojot minerālmēslu un pelnu mēslojumu. Ar zālaugu sausnas ražu visvairāk tika iznests kālijs, turklāt divu pļāvumu režīmā kālija iznese bija uz pusi augstāka – 202.32 kg ha^{-1} K_2O salīdzinājumā ar 92.54 kg ha^{-1} K_2O viena pļāvuma režīmā. Līdzīgas tendences tika novērotas arī attiecībā uz slāpekli un fosforu, kas apstiprina miežabrāļa spēju augu atmiršanas fāzē pārvietot augu barības elementus no auga virszemes daļām uz saknēm.
8. Būtiski augstāka slāpekļa izmantošanas efektivitāte abām sugām konstatēta viena pļāvuma režīmā pelnu variantā. Lietojot atšķirīgas digestāta mēslojuma normas konstatēta negatīva korelācija slāpekļa izmantošanas efektivitātei un digestāta normai: -0.44 un -0.48, attiecīgi viena un divu pļāvumu režīmā.
9. Digestāta un pelnu izmantošana zālaugu mēslošanā trīs lietošanas gados ļāva ievērojami samazināt mēslošanas izmaksas: no 1108.18 EUR ha^{-1}, lietojot minerālmēslus, uz 920.33 EUR ha^{-1}, lietojot pelnus, un uz 718.98 EUR ha^{-1}, lietojot digestātu. Zemākās izmaksas un saražotās zālaugu sausnas vienību veidojās, lietojot pelnu mēslojumu: miežabrālim 32.28 EUR t^{-1} divu pļāvumu režīmā un 33.17 EUR t^{-1} viena pļāvuma režīmā; auzeņairenei attiecīgi 52.36 EUR t^{-1} un 37.92 EUR t^{-1}. Bioenerģijas ražošanas blakusproduktu izmantošanas izmaksas bija cieši saistītas ar sausnas ražu.

PRIEKŠLIKUMI

1. Izmantojot zālaugu biomasu kurināmajam, pļaušanu ieteicams veikt vienu reizi sezonā pēc iespējas vēlāk rudenī, tas nodrošinās augstāku sausnas ražu, labāku kurināmā materiāla kvalitāti un sekmēs atkārtotu augu barības elementu izmantošanu, sevišķi sakneņu tipa zālaugiem, ņemot vērā to izteiktās spējas atmiršanas fāzē pārvietot augu barības elementus no virszemes daļām uz saknēm.
2. Plānojot mēslošanas normas sakneņu tipa zālaugiem, ļoti svarīgi ņemt vērā plānoto sausnas ražas vākšanas režīmu – jo vēlāk rudenī veiks pļaušanu, jo lielāks augu barības elementu daudzums būs pārvietojies no virszemes daļām uz saknēm. Mēslojuma (NPK) normas viena pļāvuma režīmā miežabrālim var samazināt līdz 50%.
3. Izkliedējot digestāta mēslojumu, ļoti svarīgi veikt tā iestrādi, lai izvairītos no slāpekļa zudumiem, tas ļaus paaugstināt mēslošanas efektivitāti un izvairīties no vides piesārņojuma. Mērenas digestāta normas neattaisnojas lietot dalīti, jo vēlāk sezonā dotais mēslojums nekompensē trūkstošo pavasarī.
4. Pelnu mēslojuma izmantošanu ieteicams kombinēt ar minerālmēsliem, nodrošinot augu vajadzību pēc slāpekļa. Tas ļauj ievērojami samazināt mēslošanas izmaksas un sekmē atkārtotu augu barības elementu izmantošanu.

PATEICĪBAS

Izsaku pateicību LLU Zemkopības institūta kolektīvam, un jo īpaši zālaugu selekcijas grupai, par atbalstu un praktisko palīdzību izmēģinājumu iekārtošanā, uzturēšanā un datu ieguvē.

Paldies Dr.agr. Pēterim Bērziņam par padomiem, konsultācijām, praktisko palīdzību datu sistematizēšanā un matemātiskajā apstrādē, kā arī par vērtīgiem ieteikumiem, morālo atbalstu un viedajiem vārdiem.

Izsaku pateicību LVMI "Silava" Meža vides laboratorijas darbiniekiem par zālaugu paraugu un augsnes ķīmiskajām analīzēm, un par lielisko sadarbību.

Paldies manai ģimenei un radu lokam par atbalstu, praktisko palīdzību, uzmundrinājumiem un ticību.

IZMANTOTIE LITERATŪRAS AVOTI

1. Abubaker J., Cederlund H., Arthurson V., Pell M. (2013). Bacterial community structure and microbial activity in different soils amended with biogas residues and cattle slurry. *Applied Soil Ecol*ogy, Vol. 72, p. 171–180.
2. Adamovičs A. (2009). Biomasas izmantošanas ilgtspējības kritēriju pielietošana un pasākumu izstrāde. ***No***: *Daudzgadīgo enerģētisko kultūru audzēšanas ietekme uz bioloģisko daudzveidību un virszemes ūdens kvalitāti*. Rīga: Valsts SIA „Vides projekti", 126.–141. lpp.
3. Adamovičs A., Driķis J., Kravale D. (1999). Zāles lopbarības saimniecības attīstības nosacījumi. ***No****: Latvijas lauksaimniecības zinātniskie pamati: zinātniskā monogrāfija*. Galv. red. V. Strīķis. Jelgava: LLU, 513.–530. lpp.
4. Adamovičs A., Dubrovskis V., Plūme I., Jansons A., Lazdiņa D., Lazdiņš A. (2009). Biomasas izmantošanas ilgtspējības kritēriju pielietošana un pasākumu izstrāde. *Valsts SIA Vides projekti*, Rīga, 174 lpp.
5. Adamovičs A. (2007). Enerģētisko augu audzēšana un izmantošana. ***No:*** *Enerģētisko augu audzēšana un izmantošana.* Rīga: Valsts SIA „Vides projekti", 16.–89. lpp.
6. Adamovičs A., Koulakovskaja T. (2003). Eiropas pļavkopības federācijas zinātnisko forumu aktualitātes. *Agronomijas Vēstis*, Nr. 5, 23.–25. lpp.
7. Adamovics A., Platace R., Gulbe I., Ivanovs S. (2017). Influence of fertilisers on chemical content of energy grass biomass. *Engineering for Rural Development*, Jelgava, p. 98–102.
8. Adamovics A., Platace R., Gulbe I. (2019). The effect of fertilizers on grass dry matter yield and biomass quality. *Grassland Science in Europe*, Vol. 24, 113–115.
9. Adler P.R., Del Grosso S.J., Parton W.J. (2007). Life cycle assessment of net greenhouse gas flux for bioenergy cropping systems. *Ecological Applications*, Vol. 17, p. 675–691.
10. Ahmed H.K., Fawy H.A., Abdel-Hady E.S. (2010). Study of sewage sludge use in agriculture and its effect on plant and soil. *Agriculture and Biology*, Vol. 1 (5), p. 1044–1049.
11. Alakangas E. (2010). European Standard (EN 14961) for Wood Chips and Hog Fuel. *Forest Bioenergy 2010*, Book of proceedings. FINBIO Publications 47, p. 329–340.
12. Alburquerque 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*, Vol. 40, p. 181–189.
13. Allison G. G., Morris C., Lister S.J., Barraclough T., Yates N., Shield I., Donnison I.S. (2012). Effect of nitrogen fertiliser application on cell wall composition in switchgrass and reed canary grass. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 40, p. 19–26.
14. Ambye-Jensen M., Johansen K.S., Didion T., Kádár Z., Schmidt J.E., Meyer A.S. (2013). Ensiling as biological pretreatment of grass (*Festulolium hykor*): The effect of composition, dry matter, and inocula on cellulose convertibility. *Biomass Bioenergy*, Vol. 58, p. 303–312.
15. Amon T., Amon B., Kryvoruchko V., Machmuller A., Hopfner-Sixt K., Bodiroza V., Hrbek R., Friedel J., Ptsch E., Wagentristl H., Schreiner M., Zollitsch W. (2007). Methane production through anaerobic digestion of various energy crops grown in sustainable crop rotations. *Bioresource Technology*, Vol. 98, p. 3204–3212.
16. Anex R.P., Lynd L.R., Laser M.S., Heggenstaller A.H., Liebman M. (2007). Potential for enhanced nutrient cycling through coupling of agricultural and bioenergy systems. *Crop Science*, Vol. 47, p. 1327–1335.

17. Annuk A., Allik A., Annuk K. (2017). Reed canary grass cultivation's energy efficiency and fuel quality. *Agronomy Research*, Vol. 15(4), p. 1474–1483.
18. Antonijs A., Bērziņš P. (2001). Fosfora un kālija bilance daudzgadīgo zāļu zelmenī. *Agronomijas Vēstis*, Nr. 3, 176–179.lpp.
19. Antonijs A., Rumpāns J. (2002). Daudzgadīgo zālaugu zelmeņu ražība un botāniskais sastāvs. *Agronomijas Vēstis*, Nr. 4, 151. –155. lpp.
20. Antonkiewicz J., Kołodziej B., Bielińska E.J. (2016). The use of reed canary grass and giant miscanthus in the phytoremediation of municipal sewage sludge. *Environmental Science and Pollution Research*, Vol. 23(10), p. 9505–9517.
21. Appels L., Lauwers J., Degrève J., Helsen L., Lievens B., Willems J.V.I., Dewil R., (2011). Anaerobic digestion in global bio-energy production: potential and research challenges. *Renewable and Sustainable Energy Review*., Vol. 15, p. 4295–4301.
22. Arthurson V. (2009). Closing the Global Energy and Nutrient Cycles through Application of Biogas Residue to Agricultural Land – Potential Benefits and Drawback. *Energies*, Vol. 2, p. 226–242.
23. Arvidsson H., Vestin T., Lundkvist H. (2002). Effects of crushed wood ash application on ground vegetation in young Norway spruce stands. *Forest Ecology and Management*, Vol. 161, p. 75–87.
24. *Atjaunojamā enerģija un tās efektīva izmantošana Latvijā*. *Monogrāfija.* (2012). Red. P. Rivža. Jelgava: LLU, 392 lpp.
25. Bäckman J. S. K., Klemedtsson Å. K. (2003). Increased nitrification in acid coniferous forest soil due to high nitrogen deposition and liming. *Scandinavian Journal of Forest Research*, Vol. 18, p. 514–524.
26. Bachmann S., Uptmoor R., Eichler-Löbermann B. (2016). Phosphorus distribution and availability in untreated and mechanically separated biogas digestates. *Scientia Agricola*, Vol. 73, p. 9–17.
27. Bakker R.R., Elbersen H.W. (2005). Managing ash content and quality in herbaceous biomass: an analysis from plant to product. ***In:*** *14th European Biomass Conference*. Paris, France, October 17–21, p. 17–21.
28. Balemi T., Negisho K. (2012). Management of soil phosphorus and plant adaptation mechanisms to phosphorus stress for sustainable crop production: a review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, Vol. 12 (3), p. 547–561.
29. 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*, Vol. 59, p. 120–126.
30. Bengtsson M., Tillman A.M. (2004). Actors and interpretations in an environmental controversy: the Swedish debate on sewage sludge use in agriculture, *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 42, p. 65–82.
31. Bernal M.P. (2017). Grand Challenges in Waste Management in Agroecosystems. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, Vol. 1, p. 1–4.
32. Bērziņš P. (2000). Stiebrzāļu starpsugu hibridizācija. *Agronomijas Vēstis*. Jelgava: LLU, Nr.2, 80. –82. lpp.
33. Bērziņš P., Antonijs A., Rumpāns J. (1999). Minerālmēslu efektivitāte daudzgadīgo zāļu zelmenī. *Agronomijas Vēstis*, Nr. 1, 1999, 24–29. lpp.
34. Bērziņš P., Būmane S., Antonijs A. (1999). Fosfora un kālija efektivitāte ganībās atkarībā no šo uzturvielu nodrošinājuma augsnē. *Agronomijas Vēstis*, Nr. 3, 2001, 180–185. lpp.

35. Berzins P., Jansone S., Rancane S., Stesele V., Dzene I. (2015). The evaluation of perennial grass cultivars in Latvia condition. ***In:*** *Proceedings of the 25th NJF Congress "Nordic view to sustainable rural development"*, Riga, Latvia, p. 141–147.
36. Berzins P., Rancane S., Svarta A. (2011). The productive longevity of perennial grasses swards depending of the NPK fertilizer rates. ***In:*** *Environment. Technology. Resources. Proceedings of the 8th International Scientific and Practical Conference*, June 20-22, 2011, Volume II, Rezekne, Latvia, p. 244–251.
37. Bērziņš P., Rancāne S., Stesele V., Vēzis I. (2018). Daudzgadīgo stiebrzāļu sugu un šķirņu nozīme ilggadīgu un augstražīgu zālaugu zelmeņu veidošanā. ***No:*** *Līdzsvarota lauksaimniecība: zinātniski praktiskās konference. Raksti*. Jelgava: LLU. 5. –9.lpp.
38. Bērziņš P., Stesele V., Dzene I., Jansons A. (2014). Aktualitātes daudzgadīgo stiebrzāļu selekcijā. ***No:*** *Līdzsvarota lauksaimniecība: zinātniski praktiskās konference. Raksti*. Jelgava: LLU. 87.- 92. lpp.
39. Berzins P., Rungis D., Rancane S., Gailite A., Belevica V., Stesele V., Vezis I., Jansons A. (2018). Yield and genetic composition of Latvian ×Festulolium cultivars and breeding material. ***In:*** *Breeding Grasses and Protein Crops in the Era of Genomics.* Edited by G. Brazauskas et al. Springer, p. 62–67.
40. Bolinder M.A., Angers D.A., Bélanger G., Michaud R., Laverdière M.R. (2002). Root biomass and shoot to root ratios of perennial forage crops in eastern Canada. *Canadian Journal of Plant Science*, Vol. 82, p. 731–737.
41. Bonetta S., Bonetta S., Ferretti E., Fezia G., Gilli G., Carraro E. (2014). Agricultural reuse of the digestate from anaerobic co-digestion of organic waste: microbiological contamination, metal hazards and fertilizing performance. *Water, Air and Soil Pollution*, Vol. 225, p. 20–46.
42. Börjesson P., Berglund M. (2007). Environmental systems analysis of biogas systems-Part II: The environmental impact of replacing various reference systems. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 31, No. 5, p. 326–344.
43. Börjesson P., Tufvesson L.M. (2011). Agricultural crop-based biofuels – resource efficiency and environmental performance including direct land use changes. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 19, p. 108–120.
44. Boström D., Skoglund N., Grimm A., Boman C., Öhman M., Broström M. (2012). Ash transformation chemistry during combustion of biomass. *Energy and Fuels*, Vol. 26, p. 85–93.
45. Bramryd T., Fransman B. (1995). Silvicultural use of wood ashes – effects on the nutrient and heavy metal balance in a pine (*Pinus sylvestris* L.) forest soil. *Water, Air and Soil Pollution*, Vol. 85, p. 1039–1044.
46. Burvall J. (1997). Influence of harvest time and soil type on fuel quality in reed canary grass (*Phalaris arundinacea* L.), *Biomass Bioenergy*, Vol. 12 (3), p. 149–154.
47. Cadoux S., Ferchaud F., Demay C., Boizard H., Machet J.M., Fourdinier E., Preudhomme M., Chabbert B., Gosse G., Mary B. (2014). Implications of productivity and nutrient requirements on greenhouse gas balance of annualand perennial bioenergy crops. *Glob. Change Biol. Bioenergy*, Vol. 6, p. 425–438.
48. Camlin M.S. (1997). Plant breeding – achievement and prospects, grasses. ***In:*** *Weddell JR (ed) Seeds of progress*. British Grassland Society, Symposium, Hurley, p. 2–14.
49. Campbell A.G. (1990). Recycling and disposing of wood ash. *Tappi Journal*, Vol. 73(9), p. 141–146.
50. Carlsson G., Huss-Danell K. (2003). Nitrogen fixation in perennial forage legumes in the field. *Plant and Soil*, Vol. 253, p. 353–372.

51. Carlson I.T., Oram R.N., Suprenant J. (1996). Reed canarygrass and other *Phalaris* species. ***In:*** *Cool-season forage grasses*. Edited by Moser L.E., Buxton D.R., Casler M.D. American Society of Agronomy; Madison, p. 569–604.
52. Casler M. (2002). Natural selection for survival improves freezing tolerance, forage yield and persistance of Festulolium. *Crop Science*, Vol. 42, p. 14–21.
53. Ceotto E., Di Candilo M. (2011). Sustainable bioenergy production, land and nitrogen use. ***In:*** *Biodiversity, biofuels, agroforestry and conservation agriculture*. *Sustainable agriculture reviews.* Edited by E. Lichtfouse., Springer Science, Dor-drecht, p. 101-122.
54. Chadwick D., Sommer S., Thorman R., Fangueiro D., Cardenas L., Amon B., Misselbrook T.H. (2011). Manure management: implications for greenhouse gas emissions. *Animal Feed and Science Technologies,* 166-167, p. 514–531.
55. Chambers B.J., Richardson S.J. (1993). Relying on soil mineral nitrogen reserves. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, Vol. 63, p. 128–129.
56. Chantigny M.H., Angers D.A., Belanger G., Rochette P., Masse D., Cote D. (2007). Gaseous N emissions and forage N uptake on soils fertilized with raw and treated swine manure. *Journal of Environmental Quality*, Vol. 36, p. 1864–1872.
57. Chantigny M.H., Angers D.A., Belanger G., Rochette P., Eriksen-Hamel N., Bittman S., Buckley K., Masse D., Gasser M.O. (2008). Yield and nutrient export of grain corn fertilized with raw and treated liquid swine manure. *Agronomy Journal*, Vol. 100, p. 1303–1309.
58. Chen M., Graedel T.E. (2016). A half-century of global phosphorus flows, stocks, production, consumption, recycling, and environmental impacts. *Global Environmental Change*, Vol. 36, p. 139–152.
59. Cherney J.H., Johnson K.D., Volenec J.J., Greene D.K. (1991). Biomass potential of selected grass and legume crops. *Energy Sources*, Vol. 13, p. 283–292.
60. Chojnacka K., Moustakas K., Witek-Krowiak A. (2020). Bio-based fertilizers: A practical approach towards circular economy. *Bioresource Technology*, Vol. 295, p. 1–11.
61. Christel, W., Bruun, S., Magid, J., Jensen, L.S., 2014. Phosphorus availability from the solid fraction of pig slurry is altered by composting or thermal treatment. *Bioresource Technology,* Vol. 169, p. 543–551.
62. Christen B., Dalgaard T. (2013). Buffers for biomass production in temperate European agriculture: A review and synthesis on function, ecosystem services and implementation. *Biomass Bioenergy*, Vol. 55, p. 53–67.
63. Christensen M.L., Hjorth M., Keiding K. (2009). Characterization of pig slurry with reference to flocculation and separation. *Water Research*, Vol. 43, p. 773–783.
64. Christian D.G., Yates N.E., Riche A. (2006). The effect of harvest date on the yield and mineral content of *Phalaris arundinacea* L. (reed canary grass) genotypes screened for their potential as energy crops in southern England. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, Vol. 86, p. 1181–1188.
65. Christian D.G., Richie A.B., Yates N.E. (2008). Growth, yield and mineral content of *Miscanthus* x *giganteus* grown as a biofuel for 14 successive years. *Industrial Crop Production*, Vol. 28, p. 320–327.
66. Chu D.H., Fujii T., Morimoto S., Lin X., Yagi K., Hu J., Zhang J. (2007). Community structure of ammonia-oxidizing bacteria under long-term application of mineral fertilizer and organic manure in a sandy loam. *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 73, p. 458–491.

67. Ciesielczuk T., Rosik-Dulewska C., Poluszyńska J., Miłek D., Szewczyk A., Sławińska I. (2018). Acute toxicity of experimental fertilizers made of spent coffee grounds. *Waste Biomass Valorization*, Vol. 9, p. 2157–2164.
68. Clapham W. M., Zibilske L. M. (1992). Wood ash as a liming amendment. *Communications in Soil Science and Plant Analyses*, Vol. 23, p. 1209–1227.
69. Clarholm M. (1994). Granulated wood ash and a "N-free" fertilizer to a forest soil – effects on P availability. *Forest Ecology and Management*, Vol. 66, p. 127–136.
70. Cobo S., Dominguez-Ramos A., Irabien A. (2018). Minimization of resource consumption and carbon footprint of a circular organic waste valorization system. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, Vol. 6, 3493–3501.
71. Cooper J., Carliell-Marquet C. (2013). A substance flow analysis of phosphorus in the UK food production and consumption system. *Resources, Conservation &. Recycling*, Vol. 74, 82–100.
72. Dauber J., Brown C., Fernando A.L., Finnan J., Krasuska E., Ponitka J., Styles D., Thran D., Van Groenigen K.J., Weih M., Zah R. (2012). Bioenergy from "surplus" land: environmental and socio-economic implications. *BioRisk*, Vol. 7, p. 5–50.
73. De Meester S., Demeyer J., Velghe F., Peene A., Van Langenhove H., Dewulf J. (2012). The environmental sustainability of anaerobic digestion as a biomass valorization technology. *Bioresources Technology*, Vol. 121, p. 396–403.
74. Demeyer A., Nkana J.C.V., Verloo M.G. (2001). Characteristics of wood ash and influence on soil properties and nutrient uptake: an overview. *Bioresources Technology*, Vol. 77, p. 287–295.
75. Demirbas A. (2004). Combustion characteristics of biomass fuels. *Progress Energy Combustion Science*, Vol. 30, p. 219–230.
76. Doberman A.R. (2005). Nitrogen Use Efficiency – State of the Art Agronomy and Horticulture. *Faculty Publications*, Paper 316, p. 1–16.
77. Dobre P., Nicolae F., Matei F. (2014). Main factors affecting biogas production – an overview. *Romanian Biotechnological Letters*, Vol. 19, No. 3, p. 9283–9296.
78. Dubrovskis V., Adamovičs A. (2012). *Bioenerģētikas horizonti*. Jelgava: LLU, 352 lpp.
79. Dubrovskis V., Plume I. (2009). Forecasting of GHG emissions from biomass energy usage in Latvia. ***In:*** *Proceedings of the 8th International Scientific Conference "Engineering for Rural development*". Jelgava, LLU, p. 14–20.
80. EC. (2012). Innovating for sustainable growth: a bioeconomy for Europe. ***In:*** Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of The Regions (COM) (Brussels), p. 60.
81. EC. (2014). Towards a circular economy: a zero-waste programme for Europe. ***In:*** Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions (COM) Brussels, p. 398.
82. El-Nashaar H.M., Griffith S.M., Steiner J.J., Banowetz G.M. (2009). Mineral concentration in selected native temperate grasses with potential use as biofuel feedstock. *Bioresource Technology*, Vol. 100, p. 3526–3531.
83. *Enerģētisko augu audzēšana un izmantošana* (2007). Adamovičs A., Agapovs J., Aršanica A., Daņiļevičs a., Dižbite T., Dobele G., Dubrovskis V., Iesalnieks V., Jure M., Kronbergs Ē., Lazdiņa D., Lazdiņš A., Teliševa G., Urbanovičs I., Varika A., Vederņikovs N., Zandersons J., Žūriņš A. Rīga: Valsts SIA"Vides projekti", 190 lpp.

84. Epie K.E. (2015). *Sustainable cropping of reed canary grass for energy use.* Doctoral Thesis. Helsinki, Finland, p. 59.
85. Erisman J.W., van Grinsven H., Leip A., Mosier A., Bleeker A. (2010). Nitrogen and biofuels; an overview of the current state of knowledge. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, Vol. 86, p. 211–23.
86. Espenberg M., Truu M., Truu J., Madison M., Nõlvak H., Järveoja J., Mander Ü. (2016). Abudance and genetic potential for methane production in residual peat of an abandoned peat extraction area. *Bioenergy crop and microbial abundance in residual peat. Plus one*, p. 1–16.
87. Etiegni L., Campbell A.G. (1991). Physical and chemical characteristics of wood ash. *Bioresource Technology*, Vol. 37, p. 173–178.
88. Fahmi R., Bridgewater A.V., Darvell L.I., Jones J.M., Yates N., Thain S., Donnison I.S. (2007). The effect alkali metals on combustion and pyrolysis of *Lolium* and *Festuca* grasses, switchgrass and willow. *Fuel*, Vol. 86, p. 1560–1569.
89. Field C.B., Campbell J.E., Lobell D.B. (2008). Biomass energy: the scale of the potential resource. *Trends in Ecology and Evolution*, Vol. 23, p. 65–72.
90. Fojtik A. (1994). Methods of plant improvement used at the Plant Breeding Station Hladke Zivotice. *Genetica Polonica*, Vol. 35A, p. 25–31.
91. Fouda S. (2011). *Nitrogen availability of biogas residues*. PhDthesis, Technische Universitat Munchen, 2011.
92. 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. *Biology & Fertility of Soils*, Vol. 17, p. 57–63.
93. Fritze H., Perkiomaki J., Saarela U., Katainen R., Tikka P., Urjala K., Karp M., Haimi J., Romantschuk M. (2000). Effect of Cd-containing wood ash on the microflora of coniferous forest humus. *FEMS Microbiology Ecology*, Vol. 32, p. 43–51.
94. Fuchs J.G., Schleiss K. (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. [Tiešsaiste] [skatīts 21.01.2020]. Pieejams: https://orgprints.org/id/eprint/17982/1/fuchs-etal-2008-orbit.pdf
95. Fuzesi I., Heil B., Kovacs G. (2015). Effects of wood ash on the chemical properties of soil and crop vitality. *Acta Silvatica at Lignaria Hungarica*, Vol. 11, No 1, p. 55–64.
96. Gabrielle B., Bamiere L., Caldes N. et al. (2014). Paving the way for sustainable bioenergy in Europe: technological options and research avenues for large-scale bio-mass feedstock supply. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, Vol. 33, p. 11–25.
97. Garg R.N., Pathak H., Das D.K., Tomar R.K. (2005). Use of fly ash and biogas slurry for improving wheat yield and physical properties of soil. *Environmental Monitoring and Assessment*, Vol. 107, p. 1–9.
98. Georgacakis D., Sievers D.M., Ianotti E.L. (1982). Buffer stability in manure digesters. *Agricultural Wastes*, Vol. 4, No 6, p. 427–441.
99. Ghesquiere M., Humphreys M.W., Zwierzykovski Z. (2010). Festulolium. ***In:*** *Fodder crops and amenity grasses.* B. Boller, U.K. Posselt, F. Veronesi, editors, Springer, New York; p. 293–316.
100. Gilbe C., Ohman M., Lindstrom E., Bostrom D., Backman R., Samuelsson R., Burvalll J. (2008). Slagging characteristics during residential combustion of biomass pellets. *Energy & Fuels*, Vol. 22, p. 3536–3543.

101. Govasmark E., Stäb 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.*, Vol. 31, p. 2577–2583.
102. Granstedt A. (2000). Increasing the efficiency of plant nutrient recycling within the agricultural system as a way of reducing the load to the environment — experience from Sweden and Finland. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Vol. 80, Issues 1–2, p. 169–185.
103. Grzelak J.M. (2009). Yields, chemical composition and energetic value of reed canary grass. *Fragmenta Agronomica,* Vol. 26 (4), p. 38–45.
104. Gunnarsson A., Bengtsson F., Caspersen S. (2010). Use efficiency of nitrogen from biodigested plant material by ryegrass. *Jounal of Plant Nutrition and Soil Science*, Vol. 173, p. 113–119.
105. Gutmane I., Adamovics A. (2007). Productivity and persistency of *Festulolium* and *Lolium × boucheanum* swards. Permanent and temporary grassland. *Grassland Science in Europa*, Vol. 12, p. 59–62.
106. Gutmane I., Adamovics A. (2008). Analysis of Festulolium and hybrid ryegrass (*Lolium × boucheanum*) dry matter stability. *Grassland Science in Europe*, Vol. 13, p. 248–250.
107. Gūtmane I. (2011). *Auzeņaireņu un hibrīdo aireņu produktivitātes veidošanās agrocenoloģiskais pamatojums*. Promocijas darba kopsavilkums Dr.agr. zinātniskā grāda ieguvei. Jelgava, 49 lpp.
108. Gūtmane I., Adamovičs. (2011). Auzeņaireņu un hibrīdo aireņu produktivitāti noteicošie faktori. *LLU Raksti* Nr. 26 (321), 2011, 33.–44. lpp.
109. 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. *Jounal of Plant Nutrition and Soil Science*, Vol. 168, p. 439–446.
110. Gützloe A., Thumm U., Lewandowski I. (2014). Influence of climate parameters and management of permanent grassland on biogas yield and GHG emission substitution potential. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 64, 2014, p. 175–189.
111. Hadders G. and Olsson R. (1997). Harvest of grass for combustion in late summer and in spring. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 12, 1997, p. 171–175.
112. Hallam A, Anderson IC, Buxton DR (2001) Comparative economic analysis of perennial, annual, and intercrops for biomass production. Biomass and Bioenergy, 21(6), 407-424.
113. Halling M. (2012). Yield stability of Festulolium and perennial ryegrass in southern and central Sweden. *Grassland Science in Europe*, Vol. 17, p. 118–120.
114. Harris Z.M., Spake R., Taylor G. (2015). Land use change to bioenergy: A meta-analysis of soil carbon and GHG emissions. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 82, p. 27–39.
115. Heinsoo K., Hein K., Melts I., Holm B., Ivask M. (2011). Reed canary grass yield and fuel quality in Estonian farmer's fields, *Biomass and Bioenergy*. Vol. 35 (1), p. 617–625.
116. Helgadóttir Á., Frankow-Lindberg B., Seppänen M., Søegaard K., Østrem L. (2014). European grasslands overview: Nordic region. *Grassland Science in Europe*. Vol. 19, p. 15–28.
117. Hellström A., Nilsson M.L., Kylin H. (2011). Current-use and organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in the biodegradable fraction of source separated household waste, compost, and anaerobic digestion. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, Vol. 86 (2011), p. 60–64.
118. Hobson P., Wheatley A. (1992). *Anaerobic digestion – modern theory and practice*. Elsevier Applied Science, 269 p.

119. Holm-Nielsen J.B., Al Seadi T., Oleskowicz-Popiel P. (2009). The future of anaerobic digestion and biogas utilization. *Bioresource Technology*, Vol. 100, p. 5478–5484.
120. Huang H., A.G. Campbell R. Folk and Mahler R.L. (1992). Wood Ash as a Soil Additive and Liming Agent for Wheat: Field Studies. *Communications in Soil Science and Plant Analyses*, Vol. 23:1–2, p. 25–33.
121. Hukari S., Hermann L., Nättorp A. (2016). From wastewater to fertilisers — technical overview and critical review of European legislation governing phosphorus recycling. *Science of the Total Environment*, Vol. 542, 1127–1135.
122. Humphreys M.W., Canter P.J., Thomas H.M. (2003). Advances in introgression technologies for precision breeding within the *Lolium-Festuca* complex. *Annals of Applied Biology*, Vol. 143, p. 1–10.
123. Humphreys J., Thomas H.M., Jones N., Humphreys M. (2002). Sustainable grasslands withstanding environmental stress (SAGES). *Grassland Science in Europe*, Vol. 7, p. 310–311.
124. Insam H., Franke-Whittle I.H., Knapp B.A., Plank. R. (2009). Use of wood ash and anaerobic sludge for grassland fertilization: Effects on plants and microbes. *Die Bodenkultur*, Vol. 60 (2), p. 39–50.
125. Insam H., Gómez-Brandón M., Ascher J. (2015). Manure-based biogas fermentation residues – friend or foe of soil fertility? *Soil Biology and Biochemistry*, Vol. 84, p. 1–14.
126. IUSS Working Group WRB (2015). World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. ***In:*** *World Soil Resources Reports*, No. 106, Rome: FAO. 192 p.
127. Jadia C.D., Fulekar M.H. (2009). Phytoremediation of heavy metals: Recent techniques. *African Journal of Biotechnology*, Vol. 8, p. 921–928.
128. Jakobsen S.T. (1995). Aerobic decomposition of organic wastes 2. Value of compost as a fertilizer. *Resources, Conservation & Recycling*, Vol. 13, p. 57–71.
129. Jansone B., Rancane S., Berzins P., Stesele V., Jansons A. (2010). Evaluation of perennial grass mixtures of different species and varieties in the central part of Latvia introduced from other European countries. *Agronomy Research*, Vol. 8, Special Issue 3, Jogeva PBI, Estonia, p. 554–563.
130. Jansone B., Rancane S., Berzins P., Stesele V. (2012). Reed Canary Grass (*Phalaris arundinacea* L.) in Natural Biocenosis of Latvia, Research Experiments and Production Fields. ***In:*** *Proceedings of the International Scientific Conference Renewable Energy and Energy Efficiency*, p. 61–66.
131. Järveoja J., Peichl M., Maddison M., Teemusk A., Mander Ü. (2016). Full carbonand greenhouse gas balances of fertilized and non-fertilized reed canary grasscultivations on an abandoned peat extraction area in a dry year. *Global Change Biology Bioenergy*, Vol. 8, p. 952–968.
132. Jasinskas A., Zaltauskas A., Kryzeviciene A. (2008). The investigation of growing and using of tall perennial grasses as energy crops. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 32, p. 981–987.
133. Jenkins B.M., Baxter L.L., Miles T.R., Miles T.R. (1998). Combustion properties of biomass. *Fuel Process Technology*, Vol. 54, p. 17–46.
134. Jensen K.B., Waldron B.L., Robins J.G. (2006). Cool season perennial grasses for hay. ***In:*** *Proceedings, 2006 Western Alfalfa &Forage Conference*, December 11-13, 2006, Reno, Nevada. Published by: UC Cooperative Extension, Agronomy Research and Extension Center, Plant Sciences Department, University of California, p. 137–147.

135. Jermušs A. (2010). *Slāpekļa mēslojuma normas optimizācija vasaras kviešiem smilšmāla un mālsmilts augsnē pēc dažādiem priekšaugiem.* Promocijas darba kopsavilkums Dr. agr. zinātniskā grāda iegūšanai. Jelgava, 51 lpp.
136. Jiao X., Kørup K., Andersen M.N., Sacks E.J., Zhu X.G., Lærke P.E., Jørgensen U. (2016). Can miscanthus C4 photosynthesis compete with festulolium C3 photosynthesis in a temperate climate? *Global Change Biology Bioenergy*, Vol. 9, p. 18–30.
137. Jones M., Finnan J., Hodkinson T.R. (2015). Morphological and physiological traits for higher biomass production in perennial rhizomatous grasses grown on marginal land. *Bioenergy*, Vol. 7, p. 375–385.
138. Jørgensen U., Sander B. (1997). Biomass requirements for power production: how to optimise the quality by agricultural management. *Biomass Bioenergy*, 12, p. 145–147.
139. Kacprzak A., Matyka M., Krzystek L., Ledakowicz S. (2012). Evaluation of biogas collection from reed canary grass, depending on nitrogen fertilisation levels. *Chemical and Process Engineering*, Vol. 33 (4), p. 697–701.
140. Kallioinen A., Uusitalo J., Pahkala K., Kontturi M., Viikari L., von Weymarn N., Siika-aho M. (2012). Reed canary grass as a feedstock for 2nd generation bioethanol production. *Bioresource Technology*, Vol. 123, p. 669–672.
141. Kalnačs J., Grehovs V., Grigale D., Murašovs A., Orupe A. (2008). Koksnes un augu pelnu sastāvs, īpašības, videi labvēlīgas utilizācijas iespējas. ***No:*** *International conference: Eco–Balt*, 2008. gada 15. – 16. maijs, Rīga, Latvija, 69. lpp.
142. Kalnina I., Rugele K., Rubulis J. (2018). Digestate management practices in Latvia from nitrogen perspective. *Energy Procedia*, Vol. 147, p. 368–373.
143. Kandel T.P., Elsgaard L., Lærke P.E. (2013). Measurement and modelling of CO_2 flux from a drained fen peatland cultivated with reed canary grass and spring barley. *Global Change Biology Bioenergy*, Vol. 5, p. 548–561.
144. Kandel T.P., Elsgaard L., Karki S., Lærke P.E. (2013). Biomass yield and greenhouse gas emissions from a drained fen peatland cultivated with reed canary grass under different harvest and fertilizer regimes. *BioEnergy Resources*, Vol. 6, p. 883–895.
145. Kandel T.P., Elsgaard L., Andersen M.N., Lærke P.E. (2016). Influence of harvest time and frequency on light interception and biomass yield of festulolium and tall fescue cultivated on a peatland. *European Journal of Agronomy*, Vol. 81, p. 150–160.
146. Kandel T.P., Sutaryo S., Møller H.B., Jørgensen U., Lærke P.E. (2013). Chemical composition and methane yield of reed canary grass as influenced by harvesting time and harvest frequency. *Bioresources and Technologies*, Vol. 130, p. 659–666.
147. Kārkliņš A. (2008). Augsnes diagnostika un apraksts. Jelgava: LLU, 336 lpp.
148. Kārkliņš A. (2012). Zeme, augsne, mēslojums: Terminu skaidrojošā vārdnīca. Jelgava: LLU, 477 lpp.
149. Kārkliņš A., Līpenīte I., Ruža A. (2017). Minerālā slāpekļa dinamika augsnē 2015. – 2016. gada izmēģinājumos. ***No:*** *Zinātniski praktiskā konference „Līdzsvarota Lauksaimniecība*", 23.02.2017., Jelgava: LLU, Latvija, 31.–41. lpp.
150. Kārkliņš A., Ruža A. (2013). Lauku kultūraugu mēslošanas normatīvi. Jelgava: LLU, 55 lpp.
151. Karklins A., Ruza A. (2015). Nitrogen apparent recovery can be used as the indicator of soil nitrogen supply. *Zemdirbyste-Agriculture*, Vol. 102, No. 2, p. 133–140.
152. Karltun E., Saarsalmi A., Ingerslev M., Mandre M., Andersson S., Gaitnieks T., Ozolinčius R., Varnagiryte-Kabasinskiene I. (2008). Wood ash recycling – possibilities and risks. ***In:*** *Sustainable use of forest biomass for energy. A synthesis with focus on the*

Baltic and Nordic region. Röser D, Asikainen A, Raulund-Rasmussen K, Stupak I. (eds), Springer, Heidelberg, p. 79–108.
153. Karp A, Shield I. (2008). Bioenergy from plants and the sustainable yield challenge. *New Phytologist*, Vol. 179, p. 15–32.
154. Kataki S., Hazarika S., Baruah D.C. (2017). Assessment of by-products of bioenergy systems (anaerobic digestion and gasification) as potential crop nutrient. *Waste Management*. Vol. 59, p. 102–117.
155. Katterer T., Andren O., Pettersson R. (1998). Growth and nitrogen dynamics of reed canarygrass (*Phalaris arundinacea* L.) subjected to daily fertilization and irrigation in the field. *Field Crops Research*, Vol. 55, p.153–164.
156. Katterer T., Andren O. (2009). Predicting daily soil temperature profiles in arable soils in cold temperate regions from air temperature and leaf area index. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil and Plant Science*, Vol. 59, p. 77–86.
157. Kayser M., Isselstein J. (2005). Potassium cycling and losses in grassland systems: A review. *Grass and Forage Sciences*, Vol. 60 (3), p. 213–224.
158. Kayser M., Seidel K., Muller J., Isselstein J. (2008). The effect of succeeding crop and level of N fertilization on N leaching after break-up of grassland. *European Journal of Agronomy*, Vol. 29, p. 200 – 207.
159. Kenney K.L., Smith W.A., Gresham G.L., Westover T.L. (2013). Understanding biomass feedstock variability. *Biofuels*, Vol. 4, p. 111.
160. Kering M.K., Butler T.J., Biermacher J.T., Guretzky J.A. (2012). Biomass yield and nutrient removal rates of perennial grasses under nitrogen fertilization. *Bioenergy Resources*, Vol. 5, p. 61–70.
161. Kibet L., Blanco-Canqui H., Mitchell R.B., Schacht W.H. (2016). Root biomass and soil carbon response to growing perennial grasses for bioenergy. *Energy, Sustainability and Society*, Vol. 6:1. [Tiešsaiste] [skatīts 19.03.2020]. Pieejams: https://energsustainsoc.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13705-015-0065-5
162. Kirchmann H., Bernal M.P. (1997). Organic waste treatment and C stabilization efficiency. *Soil Biology and Biochemistry*, Vol. 29, No. 11/12, p. 1747–1753.
163. Knight S.M. (2006). Soil mineral nitrogen testing: practice and interpretation. *Research Review*, No. 59, Norfolk NR18 9 DB, p. 14.
164. Kocourkova D., Hakl J., Fuksa P, Kalista J., Mrkvicka J. (2006). The quality of aboveground grass biomass used for direct combustion. *Grassland Science in Europe*, Vol. 11, p. 781–783.
165. Kolodziej B., Stachyra M., Antonkiewicz J., Bielinska E., Wisniewski J. (2016). The effect of harvest frequency on yielding and quality of energy raw material of reed canary grass grown on municipal sewage sludge. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 85, p. 363–370.
166. Kolodziejczyk M. (2013). Effect of nitrogen fertilization and application of soil properties improving microbial preparations on the content of mineral nitrogen in soil after spring wheat harvesting. *Journal of Central European Agriculture*, Vol. 14 (1), p. 306–318.
167. Kortelainen M., Jokiniemi J., Nuutinen I., Torvela T., Lamberg H., Karhunen T., Tissari J., Sippula O. (2015). Ash behaviour and emission formation in a small-scale reciprocating-grate combustion reactor operated with wood chips, reed canary grass and barley straw. *Fuel*, Vol. 143, p. 80–88.
168. Koszel M., Lorencowicz E. (2015). Agricultural use of biogas digestate as a replacement fertilizers. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, Vol. 7, p. 119–124.
169. Krook J., Mårtensson A., Eklund M. (2006). Sources of heavy metal contamination in Swedish wood waste used for combustion. *Waste Manage*, Vol. 26, p. 158–166.

170. Kryževičiene A. (2006). Herbaceous plants as a renewable source of bioenergy. *Ekologija 2006*, No 2, Lietuvos mokslu akademija, p. 66–71.
171. Kryzeviciene A, Jasinskas A, Gulbinas A (2008). Perennial grasses as a source of bioenergy in Lithuania. *Agronomy Research*, Vol. 6, p. 229–239.
172. Ksiezak J., Faber A. (2007). Evaluation of the possibility of obtaining of biomass from reed canary grass for energy purposes. *Grassland Science in Poland*, Vol. 10, p. 141–148.
173. Kukk L., Astover A., Muiste P., Noormets M., Roostalu H., Sepp K., Suuster E. (2010). Assessment of abandoned agricultural land resource for bio-energy production in Estonia. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science*, Vol. 60, p. 166–173.
174. Kukk L., Roostalu H., Suuster E., Rossner H., Shanskiy M., Astove, A. (2011). Reed canary grass biomass yield and energy use efficiency in Northern European pedoclimatic conditions. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 35, p. 4407–4416.
175. Kupper T., Bürge D., Bachmann H.J, Güsewell S., Mayer J. (2014). Heavy metals in source-separated compost and digestates. *Waste Management*, Vol. 34, p. 867–874.
176. Laird D. (2008). The charcoal vision: A win-win-win scenario for simultaneously producing bioenergy, permanently sequestering carbon, while improving soil and water quality. *Agronomy Journal*, Vol. 100, p. 178–181.
177. Lalak J., Martyniak D., Kasprzycka A., Żurek G., Moroń W., Chmielewska M., Wiacek D., Tys J. (2016). Comparison of selected parameters of biomass and coal. *International Agrophysicks*, Vol. 30, p. 475–482.
178. Landstrom S. (1999). Sustainability of reed canarygrass in cold climate. ***In:*** *Mela T, Christiansen J, Kontturi M, Pahkala K, Partala A, Sahramaa M, Sankari H, Topi-Hulmi M, Pithan K, editors. Alternative crops for sustainable agriculture.* COST 814, European Commission, BioCity, Turku, Finland, p. 194–197.
179. Landström S., Lomakka L., Anderson S. (1996). Harvest in spring improves yield and quality of reed canary grass as a bioenergy crop. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 11, No. 4, p. 333–337.
180. Landström S., Olsson R. (1997). Perennial rhizomatous grasses- cultivation experiments with reed canary grass for bioenergy in Sweden. ***In:*** *El Bassam N., Behl R.K., Prochnow B. (eds) Sustainable agriculture for food, energy and industry.* London: James & James (Ltd), p. 971–974.
181. Lange J.P. (2007). Lignocellulose conversion: an introduction to chemistry, process, and economics. *Biofuels, Bioproducts, and Biorefineries*, Vol. 1, p. 39–48.
182. Lanning F. C., Eleuterius L.N. (1987). Silica and ash in native plants of the central and soultheastern regions of the United States. *Annals of Botany*, Vol. 60, p. 361-375.
183. Lanning F.C., Eleuterius L.N. (1989). Silica deposition in some C3 and C4 species of grasses, sedges and composites in the USA. *Annals of Botany*, Vol. 64, p. 395–410.
184. *Latvijas augšņu noteicējs* (2009). A. Kārkliņš, I. Gemste, H. Mežals, O. Nikodemus, R. Skujāns. Jelgava: LLU, 240 lpp.
185. Lazdiņa D. (2009). *Notekūdeņu dūņu izmantošanas iespējas kārklu plantācijās*. Promocijas darba kopsavilkums Dr.silv. zinātniskā grāda iegūšanai Mežzinātnes nozarē, Jelgava, 57 lpp.
186. Lazdiņa D., Bebre I., Dūmiņš K., Skranda I., Lazdins A., Jansons J., Celma S. (2017). Wood ash – green energy production side product as fertilizer for vigorous forest plantations. *Agronomy Research*, Vol. 15 (2), p. 468–477.
187. Lazdiņa D., Komorovska A., Bārdulis A., Liepiņš J. (2009). Possibilities of bioenergy production from grasses cultivated on cut away peatlands. ***In:*** *Papper collection of*

scientific conference of PhD students "Youth seek progress-2009". Lithuania, Kaunas, 4.04.2009, p. 204–206.
188. Lehtomäki A., Viinikainen T.A., Rintala J.A. (2008). Screening boreal energy crops and crop residues for methane biofuel production. *Biomass and Bioenergy,* Vol. 32, p. 541–550.
189. Lemežiene N., Kanapeckas J., Tarakanovas P., Nekrošas S. (2004). Analysis of dry matter yield structure of forage grasses. *Plant, Soil and Environment,* Vol. 50 (6), p. 277–282.
190. Lewandovski I., Kicherer A. (1997). Combustion quality of biomass: practical relevance and experiments to modify the biomass quality of *Miscanthus x giganteus*. *European Journal of Agronomy,* Vol. 6, p. 163–177.
191. Lewandowski I., Scurlock J.M.O., Lindvall E., Christom M. (2003). The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe. *Biomass Bioenergy*, Vol. 25 (4), p. 335–361.
192. Lewandowski I., Schmidt U. (2006). Nitrogen, energy and land use efficiencies of miscanthus, reed canarygrass and triticale as determined by the boundary line approach. *Agriculture, Ecosystems and Environment,* Vol. 112, p. 335–346.
193. Lind S.E., Shurpali N.J., Peltola O., Mammarella I., Hyvönen N., Maljanen M., Räty M., Virkajärvi P., Martikainen P.J. (2016). Carbon dioxide exchange of perennial bioenergy crop cultivation on a mineral soil. *Biogeosciences,* Vol. 12, p. 16673–16708.
194. 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,* Vol. 7 (3), p. 553–564.
195. Lindvall E. (1997). ***In:*** *J.G. Buchannan-Smith, et al. (Eds.). Breeding reed canary grass as an energy or fibre crop by using local collected wild populations.* Proc. XVIII Intl Grassl Congr Saskatoon, Canada, 453, 1, p. 5–7.
196. Lindvall E., Gustavsson A.M., Samuelson 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,* Vol. 7, p. 553–564.
197. Līpenīte I. (1999). Augsnes fosfora saturs un fosfora balance eksperimentālā lauka drenāžas stacionāra variantos. *Ražība,* Nr. 9, 8.–9. lpp.
198. Līpenīte I., Kārkliņš A. (2011). Augsnes kvalitāte zemes izmantošanas maiņas kontekstā. II. Augsnes fizikālās un agroķīmiskās īpašības. *LLU Raksti, Nr.* 26 (321), 18.–32. lpp.
199. Līpenīte I., Kārkliņš A. (2015). Tauriņziežu audzēšana un vides riski. ***No:*** *Līdzsvarota lauksaimniecība, Zinātniski praktiskās konferences raksti.* Jelgava: LLU, 24.–37. lpp.
200. Līpenīte I., Kārkliņš A., Ruža A. (2015). Slāpekļa mēslojuma ietekme uz fosfora izmantošanos ziemas kviešiem. ***No:*** *Līdzsvarota lauksaimniecība, Zinātniski praktiskās konferences raksti.* Jelgava: LLU, 62.–70. lpp.
201. Līpenīte I., Kārkliņš A., Ruža A. (2018). Slāpekļa aprites pētījumi Saldus stacionārā (2015. – 2017.) ***No:*** *Līdzsvarota lauksaimniecība, Zinātniski praktiskās konferences raksti.* Jelgava: LLU, 14.–19. lpp.
202. Litterick A.M., Booth E.J. (2009). The Potential for Biofuel Crop Production on a Former Coal Washing Site in Kinglassie, Fife. Wrap. Material Change for a Better Environment. *Waste and Resource Action Programme,* Branbury, Oxon, p. 40.
203. Ljung A., Nordin A. (1997). Theoretical feasibility for ecological biomass ash recirculation: chemical equilibrium and heavy metals during combustion. *Environtal Science & Technology,* Vol. 31, p. 2499–2503.
204. Makadi M., Tomocsik A., Orosz V. (2012). Digestate: A new nutrient source – a review. ***In:*** *Kumar S. (Ed.). Biogas.* InTech, p. 295–312.

205. Maljanen M., Jokinen H., Saari A., Strömmer R., Martikainen P. J. (2006). Methane and nitrous oxide fluxes, and carbon dioxide production in boreal forest soil fertilized with wood ash and nitrogen. *Soil Use Manage,* Vol. 22, p. 151–157.
206. Mandre M. (2006). Influence of wood ash on soil chemical composition and biochemical parameters of young Scots pine. *Proceedings of the Estonian Academy Sciences. Biology, Ecology*, Vol. 55 (2), p. 91–107.
207. Martin J.H. (2004). A comparison of dairy cattle manure management with and without anaerobic digestion and biogas utilization. *Report for the AgSTAR Program*, U.S. Environmental Protection Agency, p. 58.
208. McEniry J., O'Kiely P. (2013). Anaerobe methane production from five common grassland species at sequential stages of maturity. *Bioresource Technology*, Vol. 127, p. 143–150.
209. McKendry P. (2002a). Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource Technology*, Vol. 83, p. 37–46.
210. McKendry P. (2002b). Energy production from biomass (part 2): conversion technologies. *Bioresource Technology*. Vol. 83, p. 47–54.
211. McLaughlin S.B., Walsh M.E. (1998). Evaluating environmental consequences of producing herbaceous crops for bioenergy. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 14 (4), p. 317–324.
212. Menardo S., Gioelli F., Balsari P. (2011). The methane yield of digestate: Effect of organic loading rate, hydraulic retention time and plant feeding. *Bioresource Technology*, Vol. 102, No. 3, p. 2348–2351.
213. Merigliano M.F., Lesica P. (1998). The native status of reed canarygrass (*Phalaris arundinacea* L.) in the inland northwest, USA. *Natural Areas Journal*, Vol. 18, p. 223–230.
214. Messner J., Nussbaum H., Elsaesser M. (2011). Specific utilisation intensity of permanent grassland used as biogas-substrate. *Grassland Science in Europe*, Vol. 16, p. 392–394.
215. Mikled C., Jiraporncharoen S., Potikanond N. (2002). Utilization of fermented slurry as bio-fertilizer. *In: Proceedings of Biodigester Workshop*, Cambodia. [Tiešsaiste] [skatīts 11.01.2017]. Pieejams: www.mekarn.org/procbiod/choke.htm
216. Miles T.R., Miles Jr., T.R., Baxter, L.L., Bryers, R.W., Jenkins, B.M. (1996). Boiler deposits from firing biomass fuels. *Biomass Bioenergy*, Vol. 10, p. 125–138.
217. Miller B. B., Dugwell D. R., Kandiyoti R. (2002). Partitioning of trace elements during the combustion of coal and biomass in a suspension-firing reactor. *Fuel*, Vol. 81, p. 159–171.
218. Misra M. K., Ragland K. W., Baker A. J. (1993). Wood ash composition as a function of furnace temperature. *Biomass Bioenergy*, Vol. 4, p. 103–116.
219. Møller H.B., Lund I., Sommer S. G. (2000). Solid-liquid separation of livestock slurry: efficiency and cost. *Bioresources Technology*, Vol. 74, p. 223–229.
220. Möller K., Müller T. (2012). Effect of anaerobic digestion on digestate nutriet availability and crop growth: A review. *Engineering in Life Sciences*, Vol. 12, p. 242–257.
221. 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. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, Vol. 82, p. 209–232.
222. 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*, Vol. 30, p. 1–16.

223. Möller K., Schulz R., Müller T. (2010). Substrate inputs, nutrient flows and nitrogen loss of two centralized biogas plants in southern Germany. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, Vol. 87, p. 307–325.
224. Monti A., di Virgilio N., Venturi G. (2008). Mineral composition and ash content of six major energy crops. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 32, p. 216–223.
225. Mueller L., Behrendt A., Schalitz G., Schindler U. (2005). Above ground biomass and water use efficiency of crops at shallow water tables in a temperate climate. *Agricultural Water Management*, Vol. 75, p. 117–136.
226. Murphy F., Devlin G., Deverell L., Mcdonnell K. (2013). Biofuel production in Ireland – an Approach to 2020 targets with a focus on algal biomass. *Energies*, Vol. 6, p. 6391–6412.
227. Muse J., Mitchell C. (1995). Paper mill boiler ash and lime by-products as soil liming materials. *Agronomy Journal*, Vol. 87, p. 432–438.
228. Navickas K., Zuperka V., Janusauskas R. (2003). Utilisation of perennial grasses for biogas generation. ***In:*** *Agricultural Engineering*. *Research papers.* Raudondvaris. Vol. 35, No 4, p. 109–116.
229. Nikodemus O., Kārkliņš A., Kļaviņš M., Melecis V. (2008). *Augsnes ilgtspējīga izmantošana un aizsardzība.* Rīga: LU Akadēmiskais apgāds, 256 lpp.
230. Nilsson D., Bernesson S., Hansson P.A. (2011). Pellet production from agricultural raw materials – a systems study. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 35, p. 679–689.
231. Nkoa R. (2014). Agricultural benefits and environmental risks of soil fertilization with anaerobic digestates: a review. *Agronomy for Sustain Development*, Vol. 34, p. 473–492.
232. Nussbaumer, T. (2003). Combustion and Co-combustion of biomass: Fundamentals, Technologies, and Primary Measures for Emission Reduction. *Energy & Fuels*, Vol. 17, p. 1510–1521.
233. Nyord T., Søgaard H.T., Hansen M.N & Jensen L.S. (2008). Injection methods to reduce ammonia emission from volatile liquid fertiliser applied to growing crops. *Biosystem Engineering*, Vol. 100, No. 2, p. 235–244.
234. Obernberger I., Brunner T., Barnthaler G. (2006). Chemical properties of solid biofuels – significance and impact. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 30, p. 973–998.
235. Obernberger I., Thek G. (2004). Physical characterization and chemical composition of densified biomass fuels with regard to their combustion behaviour. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 27, p. 653–669.
236. Odlare M., Pell M., Svensson K. (2008). Changes in soil chemical and microbial properties during 4 years of application of various organic residues. *Waste Management*, Vol. 28, p. 1246–1253.
237. Okmanis M., Petaja G., Lupiķis A. (2017). Productivity of mechanized wood ash application in forest. *Research for Rural Development*, Vol.1, 62–68.
238. Østrem L, Larsen A. (2008). Winter survival, yield performance and forage quality of *Festulolium* cvs. for Norwegian farming. *Grassland Science in Europe*, Vol. 13, p. 293–295.
239. Østrem L, Larsen A, Pasakinskiene˙ I. (2007). Prebreeding of Festulolium (Lolium x Festuca hybrids). ***In:*** *Proceedings of XXVI Eucarpia Fodder Crops and Amenity Grasses Section "Breeding for seed production for conventional and organic agriculture*", Perugia, Italy, p. 47–51.
240. Østrem L., Volden B., Larsen A. (2013). Morphology, dry matter yield andphenological characters at different maturity stages of × Festulolium compared with other grass species. *Acta Agriculturae Scand*inavica, *Sect. B—Soil Plant Sci*., Vol. 63, p. 531–542.

241. Ozolincius K., Armolaitis K., Raguotis A., Varnagiryte I., Zenkovaite J. (2006). Influence of wood ash recycling on chemical and biological condition of forest Arenosols. *Journal of Forest Science*, Vol. 52, p. 79–86.
242. Ozolincius R., Buozyte R., Varnagiryte-Kabasinskiene (2007). Wood ash and nitrogen influence on ground vegetation cover and chemical composition. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 31, p. 710–716.
243. Pahkala K, Aalto M, Isolahti M, Poikola J, Jauhiainen L (2008). Large-scale energy grass farming for power plants - A case study from Ostrobothnia, Finland. *Biomass and Bioenergy*, 32, p. 1009–1015.
244. Pahkala K., Pihala M. (2000). Different plant parts as raw material for fuel and pulp production. *Industrial Crops and Products*, Vol. 11, p. 119–128.
245. Paine L.K., Peerson T.L., Undersander D.J., Rineer K.I.C., Bartlelt G.A., Temple S.A., Sample D.W., Klemme R.M. (1996). Some ecological and socio-economic considerations for biomass energy crop production. *Biomass Bioenergy*, Vol. 10, p. 231–242.
246. Palmborg C. (2012). Carbon dioxide emissions from reed canary grass during two growing seasons after restoration of an abandoned agricultural peat soil. *Acta Agriculturae Scandinavica. Sect. B—Soil Plant Science*, Vol. 62, p. 238–241.
247. Parajuli R., Dalgaard T., Jorgensen U., Adamsen A.P.S., Knudsen M.T., Birkved M., Gylling M., Schjorring J.K. (2015). Biorefining in the prevailing energy and materials crisis: a review of sustainable pathways for biorefinery value chains and sustainability assessment methodologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 43, p. 244–263.
248. Pardo G.., Moral R., Aguilera E., Del Prado A. (2015). Gaseous emissions from management of solid waste: a systematic review. *Global Change Biology*, Vol. 21, p. 1313–1327.
249. 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*, Vol. 28, p. 355–365.
250. Partala A., Mela T., Esala M., Ketoja E. (2001). Plant recovery of 15N-labelled nitrogen applied to reed canarygrass grown for biomass. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. Vol. 61, p. 273–281.
251. Paulrud S., Nilsson C. (2001). Briquetting and combustion of spring-harvested reed canary grass: Effect of fuel composition. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 20, p. 25–35.
252. Pawlett M., Owen A., Tibbe M. (2018). Amenity grassland quality following anaerobic digestate application. *Japanese Society of Grassland Science*, p. 1–5. [Tiešsaiste] [skatīts10.03.2019]. Pieejams: https://www.researchgate.net/publication/325858964
253. Peeters A. (2008). Challenges for grasslands, grassland-based systems and their production potential in Europe. *Grassland Science in Europe*, Vol. 13, p. 9–24.
254. Perucci P., Monaci E., Onofri A., Vischetti C., Casucci C. (2008). Changes in physico-chemical and biochemical parameters of soil following addition of wood ash: A field experiment. *European Journal of Agronomy*, Vol. 28, p. 155–161.
255. Pfundtner E. (2002). Limits and merits of sludge utilisation – Land application. ***In:*** *Legislation on Biogas Technology.Conference Proceedings of Impacts of Waste Management.* Tulln, p. 1–10.
256. Pilecka J., Grīnfelde I. (2019). Cūku mēslu digestāta paskābināšanas ietekme uz amonjaka emisiju apjomiem ziemas rapša sējumos. ***No:*** *Līdzsvarota lauksaimniecība, Zinātniski praktiskās conference. Tēzes.* Jelgava: LLU, Latvija, 11. lpp.

257. Pitman R. M. (2006). Wood ash use in forestry – a review of the environmental impacts. *Forestry*, Vol. 79, p. 563–586.
258. *Plant nutrition for food security.* (2006). A quide for integrated nutrient management. Rome, 2006, 348 p.
259. Platače R. (2018). *Zālaugu biomasas ieguve cietā kurināmā ražošanai*: Promocijas darba kopsavilkums Dr.agr.zinātniskā grāda iegūšanai. Jelgava, 51 lpp.
260. Platace R., Adamovics A., Kalnacs J. (2016). Production of Reed Canary-Grass-Wood Pellets. ***In:*** *Proceeding of the 15th International Scientific Conference "Engineering for Rural Development",* May 25–27, Jelgava, Latvia, LLU Faculty of Engineering. Vol 15, p. 371–374.
261. Platače R., Adamovičs A. (2018). Mēslojuma ietekme uz zālaugu sausnas ražu, biomasas kvalitāti un augu barības elementu iznesi. ***No:*** *Līdzsvarota lauksaimniecība. Zinātniski praktiskā konference. Raksti.* Jelgava: LLU, 25 – 29. lpp.
262. Pocienė L., Kadžiulienė Ž. (2016). Biomass yield and fibre components in reed canary grass and tall fescue grown as feedstock for combustion. *Zemdirbyste-Agriculture*, Vol. 103 (3), p. 297–304.
263. Pociene L., Sarunaite L., Tilvikiene V., Slepetys J., Kadziuliene Z. (2013). The yield and composition of reed canary grass biomass as raw material for combustion. *Biologija*. Lietuvos mokslų akademija, Vol. 59, No. 2, p. 195–200.
264. Poetsch E.M., Pfundtner E., Much P. (2004). Nutrient content and hygienic properties of fermentation residues from agricultural biogas plants. ***In:*** *Land use systems in grassland dominated regions. Proceedings of the 20th General Meeting of the European Grassland Federation. Edited by: Lúscher A., Kessler W., Huguenin O., Lobsiger M., Millar N., Suter D.* Luzern, Switzerland, 21–24 June 2004, p. 1055–1057.
265. Poiša L. (2015). *Sējas kaņepju un miežabrāļa produktivitātes un kvalitātes rādītāju izvērtējums cietā biokurināmā ieguvei*: Promocijas darba kopsavilkums Dr.agr.zinātniskā grāda ieguvei. Jelgava, 54 lpp.
266. Poiša L., Adamovičs A., Agapovs J. et.al. (2011). The chemical content of different energy crops. ***In:*** *Environment. Technology. Resources. Proceedings of the 8th International Scientific and Practical Conference. Edited by: Noviks G., Kalniņa D., Galiņš A. et.al.*, Vol. I, Rezekne, Latvia, p. 191–196.
267. Poiša L., Adamovičs A., Platače R., Teirumnieka Ē. (2011). Evaluation of the factors that affect the lignin content in the reed canarygrass (*Phalaris arundinacea* L.) in Latvia. ***In:*** *Proceedings of the World Renewable Energy Congress*, Sweden, Linköping, May 8 – 13, 2011. *Bioenergy Technology*, Vol. 1, p. 224–231.
268. Potter K.N., Torbert H.A., Johnson H.B., Tischler C.R. (1999). Carbon storage after long term grass establishment on degraded soils. *Soil Science*, Vol. 164, p. 718–725.
269. Prochnow A., Heiermann M., Drenchan A., Schelle H. (2005). Seasonal pattern of biomethanisation of grass from landscape management. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*. Vol. 7, p. 1–17.
270. Prochnow A., Heiermann M., Plöchl M., Amon T., Hobbs P. J. (2009). Bioenergy from permanent grassland – a review 2. Combustion. *Bioresource Technology*, Vol. 100, p. 4945–4954.
271. Provenzano M.R., Iannuzi G., Fabbri C., Senesi N. (2011). Qualitative characterization and differentiation of digestates from different biowastes using FTIR and fluorescence spectroscopies. *Journal of Environmental Protection*, Vol. 2, p. 83–89.

272. Rancane S., Arshanitsa A., Solodovnik V, Lazdiņa D. (2012). Potential of Reed Canary Grass as an energy crop in Latvian conditions. ***In:*** *Book of Abstacts of 17th International Scientific Conference "Ecobalt 2012",* Riga, Latvia, October 18-19, 2012, p. 66.
273. Rao A.C.S., Smith J.L., Parr J.F., Papendick R.I. (1992). Considerations in estimating nitrogen recovery efficiency by the difference and isotopic dilution methods. *Fertilizer Research*, Vol. 33, p. 209–217.
274. Rautaray S.K., Ghosh B.C., Mittra B.N. (2003). Effect of fly ash, organic wastes and chemical fertilizers on yield, nutrient uptake, heavy metal content and residual fertility in a rice–mustard cropping sequence under acid lateritic soils. *Bioresources Technology*, Vol. 90, p. 275–283.
275. Regueiro I., Siebert P., Liu J., Müller-Stöver D., Stoumann Jensen L. (2020). Acidified animal manure products combined with a nitrification inhibitor can serve as a starter fertilizer for maize. *Agronomy*, Vol. 10, p. 1–15.
276. 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*, Vol. 61 (2017), p. 529–538.
277. 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*, Vol. 547, p. 206–214.
278. Robertson G.P., Groffman P.M. (2007). Nitrogen transformations. ***In:*** *Soil Microbiology, Biochemistry and Ecology.* E.A. Paul (ed.). Springer, New York, USA, p. 341 – 364.
279. Robson M.J., Parsons A.J., Williams T.E. (1989). Herbage production. ***In:*** *Grasses production and utilisation. Edited by W. Holmes.* Oxford: Blackwell Scientific Publications, p. 12–88.
280. Rösch C., Skarka J., Raab K., Stelzer V. (2009). Energy production from grassland-assessing the suitability of different process chains under German conditions. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 33, p. 689–700.
281. Roth A.M., Sample D.W., Ribic C.A., Paine L., Undersander D.J., Bartelt G.A. (2005). Grassland bird response to harvesting switchgrass as a biomass energy crop. *Biomass Bioenergy*, Vol. 28, p. 490–498.
282. Rumpf S., Ludwig B., Mindrup M. (2001). Effect of wood ash on soil chemistry of a pine stand in Northern Germany. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, Vol. 164, p. 569–575.
283. Sahramaa M. (2003). Variation in biomass related variables of reed canarygrass. *Agriculture and Food Science in Finland*, Vol. 12, p. 213–225.
284. Saijonkari- Pahkala K. (2001). Non-wood plants as raw material for pulp and paper. *Agricultural and Food Science in Finland*, Vol. 10, p. 101.
285. Samson R., Mani S., Boddey R., Sokhansanj S., Quesada D., Urquiaga S., Reis V., Ho Lem C. (2005). The Potential of C4 Perennial Grasses for Developing a Global BIOHEAT Industry. *Critical Reviews in Plant Sciences*, Vol. 24, p. 461–495.
286. Samson R., Mehdi B. (1998). Strategies to reduce the ash content of perennial grasses. Expanding Bioenergy Partnerships, Great Lakes Regional Biomass Energy Program, Chicago, Illinois. *Bioenergy*,Vol. 98, p. 1124–1131.
287. Sanderson M.A., Adler P.R. (2008). Perennial Forages as Second Generation Bioenergy Crops. *International Journal of Molecular Sciences*, Vol. 9, p. 768–788.
288. Schwartz C., Amasino R. (2013). Nitrogen recycling and flowering time in perennial bioenergy crops. *Frontiers in Plant Science*, Vol. 4, p. 1–7.

289. Seppälä M., Paavola T., Lehtomäki A., Rintala J. (2009). Biogas production fromboreal herbaceous grasses – Specific methane yield and methane yield perhectare. *Bioresources Technology*, Vol. 100, p. 2952–2958.
290. Shao Y., Wang J., Preto F., Zhu J., and Xu C., (2012). Ash deposition in biomass combustion or co-firing for power/heat generation. *Energies*, Vol. 5, p. 5171–5189.
291. Shurpali N.J., Strandman H., Kilpeläinen A., Huttunen J., Hyvönen N., Biasi C., Kellomäki S., Martikainen P.J. (2010). Atmospheric impact of bioenergy basedon perennial crop (reed canary grass, *Phalaris arundinaceae* L.) cultivation on adrained boreal organic soil. *Global Change Biol. Bioenergy*, Vol. 2, p. 130–138.
292. Šiaudinis G. (2010). The investigations of perennial plants for bioenergy purposes in western Lithuania. Growing and processing technologies of energy crops. *Renewable energy and Energy Efficiency*, p. 24–28.
293. Silva F.C., Cruz N.C., Tarelho L.A.C., Rodrigues S.M. (2019). Use of biomass ash-based materials as soil fertilisers: critical review of the existing regulatory framework. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 214, p. 112–124.
294. Skladanka J., Adam V., Ryant P., Dolezal P., Havlicek Z. (2010). Can Festulolium, Dactylis glomerata and Arrhenatherum elatius be used for extension of the autumn grazing season in Central Europe? *Plant Soil and Environment*, Vol. 56, p. 488–498.
295. Sliesaravicius A. (1997). Methods and results of changing genome composition and number in grasses. ***In:*** *Proceedings of International Conference Dotnuva-Akademija*, Lithuania, 14-16 July, p. 49–52.
296. Smil V. (1999). Nitrogen in crop production: An account of global flows. *Global Biogeochemical Cycles*, Vol. 13, p. 647–662.
297. Smith K.A., Van Dijk T.A. (1987). Utilisation of phosphorus and potassium from animal manures on grassland and forage crops. *Animal Manure on Grassland and Fodder Crops*, Edited by H.G. Meer, et al., p. 87–97.
298. Smith V.H., Tilman G.D., Nekola J.C. (1999). Eutrophication: Impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environmental Pollution*, Vol. 100, p. 179–196.
299. Smyth B.M., Murphy J.D., O'Brien C.M. (2009). What is the energy balance of grass biomethane in Ireland and other temperate northern European climates? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 13, p. 2349–2360.
300. Staugaitis G., Vaisvila Z., Mazvila J., Arbaciauskas J., Adomaitis T., Fullen M.A.A. (2007). Role of soil mineral nitrogen for agricultural crops: Nitrogen nutrition diagnostics in Lithuania. *Archives of Agronomy and Soil Science*, Vol. 53, Issue 3, p. 263–271.
301. 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*, Vol. 16, p. 119–136.
302. Stinner W., Möller K., Leithold G. (2008). Effect of biogas digestion of clover/grass-leys, 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.
303. Strasil S. (2012). Evaluation of reed canary grass (*Phalaris arundinacea* L.) grown for energy use. *Research in Agricultural Engineering*, Vol. 58, p. 119–130.
304. Suding K.N., Collins S.L., Gough L., Clark C., Cleland E.E., Gross K.L., et al. (2005). Functional- and abundance-based mechanisms explain diversity loss due to N fertilization. ***In:*** *Proceedings of the National Academy of Science*, Vol. 102, p. 4387–4392.

305. Svanbäck A., McCrackin M.L., Swaney D.P., Linefur H., Gustafsson B.G., Howarth R.W., Humborg C. (2019). Reducing agricultural nutrient surpluses in a large catchment – links to livestock density. *Science of the Total Environment*, Vol. 648, p. 1549–1559.
306. Svoboda N., Taube F., Wienforth B., Kluβ C., Kage H., Herrmann A. (2013). Nitrogen leaching losses after biogas residue application to maize. *Soil and Tillage Research*, Vol. 130, p. 69–80.
307. Syers J. K., Johnston A. E., Curtin D. (2008). Efficiency of Soil and Fertilizer Phosphorus: Reconciling Changing Concepts of Soil Phosphorus Behavior with Agronomic Information. *FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin 18*. FAO: Rome, p. 108.
308. Taghizadeh-Toosi A., Olesen J.E. (2016). Modelling soil organic carbon in Danish agricultural soils suggests low potential for future carbon sequestration. *Agricultural Systems*, Vol. 145, p. 83–89.
309. Tahir H.N.M., Casler M.D., Moore K.J., Brummer E.C. (2011). Biomass yield and quality of reed canary grass under five harvest management systems for bioenergy production. *Bioenergy Research*, Vol. 4, p. 111–119.
310. 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.
311. Tambone F., Genevini P., D'Imporzano G. and Adani F. (2009). Assessing amendment properties of digestate by studying the organic matter composition and the degree of biological stability during the anaerobic digestion of the organic fraction of MSW. *Bioresource Technology*, Vol. 100, No. 12, p. 3140–3142.
312. 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 digestated sludge and compost. *Chemosphere*, Vol. 81, No. 5, p. 577–583.
313. Tampere M., Viiralt R. (2014). The efficiency of biogas digestate on grassland compared to mineral fertilizer and cattle slurry. ***In:*** *Research for Rural Development 2014, Annual 20th International Scientific Conference Proceedings*, Jelgava, LLU, Vol. 1, p. 89–94.
314. 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 and Biomass Valorization*, Vol. 2, p. 43–58.
315. Thomas H., Humphreys M.O. (1991). Progress and potential of interspecific hybrids of *Lolium* and *Festuca*. *Journal of Agricultural Science*, Vol. 117, p. 1–8.
316. Thomas H.M., Morgan W.G., Humphreys M.W. (2003). Designing grasses with a future – combining the attributes of *Lolium* and *Festuca*. *Euphytica*, Vol. 133, p. 19–26.
317. Thumm U., Raufer B and Lewandowski I. (2014). Novel products from grassland (bioenergy & biorefinery). *Grassland Science in Europe*, Vol. 19, p. 429–437.
318. Tilman D., Cassman K.G., Matson P.A., Naylor R. Polasky S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production pratices. *Nature*, Vol. 418, p. 671–677.
319. Tilman D., Reich P.B., Knops J.M.H. (2006). Biodiversity and ecosystem stability in a decadelong grassland experiment. *Nature*, Vol. 441, p. 629–632.
320. Tilvikiene V., Kadžiuliene Ž., Dabkevičius Z., Šarūnaite L., Šlepetys J., Pociene L., Šlepetiene A., Ceceviciene J. (2014). The yield and variation of chemical composition of cocksfoot biomass after five years of digestate application. *Grassland Science in Europe*, Vol. 19, p. 468–470.

321. Tilvikiene V., Venslauskas K., Navickas K., Zuperka V., Dabkevicius Z., Kadziuliene Z. (2012). The biomass and biogass productivity of perennial grasses. *Žemdirbystė Agriculture*, Vol. 99, No. 1, p. 17–22.
322. Tilvikiene V., Venslauskas K., Povilaitis V., Navickas K., Zuperka V., Kadziuliene Z. (2020). The effect of digestate and mineral fertilisation of cocksfoot grass on greenhouse gas emissions in a cocksfoot-based biogas production system. Energy, Sustainability and Society, 10:13. [Tiešsaiste] [skatīts 23.01.2021]. Pieejams: https://doi.org/10.1186/s13705-020-00245-6
323. 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. *Journal of the Indian Society of Soil Sciences*, Vol. 48, p. 515–520.
324. Tombácz E., Szekeres M., Baranyi L., Micheli E. (1998). Surface modification of clay minerals by organic polyions. *Colloids and Surfaces A*., Vol. 141 (3), p. 379–384.
325. Tombácz E., Filipcsei G., Szekeres M, Gingl Z. (1999). Particle aggregation in complex aquatic systems. *Colloids and Surfaces, A*, Vol. 151, No. 1, p. 233–244.
326. Tonn B., Thumm U., Claupein W. (2010). Semi-natural grassland biomass for combustion: Influence of botanical composition, harvest date and site conditions on fuel composition. *Grass and Forage Science*, Vol. 65 (4), p. 383–397.
327. Tufekcioglu A., Raich J.W., Isenhart T.M., Shultz R.C. (2003). Biomass, carbon and nitrogen dynamics of multi-species riparian buffers within an agricultural watershed in Iowa, USA. *Agroforestry Systems*, Vol. 57, p. 187–198.
328. *Vadlīnijas koksnes pelnu apstrādei un izmantošanai mežsaimniecībā "Koku augšanas apstākļu uzlabošanas pētījumu programma 2016. - 2021. gadam*" [Tiešsaiste] [skatīts 20.02.2019]. Pieejams: https://www.researchgate.net/profile/.../Vadlinijas+pelnu+izmantosanai.pdf
329. Van Loo S., Koppejan J. (eds). (2008). *The handbook of biomass combustion and co-firing*, Earthscan, London, p. 464.
330. Vaneeckhaute C., Janda J., Vanrolleghem P.A., Tack F.M.G., Meers E. (2016). Phosphorus use efficiency of bio-based fertilizers: bioavailability and fractionation. *Pedosphere*, Vol. 26, p. 310–325.
331. Vaneeckhaute C., Meers E., Ghekiere G., Accoe F., Tack F.M.G. (2012). Nutrient recycling from bio-digestion waste as chemical fertilizer substitutes. ***In:*** *World Congress on Advances in Civil, Environmental, and Materials Research (ACEM 12)*, Seoul, Korea, August 26-30, 2012, p. 763–773.
332. Van Vuuren, D.P., Bouwman, A.F., Beusen, A.H.W. (2010). Phosphorus demand for the 1970-2100 period: A scenario analysis of resource depletion. *Global Environmental Changes*, Vol. 20, p. 428-439.
333. Vargová V., Kanianska R., Kizeková M., Šiška B., Kovácikova Z., Michalec M. (2020). Changes and Interactions between Grassland Ecosystem Soil and Plant Properties under Long-Term Mineral Fertilization. *Agronomy* 10(3), 375. [Tiešsaiste] [skatīts 20.02.2019]. Pieejams: https://doi.org/10.3390/agronomy10030375
334. Vassilev S.V., Baxter D., Andersen LK., Vassileva CG. (2010). An overview of the chemical composition of biomass. *Fuel*, Vol. 89 (5), p. 913–33.
335. Vassilev S.V., Baxter D., Andersen L.K., Vassileva C.G. (2013). An overview of the composition and application of biomass ash. Part 1. Phase–mineral and chemical composition and classification. *Fuel.* Vol. 105, p. 40–76.
336. Vintila T., Neo S., Vintila C. (2012). Biogas Production Potential from Waste in Timis County. *Scientific Papers: Animal Science and Biotechnologies*, Vol. 45 (1), p. 366–373.

337. Voca N., Kricka T., Cosic T., Rupic V., Jukic Z., Kalambura S. (2005). Digested residues as a fertilizer after the mesophilic process of anaerobic digestion. *Plant, Soil and Environment*, Vol. 51, p. 262–266.
338. Wang Y., Zhu Y., Zhang S., Wang Y. (2018). What could promote farmers to replace chemical fertilizers with organic fertilizers? *Journal of Cleaner Production*, Vol. 199, p. 882–890.
339. Warembourg F.R., Estelrich H.D. (2001). Plant phenology and soil fertility effects onbelow-ground carbon allocation for an annual (*Bromus madritensis*) and perennial (*Bromus erectus*) grass species. *Soil Biology and Biochemistry*, Vol. 33, p. 1291–1303.
340. Westerschulte M., Federolf C.P., Trautz D., Broll G., Olfs H.W. (2018). Slurry injection with nitrification inhibitor in maize: plant phosphorus, zinc and manganese status. *Journal of Plant Nutrition*, Vol. 41, p. 1381–1396.
341. Williams T. M. (1997). Obtaining water quality permits for land application of biomass broiler ash. *Biomass Bioenergy*, Vol. 13, p. 279–287.
342. Williams A., Jones J. M., Ma L., Pourkashanian M. (2012). Pollutants from the combustion of solid biomass fuels. *Progress in Energy and Combustion Science*, Vol. 38, p. 113.
343. Wilkins P.W., Humphreys M.O. (2003). Progress in breeding perennial forage grasses for temperate agriculture. *Journal of Agricultural Science*, Vol. 140, p. 129–150.
344. Withers P. J. A., Sylvester-Bradley R., Jones D. L., Healey J. R., Talboys P. J. (2014). Feed the crop not the soil: rethinking phosphorus management in food chain. *Environmental Science and Technology*, Vol. 48, p. 6523–6530.
345. WRB (2014). World reference base for soil resources. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, 189 p.
346. Wrobel C., Coulman B. E., Smith D. L. (2008). The potential use of reed canary grass (*Phalaris arundinacea* L.) as a biofuel crop. *Acta Agriculturae Scandinavica, section B: Soil and Plant Science*, Vol. 59, p. 1–18.
347. Zabaleta I., Rodic L. (2015). Recovery of essential nutrients from municipal solid waste impact of waste management infrastructure and governance aspects. *Waste Management*, Vol. 44, p. 178–187.
348. Zhou X., Xiao B., Ochieng R.M., Yang J. (2009). Utilization of carbon-negative biofuels from low-input high-diversity grassland biomass for energy in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 13(2), p. 479–85.
349. Zimmermann S., Frey B. (2002). Soil respiration and microbial properties in an acid forest soil: effects of wood ash. *Soil Biology and Biochemistry*, Vol. 34, p. 1727–1737.
350. Zwierzykowski Z., Joks W., Naganowska B. (1993). Potential of tetraploid *Festulolium* (*Festuca pratensis* × *Lolium multiflorum*). ***In:*** *Proceedings of the 18th Meeting of EUCARPIA Fodder Crops Section*, North-Fiord Loen, Norway, p. 60–61.
351. Xiong S., Zhang Q.G., Zhang D.Y., Olsson R. (2008). Influence of harvest time on fuel characteristics of five potential energy crops in northern China. *Bioresource Technology*, Vol. 99, Issue 3, p. 479–485.
352. Xiong S., Landstrom S., Olsson R. (2009). Delayed harvest of reed canary grass translocates more nutrients in rhizomes. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science*, Vol. 59, p. 306–316.
353. Xu G., Fan X., Miller A.J. (2012). Plant nitrogen assimilation and use efficiency. *Annual Review of Plant Biology*, Vol. 63, p. 153–182.

PIELIKUMI

Izmēģinājuma lauka augsnes profila apraksts

Vispārīgas ziņas par etalonprofilu un tā atrašanās vieta

Reģistrācijas Nr.	AI0102
Apraksta autori	S. Rancāne, A. Kārkliņš
Augsnes apraksta datums	2019. gada 12. jūlijs
Virsēji velēnglejotā augsne	GLu (Latvijas klasifikators, 2009)
Endocalcaric Katostagnic Glossic Retisol (Aric, Cutanic, Drainic, Katoloamic, Ochric)	Pasaules Augšņu klasifikators, 2015
Aquic Glossudalfs, (Alfisols, Udalfs)	ASV augšņu klasifikācijas sistēma *Soil Taxonomy,* 2010.
Atrašanās vieta	Skrīveru novads, Zemkopības institūts, Pardenču lauks.
Ģeogrāfiskās koordinātas	56º 41.417′ Zp. un 25º 08.065′ Ag.
Augstums	86 m vjl.
Fizioģeogrāfiskais rajons	Viduslatvijas zemiene, Madlienas nolaidenuma DA daļa.
Topogrāfija	Morēnas līdzenums, augstākā daļa, slīpums 5%, nogāzes garums A – 15 m; L – 200 m.
Erozija	Nav vērojama.
Dabiskā drenētība	Labi drenēta, neliela notece, pārplūšana nav iespējama; gruntsūdens līmenis – 140 cm.
Klimats	Gada nokrišņu summa – 687 mm; vidējā gaisa temp. – +5.5ºC. Veģetācijas perioda (>5ºC) ilgums – 183 dienas; aktīvo temperatūru (>10ºC) summa – 1970.
Augsnes klimats	*Frigid* temperatūras un *udic* mitruma režīms.
Cilmiezis	Glaciālie nogulumi (morēna mālsmilts un smilšmāls).
ZLV, veģetācija	Daudzgadīgie zālāji, papuve.
Cilvēka ietekme	Meliorācija, kaļķošana (ap 1989. gadu), periodiska aršana un mēslošanas līdzekļu lietošana.

Profila apraksts

Ap 0 – 27 cm Pelēcīgi brūna (10YR 3/2, mitra, 7.5YR 6/2, sausa) smaga, smalka mālsmilts ar maz vidēji sīkiem, skaidri kontrastējošiem, iesarkani pelēkiem (5YR 4/6) plankumiem; nedaudz sīkas un vidēja izmēra skeleta daļiņas, ieapaļi, maz sadēdējuši laukšpata oļi; vidēji izteikta, vidēja lieluma šķautņaini kubiska struktūra; OV saturs – 2.91%, sakārta – vidēji blīva; mitras augsnes konsistence – cieta, sausas – viegli cieta; vāji lipīga līdz lipīga; viegli plastiska līdz plastiska; porainība – zema, daudz sīku un ļoti sīku tekstūras poru un dobumu; daudz sīku un vidēja lieluma eju; daudz ļoti sīku un sīku sakņu, ļoti maz sīku un vidēja lieluma sakņu; vidēji daudz slieku eju, alu; karbonātu nav; pH H_2O – 6.6, pH KCl – 5.9; robeža pārejai nākamajā horizontā – asa, gluda. Ap horizontā saglabājušās iearto salmu atliekas.

Eg 27 – 35 cm	Brūns (10YR 7/2, mitra, 7.5YR 6/4, sausa) putekļains smilšmāls; ar ļoti nedaudziem grants oļiem, ko veido vidēja lieluma ieapaļi, nesadēdējuši un maz sadēdējuši laukšpati; tumši pelēcīgi brūniem (10YR 4/2) plankumiem; vāji izteikta, graudaina, vidēja struktūra; mitras augsnes konsistence – cieta, sausas – irstoša; lipīga, plastiska līdz ļoti plastiska; OV saturs – 0.24%; sakārta – vidēji irdena; porainība – vidēja, veids – ļoti sīkas un sīkas tekstūras poras un sīkas un vidēja lieluma ejas; vidēji daudz sīku, izstieptu, mīkstu, tumši brūnu dzelzs konkrēciju; ļoti maz ļoti sīku un sīku augu sakņu; ļoti maz relikto jeb veco sakņu; karbonātu nav; pH H_2O – 6.9, pH KCl – 5.4; robeža pārejai nākamajā horizontā – skaidra, neregulāra.
Btg1 35 – 55 cm	Blāvi brūna (7.5YR 4/6, mitra, 5YR 5/6, sausa) smaga smalka mālsmilts; ar daudziem rupjiem, skaidri kontrastējošiem, skaidru robežu, tumši brūniem (10YR 6/2) plankumiem; daudz vidēja lieluma akmeņiem, ko veido ieapaļi, ļoti sadēdējuši laukšpati un dolomīts; vidēji izteikta, ļoti sīka, šķautņaini kubiska struktūra; mitras augsnes konsistence – irstoša, sausas – cieta un ļoti cieta; lipīga līdz ļoti lipīga, plastiska līdz ļoti plastiska; porainība – augsta, veids – ļoti sīkas un sīkas tekstūras poras, ejas, plaisas; uz makroagregātu virsmas daudz, izteikti kontrastējošu māla un argilāna uzklājumu; daudz vienlaidus neregulāri, izteikti kontrastējoši māla uzklājumi; daudz ļoti sīku un sīku augu sakņu; maz relikto sakņu; karbonātu nav; pH H_2O – 7.4, pH KCl – 6.0; robeža pārejai nākamajā horizontā – pakāpeniska, viļņota.
Btg2 55 – 100 cm	Brūna/gaiši brūna (7.5YR 5/4, mitra, 7.5YR 6/3, sausa) smaga smalka mālsmilts; ar daudz rupjiem, skaidri kontrastējošiem, skaidru robežu, brūniem (10YR 6/2) plankumiem; daudz sīki akmeņainas grants skeleta daļiņu, ko veido ieapaļi, vidēji un stipri sadēdējuši dolomīti, vizla, laukšpati; vidēji izteikta, šķautņaini kubiska, ļoti sīka struktūra; mitras augsnes konsistence – irstoša, sausas – cieta; lipīga līdz ļoti lipīga, plastiska līdz ļoti plastiska; porainība – vidēja, veids – tekstūras poras, ejas un plaisas, daudz ļoti sīkas, sīkas un vidēja lieluma; uz makroagregātu virsmas maz, vāji kontrastējoši vienlaidus neregulāri māla un argilāna uzklājumi, ļoti maz relikto sakņu; stipri karbonātiska; pH H_2O – 8.5, pH KCl – 7.8; robeža pārejai nākamajā horizontā – pakāpeniska, viļņota.
Btg3 100 – 140+ cm	Gaiši brūna (7.5YR 5/6, mitra, 7.5YR 6/4, sausa) smaga smalka mālsmilts; ar ļoti daudz rupja lieluma skaidri kontrastējošiem, skaidru robežu, sārti pelēkiem (5Y 7/1) plankumiem; daudz sīkas akmeņainas grants, ko veido ieapaļi, vidēji un stipri sadēdējuši dolomīti, vizla, laukšpati; vāji izteikta, ļoti sīka, prizmatiska struktūra; mitras augsnes konsistence – irstoša, sausas – cieta; lipīga līdz ļoti lipīga, plastiska līdz ļoti plastiska; porainība – vidēja, veids – tekstūras poras un plaisas, daudz ļoti sīkas, sīkas un maz vidēja lieluma; uz makroagregātu virsmas vidēji daudz, izteikti kontrastējošu vienlaidus neregulāru māla un argilāna uzklājumu; stipri karbonātiska; pH H_2O – 7.8, pH KCl – 6.9.
Citas pazīmes	Diagnostikas horizonti: *Ochric* 0 – 27 cm; *Argic* no 35 cm. Diagnostikas pazīmes: *Albeluvic* mēles *(glossae)* 27 – 35 cm, *Stagnic* no 27 cm, *Retic* pazīmes – no 27 cm. Kaļķaini augsnes materiāli – no 100 cm, karbonātu klātbūtne no 45 cm.

2. pielikums

Zālaugu mēslošanas izmēģinājumu shēma Pardenčos

MB*	AA**	MB	AA	AA	MB	AA	MB
Pelni (P)	Pelni (P)	Mm***	Mm	D2*****	D2	Kontrole	Kontrole
Kontrole	Kontrole	D2	D2	Mm	Mm	D1****	D1
D2	D2	D1	D1	P	P	Mm	Mm
D1	D1	P	P	Kontrole	Kontrole	D2	D2
Mm	Mm	Kontrole	Kontrole	D1	D1	P	P

*MB – miežabrālis
**AA – auzeņairene
***Mm – minerālmēsli
****D1 – digestāts – visa norma lietota vienā paņēmienā
*****D2 – digestāts – norma lietota dalīti divos paņēmienos

3. pielikums

Gaisa vidējās temperatūras pētījuma gados Skrīveros, °C
(Skrīveru meteostacijas dati)

Mēnesis	Gads	Dekādes			Mēnesī	Norma	+/- no normas
		I	II	III			
Janvāris	2012	0.2	-1.8	-10	-3.9	-6.5	2.6
	2013	-1.3	-12.5	-7.8	-7.2		-0.7
	2014	2.6	-7.3	-14.2	-6.3		0.2
	2015	-2.9	0.7	-1.3	-1.2		5.3
Februāris	2012	-18.3	-8.8	-1	-9.4	-6.0	-3.4
	2013	-1.1	-2.8	-3.8	-2.6		3.4
	2014	-1.9	1.4	1.8	0.4		6.4
	2015	-2.3	-1.1	2.0	-0.5		5.5
Marts	2012	-3.2	2.2	3.2	0.7	-2.2	2.9
	2013	-4.7	-8.5	-4.4	-5.9		-3.6
	2014	3.0	1.9	6.0	3.7		5.9
	2015	3.0	4.8	3.2	3.7		5.9
Aprīlis	2012	1.2	6.7	12	6.6	4.9	1.7
	2013	-0.4	6.8	6.8	4.4		-0.5
	2014	3.8	7.9	12.3	8.0		3.1
	2015	4.0	5.8	9.6	6.5		1.6
Maijs	2012	11.5	11.4	13.8	12.2	11.4	0.8
	2013	13.5	17.5	16.1	15.7		4.3
	2014	7.5	14.0	16.3	12.6		1.2
	2015	10.7	9.2	11.7	10.5		-0.8
Jūnijs	2012	11.4	16.1	15	14.1	15.0	-0.9
	2013	18.7	15.8	20.1	18.2		3.3
	2014	17.2	12.9	12.0	14.0		-0.9
	2015	14.4	14.7	14.3	14.5		-0.5
Jūlijs	2012	19.9	15.1	19.6	18.2	16.6	1.6
	2013	18.5	17.9	18.1	18.2		1.6
	2014	18.5	18.9	21.8	19.7		3.2
	2015	18.2	14.8	16.0	16.3		-0.3
Augusts	2012	17.4	15.8	14.4	15.9	15.9	0
	2013	19.7	16.8	15.0	17.2		1.2
	2014	22.2	16.5	12.9	17.2		1.3
	2015	19.8	16.9	17.3	18.0		2.1
Septembris	2012	14.1	13.6	11.1	12.9	11.3	1.6
	2013	13.6	14.3	7.4	11.8		0.5
	2014	13.8	13.3	10.3	12.5		1.2
	2015	12.9	14.2	11.4	12.8		1.5
Oktobris	2012	9	8.5	2.1	6.5	6.2	0.3
	2013	8.1	6.6	8.5	7.7		1.6
	2014	8.5	7.6	2.4	6.2		0.0
	2015	6.3	4.2	3.8	4.8		-1.4
Novembris	2012	4.6	4.5	2.9	4.0	0.8	3.2
	2013	6.1	4.1	2.5	4.2		3.4
	2014	5.5	3.1	-3.2	1.8		1.0
	2015	6.4	5.7	-0.9	3.7		2.9
Decembris	2012	-3.8	-6.9	-3.5	-4.7	-3.2	-1.5
	2013	-0.8	1.5	3.7	1.5		4.7
	2014	-2.7	2.3	-3.8	-1.4		1.8
	2015	4.1	2.4	0.4	2.3		5.5

4. pielikums

Nokrišņu daudzums pētījuma gados Skrīveros, mm

Mēnesis	Gads	Dekādes			Mēnesī *	Mēnesī **	Norma	% no normas	
		I	II	III				*	**
Janvāris	2012	14.2	12.1	17.7	44.0	60.8	39	113	156
	2013	24.8	9.1	13.9	47.8	29.6		123	76
	2014	35.0	14.3		49.3	17.3		126	44
	2015	46.6	36.6	10.6	93.8	67.8		241	174
Februāris	2012	11.6	9.4	11.1	32.1	38.1	33	97	115
	2013	21.9	12.1		34.0			103	
	2014	8.0	25.7	1.0	34.7	29.5		105	90
	2015	17.6	3.7	3.0	24.3	16.5		74	50
Marts	2012	11.6	13.8	15.1	40.5	5.7	32	127	18
	2013	9.9	0.4	2.4	12.7			40	
	2014	1.2	37.1	25.1	63.4	27.6		198	86
	2015	26.3		30.0	56.3	55.8		176	174
Aprīlis	2012	39.5	40.6	49.5	129.6	57.2	47	276	122
	2013	25.3	9.4	19.4	54.1	10.2		115	22
	2014	34.8	1.6		36.4	35.7		77	76
	2015	26.4	26.7	11.5	64.6	49.4		137	105
Maijs	2012	40.7	37.9	40.4	119.0	104.3	55	216	190
	2013		23.8	47.7	71.5			130	0
	2014	21.2	56.6	26.5	104.3	84.4		190	154
	2015	18.7	21.8	21.5	62.0	36.0		113	65
Jūnijs	2012	34.4	36.7	30.2	101.3	114.6	69	147	166
	2013	25.7	4.7	10.4	40.8	104.4		59	151
	2014	5.2	61.0	45.8	112.0	100.7		162	146
	2015	1.5	5.5	40.4	47.4	48.3		69	70
Jūlijs	2012	27.9	22.9	32.2	83.0	125.1	88	94	142
	2013	9.7	37.9	8.8	56.4	53.0		64	60
	2014	39.9	17.5	5.0	62.4	81.3		71	92
	2015	25.3	37.3	43.0	105.6	91.3		120	104
Augusts	2012	28.6	26.3	23.4	78.3	52.7	75	104	70
	2013	33.3	42.0	0.3	75.6	78.0		101	104
	2014	9.6	46.5	123.0	179.1	108.0		239	144
	2015	5.1	3.1	13.0	21.2	21.0		28	28
Septembris	2012	24.7	37.6	26.5	88.8	56.4	76	117	74
	2013	25.3	3.4	54.8	83.5	78.2		110	103
	2014	2.4	7.4	17.9	27.7	86.8		36	114
	2015	50.2	8.0	21.7	79.9	75.0		105	99
Oktobris	2012	15.7	22.4	16.7	54.8	111.0	63	87	176
	2013	6.0	8.1	28.3	42.4	77.1		67	122
	2014	13.6	79.0	13.1	105.7	124.0		168	197
	2015		0.1	9.9	10.0	0.3		16	
Novembris	2012	14.1	11.2	7.4	32.7	100.3	59	55	170
	2013	48.8	12.9	14.4	76.1	84.9		129	144
	2014	19.9	0.5	11.2	31.6	19.4		54	33
	2015	17.3	48.4	5.4	71.1	79.9		121	135
Decembris	2012	16.9	13.5	19.1	49.5	32.7	51	97	64
	2013	27.6	9.4	11.2	48.2	54.7		95	107
	2014	4.9	20.2	23.8	48.9	87.6		96	172
	2015	11.8	21.4	18.0	51.2	50.3		100	99

* mēnesī, mm – Skrīveru meteostacijas dati; ** mēnesī, mm – dati no nokrišņu savācējiem plantāciju laukā Pardenčos

5. pielikums

Miežabrāļa zelmeņu sausnas ražas struktūra viena pļāvuma režīmā

Mēslošanas variants	Stiebri, %	Lapas, %	Skaras, %
Kontrole	68.89±3.86	30.82±3.90	0.30±0.07
Minerālmēsli	73.18±2.37	26.50±2.41	0.33±0.07
Pelni	74.88±1.96	24.81±1.99	0.31±0.08
Digestāts 1×	71.81±2.07	27.99±2.07	0.20±0.04
Digestāts 2×	70.72±1.73	29.04±1.75	0.25±0.05
$Rs_{0.05}$	8.61	8.69	0.22

6. pielikums

Auzeņairenes zelmeņu sausnas ražas struktūra viena pļāvuma režīmā

Mēslošanas variants	Stiebri, %	Lapas, %	Skaras, %
Kontrole	34.08±3.53	61.63±3.67	4.29±0.69
Minerālmēsli	24.61±4.40	72.53±4.97	2.87±0.93
Pelni	22.12±6.02	75.56±6.69	2.33±0.74
Digestāts 1×	27.47±2.43	69.27±2.83	3.26±0.53
Digestāts 2×	30.86±5.54	65.95±6.00	3.18±0.49
$Rs_{0.05}$	14.56	15.95	2.37

7. pielikums

Miežabrāļa 1. pļāvuma sausnas ražas struktūra atšķirīgos digestāta mēslojuma variantos, %

Variants	1. lietošanas gads	2. lietošanas gads	3. lietošanas gads
Stiebri, %			
N0	84.7±3.31	55.9±2.79	53.8±4.24
N30	74.6±1.69	59.9±1.34	48.9±7.09
N60	75.7±1.18	63.1±1.17	59.6±0.89
N60 (30+30)	75.9±1.54	60.5±1.35	58.1±0.48
N90 (30+30+30)	71.3±0.98	58.6±4.84	59.9±0.83
N120 (40+40+40)	75.4±1.02	63.2±1.56	60.6±0.64
N150 (50+50+50)	72.6±1.62	58.3±1.65	60.1±0.94
$Rs_{0.05}$	5.24	7.15	9.38
Lapas, %			
N0	15.3±3.31	42.1±3.50	46.2±4.24
N30	25.2±1.68	37.5±2.51	51.0±7.09
N60	23.4±0.78	33.2±1.04	40.4±0.89
N60 (30+30)	23.9±1.51	35.3±2.60	41.9±0.48
N90 (30+30+30)	28.5±0.99	31.9±2.76	40.1±0.83
N120 (40+40+40)	23.8±1.03	28.5±2.89	39.4±0.64
N150 (50+50+50)	26.2±1.59	32.6±2.14	39.9±0.94
$Rs_{0.05}$	5.12	7.33	9.38
Skaras, %			
N0	0.55±0.24	2.16±0.95	–
N30	0.50±0.26	3.02±1.05	–
N60	1.15±0.41	3.73±0.49	–
N60 (30+30)	0.24±0.24	5.10±0.81	–
N90 (30+30+30)	0.20±0.23	9.47±3.20	–
N120 (40+40+40)	0.87±0.46	8.34±1.97	–
N150 (50+50+50)	1.19±0.10	9.04±3.79	–
$Rs_{0.05}$	1.90	0.77	–

8. pielikums.

Miežabrāļa 2. pļāvuma sausnas ražas struktūra atšķirīgos digestāta mēslojuma variantos, %

Variants	Stiebri, %			Lapas, %		
	1. l.g.	2. l.g.	3. l.g.	1. l.g.	2. l.g.	3. l.g.
N0	43.9±1.85	56.1±0.77	44.7±1.81	56.1±1.85	43.9±0.77	55.3±1.81
N30	45.6±1.21	54.1±2.61	43.9±3.61	54.4±1.21	45.9±2.61	56.1±3.61
N60	43.5±0.74	49.7±3.49	45.9±1.63	56.5±0.74	50.3±3.49	54.1±1.63
N60 (30+30)	39.4±4.85	58.5±3.48	47.4±1.85	60.6±4.85	41.5±3.48	52.7±1.85
N90 (30+30+30)	42.0±2.12	47.7±3.82	53.1±3.88	58.0±2.12	52.3±3.82	46.9±3.88
N120 (40+40+40)	48.5±5.47	48.3±5.88	49.6±1.22	51.5±5.47	51.7±5.88	50.4±1.22
N150 (50+50+50)	34.7±3.38	52.9±3.27	49.9±1.12	65.3±3.38	47.1±3.27	50.1±1.12
$Rs_{0.05}$	9.61	10.41	5.70	9.61	10.41	5.70

9. pielikums.

Miežabrāļa zelmeņa sausnas ražas struktūra viena pļāvuma režīmā atšķirīgos lietošanas gados, %

Variants	1. lietošanas gads	2. lietošanas gads	3. lietošanas gads	Vidēji 3 gados
Stiebri, %				
N0	58.26±1.72	60.67±1.06	59.12±2.07	59.35±1.62
N30	61.73±1.88	63.92±1.28	60.75±12.14	62.13±5.10
N60	63.17±1.31	69.10±0.48	62.12±3.00	64.80±1.60
N60 (30+30)	59.47±2.90	68.09±1.91	65.74±1.21	64.43±2.01
N90 (30+30+30)	60.79±1.17	69.32±1.80	66.52±1.46	65.54±1.48
N120 (40+40+40)	66.39±2.90	61.85±7.36	65.75±2.44	64.66±4.23
N150 (50+50+50)	62.52±2.64	70.31±2.57	64.73±1.76	65.85±2.32
$Rs_{0.05}$	5.68	9.34	14.64	9.89
Lapas, %				
N0	41.74±1.72	39.33±1.06	40.73±2.03	40.60±1.60
N30	38.27±1.88	36.08±1.28	39.20±12.12	37.85±5.09
N60	36.83±1.31	30.90±0.48	37.79±2.93	35.17±1.57
N60 (30+30)	40.53±2.90	31.91±1.91	34.23±1.22	35.56±2.01
N90 (30+30+30)	39.21±1.17	30.68±1.80	33.39±1.51	34.43±1.49
N120 (40+40+40)	33.61±2.90	38.15±7.36	34.10±2.37	35.29±4.21
N150 (50+50+50)	37.48±2.64	29.69±2.57	35.27±1.76	34.15±2.32
$Rs_{0.05}$	5.68	9.34	14.58	9.87

10. pielikums

Pelnu saturs zālaugu sausnā

Suga	Mēslojums	Pelnu saturs, %			
		1. zāle	2. zāle	rudens zāle	vidēji
1. lietošanas gads					
Miežabrālis	Kontrole	6.47	11.19	5.43	7.70
	Minerālmēsli	5.97	9.48	4.03	6.49
	Pelni	6.66	9.01	4.56	6.75
	Digestāts 1×	6.36	10.52	4.56	7.15
	Digestāts 2×	6.03	10.52	4.35	6.97
Auzeņairene	Kontrole	6.93	10.59	6.12	7.88
	Minerālmēsli	7.70	9.22	6.12	7.68
	Pelni	7.87	8.70	6.49	7.68
	Digestāts 1×	8.08	8.27	6.01	7.45
	Digestāts 2×	7.09	9.64	5.75	7.50
Vidēji abām sugām	Kontrole	6.70	10.89	5.77	7.79
	Minerālmēsli	6.84	9.35	5.07	7.09
	Pelni	7.26	8.86	5.52	7.21
	Digestāts 1×	7.22	9.40	5.29	7.30
	Digestāts 2×	6.56	10.08	5.05	7.23
2. lietošanas gads					
Miežabrālis	Kontrole	6.42	7.57	5.69	6.56
	Minerālmēsli	5.42	5.60	4.27	5.10
	Pelni	5.82	6.73	4.39	5.65
	Digestāts 1×	6.23	7.19	4.97	6.13
	Digestāts 2×	7.31	7.31	6.01	6.88
Auzeņairene	Kontrole	5.56	6.78	5.62	5.98
	Minerālmēsli	6.66	6.65	5.62	6.31
	Pelni	6.35	6.98	6.68	6.67
	Digestāts 1×	6.29	7.61	5.80	6.57
	Digestāts 2×	5.59	8.74	6.26	6.86
Vidēji abām sugām	Kontrole	5.99	7.17	5.66	6.27
	Minerālmēsli	6.04	6.12	4.95	5.70
	Pelni	6.09	6.86	5.54	6.16
	Digestāts 1×	6.26	7.40	5.38	6.35
	Digestāts 2×	6.45	8.03	6.14	6.87

11. pielikums

Oglekļa saturs zālaugu sausnā

Suga	Mēslojums	C, g kg^{-1}			
		1. zāle	2. zāle	rudens zāle	vidēji
1. lietošanas gads					
Miežabrālis	Kontrole	486.92	497.61	510.27	498.27
	Minerālmēsli	494.09	508.10	529.47	510.56
	Pelni	499.24	511.90	518.80	509.98
	Digestāts 1×	494.17	501.35	526.77	507.43
	Digestāts 2×	494.49	508.79	525.96	509.75
Auzeņairene	Kontrole	493.21	502.18	497.78	497.72
	Minerālmēsli	495.17	510.51	490.36	498.68
	Pelni	494.27	503.32	483.82	493.80
	Digestāts 1×	487.70	504.55	494.63	495.62
	Digestāts 2×	485.45	493.88	492.60	490.65
Vidēji abām sugām	Kontrole	490.06	499.90	504.02	497.99
	Minerālmēsli	494.63	509.31	509.91	504.62
	Pelni	496.75	507.61	501.31	501.89
	Digestāts 1×	490.93	502.95	510.70	501.53
	Digestāts 2×	489.97	501.34	509.28	500.20
2. lietošanas gads					
Miežabrālis	Kontrole	443.09	449.97	500.68	464.58
	Minerālmēsli	459.08	449.54	511.33	473.31
	Pelni	453.57	455.18	503.54	470.76
	Digestāts 1×	448.28	454.02	510.40	470.90
	Digestāts 2×	444.08	444.31	504.57	464.32
Auzeņairene	Kontrole	465.97	446.12	510.16	474.08
	Minerālmēsli	465.59	464.27	509.64	479.83
	Pelni	469.97	449.32	506.47	475.26
	Digestāts 1×	462.09	443.79	495.27	467.05
	Digestāts 2×	466.40	443.56	494.73	468.23
Vidēji abām sugām	Kontrole	454.53	448.04	505.42	469.33
	Minerālmēsli	462.33	456.91	510.49	476.57
	Pelni	461.77	452.25	505.01	473.01
	Digestāts 1×	455.18	448.91	502.84	468.97
	Digestāts 2×	455.24	443.93	499.65	466.27

12. pielikums

Sēra saturs zālaugu sausnā

Suga	Mēslojums	S, mg kg^{-1}			
		1. zāle	2. zāle	rudens zāle	vidēji
1. lietošanas gads					
Miežabrālis	Kontrole	827.04	3 506.72	879.56	1 737.77
	Minerālmēsli	1 338.93	3 685.95	1 663.89	2 229.59
	Pelni	1 010.44	2 498.62	926.30	1 478.45
	Digestāts 1×	750.49	2 186.14	1 140.50	1 359.04
	Digestāts 2×	621.94	2 857.06	740.08	1 406.36
Auzeņairene	Kontrole	857.54	1 782.12	1 028.89	1 222.85
	Minerālmēsli	1 358.66	1 970.89	1 017.11	1 448.89--
	Pelni	1 042.67	1 366.68	1 062.13	1 157.16
	Digestāts 1×	994.51	1 473.26	954.77	1 140.85
	Digestāts 2×	976.91	1 661.80	989.88	1 209.53
Vidēji abām sugām	Kontrole	842.29	2 644.42	954.22	1 480.31
	Minerālmēsli	1 348.79	2 828.42	1 340.50	1 839.24
	Pelni	1 026.55	1 932.65	994.21	1 317.80
	Digestāts 1×	872.50	1 829.70	1 047.64	1 249.95
	Digestāts 2×	799.42	2 259.43	864.98	1 307.94
2. lietošanas gads					
Miežabrālis	Kontrole	1 857.37	4 129.87	985.53	2 324.26
	Minerālmēsli	2 209.62	4 396.84	1 588.09	2 731.51
	Pelni	1 478.88	3 783.12	1 341.89	2 201.30
	Digestāts 1×	2 174.00	4 865.09	1 195.43	2 744.84
	Digestāts 2×	2 097.20	5 033.62	1 199.69	2 776.83
Auzeņairene	Kontrole	1 301.29	2 763.15	1 303.15	1 789.20
	Minerālmēsli	1 339.02	2 159.29	1 216.69	1 571.67
	Pelni	1 515.63	1 677.50	1 270.75	1 487.96
	Digestāts 1×	1 728.29	2 842.72	1 376.45	1 982.49
	Digestāts 2×	1 373.48	3 047.91	1 256.22	1 892.54
Vidēji abām sugām	Kontrole	1 579.33	3 446.51	1 144.34	2 056.73
	Minerālmēsli	1 774.32	3 278.06	1 402.39	2 151.59
	Pelni	1 497.26	2 730.31	1 306.32	1 844.63
	Digestāts 1×	1 951.15	3 853.90	1 285.94	2 363.66
	Digestāts 2×	1 735.34	4 040.77	1 227.95	2 334.69

13. pielikums

Slāpekļa saturs zālaugu sausnā

Suga	Mēslojums	N_{kop}, g kg^{-1}			
		1. zāle	2. zāle	rudens zāle	vidēji
1. lietošanas gads					
Miežabrālis	Kontrole	13.01	13.88	7.03	11.31
	Minerālmēsli	13.39	14.97	9.01	12.46
	Pelni	18.03	13.43	8.14	13.20
	Digestāts 1×	14.46	15.32	7.87	12.55
	Digestāts 2×	12.68	15.26	5.49	11.14
Auzeņairene	Kontrole	12.03	13.44	9.36	11.61
	Minerālmēsli	19.02	13.15	12.40	14.86
	Pelni	19.02	11.96	11.53	14.17
	Digestāts 1×	15.61	11.74	9.37	12.24
	Digestāts 2×	12.34	13.19	9.40	11.64
Vidēji abām sugām	Kontrole	12.52	13.66	8.20	11.46
	Minerālmēsli	16.20	14.06	10.70	13.66
	Pelni	18.53	12.70	9.84	13.69
	Digestāts 1×	15.03	13.53	8.62	12.39
	Digestāts 2×	12.51	14.22	7.44	11.39
2. lietošanas gads					
Miežabrālis	Kontrole	11.41	14.65	6.02	10.69
	Minerālmēsli	11.70	9.10	7.10	9.30
	Pelni	14.57	10.14	7.60	10.77
	Digestāts 1×	10.05	11.07	5.64	8.92
	Digestāts 2×	9.52	10.43	6.38	8.78
Auzeņairene	Kontrole	11.86	10.77	9.39	10.67
	Minerālmēsli	21.32	10.14	10.49	13.98
	Pelni	22.43	9.62	10.67	14.24
	Digestāts 1×	15.26	10.34	9.96	11.85
	Digestāts 2×	13.58	10.73	11.98	12.10
Vidēji abām sugām	Kontrole	11.63	12.71	7.71	10.68
	Minerālmēsli	16.51	9.62	8.80	11.64
	Pelni	18.50	9.88	9.14	12.50
	Digestāts 1×	12.66	10.70	7.80	10.39
	Digestāts 2×	11.55	10.58	9.18	10.44

14. pielikums

Kopproteīna saturs zālaugu sausnā

Suga	Mēslojums	Kopproteīna saturs, g kg^{-1}			
		1. zāle	2. zāle	rudens zāle	vidēji
1. lietošanas gads					
Miežabrālis	Kontrole	8.17	8.72	4.42	7.10
	Minerālmēsli	8.41	9.40	5.66	7.82
	Pelni	11.32	8.44	5.12	8.29
	Digestāts 1×	9.08	9.62	4.94	7.88
	Digestāts 2×	7.96	9.58	3.45	7.00
Auzeņairene	Kontrole	7.56	8.44	5.88	7.29
	Minerālmēsli	11.94	8.26	7.79	9.33
	Pelni	11.95	7.51	7.24	8.90
	Digestāts 1×	9.80	7.37	5.88	7.69
	Digestāts 2×	7.75	8.28	5.90	7.31
Vidēji abām sugām	Kontrole	7.86	8.58	5.15	7.20
	Minerālmēsli	10.17	8.83	6.72	8.58
	Pelni	11.63	7.97	6.18	8.60
	Digestāts 1×	9.44	8.50	5.41	7.78
	Digestāts 2×	7.86	8.93	4.67	7.15
2. lietošanas gads					
Miežabrālis	Kontrole	7.16	9.20	3.78	6.71
	Minerālmēsli	7.35	5.71	4.46	5.84
	Pelni	9.15	6.37	4.77	6.76
	Digestāts 1×	6.31	6.95	3.54	5.60
	Digestāts 2×	5.98	6.55	4.01	5.51
Auzeņairene	Kontrole	7.45	6.77	5.90	6.70
	Minerālmēsli	13.39	6.37	6.59	8.78
	Pelni	14.09	6.04	6.70	8.94
	Digestāts 1×	9.58	6.50	6.26	7.44
	Digestāts 2×	8.53	6.74	7.52	7.60
Vidēji abām sugām	Kontrole	7.31	7.98	4.84	6.71
	Minerālmēsli	10.37	6.04	5.53	7.31
	Pelni	11.62	6.20	5.74	7.85
	Digestāts 1×	7.95	6.72	4.90	6.52
	Digestāts 2×	7.25	6.64	5.77	6.55

15. pielikums

Kālija saturs zālaugu sausnā

Suga	Mēslojums	K, g kg^{-1}			
		1. zāle	2. zāle	rudens zāle	vidēji
1. lietošanas gads					
Miežabrālis	Kontrole	20.20	17.14	6.76	14.70
	Minerālmēsli	22.69	16.63	7.64	15.66
	Pelni	21.09	15.99	7.44	14.84
	Digestāts 1×	24.39	16.56	8.10	16.35
	Digestāts 2×	22.65	17.91	9.08	16.55
Auzeņairene	Kontrole	20.30	17.23	13.54	17.02
	Minerālmēsli	25.70	17.23	16.97	19.97
	Pelni	23.79	17.53	16.69	19.34
	Digestāts 1×	26.72	17.41	15.84	19.99
	Digestāts 2×	24.33	19.07	11.19	18.20
Vidēji abām sugām	Kontrole	20.25	17.18	10.15	15.86
	Minerālmēsli	24.20	16.93	12.31	17.81
	Pelni	22.44	16.76	12.06	17.09
	Digestāts 1×	25.56	16.98	11.97	18.17
	Digestāts 2×	23.49	18.49	10.13	17.37
2. lietošanas gads					
Miežabrālis	Kontrole	16.78	15.72	6.49	13.00
	Minerālmēsli	16.65	11.36	6.21	11.40
	Pelni	18.89	11.11	5.74	11.92
	Digestāts 1×	17.57	15.37	6.55	13.16
	Digestāts 2×	17.28	14.86	6.76	12.97
Auzeņairene	Kontrole	16.86	15.10	7.45	13.14
	Minerālmēsli	28.71	16.43	5.16	16.77
	Pelni	23.73	15.68	12.54	17.32
	Digestāts 1×	24.99	17.62	12.80	18.47
	Digestāts 2×	23.12	17.96	13.10	18.06
Vidēji abām sugām	Kontrole	16.82	15.41	6.97	13.07
	Minerālmēsli	22.68	13.90	5.68	14.09
	Pelni	21.31	13.40	9.14	14.62
	Digestāts 1×	21.28	16.49	9.68	15.82
	Digestāts 2×	20.20	16.41	9.93	15.51

16. pielikums

Fosfora saturs zālaugu sausnā

Suga	Mēslojums	P, g kg^{-1}			
		1. zāle	2. zāle	rudens zāle	vidēji
1. lietošanas gads					
Miežabrālis	Kontrole	2.42	3.19	1.66	2.42
	Minerālmēsli	2.27	2.77	1.14	2.06
	Pelni	2.20	2.69	1.08	1.99
	Digestāts 1×	2.50	3.23	1.36	2.37
	Digestāts 2×	2.46	3.42	1.06	2.31
Auzeņairene	Kontrole	2.19	2.21	1.40	1.93
	Minerālmēsli	2.11	2.05	1.42	1.86
	Pelni	2.08	1.71	1.30	1.70
	Digestāts 1×	2.42	1.89	1.30	1.87
	Digestāts 2×	2.24	1.89	1.29	1.80
Vidēji abām sugām	Kontrole	2.30	2.70	1.53	2.18
	Minerālmēsli	2.19	2.41	1.28	1.96
	Pelni	2.14	2.20	1.19	1.84
	Digestāts 1×	2.46	2.56	1.33	2.12
	Digestāts 2×	2.35	2.66	1.17	2.06
2. lietošanas gads					
Miežabrālis	Kontrole	2.68	2.69	2.57	2.65
	Minerālmēsli	2.1	2.30	1.55	1.98
	Pelni	2.20	2.40	1.47	2.02
	Digestāts 1×	2.62	2.91	2.02	2.52
	Digestāts 2×	2.80	3.06	2.02	2.63
Auzeņairene	Kontrole	2.29	2.08	1.76	2.04
	Minerālmēsli	1.92	2.00	0.69	1.54
	Pelni	2.01	1.66	2.16	1.95
	Digestāts 1×	2.19	1.94	1.99	2.04
	Digestāts 2×	2.06	2.44	2.13	2.21
Vidēji abām sugām	Kontrole	2.49	2.39	2.17	2.35
	Minerālmēsli	2.01	2.15	1.12	1.76
	Pelni	2.11	2.03	1.81	1.98
	Digestāts 1×	2.41	2.43	2.01	2.28
	Digestāts 2×	2.43	2.75	2.07	2.42

17. pielikums

Kalcija saturs zālaugu sausnā

Suga	Mēslojums	Ca, g kg^{-1}		
		1. zāle	2. zāle	vidēji
1. lietošanas gads				
Miežabrālis	Kontrole	1.09	1.83	1.46
	Minerālmēsli	1.02	1.84	1.43
	Pelni	1.26	1.92	1.59
	Digestāts 1×	1.05	2.01	1.53
	Digestāts 2×	1.17	1.98	1.58
Auzeņairene	Kontrole	1.10	1.53	1.31
	Minerālmēsli	1.42	1.72	1.57
	Pelni	2.06	1.79	1.93
	Digestāts 1×	1.61	1.64	1.63
	Digestāts 2×	1.18	1.63	1.40
Vidēji abām sugām	Kontrole	1.09	1.68	1.39
	Minerālmēsli	1.22	1.78	1.50
	Pelni	1.66	1.86	1.76
	Digestāts 1×	1.33	1.83	1.58
	Digestāts 2×	1.18	1.80	1.49
2. lietošanas gads				
Miežabrālis	Kontrole	0.61	2.04	0.88
	Minerālmēsli	0.57	1.09	0.55
	Pelni	0.84	1.11	0.65
	Digestāts 1×	0.50	1.06	0.52
	Digestāts 2×	0.47	1.23	0.57
Auzeņairene	Kontrole	0.85	1.76	0.87
	Minerālmēsli	1.22	1.60	0.94
	Pelni	1.61	1.52	1.04
	Digestāts 1×	1.13	1.47	0.87
	Digestāts 2×	0.90	1.58	0.83
Vidēji abām sugām	Kontrole	0.73	1.90	0.88
	Minerālmēsli	0.89	1.34	0.75
	Pelni	1.22	1.32	0.85
	Digestāts 1×	0.82	1.27	0.70
	Digestāts 2×	0.69	1.40	0.70

18. pielikums

Magnija saturs zālaugu sausnā

Suga	Mēslojums	Mg, g kg^{-1}		
		1. zāle	2. zāle	vidēji
1. lietošanas gads				
Miežabrālis	Kontrole	1.38	2.15	1.76
	Minerālmēsli	1.23	1.88	1.55
	Pelni	1.66	1.92	1.79
	Digestāts 1×	1.52	2.25	1.88
	Digestāts 2×	1.53	2.19	1.86
Auzeņairene	Kontrole	1.31	2.28	1.79
	Minerālmēsli	1.78	2.34	2.06
	Pelni	2.19	2.28	2.24
	Digestāts 1×	1.96	2.47	2.21
	Digestāts 2×	1.53	2.27	1.90
Vidēji abām sugām	Kontrole	1.34	2.21	1.78
	Minerālmēsli	1.51	2.11	1.81
	Pelni	1.92	2.10	2.01
	Digestāts 1×	1.74	2.36	2.05
	Digestāts 2×	1.53	2.23	1.88
2. lietošanas gads				
Miežabrālis	Kontrole	0.82	1.76	0.86
	Minerālmēsli	0.83	1.07	0.63
	Pelni	1.10	1.02	0.71
	Digestāts 1×	0.82	1.19	0.67
	Digestāts 2×	0.79	1.40	0.73
Auzeņairene	Kontrole	1.12	1.89	1.00
	Minerālmēsli	1.48	1.82	1.10
	Pelni	1.64	1.63	1.09
	Digestāts 1×	1.36	1.99	1.11
	Digestāts 2×	1.22	1.93	1.05
Vidēji abām sugām	Kontrole	0.97	1.82	0.93
	Minerālmēsli	1.15	1.45	0.87
	Pelni	1.37	1.33	0.90
	Digestāts 1×	1.09	1.59	0.89
	Digestāts 2×	1.01	1.66	0.89

19. pielikums

Pelnu, oglekļa un sēra saturs atšķirīgu pļāvumu zelmeņos vidēji divos lietošanas gados

Suga	Mēslojuma variants	1. zāle	2. zāle	Rudens zāle	Vidēji
Miežabrālis	Pelni (%)				
	Kontrole	6.45	9.38	5.56	7.13
	Minerālmēsli	5.70	7.54	4.15	5.80
	Pelni	6.24	7.87	4.48	6.20
	Digestāts 1×	6.30	8.86	4.77	6.64
	Digestāts 2×	6.67	8.92	5.18	6.92
Auzeņairene	Kontrole	6.24	8.69	5.87	6.93
	Minerālmēsli	7.18	7.93	5.87	6.99
	Pelni	7.11	7.84	6.58	7.18
	Digestāts 1×	7.19	7.94	5.90	7.01
	Digestāts 2×	6.34	9.19	6.01	7.18
Miežabrālis	Ogleklis (C, g kg^{-1})				
	Kontrole	465.01	473.79	505.47	481.42
	Minerālmēsli	476.58	478.82	520.40	491.94
	Pelni	476.40	483.54	511.17	490.37
	Digestāts 1×	471.22	477.69	518.58	489.17
	Digestāts 2×	469.29	476.55	515.26	487.03
Auzeņairene	Kontrole	479.59	474.15	503.97	485.90
	Minerālmēsli	480.38	487.39	500.00	489.26
	Pelni	482.12	476.32	495.15	484.53
	Digestāts 1×	474.89	474.17	494.95	481.34
	Digestāts 2×	475.93	468.72	493.66	479.44
Miežabrālis	Sērs (S, mg kg^{-1})				
	Kontrole	1 342.20	3 818.30	932.55	2 031.02
	Minerālmēsli	1 774.27	4 041.39	1 625.99	2 480.55
	Pelni	1 244.66	3 140.87	1 134.10	1 839.87
	Digestāts 1×	1 462.25	3 525.61	1 167.97	2 051.94
	Digestāts 2×	1 359.57	3 945.34	969.88	2 091.60
Auzeņairene	Kontrole	1 079.42	2 272.64	1 166.02	1 506.02
	Minerālmēsli	1 348.84	2 065.09	1 116.90	1 510.28
	Pelni	1 279.15	1 522.09	1 166.44	1 322.56
	Digestāts 1×	1 361.40	2 157.99	1 165.61	1 561.67
	Digestāts 2×	1 175.20	2 354.86	1 123.05	1 551.03

20. pielikums

Slāpekļa, fosfora, kālija saturs atšķirīgu pļāvumu zelmeņos vidēji divos lietošanas gados

Suga	Mēslojuma variants	1. zāle	2. zāle	Rudens zāle	Vidēji
Miežabrālis	Slāpeklis (N_{kop}, g kg^{-1})				
	Kontrole	12.21	14.26	6.53	11.00
	Minerālmēsli	12.54	12.04	8.05	10.88
	Pelni	16.30	11.79	7.87	11.99
	Digestāts 1×	12.25	13.19	6.75	10.73
	Digestāts 2×	11.10	12.84	5.94	9.96
Auzeņairene	Kontrole	11.95	12.11	9.38	11.14
	Minerālmēsli	20.17	11.65	11.45	14.42
	Pelni	20.73	10.79	11.10	14.21
	Digestāts 1×	15.43	11.04	9.66	12.05
	Digestāts 2×	12.96	11.96	10.69	11.87
Miežabrālis	Fosfors (P, g kg^{-1})				
	Kontrole	2.55	2.94	2.12	2.54
	Minerālmēsli	2.18	2.53	1.34	2.02
	Pelni	2.20	2.54	1.27	2.01
	Digestāts 1×	2.56	3.07	1.69	2.44
	Digestāts 2×	2.63	3.24	1.54	2.47
Auzeņairene	Kontrole	2.24	2.15	1.58	1.99
	Minerālmēsli	2.02	2.03	0.69	1.58
	Pelni	2.05	1.69	1.73	1.82
	Digestāts 1×	2.31	1.91	1.65	1.96
	Digestāts 2×	2.15	2.16	1.71	2.01
Miežabrālis	Kālijs (K, g kg^{-1})				
	Kontrole	18.49	16.43	6.62	13.85
	Minerālmēsli	19.67	14.00	6.93	13.53
	Pelni	19.99	13.55	6.59	13.38
	Digestāts 1×	20.98	15.96	7.32	14.76
	Digestāts 2×	19.96	16.39	7.92	14.76
Auzeņairene	Kontrole	18.58	16.17	10.50	15.08
	Minerālmēsli	27.20	16.83	6.62	16.88
	Pelni	23.76	16.61	14.61	18.33
	Digestāts 1×	25.85	17.52	14.32	19.23
	Digestāts 2×	23.72	18.51	12.14	18.13

21. pielikums

Kalcija un magnija saturs atšķirīgu pļāvumu zelmeņos vidēji divos lietošanas gados

Suga	Mēslojuma variants	1. zāle	2. zāle	Vidēji
Miežabrālis	Kalcijs (Ca, g kg^{-1})			
	Kontrole	0.85	1.94	0.93
	Minerālmēsli	0.79	1.47	0.75
	Pelni	1.05	1.52	0.86
	Digestāts 1×	0.78	1.54	0.77
	Digestāts 2×	0.82	1.61	0.81
Auzeņairene	Kontrole	0.97	1.65	0.87
	Minerālmēsli	1.32	1.66	0.99
	Pelni	1.83	1.66	1.16
	Digestāts 1×	1.37	1.56	0.98
	Digestāts 2×	1.04	1.60	0.88
Miežabrālis	Magnijs (Mg, g kg^{-1})			
	Kontrole	1.10	1.95	1.02
	Minerālmēsli	1.03	1.47	0.83
	Pelni	1.38	1.47	0.95
	Digestāts 1×	1.17	1.72	0.96
	Digestāts 2×	1.16	1.80	0.99
Auzeņairene	Kontrole	1.21	2.08	1.10
	Minerālmēsli	1.63	2.08	1.24
	Pelni	1.91	1.95	1.29
	Digestāts 1×	1.66	2.23	1.29
	Digestāts 2×	1.37	2.10	1.16

Pelnu, oglekļa un sēra saturs zālaugu lapās un stiebros vidēji divos lietošanas gados

Suga	Mēsloj. variants	1. pļāvums		Rudens pļāvums		Vidēji		2. pļāv. zelm.
		lapas	stiebri	lapas	stiebri	lapas	stiebri	
Miežabrālis	Pelni, %							
	Kontrole	7.68	5.92	7.00	4.94	7.34	5.43	9.38
	Minerālmēsli	7.81	5.29	6.04	3.40	6.92	4.35	7.54
	Pelni	7.68	5.91	6.34	3.76	7.01	4.84	7.87
	Digestāts 1×	7.74	5.77	5.72	4.35	6.73	5.06	8.86
	Digestāts 2×	7.76	6.35	6.17	4.78	6.97	5.57	8.92
Auzeņairene	Kontrole	8.15	5.01	7.57	3.84	7.86	4.43	8.69
	Minerālmēsli	8.97	6.26	6.52	2.93	7.75	4.59	7.93
	Pelni	8.87	5.96	7.43	4.15	8.15	5.05	7.84
	Digestāts 1×	8.68	6.12	7.22	2.97	7.95	4.54	7.94
	Digestāts 2×	7.88	5.43	7.02	3.53	7.45	4.48	9.19
Miežabrālis	Ogleklis (C, g kg^{-1})							
	Kontrole	466.75	460.87	504.54	505.93	485.64	483.40	473.79
	Minerālmēsli	475.96	473.32	506.64	525.81	491.30	499.56	478.82
	Pelni	481.77	471.99	508.11	512.40	494.94	492.19	483.54
	Digestāts 1×	464.92	469.55	499.68	526.62	482.30	498.08	477.69
	Digestāts 2×	469.74	465.28	496.95	522.64	483.34	493.96	476.55
Auzeņairene	Kontrole	458.10	474.16	485.53	525.55	471.81	499.86	474.15
	Minerālmēsli	461.48	473.95	482.09	539.44	471.78	506.69	487.39
	Pelni	471.23	469.16	486.35	519.93	478.79	494.55	476.32
	Digestāts 1×	460.88	470.08	479.47	528.27	470.18	499.17	474.17
	Digestāts 2×	454.72	469.88	477.70	531.44	466.21	500.66	468.72
Miežabrālis	Sērs (S, mg kg^{-1})							
	Kontrole	2 312.8	875.3	1 266.8	786.8	1 789.8	831.0	3 818.3
	Minerālmēsli	4 410.0	1 237.6	2 316.1	1 361.8	3 363.0	1 299.7	4 041.4
	Pelni	2 703.4	843.6	1 523.1	985.1	2 113.2	914.35	3 140.9
	Digestāts 1×	2 422.8	1 045.4	1 101.3	1 194.0	1 762.1	1 119.7	3 525.6
	Digestāts 2×	2 465.8	956.3	1 345.1	817.3	1 905.4	886.8	3 945.3
Auzeņairene	Kontrole	1 382.9	512.6	1 380.2	658.0	1 381.5	585.3	2 272.6
	Minerālmēsli	1 990.2	612.9	1 342.8	763.0	1 666.5	688.0	2 065.1
	Pelni	1 646.3	625.5	1 270.0	846.4	1 458.1	736.0	1 522.1
	Digestāts 1×	1 934.6	612.8	1 391.7	647.0	1 663.2	629.9	2 158.0
	Digestāts 2×	1 737.7	472.6	1 360.6	529.0	1 549.2	500.8	2 354.9

23. pielikums

Slāpekļa, fosfora un kālija saturs zālaugu lapās un stiebros vidēji divos lietošanas gados

Suga	Mēsloj. variants	1.pļāvums		Rudens pļāvums		Vidēji		2.pļāv. zelm.
		Lapas	Stiebri	Lapas	Stiebri	Lapas	Stiebri	
Miežabrālis	Slāpeklis (N_{kop}, g kg^{-1})							
	Kontrole	20.11	8.33	10.68	4.73	15.40	6.53	14.26
	Minerālmēsli	27.09	9.30	14.71	5.46	20.90	7.38	12.04
	Pelni	32.27	12.13	13.77	5.62	23.02	8.88	11.79
	Digestāts 1×	21.72	8.08	9.63	5.51	15.67	6.80	13.19
	Digestāts 2×	20.47	7.56	10.37	4.13	15.42	5.85	12.84
Auzeņairene	Kontrole	15.06	6.81	13.15	3.51	14.10	5.16	12.11
	Minerālmēsli	28.31	13.49	14.78	4.90	21.55	9.20	11.65
	Pelni	30.10	11.72	13.07	5.41	21.59	8.57	10.79
	Digestāts 1×	21.79	7.98	12.46	3.38	17.13	5.68	11.04
	Digestāts 2×	18.12	6.83	13.48	3.94	15.80	5.38	11.96
Miežabrālis	Fosfors (P, g kg^{-1})							
	Kontrole	2.34	2.61	1.94	2.20	2.14	2.41	2.94
	Minerālmēsli	2.47	2.08	1.68	1.21	2.08	1.65	2.53
	Pelni	2.45	2.10	1.68	1.12	2.07	1.61	2.54
	Digestāts 1×	2.63	2.50	1.81	1.64	2.22	2.07	3.07
	Digestāts 2×	2.66	2.59	1.77	1.45	2.22	2.02	3.24
Auzeņairene	Kontrole	2.14	2.03	2.24	0.78	2.19	1.40	2.15
	Minerālmēsli	2.03	1.67	1.90	0.48	1.96	1.08	2.03
	Pelni	2.04	1.67	2.07	0.79	2.06	1.23	1.69
	Digestāts 1×	2.42	1.98	2.11	0.69	2.26	1.33	1.91
	Digestāts 2×	1.97	1.97	2.14	0.73	2.06	1.35	2.16
Miežabrālis	Kālijs (K, g kg^{-1})							
	Kontrole	18.87	18.51	5.39	7.19	12.13	12.85	16.43
	Minerālmēsli	22.14	19.46	6.36	7.18	14.25	13.32	14.00
	Pelni	20.60	20.10	6.62	6.61	13.61	13.36	13.55
	Digestāts 1×	22.90	20.60	6.00	7.92	14.45	14.26	15.96
	Digestāts 2×	21.56	19.74	6.11	8.69	13.83	14.21	16.39
Auzeņairene	Kontrole	20.05	18.96	16.33	5.62	18.19	12.29	16.17
	Minerālmēsli	32.63	26.81	17.03	9.31	24.83	18.06	16.83
	Pelni	27.20	23.80	17.13	8.44	22.17	16.12	16.61
	Digestāts 1×	29.53	25.11	18.05	7.29	23.79	16.20	17.52
	Digestāts 2×	27.95	23.39	15.18	5.75	21.56	14.57	18.51

24. pielikums

Kalcija un magnija saturs lapās un stiebros vidēji divos lietošanas gados

Suga	Mēslojuma variants	1. pļāvums		2. pļāvuma zelmenis
		lapas	stiebri	
Kalcijs (Ca, g kg^{-1})				
Miežabrālis	Kontrole	2.13	0.28	1.94
	Minerālmēsli	3.09	0.35	1.47
	Pelni	3.35	0.49	1.52
	Digestāts 1×	2.03	0.28	1.54
	Digestāts 2×	2.25	0.36	1.61
Auzeņairene	Kontrole	1.94	0.29	1.65
	Minerālmēsli	2.51	0.55	1.66
	Pelni	3.38	0.73	1.66
	Digestāts 1×	2.34	0.57	1.56
	Digestāts 2×	2.01	0.39	1.60
Magnijs (Mg, g kg^{-1})				
Miežabrālis	Kontrole	2.25	0.56	1.95
	Minerālmēsli	2.71	0.67	1.47
	Pelni	3.24	0.91	1.47
	Digestāts 1×	2.39	0.66	1.72
	Digestāts 2×	2.52	0.69	1.80
Auzeņairene	Kontrole	1.77	0.66	2.08
	Minerālmēsli	2.27	1.12	2.08
	Pelni	2.70	1.25	1.95
	Digestāts 1×	2.25	1.08	2.23
	Digestāts 2×	1.91	0.89	2.10

25. pielikums

Miežabrāļa sausnas ķīmiskais sastāvs mēslojuma ietekmē vidēji visos pļāvumos divos lietošanas gados

Mēslošanas variants	Pelni, %	C, g kg^{-1}	S, mg kg^{-1}	N, g kg^{-1}	K, g kg^{-1}	P, g kg^{-1}	Ca, g kg^{-1}	Mg, g kg^{-1}
F/F_{05}	0.8/2.6	0.8/2.6	2.2/2.6	1.2/2.6	1.1/2.6	3.6/2.6	2.5/2.9	3.0/2.9
N0	6.75	475.52	1 254.4	14.27	15.77	2.47	1.58	1.81
N30	6.21	480.04	923.7	15.11	16.79	2.27	1.38	1.73
N60	6.83	471.44	789.6	13.41	15.87	2.10	1.20	1.43
N60 (30+30)	6.77	475.78	903.1	13.98	17.40	2.29	1.55	1.98
N90 (30+30+30)	6.56	476.58	913.7	14.78	16.43	2.22	1.35	1.68
N120 (40+40+40)	6.53	474.99	956.7	15.18	16.95	2.26	1.66	2.01
N150 (50+50+50)	6.38	469.87	994.3	13.67	15.52	2.05	1.29	1.55
$Rs_{0.05}$	0.73	11.04	284.09	1.89	1.99	0.21	0.33	0.38

26. pielikums

Miežabrāļa sausnas atsevišķu struktūrelementu ķīmiskais sastāvs atšķirīgos pļāvumos vidēji divos lietošanas gados

Faktori AB*	Pelni, %	C, g kg^{-1}	S, mg kg^{-1}	$N_{kop.}$, g kg^{-1}	K, g kg^{-1}	P, g kg^{-1}
F/F_{05}	28.6/4.1	30.0/4.1	1.8/4.1	8.9/4.1	2.6/4.1	39.6/4.1
1. pļāvuma lapas	7.63	496.79	911.88	24.68	27.56	2.24
1. pļāvuma stiebri	6.34	472.06	499.66	14.15	25.84	2.47
Rudens pļāvuma lapas	7.54	481.85	1 022.42	13.93	7.63	1.85
Rudens pļāvuma stiebri	4.70	478.72	483.75	6.46	7.64	1.45
Rs $AB_{0.05}$	0.42	5.68	133.76	1.47	1.54	0.14

*A – pļāvums; B – zelmeņa frakcija

Miežabrāļa zelmeņa ķīmiskais sastāvs atšķirīgos pļāvumos un mēslošanas variantos vidēji divos lietošanas gados

Faktori AB*		Pelni, %	C, g kg^{-1}	S, mg kg^{-1}	$N_{kop.}$, g kg^{-1}	K, g kg^{-1}	P, g kg^{-1}	Ca, g kg^{-1}	Mg, g kg^{-1}
F/F_{05}		2.1/2.3	0.7/2.3	1.4/2.3	1.4/2.3	1.6/2.3	6.2/2.3	3.3/2.9	4.0/2.9
1. pļāvums	N0	5.95	478.33	659.45	14.92	23.78	2.21	1.05	1.23
	N30	6.74	479.54	714.47	16.93	27.33	2.55	1.24	1.66
	N60	6.30	483.48	486.09	14.88	25.17	2.34	1.26	1.57
	N60 (30+30)	7.37	478.19	463.70	18.01	28.9	2.61	1.41	1.96
	N90 (30+30+30)	6.88	478.75	608.49	18.06	27.55	2.52	1.28	1.76
	N120 (40+40+40)	6.65	472.88	648.66	17.55	26.98	2.41	1.38	1.73
	N150 (50+50+50)	6.53	474.28	592.32	15.70	23.68	2.28	1.24	1.52
2. pļāvums	N0	8.25	468.81	2 346.15	18.33	15.19	3.47	2.11	2.39
	N30	6.88	475.58	1 429.45	18.33	15.23	2.83	1.52	1.81
	N60	7.18	461.40	1 205.23	15.43	13.78	2.14	1.14	1.29
	N60 (30+30)	7.20	469.59	1 581.36	14.76	15.96	2.71	1.68	2.00
	N90 (30+30+30)	7.06	469.95	1 428.09	17.02	14.14	2.58	1.41	1.61
	N120 (40+40+40)	7.81	470.07	1 621.76	19.07	16.56	2.91	1.94	2.29
	N150 (50+50+50)	6.79	452.47	1 610.16	17.13	16.37	2.19	1.35	1.57
Rudens pļāvums	N0	6.05	479.41	757.65	9.55	8.34	1.72	–	–
	N30	5.00	485.00	627.30	10.08	7.80	1.44	–	–
	N60	7.02	469.43	677.42	9.93	8.66	1.83	–	–
	N60 (30+30)	5.74	479.57	664.13	9.18	7.26	1.54	–	–
	N90 (30+30+30)	5.75	481.04	704.59	9.28	7.59	1.56	–	–
	N120 (40+40+40)	5.15	482.01	599.57	8.93	7.31	1.47	–	–
	N150 (50+50+50)	5.83	482.86	780.36	8.19	6.50	1.68	–	–
Rs $AB_{0.05}$		1.26	19.12	492.06	3.28	3.44	0.37	0.46	0.53

*A – pļāvums; B – mēslojums

28. pielikums

Slāpekļa (N_{kop}) iznese ar sausnas ražu, kg ha^{-1}

Su-ga	Mēsl. var.	1. pļāvums		2. pļāvums		Kopā 2 pļāv.		Rudens pļāv.	
		2013	2014	2013	2014	2013	2014	2013	2014
Miežabrālis	Kontrole	35.07	28.49	19.24	25.26	54.31	53.75	44.69	33.32
	Minerālmēsli	76.78	81.95	31.20	36.38	107.99	118.32	77.17	61.00
	Pelni	107.14	107.28	35.35	35.99	142.49	143.27	81.37	54.95
	Digestāts 1×	65.73	64.35	27.12	31.71	92.85	96.06	58.52	53.99
	Digestāts 2×	56.89	45.90	26.14	32.35	83.02	78.25	42.06	39.03
Auzeņairene	Kontrole	24.82	6.38	7.31	7.80	32.13	14.17	33.12	11.14
	Minerālmēsli	60.70	38.42	14.02	21.43	74.72	59.85	92.10	65.35
	Pelni	74.98	36.33	12.89	22.37	87.87	58.69	89.09	65.26
	Digestāts 1×	48.35	21.70	8.75	10.33	57.10	32.03	57.37	26.70
	Digestāts 2×	36.33	18.51	10.81	13.06	47.14	31.57	49.91	23.31

29. pielikums

Fosfora (P_2O_5) iznese ar sausnas ražu, kg ha^{-1}

Su-ga	Mēsl. var.	1. pļāvums		2. pļāvums		Kopā 2 pļāv.		Rudens pļāv.	
		2013	2014	2013	2014	2013	2014	2013	2014
Miežabrālis	Kontrole	13.77	11.19	10.13	13.30	23.9	24.5	25.49	19.00
	Minerālmēsli	31.53	33.65	13.23	15.42	44.8	49.1	28.06	22.18
	Pelni	31.58	31.62	16.22	16.52	47.8	48.1	31.60	21.34
	Digestāts 1×	25.31	24.77	13.10	15.32	38.4	40.1	23.00	21.22
	Digestāts 2×	22.71	18.33	13.42	16.61	36.1	34.9	21.76	20.20
Auzeņairene	Kontrole	10.59	2.72	2.62	2.79	13.2	5.5	8.92	3.00
	Minerālmēsli	15.57	9.86	5.01	7.66	20.6	17.5	15.14	10.75
	Pelni	18.88	9.15	4.22	7.33	23.1	16.5	13.28	9.73
	Digestāts 1×	17.17	7.71	3.23	3.81	20.4	11.5	13.04	6.07
	Digestāts 2×	14.97	7.63	3.55	4.29	18.5	11.9	13.14	6.14

30. pielikums

Kālija (K_2O) iznese ar sausnas ražu, kg ha^{-1}

Su-ga	Mēslošanas variants	1. pļāvums		2. pļāvums		Kopā 2 pļāv.		Rudens pļāvums	
		2013	2014	2013	2014	2013	2014	2013	2014
Miežabrālis	Kontrole	65.61	53.31	28.63	37.59	94.2	90.9	51.79	38.61
	Minerālmēsli	156.79	167.33	41.77	48.70	198.6	216.0	78.85	62.33
	Pelni	151.02	151.21	50.71	51.64	201.7	202.8	89.62	60.52
	Digestāts 1×	133.59	130.79	35.32	41.31	168.9	172.1	72.58	66.96
	Digestāts 2×	122.44	98.80	36.96	45.75	159.4	144.6	83.82	77.79
Auzeņairene	Kontrole	50.46	12.96	11.30	12.04	61.8	25.0	57.73	19.42
	Minerālmēsli	98.83	62.56	22.13	33.84	121.0	96.4	151.88	107.77
	Pelni	113.01	54.75	22.76	39.50	135.8	94.3	155.40	113.83
	Digestāts 1×	99.73	44.75	15.64	18.46	115.4	63.2	116.86	54.40
	Digestāts 2×	86.32	43.98	18.83	22.75	105.1	66.7	71.59	33.44

31. pielikums

Slāpekļa iznese mikroizmēģinājumā (pa pļāvumiem), kg ha^{-1}

Mēslošanas variants	1. pļāvums				2. pļāvums			
	1. l.g.	2. l.g.	3. l.g.	vidēji	1. l.g.	2. l.g.	3. l.g.	vidēji
N0	69.97	28.12	37.85	45.31	43.59	37.57	26.45	35.87
N30	115.29	48.87	59.36	74.51	42.17	44.32	30.56	39.02
N60	124.53	62.39	66.04	84.32	47.42	52.80	28.52	42.91
N60 (30+30)	101.04	63.33	60.86	75.08	45.40	44.89	23.14	37.81
N90 (30+30+30)	122.06	76.84	86.26	95.05	53.11	52.02	34.80	46.64
N120 (40+40+40)	135.33	85.83	79.08	100.08	62.43	67.34	44.64	58.13
N150 (50+50+50)	112.34	86.84	81.67	93.62	53.68	59.24	42.47	51.79
$Rs_{0.05}$	12.79	19.99	16.55	8.73	8.45	18.28	11.59	9.71

32. pielikums

Slāpekļa iznese mikroizmēģinājumā (atkarībā no pļaušanas režīma), kg ha^{-1}

Mēslošanas variants	Divu pļāvumu režīms				Viena pļāvuma režīms			
	1. l.g.	2. l.g.	3. l.g.	vidēji	1. l.g.	2. l.g.	3. l.g.	vidēji
N0	113.57	65.69	64.31	81.19	55.56	61.87	56.29	69.56
N30	157.46	93.18	89.92	113.52	91.17	97.59	91.01	93.51
N60	171.95	115.19	94.57	127.24	97.32	117.44	89.20	103.70
N60 (30+30)	146.44	108.23	84.00	112.89	78.58	105.13	98.98	95.39
N90 (30+30+30)	175.18	128.86	121.06	141.70	88.69	123.27	106.04	102.31
N120 (40+40+40)	197.76	153.16	123.72	158.21	95.51	102.04	91.50	97.37
N150 (50+50+50)	166.02	146.07	124.14	145.41	98.26	114.18	98.75	96.23
$Rs_{0.05}$	13.09	34.90	24.22	16.29	10.88	19.22	21.29	15.63

33. pielikums

Fosfora (P_2O_5) iznese mikroizmēģinājumā (pa pļāvumiem), kg ha^{-1}

Mēslošanas variants	1. pļāvums				2. pļāvums			
	1. l.g.	2. l.g.	3. l.g.	vidēji	1. l.g.	2. l.g.	3. l.g.	vidēji
N0	22.97	25.58	23.27	26.32	13.45	11.59	8.16	11.07
N30	29.87	31.97	29.82	33.33	14.90	15.66	10.80	13.79
N60	41.02	49.50	37.60	42.54	15.09	16.80	9.08	13.66
N60 (30+30)	30.15	40.34	37.98	36.61	19.08	18.87	9.72	15.89
N90 (30+30+30)	34.05	47.33	40.72	39.10	18.48	18.10	12.10	16.23
N120 (40+40+40)	36.05	38.52	34.54	39.45	21.85	23.57	15.62	20.35
N150 (50+50+50)	46.07	53.53	46.30	43.47	15.70	17.32	12.42	15.15
$Rs_{0.05}$	4.56	8.21	8.04	7.48	2.95	6.67	4.05	3.36

34. pielikums

Fosfora (P_2O_5) iznese mikroizmēģinājumā (atkarībā no pļaušanas režīma), kg ha^{-1}

Mēslošanas variants	Divu pļāvumu režīms				Viena pļāvuma režīms			
	1. l.g.	2. l.g.	3. l.g.	vidēji	1. l.g.	2. l.g.	3. l.g.	vidēji
N0	37.22	21.14	21.02	26.46	22.97	25.58	23.27	26.32
N30	54.70	32.53	31.29	39.51	29.87	31.97	29.82	33.33
N60	60.01	39.31	32.90	44.07	41.02	49.50	37.60	42.54
N60 (30+30)	52.69	39.93	29.97	40.86	30.15	40.34	37.98	36.61
N90 (30+30+30)	57.57	42.71	39.73	46.67	34.05	47.33	40.72	39.10
N120 (40+40+40)	64.40	50.55	40.49	51.81	36.05	38.52	34.54	39.45
N150 (50+50+50)	53.06	46.20	39.58	46.28	46.07	53.53	46.30	43.47
$Rs_{0.05}$	4.63	11.71	8.14	5.44	4.56	8.21	8.04	7.48

35. pielikums

Kālija (K_2O) iznese mikroizmēģinājumā (pa pļāvumiem), kg ha^{-1}

Mēslošanas variants	1. pļāvums				2. pļāvums			
	1. l.g.	2. l.g.	3. l.g.	vidēji	1. l.g.	2. l.g.	3. l.g.	vidēji
N0	134.25	53.95	72.62	86.94	43.50	37.49	26.40	35.80
N30	224.07	94.98	115.38	144.81	42.21	44.35	30.58	39.05
N60	253.71	127.12	134.56	171.79	51.00	56.78	30.68	46.15
N60 (30+30)	195.83	122.75	117.95	145.51	59.13	58.47	30.14	49.25
N90 (30+30+30)	224.27	141.18	158.49	174.64	53.12	52.02	34.80	46.65
N120 (40+40+40)	250.48	158.86	146.37	185.24	65.27	70.41	46.67	60.78
N150 (50+50+50)	203.99	157.67	148.29	169.99	61.78	68.18	48.88	59.62
$Rs_{0.05}$	24.42	37.40	30.91	16.50	9.28	21.07	11.67	10.55

Kālija (K_2O) iznese mikroizmēģinājumā (atkarībā no pļaušanas režīma), kg ha^{-1}

Mēslošanas variants	Divu pļāvumu režīms				Viena pļāvuma režīms			
	1. l.g.	2. l.g.	3. l.g.	vidēji	1. l.g.	2. l.g.	3. l.g.	vidēji
N0	177.75	91.44	99.02	122.74	58.41	65.04	59.17	69.74
N30	266.28	139.33	145.96	183.86	85.00	90.98	84.84	90.56
N60	304.71	183.90	165.23	217.95	102.21	123.34	93.69	105.84
N60 (30+30)	254.96	181.22	148.10	194.76	74.76	100.03	94.18	91.83
N90 (30+30+30)	277.39	193.20	193.29	221.29	87.32	121.37	104.41	100.76
N120 (40+40+40)	315.75	229.26	193.04	246.02	94.14	100.59	90.20	95.08
N150 (50+50+50)	265.77	225.85	197.18	229.60	93.87	109.07	94.34	93.96
$Rs_{0.05}$	24.30	52.93	37.27	23.57	10.98	19.02	20.54	14.33

37. pielikums

Slāpekļa izmantošanās efektivitāte – ražas indekss (N_R)

Suga	Mēslošanas variants	Viena pļāvuma režīms				Divu pļāvumu režīms			
		1. l.g.	2. l.g.	3. l.g.	vidēji	1. l.g.	2. l.g.	3. l.g.	vidēji
Miežabrālis	Minerālmēsli	85.6	67.7	89.9	81.1	78.2	85.4	73.6	79.1
	Pelni	100.0	67.5	74.9	80.8	85.7	86.2	72.1	81.4
	Digestāts 1×	74.4	68.6	44.1	62.4	63.2	65.2	43.0	57.1
	Digestāts 2×	76.6	71.1	45.2	64.3	62.0	57.4	49.7	56.4
	Vidēji	84.2	68.7	63.5	72.2	72.3	73.6	59.6	68.5
Auzeņairene	Minerālmēsli	74.3	52.7	78.6	68.5	42.6	36.5	72.9	50.6
	Pelni	77.3	56.6	76.8	70.2	50.2	37.8	72.1	53.4
	Digestāts 1×	61.2	28.5	41.9	43.9	38.4	22.7	47.8	36.3
	Digestāts 2×	53.1	24.8	41.6	39.8	37.6	24.9	51.5	38.0
	Vidēji	66.5	40.7	59.7	55.6	42.2	30.5	61.1	44.6

Slāpekļa izmantošanās agronomiskā efektivitāte (N_{AE})

Suga	Mēslošanas variants	Viena pļāvuma režīms				Divu pļāvumu režīms			
		1.l.g.	2.l.g.	3.l.g.	Vidēji	1.l.g.	2.l.g.	3.l.g.	vidēji
Miežabrālis	Minerālmēsli	22.0	20.3	62.8	35.1	37.4	45.3	38.3	40.4
	Pelni	36.4	20.1	47.8	34.8	44.9	46.1	36.8	42.7
	Digestāts 1×	10.8	21.2	17.0	16.4	22.4	25.1	7.7	18.4
	Digestāts 2×	13.0	23.7	18.1	18.3	21.2	17.3	14.4	17.7
	Vidēji	20.6	21.3	36.4	26.2	31.5	33.5	24.3	29.8
Auzeņairene	Minerālmēsli	38.9	40.8	52.9	44.2	16.5	25.4	47.4	29.7
	Pelni	41.9	44.7	51.1	45.9	24.1	26.7	46.6	32.5
	Digestāts 1×	25.8	16.6	16.2	19.6	12.3	11.6	22.3	15.4
	Digestāts 2×	17.7	12.9	15.9	15.5	11.5	13.8	26.0	17.1
	Vidēji	31.1	28.8	34.0	31.3	16.1	19.4	35.6	23.7

Slāpekļa "šķietamā izmantošanās" ($N_{šķ}$) atšķirīgos pļaušanas režīmos

Variants	1. liet.g.		2. liet.g.		3. liet.g.		Vidēji 3 gados	
	2×*	1×**	2×	1×	2×	1×	2×	1×
Miežabrālis								
Minerālmēsli	53.7	32.5	64.6	27.7	54.9	61.9	57.7	40.7
Pelni	88.2	36.7	89.5	21.6	72.2	41.9	83.3	33.4
Digestāts 1×	38.5	13.8	42.3	20.7	16.3	15.7	32.4	16.7
Digestāts 2×	28.7	2.6	24.5	5.7	20.4	5.8	24.5	2.9
Auzeņairene								
Minerālmēsli	42.6	59.0	45.7	54.2	94.8	73.4	61.0	62.2
Pelni	55.7	56.0	44.5	54.1	93.1	64.5	64.5	58.2
Digestāts 1×	25.0	24.2	17.9	15.6	38.1	15.2	27.0	18.3
Digestāts 2×	15.0	16.8	17.4	12.2	32.9	15.0	21.8	14.7

* – divu pļāvumu režīms
** – viena pļāvuma režīms

41. pielikums

Slāpekļa "šķietamā izmantošanās" ($N_{šķ}$) vidēji divos pļaušanas režīmos

Suga	Variants	1. liet.g.	2. liet.g.	3. liet.g.	Vidēji 3 gados
Miežabrālis	Minerālmēsli	43.1	46.1	58.4	49.2
	Pelni	62.4	55.6	57.1	58.4
	Digestāts 1×	26.2	31.5	16.0	24.5
	Digestāts 2×	13.0	15.1	13.1	13.7
Auzeņairene	Minerālmēsli	50.8	49.9	84.1	61.6
	Pelni	55.9	49.3	78.8	61.3
	Digestāts 1×	24.6	16.7	26.6	22.7
	Digestāts 2×	15.9	14.8	24.0	18.2

Slāpekļa izmantošanaā efektivitāte - ražas indekss (N_R) mikroizmēģinājumā

Mēslošanas variants	Divu pļāvumu režīms				Viena pļāvuma režīms			
	1. l.g.	2. l.g.	3. l.g.	vidēji	1. l.g.	2. l.g.	3. l.g.	vidēji
N30	301.7	322.7	301.0	308.3	303.7	176.7	172.3	217.7
N60	163.5	197.2	149.8	170.2	190.7	127.0	104.8	140.8
N30×2	142.7	190.8	179.7	171.0	144.8	109.3	82.5	112.2
N30×3	106.2	147.6	127.0	126.9	109.8	81.2	75.8	89.0
N40×3	89.1	95.2	85.3	89.8	91.5	70.2	57.1	72.9
N50×3	80.0	92.9	80.4	84.5	68.6	59.9	51.2	59.9
Vidēji	147.2	174.4	153.9	158.4	151.5	104.1	90.6	115.4

43. pielikums

Slāpekļa izmantošanās agronomiskās efektivitātes (N_{AE}) indekss mikroizmēģinājumā

Mēslošanas variants	Divu pļāvumu režīms				Viena pļāvuma režīms			
	1. l.g.	2. l.g.	3. l.g.	vidēji	1. l.g.	2. l.g.	3. l.g.	vidēji
N30	107.7	106.7	104.7	106.3	68.0	45.7	39.7	51.3
N60	66.5	89.2	51.7	69.2	72.8	61.5	38.5	57.7
N60 (30+30)	45.7	82.8	81.5	70.0	27.0	43.8	16.2	29.0
N90 (30+30+30)	41.6	75.6	61.6	59.6	31.2	37.6	31.6	33.6
N120 (40+40+40)	40.6	41.2	36.3	39.3	32.6	37.4	23.9	31.3
N150 (50+50+50)	41.2	49.7	41.1	44.1	21.5	33.7	24.7	26.7
Vidēji	57.2	74.2	62.8	64.7	42.2	43.3	29.1	38.3

Augsnes agroķīmiskie rādītāji Pardenču laukā 2012. gadā

Mēsloš. variants	C_{kop}, g kg^{-1}	Org.viela, %	pH H_2O	pH KCl	P_2O_5, mg kg^{-1}	K_2O, mg kg^{-1}
Miežabrālis						
Kontrole	24.58±2.98	4.24±0.51	6.58±0.13	5.45±0.17	96.34±19.38	122.24±15.66
Minerālmēsli	27.78±2.68	4.8±0.46	6.75±0.14	5.75±0.15	106.48±22.41	143.98±24.20
Pelni	24.63±1.74	4.25±0.30	6.88±0.13	5.88±0.13	91.87±13.71	123.89±8.89
Digestāts 1×	25.4±4.31	4.39±0.74	6.45±0.09	5.58±0.13	75.38±22.00	129.86±9.72
Digestāts 2×	23.45±0.73	4.05±0.13	6.65±0.10	5.80±0.20	117.76±31.67	164.28±21.69
$Rs_{0.05}$	7.13	1.23	0.36	0.41	64.35	52.26
Auzeņairene						
Kontrole	22.53±1.72	3.89±0.30	6.63±0.17	5.73±0.05	102.07±21.42	127.96±20.95
Minerālmēsli	24.75±1.57	4.27±0.27	6.85±0.09	5.70±0.15	92.73±22.51	122.57±12.69
Pelni	23.25±1.54	4.02±0.27	6.70±0.11	5.73±0.09	82.54±24.28	118.05±10.42
Digestāts 1×	23.98±4.00	4.14±0.69	6.80±0.11	5.6±50.16	89.52±24.68	129.16±15.13
Digestāts 2×	22.25±1.53	3.84±0.26	6.75±0.17	5.70±0.19	105.22±30.37	125.13±17.93
$Rs_{0.05}$	5.54	0.96	0.96	0.41	70.21	47.83

45. pielikums

Augsnes agroķīmiskie rādītāji Pardenču laukā 2016. gadā

Mēsloš. variants	C_{kop}, g kg^{-1}	Org.viela, %	pH H_2O	pH KCl	P_2O_5, mg kg^{-1}	K_2O, mg kg^{-1}
Miežabrālis						
Kontrole	20.66±2.04	3.57±0.35	6.46±0.17	4.98±0.26	25.86±5.46	129.67±10.20
Minerālmēsli	21.09±1.99	3.64±0.34	6.72±0.17	5.30±0.25	36.62±4.81	192.51±16.44
Pelni	18.41±1.54	3.18±0.27	7.02±0.06	5.74±0.17	56.24±11.27	162.88±12.70
Digestāts 1×	20.75±3.54	3.58±0.61	6.59±0.13	5.13±0.20	31.60±4.33	204.1±19.61
Digestāts 2×	19.56±1.43	3.38±0.25	6.85±0.17	5.41±0.23	34.83±8.91	211.09±13.54
$Rs_{0.05}$	4.84	0.84	0.42	0.61	17.83	38.03
Auzeņairene						
Kontrole	17.64±2.09	3.05±0.36	6.51±0.13	5.25±0.19	31.86±4.60	109.17±8.31
Minerālmēsli	18.43±1.66	3.18±0.29	6.64±0.16	5.41±0.23	41.95±5.21	170.17±9.70
Pelni	18.41±1.69	3.18±0.29	6.90±0.07	5.81±0.09	69.04±4.14	127.74±3.73
Digestāts 1×	18.50±1.87	3.20±0.32	6.65±0.16	5.63±0.45	42.43±4.13	186.01±13.90
Digestāts 2×	17.93±1.21	3.10±0.21	6.63±0.20	5.44±0.31	36.56±5.21	175.83±9.64
$Rs_{0.05}$	3.83	0.66	0.33	0.61	14.12	29.08

46. pielikums

Augsnes agroķīmiskie rādītāji mikroizmēģinājumā 2012. gadā

Mēsl. variants	Org.viela, %	pH H_2O	pH KCl	P_2O_5, mg kg^{-1}	K_2O, mg kg^{-1}
N0	4.28	6.48	7.23	157.46	116.94
N30	4.62	6.53	7.10	167.82	109.12
N60	4.37	6.43	7.18	170.68	107.22
N60 (30+30)	4.46	6.43	7.13	215.08	106.25
N90 (30+30+30)	4.24	6.58	7.33	137.12	96.86
N120 (40+40+40)	4.36	6.48	7.38	188.55	113.36
N150 (50+50+50)	4.39	6.50	7.20	179.57	108.88
Vidēji	0.46	0.27	0.30	27.72	14.88
$Rs_{0.05}$	4.39	6.49	7.22	173.75	108.38

47. pielikums

Augsnes agroķīmiskie rādītāji mikroizmēģinājumā 2016. gadā

Mēsl. variants	Org.viela, %	pH H_2O	pH KCl	P_2O_5, mg kg^{-1}	K_2O, mg kg^{-1}
N0	3.15	7.29	6.33	77.48	68.63
N30	3.23	7.21	6.37	79.64	92.11
N60	3.32	7.23	6.34	86.60	117.65
N60 (30+30)	3.29	7.28	6.38	85.27	124.10
N90 (30+30+30)	3.32	7.25	6.36	85.25	162.14
N120 (40+40+40)	3.36	7.28	6.35	90.33	186.37
N150 (50+50+50)	3.37	7.28	6.42	103.99	242.17
Vidēji	3.29	7.26	6.36	86.94	141.88
$Rs_{0.05}$	0.23	0.09	0.13	21.36	36.53

Minerālā slāpekļa krājumi augsnē miežabrāļa sējumā 1. lietošanas gadā (2013), kg ha^{-1}

Mēslošanas variants	Dziļums, cm	$N\text{-}NO_3$	$N\text{-}NH_4$	N_{min}	$N\text{-}NO_3$	$N\text{-}NH_4$	N_{min}
		veģetācijas sākumā			veģetācijas beigās		
N0	0 – 20	16.1	21.4	37.5	37.1	23.7	60.9
	20 – 40	17.6	23.4	41.0	20.6	22.7	43.3
	40 – 60	19.2	20.1	39.2	33.0	20.1	53.1
	0 – 60	52.8	64.9	117.7	90.8	66.5	157.2
N60 (30+30)	0 – 20	20.8	51.2	72.0	37.7	26.9	64.7
	20 – 40	17.7	53.8	71.5	21.0	15.2	36.2
	40 – 60	18.8	33.4	52.2	21.9	12.6	34.5
	0 – 60	57.2	138.5	195.7	80.6	54.7	135.4
N120 (40+40+40)	0 – 20	18.5	39.9	58.4	42.3	23.6	66.0
	20 – 40	17.8	28.8	46.7	41.5	11.7	53.2
	40 – 60	18.6	19.4	38.0	38.5	31.6	70.1
	0 – 60	54.9	88.2	143.1	122.4	67.0	189.3
N150 (50+50+50)	0 – 20	18.4	21.4	39.8	33.1	27.0	60.1
	20 – 40	17.6	49.0	66.6	31.2	18.9	50.1
	40 – 60	19.0	41.2	60.2	27.7	20.1	47.8
	0 – 60	55.0	111.7	166.6	92.0	66.0	158.0

Minerālā slāpekļa krājumi augsnē miežabrāļa sējumā 2. lietošanas gadā (2014), kg ha^{-1}

Mēsl. variants	Dziļums, cm	$N\text{-}NO_3$	$N\text{-}NH_4$	N_{min}	$N\text{-}NO_3$	$N\text{-}NH_4$	N_{min}	$N\text{-}NO_3$	$N\text{-}NH_4$	N_{min}
		veģetācijas sākumā			vasaras vidū			veģetācijas beigās		
N0	0 – 20	22.7	8.5	31.2	18.7	26.5	45.2	22.7	15.1	37.8
	20 – 40	25.4	11.2	36.6	20.8	21.7	42.5	23.2	21.4	44.6
	40 – 60	21.3	11.8	33.2	21.7	25.5	47.3	18.3	23.5	41.8
	0 – 60	69.4	31.5	100.9	61.2	73.7	134.9	64.2	60.0	124.1
N60 (30+30)	0 – 20	30.5	15.4	46.0	30.0	21.6	51.6	24.7	17.1	41.9
	20 – 40	24.9	11.0	36.0	20.3	23.7	43.9	20.9	25.4	46.3
	40 – 60	21.4	10.1	31.5	21.7	19.6	41.4	19.6	22.0	41.6
	0 – 60	76.9	36.6	113.5	72.0	64.9	136.9	65.3	64.6	129.9
N120 (40+40+ 40)	0 – 20	27.1	8.6	35.7	23.2	24.2	47.4	26.9	19.8	46.7
	20 – 40	39.9	10.9	50.8	23.0	21.1	44.1	25.9	21.3	47.2
	40 – 60	21.4	5.7	27.1	22.1	22.5	44.6	21.7	28.4	50.1
	0 – 60	88.3	25.2	113.5	68.3	67.8	136.1	74.5	69.5	144.0
N150 (50+50+ 50)	0 – 20	22.6	6.2	28.8	30.1	24.3	54.5	25.5	21.8	47.3
	20 – 40	24.0	7.0	31.0	20.5	29.3	49.8	20.1	16.8	36.9
	40 – 60	19.6	9.4	29.0	21.8	22.7	44.5	21.8	18.0	39.7
	0 – 60	66.2	22.6	88.8	72.5	76.3	148.8	67.4	56.5	123.9

Minerālā slāpekļa krājumi augsnē miežabrāļa sējumā 3. lietošanas gadā (2015), kg ha^{-1}

Mēsl. variants	Dziļums, cm	N-NO_3	N-NH_4	N_{min}	N-NO_3	N-NH_4	N_{min}	N-NO_3	N-NH_4	N_{min}
		veģetācijas sākumā			vasaras vidū			veģetācijas beigās		
N0	0 – 20	27.2	10.2	37.4	31.0	3.7	34.7	33.9	13.1	47.1
	20 – 40	20.1	23.7	43.8	20.3	7.1	27.4	21.7	9.8	31.5
	40 – 60	21.6	19.1	40.7	22.0	3.4	25.3	34.3	26.6	60.9
	0 – 60	68.9	53.0	121.9	73.2	14.3	87.5	90.0	49.5	139.4
N60 (30+30)	0 – 20	18.0	14.5	32.5	27.8	7.5	35.2	21.4	12.7	34.1
	20 – 40	20.3	11.5	31.8	25.6	6.1	31.7	20.0	10.4	30.4
	40 – 60	21.4	11.9	33.3	21.6	1.2	22.9	21.5	10.3	31.8
	0 – 60	59.7	37.9	97.5	75.0	14.8	89.8	62.9	33.4	96.3
N120 (40+40+ 40)	0 – 20	23.0	17.0	39.9	30.9	8.1	39.0	27.8	10.4	38.2
	20 – 40	19.9	11.0	30.9	22.2	1.6	23.7	23.8	11.9	35.8
	40 – 60	21.3	14.4	35.7	21.8	2.1	23.9	21.2	14.8	36.0
	0 – 60	64.2	42.3	106.5	74.9	11.8	86.7	72.8	37.1	109.9
N150 (50+50+ 50)	0 – 20	27.3	16.1	43.3	38.4	8.1	46.5	30.8	15.9	46.7
	20 – 40	20.1	17.9	38.0	25.3	7.5	32.8	27.2	12.5	39.7
	40 – 60	21.3	15.6	36.9	21.2	0.0	21.2	21.9	13.1	35.0
	0 – 60	68.7	49.5	118.3	84.9	15.5	100.5	80.0	41.5	121.5

51. pielikums

Mēslošanas līdzekļu pielietošanas izmaksas

Mēslošanas variants	Izmaksas, EUR ha^{-1}			
	sējas g. (2012)	1. l.g. (2013)	2. l.g. (2014)	3. l.g. (2015)
Minerālmēsli	163.48	314.90	314.90	314.90
Pelni	138.08	260.75	260.75	260.75
Digestāts	63.59	227.55	192.53	235.31

52. pielikums

Zālaugu mēslošanas izmaksas, rēķinot uz saražotās sausnas vienību

Mēslošanas variants	Izmaksas pa gadiem, EUR t^{-1}					
	divu pļāvumu režīmā			viena pļāvuma režīmā		
	2013	2014	2015	2013	2014	2015
Miežabrālis	40.27	36.87	42.79	36.79	46.51	35.03
	30.43	30.25	36.17	26.08	38.63	34.81
	35.71	34.62	52.49	30.34	32.90	51.18
	36.70	33.54	47.35	29.71	27.08	52.06
Auzeņairene	73.92	86.27	43.20	42.38	59.75	40.06
	51.94	68.98	36.17	33.73	46.07	33.95
	58.78	99.43	47.22	36.88	79.20	53.87
	60.52	77.32	45.69	42.85	77.63	56.56

53. pielikums

Digestāta mēslojuma izmantošanas izmaksas, rēķinot uz saražotās sausnas vienību

Mēslošanas variants	Izmaksas pa gadiem, EUR t^{-1}					
	divu pļāvumu režīmā			viena pļāvuma režīmā		
	2013	2014	2015	2013	2014	2015
N30	3.73	5.13	7.37	3.76	2.81	4.22
N60	5.94	7.14	12.11	6.93	4.60	8.47
N60 (30+30)	7.83	8.29	15.39	7.94	4.75	7.06
N90 (30+30+30)	10.32	11.16	16.75	10.67	6.14	9.99
N120 (40+40+40)	12.39	12.92	22.24	12.72	9.53	14.88
N150 (50+50+50)	16.52	15.13	24.79	14.17	9.76	15.79