

LATVIJAS UNIVERSITĀTE
ĢEOGRĀFIJAS UN ZEMES ZINĀTŅU FAKULTĀTE
VIDES ZINĀTNES NODAĻA

**ZĀLĀJU BIOMASA UN TĀS NOTEIKŠANAS IESPĒJAS VIDZEMES
AUGSTIENES CENTRĀLAJĀ DAĻĀ**

MAĢISTRA DARBS

Autors: Maija Pavlovska

Stud. apl. mp17070

Darba vadītājs:

Asoc. prof., vadošais pētnieks *Dr.geogr.* Raimonds Kasparinskis

ANOTĀCIJA

Augsnes nosaka zālāju telpisko izplatību, to īpašības ir viens no galvenajiem zālāju kvalitāti un ilgtspējīgu apsaimniekošanu ietekmējošiem faktoriem. Zālāju ekosistēmas nodrošina vitāli svarīgus ekosistēmu pakalpojumus, kuri atkarīgi no augsnes īpašībām. Zālāju biomasa ir viens no pakalpojumiem, kas ir relatīvi maz pētīts, bet tam ir milzīgs pielietojšanas potenciāls ne tikai lauksaimniecībā kā lopbarībai, bet arī kā alternatīvajam bioenerģijas ieguves veidam.

Pētījuma mērķis ir noskaidrot zālāju biomasas telpiskās izplatības noteikšanas un prognozēšanas iespējas, izmantojot zālāju klases un augsnes faktoru nozīmi, lai šo informāciju integrētu zālāju ekosistēmu biomasas vērtēšanā, plānošanā un ilgtspējīgā apsaimniekošanā.

Maģistra darbā apkopota literatūra par zālāju ekosistēmām, to sniegtajiem pakalpojumiem, biomasu un tās raksturojumu, kā arī augsnes faktoriem un indikatoriem biomasas nodrošināšanā.

Atslēgas vārdi: zālāju ekosistēmu pakalpojumi, zālāju biomasa, zālāju klases, zemes kvalitatīvā vērtība, augsnes īpašības, tālizpētes metodes.

ANNOTATION

Soil determines spatial distribution of grasslands. Quality and sustainable management of grasslands are influenced by soil properties. Grassland ecosystems provide vital ecosystem services that depend on soil properties. Above-ground biomass is one of the ecosystem services that has not been widely studied, but it has high potential not only in agriculture, but also as an alternative resource for bio-energy production.

The aim of the master thesis is to identify the possibilities for determining and predicting the spatial distribution of grassland biomass using soil factors to integrate this information into biomass assessment, planning and sustainable management of grassland ecosystems.

The master thesis summarizes the literature on grassland ecosystems, their services, above-ground biomass and its properties, as well as soil factors and indicators providing ecosystem services.

Keywords: grassland ecosystem services, grassland biomass, grassland classes, land quality value, soil properties, remote sensing methods.

SATURS

ANOTĀCIJA	2
ANNOTATION	3
JĒDZIENU UN SAĪSINĀJUMU SARAKSTS	5
IEVADS	6
1. ZĀLĀJU EKOSISTĒMAS	9
1.1. Zālāju ekosistēmu pakalpojumu raksturojums	9
1.1.1. Biomasa kā zālāju ekosistēmu pakalpojums un tā raksturojums	11
2. ZĀLĀJU BIOMASU IETEKMĒJOŠIE FAKTORI	13
2.1. Augsnes auglība un to ietekmējošie faktori	13
2.1.1. Ģeoloģiskie nogulumu un reljefs	14
2.1.2. Augsnes fizikālās īpašības	15
2.1.3. Augsnes ķīmiskais sastāvs un īpašības	17
2.2. Augsnes veidošanās procesi un morfoloģiskās īpašības	21
3. TĀLIZPĒTES METODES UN TO PIELIETOŠANAS IESPĒJAS	23
3.1. Hiperspektrālie dati	23
3.2. <i>Sentinel-2</i> multispektrālie dati	24
4. PĒTĪJUMA MATERIĀLS UN METODES	25
4.1. Pētījuma teritorijas raksturojums	25
4.2. Materiāli	26
4.3. Pētījuma metodes	27
5. REZULTĀTI UN DISKUSIJA	31
5.1. Zālāju raksturojums un izvērtējums pētījuma teritorijās	31
5.2. Augšņu daudzveidība pētījuma teritorijās	34
5.3. Zālāju biomasa un to ietekmējošo faktoru izvērtējums	35
5.3.1. Augsnes nozīmīgāko ķīmisko un fizikālo īpašību izvērtējums	39
5.3.2. Augsnes faktoru izvērtējums zālāju ekosistēmu biomasas nodrošināšanā	48
5.4. Tālīzpētes metožu pielietojums biomasas noteikšanā	52
SECINĀJUMI	55
PATEICĪBA	56
IZMANTOTĀ LITERATŪRA UN AVOTI	57
PIELIKUMI	62

JĒDZIENU UN SAĪSINĀJUMU SARAKSTS

DAP – Dabas aizsardzības pārvalde

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations (Pārtikas un lauksaimniecības organizācija)

GPS – Global Positioning System (globālā pozicionēšanas sistēma)

KAK (*angl.* CEC) – katjonu apmaiņas kapacitāte

LU ĢZZF – Latvijas Universitātes Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte

LVĢMC – Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs

PCA – galveno komponentu analīze

VRI – Vides risinājumu institūts

WMS – Web Map Service (tiešsaistes karšu serveris)

ZKV – zemes kvalitatīvā vērtība

IEVADS

Zālāju izplatība, apsaimniekošanas iespējas un kvalitāte ir atkarīga no augsnes īpašībām (Critchley et al. 2002). Zināms, ka zālāju ekosistēmas ir nozīmīgs ekosistēmu pakalpojumu nodrošinātājs, tādēļ arvien aktuālāk ir izprast likumsakarības starp ekosistēmu pakalpojumiem un augsnes īpašībām. Zālāji ir nozīmīgs resurss lopbarībai un biomasai, nemaz nerunājot par daudzveidīgajiem regulējošajiem, atbalsta un apgādes pakalpojumiem, ko tie sniedz.

Biomasas nodrošināšana pieskaitāma pie zālāju ekosistēmu apgādes pakalpojumiem (Nikodemus u.c. 2011; LIFE Viva Grass S.a.), ko ietekmē cilvēka saimnieciskā darbība. Biomasas apgādes potenciāls ir atkarīgs ne tikai no apsaimniekošanas, bet arī no abiotiskajiem faktoriem, kur būtiska nozīme ir teritorijas reljefam, mitruma apstākļiem, kā arī augsnes fizikālajām un ķīmiskajām īpašībām.

Pēdējo gadu laikā pastiprināta uzmanība ir pievērsta bioenerģijas ieguvei no lauksaimnieciskās darbības. Ir pieejama informācija par vairākām daudzgadīgo zālāju kultūrām, kas uzskatāmas par kvalitatīvām un nozīmīgām enerģētiskajām kultūrām tieši bioenerģijas ražošanā. Kā bioenerģijas avots ir pētīta zālaugu masas pieejamība kultivētos zālājos, tomēr informācija par zālaugu masas apgādes potenciālu daļēji dabiskajos zālājos ir krietni ierobežota (Heinsoo et al. 2010).

Zālāju ekosistēmas ir izteikti jutīgas pret dažādiem vides un antropogēnajiem faktoriem. Zālāju sugu sastāvs ir viegli ietekmējams apsaimniekošanas ceļā, bet, pārtraucot saimniecisko darbību vispār, zālāju platības ātri aizaug ar krūmiem un kokiem (Bullock et al. 2011). Kopš 20. gs. otrās puses Eiropā un arī Latvijā ievērojami sarukušas zālāju platības, īpaši daļēji dabisko zālāju platības (Critchley et al. 2004), tādēļ ir svarīgi noskaidrot augšņu faktoru un augsnes indikatoru nozīmi zālāju ekosistēmu pakalpojumu un konkrētāk biomasas nodrošināšanā.

Maģistra darba hipotēze: zālāju biomasas telpisko izplatību nosaka augsnes faktori, un, izmantojot tālīzpētes metodes, ir iespējams prognozēt zālāju biomasas telpisko izplatību.

Maģistra darba mērķis: noskaidrot zālāju biomasas telpiskās izplatības noteikšanas un prognozēšanas iespējas, izmantojot zālāju klases un augsnes faktoru nozīmi, lai šo informāciju integrētu zālāju ekosistēmu biomasas vērtēšanā, plānošanā un ilgtspējīgā apsaimniekošanā.

Maģistra darba mērķa sasniegšanai izvirzīti šādi galvenie **darba uzdevumi**:

1. Apkopot zinātnisko literatūru par:
 - zālāju ekosistēmām, to pakalpojumu veidiem, nodrošinājumu un telpiskās izplatības ietekmējošiem augsnes faktoriem, kā arī par zālāju ekosistēmu nozīmi biomasas nodrošināšanā;
 - tālīzpētes metožu pielietošanas iespējām zālāju biomasas noteikšanā.
2. Atbilstoši LIFE Viva Grass projekta metodikai izdalītajās pētījuma etalonteritorijās ievāktajiem zālāju biomasas un augsnes paraugiem laboratorijas apstākļos veikt:
 - zālāju biomasas paraugu apstrādi;
 - augsnes ķīmisko īpašību (apmaiņas elementu koncentrācijas, augsnes pH vērtības, kopējā oglekļa un kopējā slāpekļa satura, kustīgā fosfora koncentrācijas) noteikšanu.
3. Veikt iegūto datu izvērtēšanu, izmantojot statistiskās apstrādes metodes (galveno komponentu analīzi un vienfaktora dispersijas analīzi (One-Way ANOVA)), lai noskaidrotu sakarības starp zālāju ekosistēmu biomasas telpisko izplatību un augsnes faktoriem;
4. Noskaidrot zālāju biomasas telpiskās izplatības noteikšanas un prognozēšanas iespējas, veicot Vides risinājumu institūta, kā arī *Sentinel-2* satelītinformācijas multispektrālo datu izvērtēšanu, salīdzinot tos ar lauka darbos noteikto biomasu.

Šis maģistra darbs veikts starptautiskā projekta LIFE Viva Grass „Integrēta plānošanas pieeja zālāju dzīvotspējai” (Nr. LIFE13ENV/LT/000189) ietvaros.

Maģistra darbā apkopota zinātniskā literatūra, izmantojot starptautisko zinātnisko recenzējamo žurnālu datubāzes, grāmatas un elektroniskos resursus.

Maģistra darba autore 2018. un 2019. gadā LU ĢZZF augšņu laboratorijā ir veikusi augsnes paraugu analīzi un biomasas apstrādi. Ievāktajiem augsnes paraugiem (72) trīs atkārtojumos 0,1 M BaCl₂ šķīdumā noteikti apmaiņas ķīmiskie elementi Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺, Al³⁺, Fe²⁺ un Mn²⁺ un augsnes pH_{BaCl₂}, kopējais oglekļa (C%) un slāpekļa (N%) saturs, kā arī kustīgā fosfora P₂O₅ koncentrācija. Veikta 111 biomasas paraugu žāvēšana un svēršana. Iegūtie rezultāti apkopoti datu matricā.

Autore 2019. gadā ir piedalījies Latvijas Universitātes 77. Zinātniskajā konferencē sekcijā „Aktuālie jautājumi augsnes un biotas izpētē Latvijā” ar ziņojumiem:

- **Pavlovska, M.**, Kasparinskis, R., Rotkovska, I., Jakovels, D., Abaja, R. 2019. Zālāju biomasas nodrošinājums un tā noteikšanas iespējas Vidzemes augstienes centrālajā daļā. *Latvijas Universitātes 77. Zinātniskā konference. Ģeogrāfija, Ģeoloģija, Vides zinātne. Referātu tēzes*. Rīga, LU Akadēmiskais apgāds, 59-61.
- Rūsiņa, S., Dirnēna, B., Gustiņa, L., Kasparinskis, R., **Pavlovska, M.**, Rotkovska, I., Strazdiņa, B. 2019. Veģetācijas un augsnes priekšizpēte dabisko zālāju biotopu atjaunošanas plānošanā: GrassLIFE projekta piemērs. *Latvijas Universitātes 77. Zinātniskā konference. Ģeogrāfija, Ģeoloģija, Vides zinātne. Referātu tēzes*. Rīga, LU Akadēmiskais apgāds, 72-74.

Maģistra darbs sastāv no piecām nodaļām. Pirmajā nodaļā ir aprakstītas zālāju ekosistēmas, otrajā nodaļā apkopota informācija par augsni kā zālāju biomasu ietekmējošu faktoru, bet trešajā dots ieskats tālizpētes metožu pielietojumam ekosistēmu izpētē. Ceturtajā nodaļā aprakstītas maģistra darbā izmantotie materiāli un metodes, kā arī dots teritorijas raksturojums. Piektā nodaļa ietver rezultātu un diskusijas sadaļu, kurā aprakstīti un analizēti pētījumā iegūtie rezultāti un sniegta to interpretācija.

Maģistra darba apjoms ir 73 lpp., no kurām 12 lpp. veido pielikumi. Darba ilustrācijai izmantoti 37 attēli.

1. ZĀLĀJU EKOSISTĒMAS

Zālāji ir tāda veida ekosistēmas, kurās daudzgadīgi lakstaugi (graudzāles, grīšļi u.c.) veido augu segu. Zālāju ekosistēmas iespējams iedalīt divās lielās grupās – dabiskajos zālajos un kultivētajos zālajos. Dabiskie zālāji no kultivētajiem atšķiras gan pēc sugu sastāva un skaita, gan vecuma, gan apsaimniekošanas tradīcijām (Rūsiņa 2017). Dabiskie zālāji ir pļavas un ganības, kas pakļautas ekstensīvai apsaimniekošanai – pļaušanai un/vai ganīšanai, nepieļaujot ielabošanas pasākumus un mēslošanu. Turpretī kultivētajos zālajos notiek ielabošanas un kultivēšanas pasākumi. Dabiskā zālājā ir ievērojami lielāka bioloģiskā daudzveidība, nereti 1 m² sastopamas vairāk kā 30 augu sugas, bet kultivētā zālājā tā ir robežās no 1-20 sugām. Kultivēto zālāju vecums parasti nav lielāks par 10 gadiem, savukārt par dabisku zālāju uzskatāms tāds, kurā jau 20 gadus nav mainīts zemes lietojuma veids, nodrošinot stabilu biotopa attīstību (Rūsiņa 2008). Lielākā daļa mūsdienu dabisko zālāju veidojusies vecu kultivētu zālāju un tīrumu platībās, kas laika gaitā mainījušas savas funkcijas un šobrīd tiek pļautas vai noganītas bez intensīvas ielabošanas pasākumiem (Rūsiņa 2017).

Zālāji, kuru vecums pārsniedz 5 gadus un kuros izveidojusies zālājiem raksturīgā flora un fauna, pieskaitāmi ilggadīgajiem zālājiem. Ilggadīgie zālāji var būt gan dabiski, gan kultivēti zālāji. Par ilggadīgiem zālājiem ir uzskatāmi arī degradēti zālāji vai kultivēti zālāji ar dabiskošanās pazīmēm. Daudzgadīgs un pastāvīgs zālājs lietojams kā ilggadīga zālāja sinonīmi (Rūsiņa 2017). Dabiskos zālājus Latvijas teritorijā terminoloģiski precīzāk ir dēvēt par daļēji dabiskajiem zālājiem, jo Latvijā zālāju pastāvēšana nav iespējama bez cilvēka saimnieciskās darbības (Rūsiņa 2013), tādēļ turpmāk darbā, runājot par ES nozīmes aizsargājamiem zālāju biotopiem, tiks izmantots termins “daļēji dabisks zālājs”.

1.1. Zālāju ekosistēmu pakalpojumu raksturojums

Ekosistēmu pakalpojumi definējami kā vispārēji labumi, ko cilvēkam sniedz ekosistēmas struktūra un tās funkcijas. Ekosistēmu pakalpojumi veidojas, ekosistēmai mijiedarbojoties ar cilvēka rīcību kopumu un ieguldījumu tās attīstībā (Kalvāne u.c. 2014). Visi ekosistēmu pakalpojumi, pamatojoties uz to funkcijām, tiek iedalīti četrās kategorijās: apgādes, atbalsta, vidi regulējošie un kultūras pakalpojumi.

1. Apgādes pakalpojumi – no ekosistēmas iegūtie labumi, kuri parasti tiek vērtēti naudas izteiksmē (pārtika, ģenētiskie resursi, bioenerģijas resursi, ārstnieciskie augi u.c.).

2. Atbalsta pakalpojumi – pakalpojumi, kas nodrošina ekosistēmas funkcionēšanu, kā arī ir pamatā citu ekosistēmu pakalpojumu darbībai (biomasas nodrošinājums, barības vielu aprīte, atmosfēras skābekļa ražošana, u.c.).
3. Vidi regulējošie pakalpojumi – ekosistēmas funkcijas, kas nodrošina tās pastāvēšanu (atmosfēras CO₂ piesaiste un akumulācija, augsnes erozijas mazināšana, augsnes un ūdens piesārņojuma neitralizēšana u.c.).
4. Kultūras jeb nemateriālie pakalpojumi – saistāmi ar sabiedrības vajadzību un vēlmi atrasties dabā, izzināt apkārtni, gūt estētisko baudījumu (ainava, rekreācija, sabiedrībai nozīmīgas vietas u.c.) (Millennium Ecosystem Assessment 2005; Nikodemus u.c. 2011).

Katra ekosistēma atkarībā no tās veida un funkcijas nodrošina konkrētu pakalpojumu klāstu. Ekosistēmu pakalpojumi var būt gan kvantitatīvi, gan kvalitatīvi (Millennium Ecosystem Assessment 2005). Zālāju ekosistēmas sniedz pavisam atšķirīgus pakalpojumus, nekā meža vai purva ekosistēmas un tie savās funkcijās var būt unikāli.

Zālāji ir nozīmīgi ekoloģisko funkciju nodrošināšanā, tie sniedz daudzveidīgus apgādes, atbalsta, vides procesu regulējošos un kultūras pakalpojumus, bez kuriem cilvēka dzīve nav iedomājama. Zālāju ekosistēmas ir nozīmīgs medus, ziedputekšņu, kā arī ārstniecības augu resurss. Zālājos uzkrātā biomasa ir izmantojama enerģijas ražošanā, no zālājiem iegūst lopbarību mājlopiem (LIFE Viva Grass S.a.). Zālāju ekosistēmas piedalās barības vielu aprītē, saista oglekli un nodrošina gaisa attīrīšanu. Tās veic augsnes saglabāšanas funkciju, mazinot augsnes erozijas risku, ietekmē augsnes veidošanās procesus, kā arī atbild par ūdens plūsmu un to kvalitātes regulēšanu. Zālāju ekosistēmas kalpo par nozīmīgu barības bāzi kultūraugu apputeksnētājiem – bitēm u.c. kukaiņiem. Šīm ekosistēmām piemīt gan estētiskā, gan kultūrvēsturiskā nozīme. No kultūrvēsturiskā viedokļa zālāju ekosistēma reprezentē ekstensīvas apsaimniekošanas ceļā radušos tradicionālu ainavu un tradicionālu dzīvesveidu. No ekonomiskā viedokļa zālājs kalpo par rekreācijas un tūrisma resursu, kur cilvēki var doties pastaigās, kā arī baudīt un iepazīt dabu (Dominati et al. 2014; Rūsiņa 2013). Zālāji ir lopkopības attīstības pamatā, jo nodrošina ganības mājlopiem. Zālāju ekosistēmas veic dabas aizsardzības funkciju, jo tajās mājvietu radušas daudzas augu, kukaiņu un putnu sugas, no kurām daļa ir retas un uz iznīcības robežas (Ridding et al. 2015).

Pastāv atšķirības starp dažādu zālāju biotopu sniegtajiem ekosistēmu pakalpojumiem. **Kultivēti zālāji** ir galvenais lopbarības avots, tādā veidā nodrošinot visaugstāko ražību piena un gaļas produktu ieguvē. Tomēr kultivēti zālāji nav piemēroti retām un aizsargājamām sugām, tajos ir zema bioloģiskā daudzveidība, nav sastopami ārstniecības augi, ja vien tie netiek

speciāli audzēti. Kultivētiem zālājiem ir ievērojami zemāka spēja saistīt oglekli, kas būtu nozīmīgi globālajā klimata regulācijā.

Ilggadīgie zālāji nodrošina vidēju lopbarības ražu, kas nozīmē vidēja apjoma piena un gaļas produktu ieguvu. Tomēr ilggadīgos zālājus raksturo jau lielāka sugu daudzveidība, tādējādi nodrošinot vairāk izejvielu medicīnas un kosmētiskajiem ražojumiem, kā arī radot lielāku medus ražu. Blīvās zemsedzes dēļ veiksmīgāk tiek nodrošināta erozijas kontrole reljefa stāvākajās nogāzēs, kā arī ūdens plūsmu regulācija un paša ūdens kvalitāte. Ilggadīgajiem zālājiem ir augstāka spēja saistīt barības vielas, kā arī atmosfēras oglekli.

Daļēji dabiskos zālājus raksturo vislielākā sugu daudzveidība, kas ievērojami ceļ lopbarības kvalitāti un palielina tās augstvērtību. Tā ir nozīmīga mājvieta retajām augu un dzīvnieku sugām. Daļēji dabiskie zālāji nodrošina augstvērtīgus kultūras pakalpojumus kultūrvēsturiskās un vizuāli pievilcīgās ainavas dēļ, kā arī kalpo par nozīmīgu rekreācijas, tūrisma un izziņas teritoriju (LIFE Viva Grass S.a.).

Visi zālāji ir daudzfunkcionāli un tiem ir svarīga loma tādās jomās kā lauksaimniecība, ekonomika, sociālā sfēra u.c. Būtiskākie nemateriālie labumi, kurus sniedz zālāji, ir oglekļa uzkrāšana, piesārņojuma neitralizēšana, augsnes erozijas samazināšana un ģenētiskās sēklu bankas nodrošināšana (Humphreys et al. S.a.).

1.1.1. Biomasa kā zālāju ekosistēmu pakalpojums un tā raksturojums

Biomasa ir pieskaitāma pie zālāju ekosistēmu apgādes pakalpojumiem. Zālāju biomasu iespējams izmantot divējādi – kā lopbarību mājlopiem vai kā izejvielu biodegvielas, elektroenerģijas un siltuma ieguvē.

Biomاسas kvalitāte var atšķirties pa zālāju klasēm. Daži pētījumi rāda, ka tieši sugām bagātajiem daļēji dabiskajiem zālājiem ir labvēlīgākā ietekme uz dzīvnieku izcelsmes produktiem un to īpašībām. Bioloģiski daudzveidīgāki zālāji atstāj pozitīvu ietekmi uz mājlopu gaļas uzturvērtību. Piena produktus, konkrēti, sieru, kura izejvielas nākušas no tradicionāli apsaimniekota daļēji dabiska zālāja, raksturo patīkamāka smarža un tekstūra (Kalvāne u.c. 2014).

Biomاسas izmantošanu enerģijas ieguvē nosaka tās fizikālās un ķīmiskās īpašības. Biomاسas efektivitātes svarīgākie raksturlielumi bez radītā siltuma apjoma ir mitrums, kā arī pelnu un dažādu organisko savienojumu saturs. Augsts olbaltumvielu saturs biomasā ir labvēlīgs kā biogāzes ražošanā, tā arī lopbarībā (Heinsnoo 2010). Tomēr problēmu rada slāpekļa emisijas atmosfērā, kas izdalās zālāju biomasas degšanas procesā, negatīvi ietekmējot gaisa kvalitāti (Kalvāne u.c. 2014). Lai videi tiktu nodarīts pēc iespējas mazāks kaitējums,

nepieciešams ievērot pārdomātu biomasas pārstrādes politiku un ņemt vērā sezonālās izmaiņas, jo atkarībā no sezonas zālaugos mainās olbaltumvielu saturs (Heinsnoo 2010).

Daļēji dabiskajos zālajos biomasas iegūšanas laiks ir noteikts saskaņā ar dabas aizsardzības prasībām, tādēļ šajās teritorijās no biomasas iegūstamais galaprodukts tiek noteikts, balstoties tikai uz biomasas ķīmiskajām īpašībām. Pētījums Igaunijā liecina, ka augstākais potenciāls biomasas un enerģijas ieguvē ir sezonāli applūstošajiem palieņu zālājiem, tomēr apgrūtinājumu rada piekļuve tiem. To saražotais enerģijas daudzums pielīdzināms ~2% no gada laikā Igaunijā patērētās elektroenerģijas (Heinsnoo 2010).

2. ZĀLĀJU BIOMASU IETEKMĒJOŠIE FAKTORI

Viens no nozīmīgākajiem biotopus un līdz ar to arī zālājus ietekmējošiem faktoriem ir augsnes. Augsnes nosaka augšanas apstākļus un veicina atbilstoša veģetācijas tipa attīstību, savukārt veģetācija tieši vai netieši ietekmē augsnes (Nikodemus un Kasparinskis 2018). Zālāju izplatību nosaka augsnes īpašības un dabas apstākļi, kas attiecīgi ietekmē cilvēku saimnieciskās aktivitātes zālāju apsaimniekošanā. Atkarībā no augsnes auglības, mitruma, skābuma un citiem faktoriem veidojas atšķirīgi zālāju biotopi, kas rezultējas dažādu augu un sugu sabiedrību pastāvēšanā (Rūsiņa 2013). No augsnes īpašībām ir atkarīga zālāju atjaunošanas pasākumu nepieciešamība (Janssens et al. 1998). Piemēram, kultivēta zālāja vietā atjaunojot daļēji dabisku zālāju, problēmas var radīt augsnes piesātinājums ar barības vielām, kas kavē daudzveidīgas veģetācijas veidošanos (Willems, Van Nieuwstadt 1996).

Augsni iespējams definēt kā nekonsolidētu zemes virsmas materiālu, kura attīstības pamatā ir cilmieža ģenēzes, klimatisko apstākļu, dzīvo organismu un reljefa savstarpēja mijiedarbība laikā (Foth 1990). Augsne ir dabisks ķermenis, kuru raksturo 3 dimensijas – garuma, platuma un dziļuma (Tan 2009). Augsne veic ļoti daudz ekoloģiskās funkcijas un sniedz pakalpojumus, kas nav saistīti tikai ar biomasas producēšanu, kā agrāk tika uzskatīts (Nikodemus u.c. 2008). Augsne pieskaitāma vidi regulējošo pakalpojumu grupai, tomēr tai ir cieša saistība arī ar atbalsta pakalpojumu kategoriju, kā arī ar visām pārējām. Augsnē notiek sarežģīta abiotisko un biotisko faktoru mijiedarbība, kas rezultējas virknē cilvēkiem sniegto ekosistēmu pakalpojumu. Tā apgādā augus ar barības vielām, nodrošina vielu apriti dabā, sēklu banku utt. (McBratney et al. 2014). Augsne vienlaikus ir svarīga pārtikas un materiālu ieguvē, kā arī globālo ekosistēmu pakalpojumu nodrošināšanā (Doran 2002). Augsne veic šādas ekoloģiskās funkcijas – producē biomasu, kalpo par mājvietu visdažādākajiem organismiem, nodrošinot tos ar barības vielām, ūdeni un enerģiju. Augsne piedalās ķīmisko vielu aprites ciklā, tās uzkrājot un pārveidojot. Teritoriju izmantošanas pamatā ir augsnes īpašības (Nikodemus u.c. 2008).

2.1. Augsnes auglība un to ietekmējošie faktori

Augsnes auglība ir augsnes dabiskā spēja apgādāt augus ar to augšanai un attīstībai nepieciešamajiem pamata barības elementiem un ūdeni (Foth 1990), kā arī nodrošināt gaisa un siltuma pieejamību sakņu sistēmai, veidojot augiem piemērotu fizikāli-ķīmisko vidi (Kārklīņš 2008). Auglība ir viena no svarīgākajām augsni raksturojošām īpašībām (Adamovičs u.c. 1994). Iespējams izdalīt trīs dažādas augsnes auglības – dabiskā, efektīvā un potenciālā. Dabisko

auglību nosaka pastāvīgās un dabīgās augsnei piemītošās īpašības (barības vielu krājums, mitrums, gaiss u.c.). Efektīvā auglība raksturo augsni konkrētā veģetācijas periodā un spēj mainīties gan dabiskā ceļā, gan cilvēku darbību rezultātā. Savukārt potenciālā auglība ir sasniedzama, uzlabojot dažādus augsni limitējošus faktoros (neatbilstoša vides pH reakcija, ūdens režīms, sablīvējums u.c.) (Kārklīšs 2008).

Augsnes varētu dēvēt par augiem nepieciešamo barības vielu krātuvēm, kuras atkarībā no barības vielu daudzuma un sastāva nosaka augu sabiedrību izplatību. Liels barības vielu īpatsvars veicina biomasas uzkrāšanos, kā rezultātā notiek veģetācijas vienādošanās, tādēļ zālāji ar lielāko biodaudzveidību sastopami uz barības vielu ziņā nabadzīgākām augsnēm (Critchley et al. 2002).

2.1.1. Ģeoloģiskie nogulumi un reljefs

Ģeoloģiskie nogulumi un augsnes cilmiezis

Ģeoloģiskie nogulumi, to izcelsme un sastāvs ir viens no galvenajiem faktoriem, kas nosaka augsnes segas reģionālās un lokālās atšķirības (Nikodemus un Kasparinskis 2018). Cilmiezis ir ģeoloģiskie nogulumi, no kuru virsējās kārtas erozijas un akumulācijas procesu rezultātā veidojas augsne (Kārklīšs u.c. 2009). Tas nosaka augsnes ķīmisko un fizikālo īpašību līdzību cilmieža īpašībām (Kasparinskis 2012). Augsnes, kas veidojušās no kaļķakmens un bazalta nogulumiem, būs piesātinātas ar kalcija, magnija, nātrija un kālija joniem. Savukārt, smilšakmens augsnēm granulometrijas ietekmē raksturīgas zemas katjonu koncentrācijas (Shaw 1930). Atkarībā no cilmiežu minerālā un granulometriskā sastāva attīstās atšķirīgi augšņu veidošanās procesi.

Latvijas teritoriju raksturo relatīvi liela ģeoloģisko nogulumu dažādība, kas kalpo par pamatu lielajai cilmiežu dažādībai (Nikodemus un Kasparinskis 2018) gan pēc izcelsmes, gan granulometriskā sastāva. Latvijas augšņu cilmiežus veido kvartāra perioda pēdējā apledojuma sanesu materiāli, kā arī to kušanas produkti. Izplatīti ir arī cilmieži no dažādām Baltijas jūras attīstības stadijām (Kārklīšs u.c. 2009). Augsnes cilmiežus iespējams iedalīt grupās, pamatojoties uz to veidošanās apstākļiem un procesiem, granulometriju, kā arī karbonātu saturu (Nikodemus un Kasparinskis 2018).

Latvijas teritorijā apmēram puse no augsnēm veidojušās uz morēnas (glacigēnajiem) nogulumiem, kuri radušies kvartāra pēdējā apledojuma laikā (Kārklīšs u.c. 2009). Visbiežāk tie ir smilšmāla un mālsmilts nogulumi, retāk smilts. Glacigēnajiem morēnas smilšmāla nogulumiem raksturīgs 10-20% karbonātu saturs, savukārt mālsmilts cilmiežos karbonātu saturs ir niecīgs (5-10%), vai tas nav raksturīgs vispār (Nikodemus un Kasparinskis 2018). Vēl

Latvijā izdalāmi glaciolimniskie, glaciofluviālie, aluviālie, limniskie, eolie, koluviālie un organogēnās ģenēzes nogulumu (Kārklīņš u.c. 2009).

Reljefs

Reljefs ir atkarīgs no zemes virsmas vispārējā rakstura (Foth 1990). Primāri reljefs nosaka teritorijas saņemtā siltuma daudzumu, mitruma apstākļus, kā arī vielu sadalījumu augsnē, ko ietekmē arī tādi procesi kā ūdens un vēja erozija (Nikodemus u.c. 2008). Pierādīts, ka topogrāfiskie parametri ietekmē arī veģetācijas segumu, blīvumu un augstumu (Florinsky et al. 1996). Reljefs atbild par augšņu vertikālo zonalitāti, turklāt tas ir cieši saistīts ar augšņu katēnu, kas raksturo augšņu mainību atkarībā no novietojuma reljefā (Bockheim et al. 2005).

Saņemtā siltuma daudzums ir atkarīgs no nogāzes ekspozīcijas. Visvairāk siltumu saņem dienvidu, kā arī rietumu nogāzes, savukārt ziemeļu nogāzēs nonāk pavisam neliels siltuma daudzums (Kārklīņš u.c. 2009). Atkarībā no nogāzes ekspozīcijas mainās veģetācijas sastāvs un sugu daudzveidība. Kāds pētījums rāda, ka ziemeļu nogāzē, salīdzinājumā ar dienvidu nogāzi, veģetācijas sastāvs ir daudzveidīgāks, kā arī teritoriju kolonizējuši vairāk krūmu (Bahr 2012). Topogrāfiskie apstākļi ir noteicošie ūdens plūsmu kontrolē – gravitācijas spēku ietekmē ūdens virzās uz reljefa zemākajām vietām un uzkrājas reljefa ieplakās (Florinsky et al. 1996).

Lokāla mēroga apstākļos reljefa ietekme visuzskatāmāk izpaužas tieši paugurainēs, kuras raksturo saposmots reljefs – pauguru virsotnes mijas ar starppauguru ieplakām. Tur reljefam ir noteicošā nozīme augšņu veidošanās procesu attīstībā. Virsotnēs un nogāzēs nereti novērojami erozijas procesi, kas rezultējas erodēto velēnu podzolaugšņu attīstībā, nogāžu lejasdaļā sastopamas koluviālās augsnes un velēnu podzolētās glejauksnes, bet reljefa ieplakas visbiežāk aizņem zemā purva kūdraugsnes (Nikodemus un Kasparinskis 2018).

Reljefa ietekmē attīstās augsnes erozijas procesi, kam ir būtiska nozīme vielu transportā. Augsnes erozija ir dabiska parādība, tomēr, attīstoties cilvēku saimnieciskajai darbībai, erozijas procesi kļūst arvien intensīvāki (Świtoniak 2014). Ūdens erozijas ietekmē pauguru virsotnēs un nogāzēs tiek noskalots augsnes materiāls, kā rezultātā augsnes virskārtā samazinās barības vielu daudzums, bet pauguru pakājēs veidojas koluviālās augsnes, kuras turpretī raksturo augsta augsnes auglība (Nikodemus un Kasparinskis 2018).

2.1.2. Augsnes fizikālās īpašības

Augsnes **fizikālās īpašības** rāda, kāda ir augsnes poru un cietās fāzes saistība augsnē, kam savukārt ir tieša ietekme uz mitruma režīmu, augu sakņu izplatību, gāzu apmaiņu starp atmosfēru un augsni u.c. faktoriem. Augsnes fizikālās īpašības ir nozīmīgs augsnes kvalitātes

rādītājs (Li and Shao 2006; Līpenīte un Kārklīšs 2011). Fizikālās īpašības raksturo augsnes auglību, ļauj spriest par degradācijas veidu intensitāti un līdz ar to arī apzināties teritorijas apsaimniekošanas iespējas. Kā augsnes fizikālo īpašību raksturlielumus visbiežāk izmanto struktūru, porainību, augsnes tilpummasu, sakārtas blīvumu, ūdens infiltrāciju u.c. (Līpenīte un Kārklīšs 2011).

Augsnes **granulometriskais sastāvs** ir pēc izmēriem atšķirīgo augsnes minerālo daļiņu iedalījums grupās. Augsnē dominē daļiņas, kas diametrā mazākas par 2 mm. Šīs daļiņas tiek iedalītas trīs galvenajās augsnes frakcijās – smilts, putekļi un māls – un ir noteicošās augsnes ķīmisko un fizikālo īpašību veidošanā (Tan 2009). Augsnes daļiņas, kas diametrā ir virs 2 mm (rupja grants, oļi, zvirgzdi, akmeņi), veido augsnes skeletu, un tām, esot nelielā daudzumā, nav liela ietekme uz augsnes īpašības. Augsnes ar paaugstinātu augsnes skeleta saturu slikti saista barības vielas un ūdeni, tās ir izteikti irdenas (Nikodemus u.c. 2008). Atšķirīgie augsnes daļiņu izmēri rada dažādus dzīves apstākļus mikroorganismiem, jo dažādojas ūdens un gaisa pieejamība augsnē (Zhang et al. 2017). Augsnes granulometrija ietekmē virkni augsnes īpašību – aerāciju, mitruma režīmu, erozijas intensitāti, katjonu apmaiņas kapacitāti (KAK), ūdens adsorbcijas spēju, buferkapacitāti u.c. Granulometrija nosaka dominējošo veģētācijas tipu un apaugumu, kā arī regulē augsnes auglību un produktivitāti (Nikodemus u.c. 2008).

Smilts daļiņas savas neregulārās formas un izmēra dēļ veicina strauju gaisa un ūdens kustību augsnē, kas padara tās par ūdens caurlaidīgām augsnēm. Smilšainajām augsnēm ir zema katjonu apmaiņas kapacitāte (Tan 2009), tās biežāk pakļautas erozijai intensīvās berzes un samazinātās daļiņu saistīšanas spējas jeb kohēzijas dēļ (Wei et al. 2015). Tomēr smilts daļiņas ir noturīgākas pret dēdēšanu, jo tās veido kvarcs (Nikodemus u.c. 2008).

Putekļainās augsnes ir ar neizturīgu struktūru, tām ir samazināta adsorbcijas spēja, kā arī vājš koagulācijas efekts jeb sīku vielas daļiņu salipšanas spēja (Nikodemus u.c. 2008). Nereti putekļu daļiņas tiek pārklātas ar plānu māla kārtiņu māla minerālu dēdēšanas procesā. Tas putekļainajām augsnēm nodrošina nelielu plastiskumu un lipīgumu, turklāt izteikti palielinās ūdens un katjonu adsorbcijas spējas (Tan 2009). Augsnes ar augstu putekļu daļiņu saturu ir visauglīgākās (Vanmechelen et al. 1997).

Smalkās māla daļiņas ir ķīmiski visaktīvākās no augsnes sastāvdaļām (Tan 2009). Mālainām augsnēm ir ievērojami augstāka katjonu apmaiņas kapacitāte. Uz māla minerālu negatīvi lādētās koloīdu virsmas parasti tiek saistīti Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , Al^{3+} , H^+ un NH_4^+ katjoni (Kasparinskis 2012). Māla daļiņām piesātinātās augsnes ir mitrumietilpīgas, un tajās bieži veidojas ūdens necaurlaidīgi slāņi. Mālainām augsnēm piemīt plastiskums un lipīgums (Tan 2009). Mālainās un putekļainās augsnes raksturo augstākā organiskā oglekļa un slāpekļa koncentrācija, tādēļ tajās mājvietu raduši daudz un dažādi augsnes mikroorganismi (Davinic et

al. 2012). Salīdzinot smilts, putekļu un māla frakcijas, to vidū ar vislielāko barības elementu adsorbcijas spēju izceļas tieši māla daļiņas, jo tās raksturo vislielākais minerālu virsmas laukums (Vanmechelen et al. 1997).

Augsnes tilpummasa norāda augsnes porainības un sablīvētības pakāpi. Tā definējama kā dabiski porainas absolūti sausas augsnes tilpuma vienības masa, izteikta g/cm^3 (Foth 1990). Tilpummasa raksturo augsnes substrātu, kurā atrodas augu sakņu masa, un šajā substrātā notiekošos ūdens un augsnes šķīduma pārvietošanās un augsnes aerācijas apstākļus (Līpenīte un Kārklīšs 2011). Augsnes tilpummasa un porainība ir apgriezti saistītas – jo poraināka augsne, jo mazāka tilpummasa (Nikodemus u.c. 2008). Pieaugot augsnes dziļumam, parasti augsnes tilpummasai ir tendence palielināties (Foth 1990). Augu augšanas apstākļi ir optimāli, ja smilts augsnēs tilpummasa nav lielāka par $1,60 \text{ g/cm}^3$, bet mālainās augsnēs ne lielāka par $1,10 \text{ g/cm}^3$. Pieaugot augsnes tilpummasai, tā jau var kļūt par ierobežojošu faktoru augu sakņu attīstībā (Līpenīte un Kārklīšs 2011). Salīdzinājumā ar minerālajām augsnēm organiskās augsnes raksturo zema augsnes tilpummasa, tomēr rezultātus lielā mērā var ietekmēt augsnes organisko vielu sastāvs un augsnes mitruma līmenis tilpummasas parauga ievākšanas laikā (Foth 1990).

Ūdens iesūkšanos un kustību cauri augsnes profilam raksturo **infiltrācija**, kas ir viens no svarīgākajiem augsnes kvalitātes indikatoriem, jo atbild par ūdens pieejamību augiem. Infiltrācija ir nokrišņu spēja nokļūt augsnē, un to ietekmē gan augsnes granulometrija, gan porainība, gan citi fizikāli augsnes raksturlielumi (Gerrard 2000). Labi strukturētā augsnē tiek nodrošinātas ūdens lejupejošās plūsmas, kā arī ūdens noturēšanās kapilārajās porās augsnē, turpretī smaga granulometriskā sastāva augsnēs infiltrācija ir apgrūtināta (Līpenīte un Kārklīšs 2011). Infiltrācija ir cieši saistīta ar augsnes **mitruma režīmu**, kas ir pamatā augšņu iedalīšanai augsnes klasēs (automorfās, pushidromorfās un hidromorfās). Augsnes mitruma režīmu bez infiltrācijas nosaka arī ūdens plūsmu raksturs un dinamika, augu un augsnes organismu ūdens patēriņa apjoms, kā arī iztvaikošanas intensitāte (Nikodemus un Kasparinskis 2018).

2.1.3. Augsnes ķīmiskais sastāvs un īpašības

Augsnes **ķīmiskais sastāvs** un **īpašības** ir atkarīgas no apjomīga faktoru kopuma. Augsnes ķīmisko sastāvu un īpašības pamatā nosaka Zemes garozas ķīmiskais sastāvs, bet nozīmīga ietekme ir arī klimatiskajiem un bioloģiskajiem faktoriem, augsnes veidošanās procesiem, augsnes granulometriskajam sastāvam, organisko vielu saturam augsnē un to humifikācijai, kā arī antropogēnajiem u.c. faktoriem (Nikodemus u.c. 2008).

Ogleklis (C) augsnē atrodas gan neorganiskā, gan organiskā formā. Neorganiskais ogleklis augsnē nonāk no ģeoloģiskajiem nogulumiem karbonātu (kalcīta CaCO_3 un dolomīta $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) šķīšanas, dēdēšanas un izgulsnēšanās ceļā. Savukārt organiskais ogleklis augsnē veidojas no atmirušajām augu atliekām. Tām sadaloties, rodas daudz vienkāršākas uzbūves molekulārie savienojumi, ogļskābā gāze, ūdens un barības vielas (Zhao et al. 2016). Organiskais ogleklis augsnē atrodas organisko vielu formā (Genxu et al. 2002). Augsnes organiskās vielas kalpo par nozīmīgu zālāju ekosistēmu procesu regulatoru. Organiskās vielas ir galvenā barības vielu bāze augiem, tās uzkrāj ūdeni, palielina katjonu apmaiņas kapacitāti, kā arī kavē augsnes erozijas attīstību (Conant and Paustian 2002).

Augsne ir trešā lielākā oglekļa krātuve pasaulē (FAO 2004) un vienlaicīgi lielākā sauszemes organiskā oglekļa krātuve (Batjes 1996). Aprēķināts, ka augsnē atrodas līdz pat 2 reizēm vairāk oglekļa, kā uzkrāj atmosfēra, un pat 3 reizes vairāk oglekļa, kā atrodas veģetācijā (FAO 2004). Tiek lēsts, ka globāli augsnes organiskā oglekļa apjomi sastāda 1115-2200 mljrd. tonnu, bet neorganiskā oglekļa krājumi aprēķināti robežās no 720-930 mljrd. tonnu. Turklāt lielākie oglekļa krājumi atrodas augsnes virsējā slāni līdz 1 m dziļumam (Batjes 1996).

Organiskā oglekļa saturu augsnē nosaka augsnes mineraloģija un granulometriskais sastāvs. Māla daļiņas ir ar lielāku aktīvās virsmas laukumu, tādēļ ir spējīgas saistīt apjomīgāku organiskā oglekļa daudzumu, nekā smilts daļiņas (Masiello 2004). Svarīgs ir augšņu mitruma režīms. No augsnēm tieši hidromorfās un pushidromorfās augsnes raksturo lielākais organiskā oglekļa saturs. Automorfajās augsnēs relatīvi lielāki oglekļa krājumi ir ar karbonātiem un māla daļiņām bagātākajās augsnēs (Kolli 2009).

Augsnes oglekļa krājumus ietekmē zemes izmantošanas veids un prakse. Pētījumi liecina, ka dabiskās veģetācijas nomaiņa uz kultūraugiem samazina organiskā oglekļa apjomus augsnē (Poeplau 2011). Nepārdomāta zemes lietojuma veida maiņa 21. gs. pirmajā desmitgadē radījusi jau 0,4-1,8 mljrd. tonnu augsnes oglekļa emisiju (Poeplau 2013). Zālāju teritorijās augsnes oglekļa apjomu var kontrolēt ar apsaimniekošanas palīdzību – pārāk intensīva noganīšana un pļaušana var radīt ievērojamus oglekļa zudumus augsnē (Conant and Paustian 2002).

Slāpeklis (N) līdzīgi kā ogleklis augsnē ir sastopams gan neorganiskā, gan organiskā formā. Neorganiskā formā slāpeklis atrodas augsnes ūdenī, kur tas nonāk jonu (NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^-) veidā pēc augsnes organiskā materiāla sadalīšanās. Neorganiskais slāpeklis augsnē tiek ienests arī mēslošanas ceļā. Tomēr ~98% augsnes slāpekļa ir tieši organiskā formā augu atlieku, kūtsmēsļu un lopbarības atkritumu veidā (Tan 2009). Lielākā daļa kopējā slāpekļa (>90%) uzkrāta trūdvielu akumulācijas horizontā (Nikodemus u.c. 2008).

Kopējā slāpekļa daudzums augsnēs reģionāli atšķiras – humīda klimata apstākļos slāpekļa daudzums augsnēs ir 0,3%, bet arīdā klimatā augsnes satur vien 0,05% slāpekļa (Tan 2009).

Augi slāpekli uzņem galvenokārt amonija jonu (NH_4^+) un nitrāciju (NO_3^-) veidā (Nikodemus u.c. 2008).

Slāpeklim ir nozīmīga ietekme uz veģētācijas sastāvu. Slāpekļa piensums augsnē strauji samazina bioloģisko daudzveidību (Janssens et al. 1998). Paaugstināts barības vielu īpatsvars augsnē veicina veģētācijas vienādošanos un biomasas uzkrāšanos (Critchley et al. 2002). Tomēr ne tikai veģētācija atsaucas uz augsnes slāpekļa satura izmaiņām – augsnes bagātināšana ar slāpekli spēj ietekmēt visas zālāju ekosistēmas funkcionālo režīmu, jo izmainās gan barības vielu aprites cikls, gan augsnes pH reakcija (Ford et al. 2016).

Fosfors (P) ir nozīmīgs elements, kas atbild par sauszemes ekosistēmu funkciju regulāciju un primārās produktivitātes nodrošināšanu. Fosfors veicina augu augšanu un attīstību, kā arī paātrina brieduma iestāšanos. Fosfors iesaistās enerģijas pārnēsē starp dzīvajiem organismiem (Hosseini et al. 2017).

Augsnē sastopamas fosfora neorganiskās un organiskās formas. Neorganiskais fosfors atrodams fosforīta, apatīta un vivianīta minerālu sastāvā, kā arī fosfātu (HPO_4^{2-} ; H_2PO_4^-) veidā augsnes šķīdumā. Turpretī organisko fosforu augsne uzkrāj humusa un nesadalītu organisko vielu veidā (Tan 2009). Fosfors ir mazšķīstošs, un tam ir cieša saistība ar augsnē esošajiem māla minerāliem, kaļķakmeni, dzelzs un alumīnija oksīdiem, tāpēc tā iznešana no augsnes ir ļoti sarežģīts un laikietilpīgs process (Janssens et al. 1998).

Kopējais fosfora saturs augsnē var būt ievērojami augsts, tomēr ne viss fosfors augsnē atrodas augiem uzņemamā formā (Janssens et al. 1998). Augi uzņem organisko, kā arī augsnes ūdenī un vājās skābēs izšķīdušo fosforu (Nikodemus u.c. 2008).

Kālija (K) daudzumu augsnē nosaka augsnes cilmiezis, barības vielu koncentrācija, dēdējuma pakāpe, topogrāfija u.c. fizikāli-ķīmiskie faktori (Blanchet et al. 2017). Augsnē kālijs atrodas 4 dažādu formu veidā: minerālu struktūrā esošais kālijs, apmaiņas kālijs, fiksētais kālijs un jonu veidā esošais ūdenī šķīstošais kālijs. Lielākais augsnē esošais kālija apjoms (90-98%) ir iekļauts minerālvielu kristāliskā režģa sastāvā, un augi to nemaz nav spējīgi uzņemt un patērēt. Tikai 2% no kopējā augsnes kālija ir augiem pieejami (apmaiņas kālijs un jonu veidā esošais šķīstošais kālijs augsnes ūdenī) (Zörb et al. 2014).

Lieli kālija apjomi augsnē tiek ienesti ar mēslojuma palīdzību. Tomēr atšķirībā no fosfora, kālijs ir daudz šķīstošāks, tādēļ pēc augsnes mēslošanas pārtraukšanas ar kāliju tā saturs augsnē samazinās ievērojami straujāk (Janssens et al. 1998).

Kālijam ir nozīmīga loma augu vielmaiņas procesā, tas iesaistās olbaltumvielu un ogļhidrātu sintēzē, kā arī spēj neitralizēt organiskās skābes (Nikodemus u.c. 2008). Kālijs ir otrs nozīmīgākais augu barības elements pēc slāpekļa (Blanchet et al. 2017).

Augsnes spēju adsorbēt pozitīvi lādētos jonus raksturo **katjonu apmaiņas kapacitāte (KAK)**, kas definējama kā noteikts katjonu daudzums, ko augsnes cietā fāze apmaina ar augsnes šķīdumā esošajiem katjoniem (Ulusoy et al. 2016). No katjoniem uz negatīvi lādētās koloīdu virsmas pamatā tiek saistīti Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Al^{3+} , Na^+ , NH_4^+ un H^+ joni (Kasparinskis 2012), bet apmaiņas procesos spējīgi iesaistīties ir arī smago metālu joni (Vanmechelen et al. 1997).

Katjonu apmaiņas kapacitāte ir nozīmīgs augsnes auglības rādītājs, kas raksturo augsnes pH reakciju, augsnes struktūras stabilitāti, barības vielu pieejamību augiem un augsnes reakciju saistībā ar mēslošanas līdzekļu pielietojumu (Shiri et al 2017). Augstāka katjonu apmaiņas kapacitāte raksturīga augsnēm ar lielu māla daļiņu un īpaši organisko vielu saturu (Ulusoy et al. 2016), turklāt nozīmīga ir arī pašu koloīdu uzbūve. Augstāka katjonu apmaiņas kapacitāte ir augsnēm ar bāzisku reakciju (Nikodemus u.c. 2008). Šādas augsnes nav pakļautas ķīmisko elementu izskalošanās procesiem, tām ir zemāks paskābināšanās risks, kā arī piemīt augstāka spēja pretoties gruntsūdeņu piesārņojumam (Shiri et al 2017). Tomēr bieži augsnes raksturo ar **apmaiņas bāzu summu**, kas ir augsnes bāzisko apmaiņas katjonu summa, izteikta cmol/kg (Nikodemus u.c. 2008).

Augsnes pH vērtība ir negatīvi logaritmēta ūdeņraža jonu (H^+) koncentrācija augsnē, kas izteikta kā vesels skaitlis robežās no 0 līdz 14. Pie augstām H^+ jonu koncentrācijām pH vērtība samazinās un augsnes reakcija kļūst skāba, bet pie zemām – bāziska (McCauley et al. 2017).

Augsnē notiek reakcija starp bāziskajiem un skābajiem joniem – augsnē esošie bāzu joni tiek aizstāti ar skābajiem joniem, kas augsnē nonākuši no atmosfēras, kā arī atrodas augsnes organiskajā materiālā (Paul 2007). Galvenie bāzu joni, kas raksturīgi augsnēm humīda klimata apstākļos, ir Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ . Tos aizstājot ar skābajiem H^+ , Al^{3+} , kā arī Fe^{2+} vai Fe^{3+} joniem, augsnes pH vērtība krītas un augsne kļūst skāba (McCauley et al. 2017). Arīda klimata apstākļos augsnes ir bagātas ar Na^+ joniem, kas nosaka šo augšņu sārmaino reakciju. Paskābināšanās procesu kavē māla minerāli, piemēram smektīti, kuriem ir izteikti augsts bāzisko jonu saturs (Paul 2007).

Liela ietekme uz augsnes reakciju ir ne tikai augsnes minerālajam sastāvam, bet arī veģetācijai. Augu atliekām sadaloties, tajās esošais organiskais slāpekļis augsnē nonāk amonija un nitrāciju veidā. Nitrāti augsni paskābina, bet amonija joni padara sārmaināku (Xu et al. 2006). Augsnes reakcijas ietekmē mainās mikroorganismu aktivitātes intensitāte, neorganisko un organisko augsnes šķīduma komponentu šķīdība un jonizācijas pakāpe, kas atstāj ietekmi uz enzīmu aktivitāti (Paul 2007).

Augi un augsnes organismi ir piemēroti konkrētiem augsnes reakcijas apstākļiem. Kultūraugu attīstībā optimāla ir neitrāla augsnes reakcija (pH~7), tomēr atsevišķām sugām

piemērotākie augsnes reakcijas apstākļi variē plašākā diapazonā. Mikrobioloģiskā aktivitāte strauji samazinās pie pH vērtības, kas zemāka par 5 (McCauley et al. 2017).

2.2. Augsnes veidošanās procesi un morfoloģiskās īpašības

Augsne veidojas ilgstošā laika periodā dažādu procesu mijiedarbības rezultātā. Augsnes veidošanās procesu raksturo minerālo savienojumu noārdīšanās, sintēze, vielu un enerģijas aprīte, kas nosaka augsnes fizikālās, ķīmiskās un bioloģiskās īpašības (Nikodemus u.c. 2008). Augsnes profilā izdalāmi vairāki ģenētiskie horizonti, kuru attīstību nosaka tādi augsnes veidošanās procesi kā velēnošanās, podzolēšanās, glejošanās, kūdras veidošanās u.c. (Mežals u.c. 1970). Svarīga loma augsnes izveidē ir augsnē esošajiem dzīvajiem organismiem.

Augsnes attīstības pamatā ir **dēdēšana**, kura iedalās fizikālajā, ķīmiskajā un bioloģiskajā (Nikodemus u.c. 2008). Fizikālā dēdēšana norisinās temperatūras, ūdens un vēja ietekmē. Temperatūras izmaiņas nodrošina iežu un minerālu izplešanos un saraušanos. Tie izplešoties ne tikai rada spiedienu uz blakusesošajiem iežiem un minerāliem, bet arī veicina plaisu rašanos. Iežu plaisās un tukšumos nokļuvušais ūdens ziemas sezonā pārvēršas ledū, un, kā zināms, ūdens sasalstot izplešas, veicinot iežu un minerālu mehānisko sairšanu (Tan 2009). Fizikālo dēdēšanu veicina arī sāls kristālu pieaugums augsnes tukšumos, kuri līdzīgi kā ledus kristāli izplešas, radot papildus spiedienu iežu un minerālu iekšienē (Nikodemus u.c. 2008).

Ķīmiskās dēdēšanas procesā no iežiem un minerāliem veidojas sekundārie un māla minerāli, kuriem ir ievērojami atšķirīgs ķīmiskais sastāvs. Ķīmiskā dēdēšana veicina arī neorganisko elementu (Si, Ca, Mg, Al, Fe, Mn, Na, K) atbrīvošanos (Tan 2009), kuri izšķīdušā veidā kļūst uzņemami augsnes dzīvajiem organismiem (Jackson 2015). Ķīmiskajai dēdēšanai ir liela loma globālajā klimata regulācijā, jo tās laikā tiek patērēts ievērojams apjoms atmosfēras oglekļa dioksīda (Fernandes et al. 2016). Galvenās reakcijas, kas raksturo ķīmisko dēdēšanu, ir oksidēšanās-reducēšanās, hidrolīze, minerālu šķīšana un skābju veidošanās (Nikodemus u.c. 2008). Pastāv divas metodes, kā novērtēt ķīmiskās dēdēšanas apjomu – vai nu pēc silīcija masas daudzuma, vai arī pēc augsnes šķīdumā esošā Na, Ca, K, Mg un Si apjoma (Fernandes et al. 2016).

Savukārt bioloģiskā dēdēšana iedalās divos atsevišķos tipos: bioloģiskajā un bioķīmiskajā. Bioloģisko dēdēšanu izraisa augu sakņu darbība, kā rezultātā ieži un minerāli ir pakļauti spiedienam un pamazām sabrūk. Turpretī bioķīmisko dēdēšanu veicina dzīvo organismu izdalītās skābes, kuru iedarbībai ir līdzīgs efekts kā hidrolīzes reakcijai (Tan 2009).

Augsnes virskārtā norisinās **trūdvielu uzkrāšanās** jeb **velēnošanās** process, kas augsnes profilā raksturo ģenētisko A horizontu (Nikodemus u.c. 2008). Trūdvielu akumulācijas

horizonta veidošanās pamatā ir humusa un liela daudzuma neorganiskā materiāla sajaukšanās process, kas arī nosaka horizontam raksturīgo izteikti tumšo krāsu (Tan 2009). Humusu veido atmirušās augu atliekas, kas mikroorganismu darbības rezultātā sadalījušās vienkāršākos savienojumos (Adamovičs u.c. 1994).

Podzolēšanās jeb izskalošanās process raksturīgs mitriem un vēsiem klimata apstākļiem, galvenokārt boreālajā zonā un kalnu reģionos, kur nokrišņu daudzums pārsniedz iztvaikošanas apjomus (Sauer et al. 2007). Par podzolēšanās procesa attīstību liecina augsnes eluviālais jeb izskalošanās horizonts E, kuram raksturīga pelnu pelēka krāsa. Eluviālais horizonts salīdzinājumā ar augsnes cilmiezi satur ievērojami mazāku daudzumu bāzisko katjonu, dzelzi un alumīniju, turpretī tas kvarca veidā uzkrāj grūti noārdāmo silīciju. Visbiežāk podzolēšanās novērojama mežu augsnēs (Lundström et al. 2000), uz cilmiežiem, kas ir ūdens un vielu mazcaurlaidīgi (Sauer et al. 2007). Podzolēšanās procesu izraisa augu nobiru uzkrāšanās un pakāpeniska sadalīšanās spēcīgu organisko skābju (fulvoskābju) ietekmē (Nikodemus u.c. 2008). Fulvoskābju iedarbības rezultātā augsnes apstākļi kļūst skābāki, izsaucot primāro silikātu, kā arī māla minerālu noārdīšanos. Tā rezultātā no augsnes atbrīvojas dzelzs, alumīnijs un silīcijs, kas ūdens filtrācijas ceļā nokļūst dziļāk augsnē (Sauer et al. 2007). Šo procesu sauc par **ieskalošanos** jeb **iluviāciju**, kam ir cieša saistība ar izskalošanos. Augsnes profilā ieskalošanās horizonts izpaužas kā iluviālais horizonts B, kuram salīdzinājumā ar E horizontu ir izteikti tumšāka krāsa, jo tas satur no virsējiem horizontiem ieskalotos ķīmiskos elementus (Al, Fe), kā arī organiskās vielas (Lundström et al. 2000).

Glejošanos iespējams novērot augsnēs, kuras pakļautas paaugstinātiem mitruma apstākļiem vai nepārtrauktai ūdens klātbūtnei (Bedard-Haughn 2011). Glejošanās norisinās bezskābekļa vidē anaerobo baktēriju iedarbībā (Nikodemus u.c. 2008). Bioķīmiskais process balstās uz oksidēšanās-reducēšanās reakciju, kuras laikā trīsvērtīgie dzelzs joni (Fe^{3+}) tiek reducēti par divvērtīgiem dzelzs joniem (Fe^{2+}), kuri arī nosaka gleja horizonta zilganpelēko krāsas toni (Bedard-Haughn 2011). Glejošanos iespējams iedalīt trīs tipos – virsējā glejošanās, kontaktglejošanās un gruntsūdens glejošanās. Virsējā glejošanās attīstās gadījumā, ja augsnes virskārtā izveidojies blīvs, ūdens necaurlaidīgs augsnes horizonts, kuram virsūdeņi nav spējīgi izsūkties cauri. Kontaktglejošanās jeb pseidoglejošanās visbiežāk vērojama uz divdaļīgiem cilmiežiem, no kuriem apakšējā daļa ir ar izteikti mazcaurlaidīgām īpašībām. Bet gruntsūdens izraisīta glejošanās novērojama teritorijās, kurās sezonāli vai pastāvīgi ir augsts gruntsūdens līmenis (Kārklīšs u.c. 2009). Glejošanās nereti darbojas kā ierobežojošs faktors cilvēku saimnieciskajai darbībai, tomēr jāmin, ka glejaugsnes raksturo augsts barības vielu un organiskā materiāla apjoms, kas var tikt izmantots glejaugšņu meliorācijas rezultātā (Bedard-Haughn 2011).

3. TĀLIZPĒTES METODES UN TO PIELIETOŠANAS IESPĒJAS

Tālizpēte jeb attālā izpēte ir bezkontakta Zemes virsmas pētniecība ar datu analīzes un dažāda veida sensoru palīdzību, kas plaši pielietojama objektu, teritoriju un dabas procesu izpētē. Attālā izpēte atvieglo platības ziņā lielu un grūti pieejamu teritoriju apsekošanu, turklāt tā ļauj analizēt procesus un pazīmes, ko cilvēks nespēj uztvert un saskatīt, ekonomējot gan laika, gan finanšu resursus (Lillesand et al. 2004). Latvijā attālās izpētes modernākās tehnoloģijas savu pētījumu veikšanā plaši izmanto Vides risinājumu institūts (VRI). Institūta darbības lauks aptver dažāda veida ekosistēmu un to funkcionalitātes analīzi, tiek vērtēti virszemes ūdeņi un kvalitāte, invazīvo sugu sastopamība, dzīvnieku un putnu sugu migrācija un to uzskaites iespējas, kā arī daudzi citi nozīmīgi vides procesi (Vides risinājumu institūts s.a.).

Zālāju ekosistēmu izpētē ļoti svarīgs rādītājs ir virszemes biomasas apjoms, kura novērtēšana ir pamats zālāju ilgtspējīgai un pārdomātai apsaimniekošanai (Chen et al. 2009). Tradicionālās virszemes biomasas novērtēšanas metodes ir laukietilpīgas un prasa plašus lauka darbus, turklāt tradicionālā veidā iegūti dati spēj būt reprezentabli tikai lokāla mēroga apstākļos. Tādēļ šobrīd kā alternatīva ļoti plaši tiek izmantotas attālās izpētes metodes, nodrošinot rentablu veidu, kā novērtēt virszemes biomasas apjomu reģionālajā un arī valsts mērogā (Psomas et al. 2011).

Tālizpētes datus ļoti plaši izmanto ekosistēmu pētījumos. Tie ļauj aprēķināt dažādus indeksus, piemēram, normalizēto veģetācijas indeksu (NDVI), uzlaboto veģetācijas indeksu (EVI) u.c., kas ir nozīmīgi ekosistēmu vērtēšanā (Huete et al. 2002). Svarīgs faktors ir augu lapās un biomasā esošā hlorofila koncentrācija un fotosintēzes intensitāte, kas ļauj spriest par ekosistēmas ekoloģisko stāvokli un kvalitāti, kā arī novērot ekosistēmu traucējumus (Sims and Gamon 2002).

3.1. Hiperspektrālie dati

Hiperspektrālos datus raksturo ļoti plašs datu diapazons, iekļaujot gan redzamās, gan tālās, tuvās, kā arī termālās infrasarkanās gaismas spektru. Hiperspektrālo sensoru sistēmas, kas pazīstamas kā attēlu veidošanas instruments, spēj iegūt attēlus nepārtrauktu, izteikti šauru kanālu veidā, kuru platums var būt vien 0,01 μm . Konkrētais kanālu platums nodrošina pietiekamu spektrālo izšķirtspēju tiešai un precīzai materiālu identifikācijai. Hiperspektrālo sensoru sistēmas iegūst attēlus vairāk nekā 200 spektrālajos kanālos. Spektrālo kanālu daudzumu nosaka sensoru spektrālā izšķirtspēja, kā arī elektromagnētiskā spektra diapazons.

Hiperspektrālo attēlu veidošanās pamatā ir katra attēla pikseļa veidotais spektrs (Lillesand et al. 2004).

3.2. *Sentinel-2* multispektrālie dati

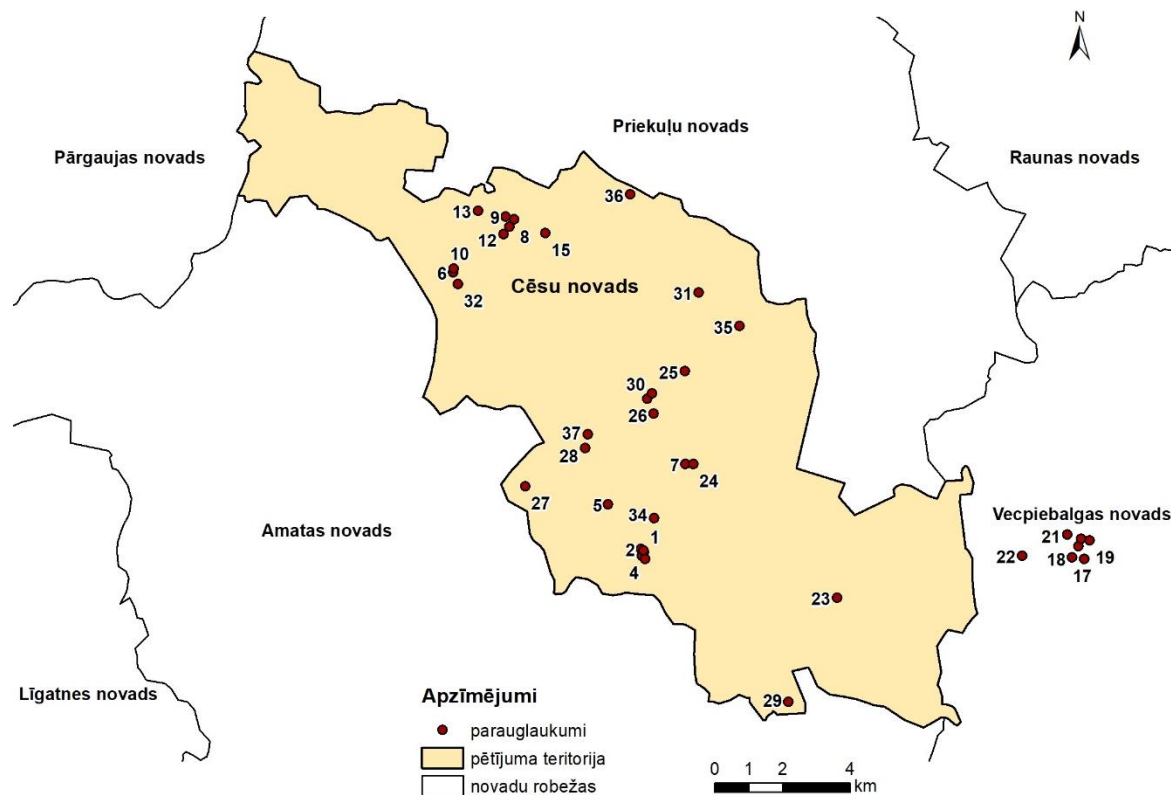
Multispektrālos datus salīdzinājumā ar hiperspektrālajiem datiem reprezentē ievērojami mazāks kanālu skaits – tas nepārsniedz 20, bet kanāla minimālais platums var būt pat 10 reizes lielāks. Multispektrālie dati ietver redzamo līdz pat infrasarkanā gaismas spektru (Lillesand et al. 2004). *Sentinel-2* ir multispektrālo datu satelīts, kas izstrādāts, lai iegūtu zemes virsmas attēlus. Attēlu iegūšanas pamatā ir Saules elektromagnētisko staru atstarošanās no zemes virsmas, kurus uztver sensori, tālāk atstarojums atkarībā no viļņa garuma tiek iedalīts un saglabāts konkrētā spektrālajā kanālā. *Sentinel-2* satelīta ainās ir 13 atšķirīgi kanāli, kuru izšķirtspēja ir robežās no 10-60 m (ESA 2015).

Sentinel-2 ir viens no globālās Zemes novērošanas programmas *Copernicus* satelītiem. Tas sastāv no 2 atsevišķiem satelītiem, kuri riņķo orbītā 786 km augstumā 180° attiecībā viens pret otru. *Sentinel-2* satelīta plānotais darbības ilgums ir vairāk nekā 7 gadi. Teritorijās, kas atrodas virs ekvatora, atkārtotas multispektrālo datu ainas tiek iegūtas ik pēc 5 dienām, bet mērenajos platumā grādos ik pēc 2-3 dienām (ESA 2015). *Copernicus* programma sniedz aktuālākos brīvpieejas datus gan par sauszemes, gan ūdeņu (saldūdeņu, jūras, okeānu) ekosistēmām, kā arī informāciju par atmosfēru, klimata pārmaiņām, pat drošības jautājumiem un ārkārtas situācijām. Programma nodrošina informāciju par zemes segumu un tā izmaiņām, zemes izmantošanas veidu maiņu, veģetācijas stāvokli, barības vielu un enerģijas plūsmām (Copernicus s.a.).

4. PĒTĪJUMA MATERIĀLS UN METODES

4.1. Pētījuma teritorijas raksturojums

Par pētījuma teritoriju izvēlēti 37 parauglaukumi zālāju teritorijās Vidzemes augstienes centrālajā daļā, Cēsu un Vecpiebalgas novadā. (4.1. attēls).



4.1. attēls. Parauglaukumu izvietojums pētījuma teritorijā

Vidzemes augstiene izvietojusies Latvijas centrālā rajona austrumu daļā. Vidējās gaisa temperatūras, salīdzinot ar pārējo Latvijas teritoriju, ir zemākas (LVĢMC S.a.), kas atstāj ietekmi uz augsnes atkušānu pavasara periodā un kavē ūdens infiltrāciju. Vidējā gaisa temperatūra janvāra mēnesī Vidzemes augstienes centrālajos rajonos ir -6° līdz -7°C , kamēr vidēji Latvijā tā ir par 2°C augstāka, bet jūlijā gaisa temperatūra vidēji ir $+16,5^{\circ}\text{C}$. Nokrišņu daudzums svārstās no 750 līdz 850 mm gadā, kas ir vairāk kā vidēji Latvijā gada laikā (667 mm). Vidzemes augstienē bezsala periods ir 118 – 133 dienas, bet sniega sega noturas 130 – 140 dienas (Āboltiņš 1998).

Pēc K. Brīvkalna iedalījuma Vidzemes augstiene pieskaitāma Vidzemes augstieņu augšņu rajonam. Tam raksturīgs izteikti mainīgs daudzpakāpju paugurains reljefs. Nelielu daļu augšņu rajona aizņem gan plakani, gan viļņoti līdzenumi (Nikodemus un Kasparinskis 2018). Teritorijā mainīgā reljefa un mitruma apstākļu dēļ norisinās aktīva augsnes erozija, kas veicina

augšnes auglīgās virskārtas pārvietošanu uz zemākām vietām reljefā ūdens un vēja ietekmē. Tādējādi pieaug augšņu daudzveidība, jo relatīvi nelielās platībās spēj veidoties atšķirīgi augšnes apakštīpi (Āboltiņš 1998).

Vidzemes pauguraino augstieņu augšņu rajonu raksturo dažāda granulometriskā sastāva cilmieži. Teritorijā dominē gan smilšmāla, gan mālsmilts cilmieži. Reljefa paaugstinājumiem raksturīgas velēnu podzolaugšnes, kas stāvākajās pauguru nogāzēs pakļautas stiprai erozijai lauksaimnieciskās darbības dēļ. Reljefa ieplakas aizņem zemā purva kūdraugšnes, kā arī velēngleja augšnes (Nikodemus un Kasparinskis 2018).

Pētāmā teritorija ietilpst Mežoles pauguraines dabas apvidū. Kvartāra nogulumu segu šeit veido glacigēnie morēnas nogulumi, dažviet tie pārsegti ar glaciofluviālajiem nogulumiem, bet reljefa pazeminājumos izplatīti glaciolimniskie nogulumi. Purvu un ezeru nogulumi sastopami reljefa ieplakās (Āboltiņš 1995). Pētījuma parauglaukumi pārsvarā izvietojusies uz glacigēnajiem morēnas mālsmilts un smilšmāla nogulumiem, kā arī uz glaciofluviālajiem nogulumiem ar smilti, granti un oļāju. Viens no parauglaukumiem atrodas uz limnoglaciālajiem un purvu nogulumiem (LVGD Kvartārģeoloģija).

4.2. Materiāli

Maģistra darbā izmantota literatūra no starptautiskajiem zinātniskajiem recenzējamiem žurnāliem, kas pieejami datubāzēs: Science Direct, Scopus, EBSCO,. Izmantotas grāmatas, elektroniskie resursi, kartogrāfiskie materiāli.

Pētījumā tika izmantoti dati, kas ievākti atbilstoši LIFE Viva Grass projekta metodikai par 37 izdalītajām pētījuma etalonteritorijām 2018. gadā, izmantojot Dabas aizsardzības pārvaldes (DAP) dabas datu pārvaldības sistēmu "OZOLS". Etalonteritorijas tika izdalītas atbilstoši šādiem kritērijiem:

- zālāju klases (kultivētie, ilggadīgie un daļēji dabiskie zālāji);
- zemes kvalitatīvās vērtības klases (0-25 balles; 26-50 balles; >50 balles).

Izmantoti šādi lauka darbu dati:

- 37 parauglaukumu koordinātas;
- augšnes paraugi no šādiem dziļumiem (0-10 cm un 11-20 cm);
- veģetācijas apraksti;
- biomasas paraugi.

Zālāju biomasas telpiskās izplatības noteikšanas un prognozēšanas iespēju analīzei tika izmantoti šādi dati:

- prognozētās biomasas dati no Vides risinājumu institūta, kā arī *Sentinel-2* satelītinformācijas multispektrālie dati;
- lauka darbos noteiktās zaļās biomasas dati (1 atkārtojumā 1m²).

Lauka darbos noteiktās zaļās biomasas datu verifikācijai tika izmantoti laboratorijā noteiktā biomasas sausna, kas tika ievākta lauka darbos (3 atkārtojumos 25x25 cm platībā).

4.3. Pētījuma metodes

Lauka darbu metodes

Pētījuma etalonteritorijās 2018. gadā tika veikta veģetācijas aprakstīšana pēc Brauna-Blankē metodes, nosakot 1 m² platībā esošo sugu skaitu un sastāvu, un to kumulatīvo segumu (veģetācijas aprakstus veica R. Miķelsons). Lauka darbu apstākļos tika ievākti arī biomasas paraugi, nosakot to masu gan ievākšanas brīdī, gan pēc 16 h žāvēšanas žāves skapī 105°C temperatūrā. Biomasu ievāka 25x25 cm lielos parauglaukumos, kuri izvietoti trijos virzienos no 1 m² lielā veģetācijas aprakstīšanas laukuma.

Parauglaukumos 2018. gadā divos dziļumos (0-10 cm un 11-20 cm) tika ievākti augsnes paraugi. Katrs augsnes paraugs tika marķēts ar informāciju par parauga kārtas numuru un ievākšanas dziļumu. Vietās, kur ievākti paraugi, ar GPS (Magellan) fiksētas koordinātas.

Augsnes ķīmisko un fizikālo analīžu metodes

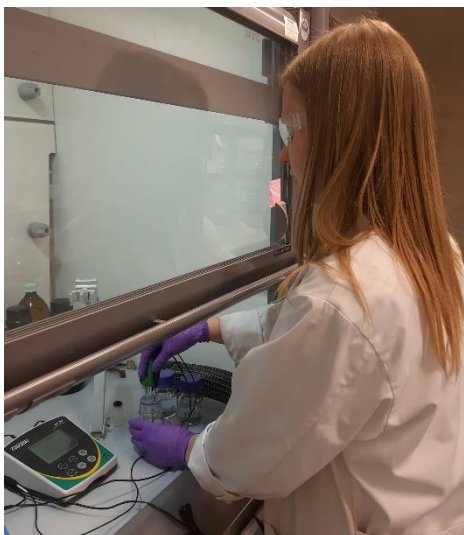
Turpmākā augsnes paraugu analīze norisinājās LU ĢZZF augšņu laboratorijā. Sākotnēji augsnes paraugi tika izžāvēti līdz gaissausam stāvoklim. Lai sagatavotu paraugus ķīmiskajām analīzēm, augšņu paraugi tika sijāti caur ģeoloģisko sietu (minerālaugšnes – 2 mm, kūdraugšnes – 4 mm) (4.2. attēls).



4.2. attēls. Paraugu sagatavošana ķīmiskajām analīzēm (autores foto 2019)

Paraugiem 3 atkārtojumos tika veiktas šādas ķīmiskās analīzes:

- apmaiņas ķīmisko elementu (Ca^{2+}), (Mg^{2+}), (K^+), (Na^+), (Al^{3+}), (Fe^{2+}), (Mn^{2+}) noteikšana 0,1 M BaCl_2 šķīdumā, nosakot koncentrāciju (mg/kg) ar atomabsorbcijas spektrometru *Perkin Elmer Analyst 200* (Tan 2005);
- augsnes $\text{pH}_{\text{BaCl}_2}$ noteikšana, izmantojot pH-metru *WTW inoLab* ar stikla elektrodu 0,1 M BaCl_2 šķīdumā (4.3. attēls);



4.3. attēls. Augsnes pH noteikšana, izmantojot pH metru (B. Dirnēnas foto 2019)

- kopējā slāpekļa ($\text{N}_{\text{kop.}}$) un kopējā oglekļa ($\text{C}_{\text{kop.}}$) saturs (%) noteikšana, izmantojot CHNSO elementanalizatoru *EuroVector*;
- kustīgā fosfora (P_2O_5) (mg/kg) noteikšana pēc Egnera-Rīma metodikas (Augsnes agroķīmisko analīžu metodes 2014) (4.4. attēls).



4.4. attēls. Kustīgā fosfora noteikšana, izmantojot Egnera-Rīma metodiku (autores foto 2019)

Datu statistiskās apstrādes metodes

Pēc ķīmisko analīžu veikšanas tika izveidota *MS Excel* datu bāze ar augsnes ķīmisko un fizikālo parametru rezultātiem (pH, C%, N%, C/N, P₂O₅ (mg/kg), apmaiņas elementi (mg/kg), apmaiņas bāzu summa (cmol/kg), tilpummasa (g/cm³), C krāja (t/ha)), kā arī veģetācijas un biomasas datiem (sugu skaits 1 m², sugu kumulatīvais segums (%), zaļā biomasas (g/m²), biomasas sausna (g/m²)). Apmaiņas bāzu summa (cmol/kg), tilpummasa (g/cm³) un C krāja (t/ha) tika aprēķināta, balstoties uz iegūtajiem ķīmisko analīžu rezultātiem.

Lai analizētu, vai pastāv būtiskas atšķirības ($p < 0,05$) starp parauglaukumiem dažādās zālāju klasēs (kultivēts, ilggadīgs un daļēji dabisks zālājs) un zemes kvalitatīvās vērtības klasēs (zema, vidēja, augsta), tika izmantota vienfaktora dispersijas analīze (Oneway ANOVA) programmā *IMB SPSS Statistics 22*. Analīzē tika pielietoti *Tukey*, *Scheffe* un *Dunnnett T3* testi.

Lai analizētu galvenos augsnes faktoros zālāju ekosistēmu un īpaši biomasas nodrošināšanā, tika pielietota galveno komponentu analīzes metode (PCA) programmā *PC-ORD 5.10*. Tika analizēti augsnes paraugi abos paraugu ievākšanas dziļumos (0-10 cm un 11-20 cm), veidojot datu matricas ar augsnes ģenētisko horizontu kvantitatīvajiem un kvalitatīvajiem rādītājiem. Tika analizēti 29 no 37 augsnes paraugiem abos paraugu ievākšanas dziļumos pēc 16 kvantitatīvajiem un 7 kvalitatīvajiem faktoriem. Galveno komponentu analīzē netika iekļauti augsnes paraugi, kuri piederīgi hidromorfajām augsnēm, kā arī 2 paraugi no parauglaukumiem, kuros trūka veģetācijas datu.

No kvantitatīvajiem faktoriem analīzē tika iekļauti – augsnes auglība (ballēs), pH, C%, N%, P₂O₅ (mg/kg), apmaiņas elementi Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Mn²⁺, Al³⁺, Fe²⁺ (mg/kg), apmaiņas bāzu summa (cmol/kg), tilpummasa (g/cm³), sugu skaits 1 m², zaļā biomasas (g/m²) un biomasas sausna (g/m²). Pārējie rādītāji analīzē netika iekļauti, jo neuzrādīja būtiskas sakarības. Kvalitatīvie rādītāji tika kodēti ar veseliem skaitļiem:

- 1) Augsnes apakštīps: 1 – velēnu podzolaugsne, 2 – erodētā podzolaugsne, 3 – kultūraugsne, 4 – velēnglejotā augsne, 5 – velēnu glejaugsne, 6 – trūdainā glejotā augsne, 7 – trūdainā glejaugsne, 8 – velēnpodzolētā virsēji glejotā augsne, 9 – velēnpodzolētā glejaugsne, 10 – zemā purva trūdaini kūdrainā augsne;
- 2) Augsnes tips: 1 – podzolaugsne, 2 – antropogēnā augsne, 3 – glejaugsne, 4 – podzolētā glejaugsne, 5 – zemā purva kūdraugsne;
- 3) Augsnes klase: 1 – automorfa, 2 – pushidromorfa, 3 – hidromorfa;
- 4) Granulometriskā sastāva grupa: 1 – kūdra, 2 – smilts, 3 – mālsmilts, 4 – smilšmāls, 5 – māls;
- 5) Zālāja klase: 1 – kultivēts, 2 – ilggadīgs, 3 – daļēji dabisks;
- 6) Novietojums reljefā: 1 – virsotne, 2 – nogāze, 3 – nogāzes lejasdaļa, 4 – ieplaka;

- 7) Zemes kvalitatīvā vērtība (ZKV): 1 – zema (0-25 balles), 2 – vidēja (26-50 balles), 3 – augsta (virs 50 ballēm).

Kartogrāfiskais materiāls veidots, izmantojot LU ĢZGF WMS karšu serverī pieejamās kartes un datubāzi *GIS Latvija 10.2*.

Tālizpētes metodes

Biomases apjoma novērtējumu veica Vides risinājumu institūts (VRI), pamatojoties uz mākslīgā neironu tīkla modeli (*Artificial Neural Network model*), kurā izmantoti tālizpētes hiperspektrālie dati apvienojumā ar *Sentinel-2* satelītinformācijas multispektrālajiem datiem. Hiperspektrālie dati (atstarojums pie 27 dažādiem viļņu garumiem) iegūti 2.06.2018., izmantojot novērošanas un vides monitoringa sensoru sistēmu ARSENAL, kas lietojama uz dažādām aviācijas platformām. Savukārt multispektrālo satelītu ainas izmantotas no 25.05.2018. un 01.06.2018., lai aizstātu pļaušanas ietekmē radušos iztrūkstošos datus (Institute for Environmental Solutions 2018).

5. REZULTĀTI UN DISKUSIJA

5.1. Zālāju raksturojums un izvērtējums pētījuma teritorijās

Pētījuma teritorijā 9 no 37 parauglaukumiem tika konstatēti ES nozīmes aizsargājami zālāju biotopi. Piecus no parauglaukumiem raksturo biotops 6270* *Sugām bagātas ganības un ganītas pļavas*, trijos sastopams biotops 6450* *Palieņu zālāji*, bet viens no parauglaukumiem atbilst biotopam 6210* *Sausi zālāji kaļķainās augsnēs*.

Biotopu 6270* *Sugām bagātas ganības un ganītas pļavas* Latvijā raksturo gan sausas, gan mēreni mitras un mitras augtenes, tādēļ tas var būt sastopams atšķirīgos reljefa apstākļos, kā arī uz dažādiem augšņu apakštīpiem. Biotopam pētījuma teritorijā konstatēti visi 3 biotopa varianti:

- 6270_1 – tipiskais, sugām bagātais biotopa variants, kas veidojies mērenos mitruma apstākļos, parasti uz neitrālām vai vāji skābām augsnēm;
- 6270_2 – biotopa variants, kas veidojies uz nabadzīgām, mēreni mitrām līdz mitrām augsnēm ar vidēji skābu pH reakciju;
- 6270_3 – mitrais biotopa variants, kurā dominējošās ir mitru vietu graudzāles (Rūsiņa 2013).

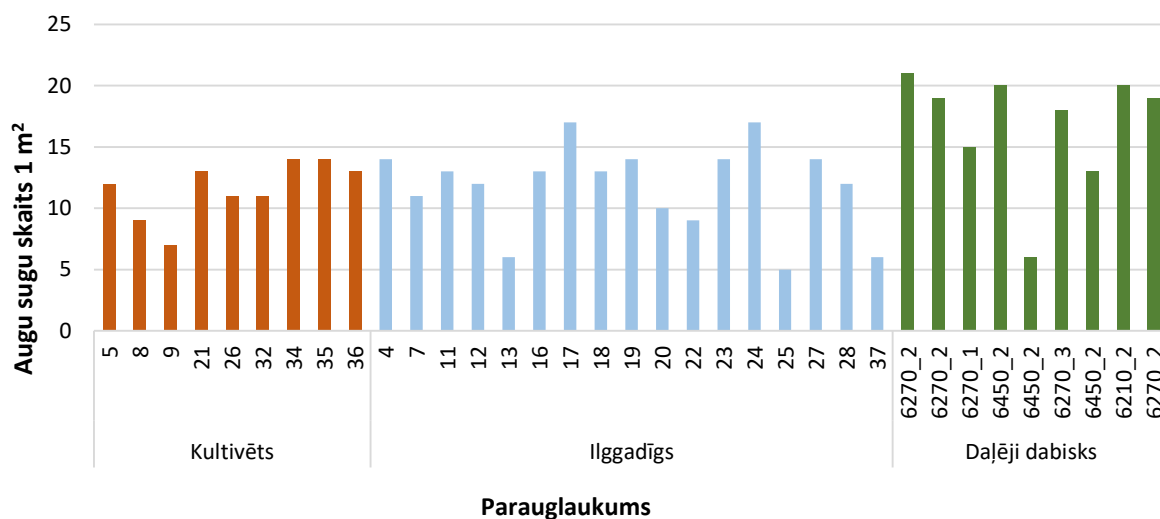
Pirmais biotopa variants konstatēts 1 parauglaukumā, otrais – 3 parauglaukumos, bet trešais – arī tikai 1 parauglaukumā.

Biotops 6450* *Palieņu zālāji* iekļauj slapjos un mitros palienēs esošos zālājus. Šos biotopus raksturo daudzveidīgi vides apstākļi, kā rezultātā arī veģētācijas struktūra un sugu sastāvs var būt ļoti daudzveidīgs. Biotopam pētījuma teritorijā konstatēts tikai otrais variants (6450_2), kuru raksturo ļoti auglīgas augsnes (Rūsiņa 2013). Šis biotops raksturo 3 parauglaukumus.

6210* *Sausi zālāji kaļķainās augsnēs* biotops atrodas uz neitrālām, bāziskām un barības vielu ziņā nabadzīgām augsnēm. Šie zālāji galvenokārt izvietojas uz kaļķainiem cilmiežiem pauguru nogāzēs un virsotnēs, kā arī upju ielejās. Biotopa variants 6210_2, kas vienīgais konstatēts vienā no pētījuma parauglaukumiem, raksturīgs tieši Latvijas austrumu daļai (Rūsiņa 2013).

Lielāko daļu no pētījuma teritorijas zālājiem veido mazāk vērtīgie ilggadīgie un kultivētie zālāji (attiecīgi 18 un 10 parauglaukumi). Tomēr divi no parauglaukumiem netika iekļauti veģētācijas analīzē, jo tajos dažādu apstākļu dēļ nebija iespējams veikt veģētācijas uzskaiti.

Parauglaukumos kopā tika konstatētas 99 dažādas lakstaugu sugas. Kultivētajos zālajos sugu daudzveidība 1 m² ir robežās no 7-14, ilggadīgajos zālajos no 5-17, bet daļēji dabiskajos zālajos robežās no 6-21 (5.1. attēls).

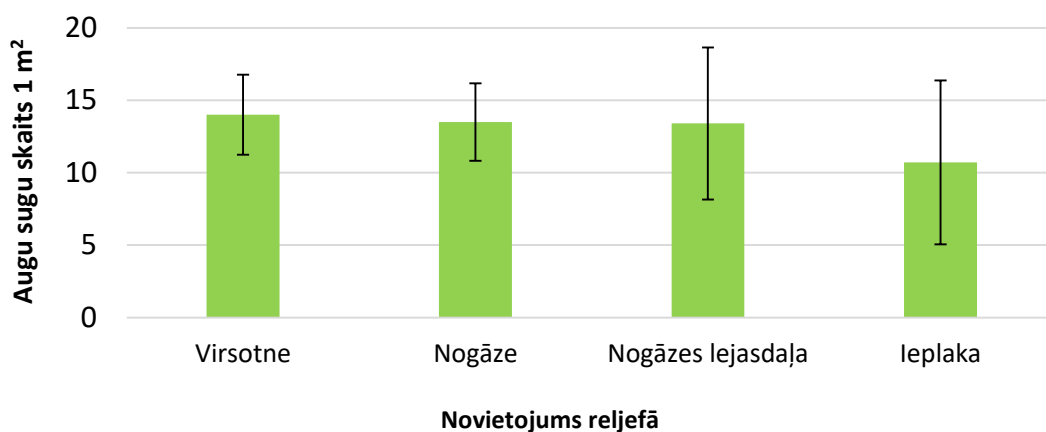


5.1. attēls. Lakstaugu sugu skaits (1 m²) pētījuma teritorijās

Sugām bagātākie zālāji atbilst biotopam 6270_2 un tie izvietojušies atšķirīgos reljefa apstākļos (gan virsotnēs, gan nogāzēs, gan reljefa ieplakās), kā jau raksturīgs 6270* biotopam. Redzams, ka kultivētajos zālajos bioloģiskā daudzveidība ir viszemākā un lakstaugu sugu skaits 1 m² nepārsniedz 14 sugas, tomēr arī parauglaukumi, kuri piederīgi ilggadīgo zālāju klasei, sugu daudzveidības ziņā ir līdzīgi kultivētajiem zālājiem. Vienfaktora dispersijas analīzes rezultāti parāda, ka būtiskas atšķirības ir starp kultivētu un daļēji dabisku zālāju, kā arī ilggadīgu un daļēji dabisku zālāju (1. pielikums).

Analizējot veģetācijas datus saistībā ar reljefu, redzams, ka relatīvi lielākā lakstaugu sugu daudzveidība raksturo parauglaukumus, kas atrodas pauguru virsotnēs – 14 sugas/m², savukārt reljefa ieplakās bioloģiskā daudzveidība ir relatīvi viszemākā, vidēji 11 sugas uz 1 m². Turklāt parauglaukumi, kuri atbilstīgi nogāzes lejasdaļai un ieplakai, ir ar vislielāko standartnovirzi, kas norāda uz parauglaukumu relatīvi lielajām savstarpējām atšķirībām (5.2. attēls). Pētījuma rezultāti parāda, ka pauguru virsotnēs ir relatīvi lielāks augu sugu skaits.

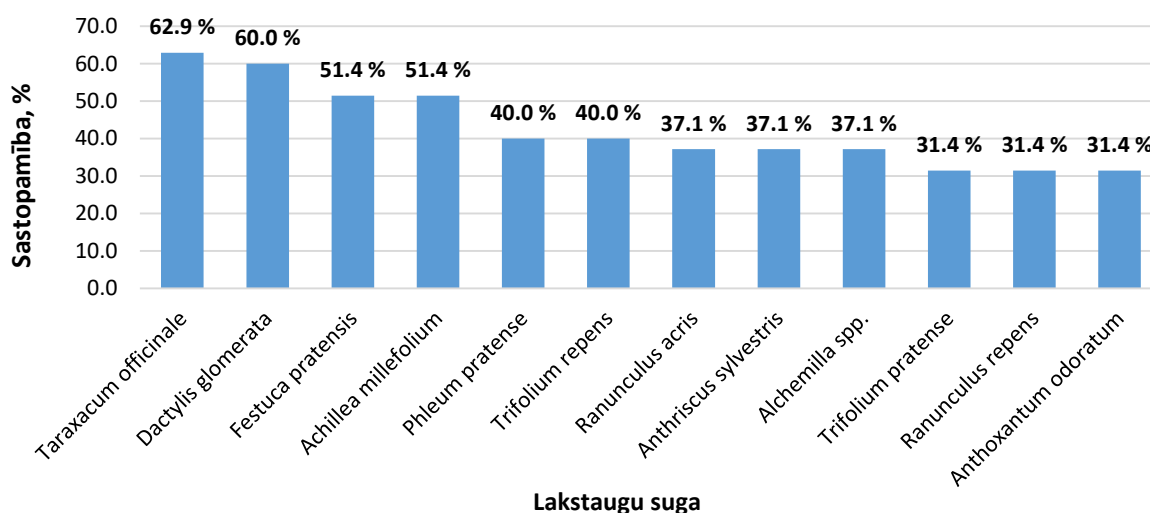
To iespējams skaidrot ar augsnes auglību (Critchley et al. 2002). Latvijā Vidzemes augstienē augsnes auglības atšķirības nosaka saposmots reljefs, kā rezultātā pauguru virsotnēs izvietojušās relatīvi nabadzīgākas augsnes (Nikodemus, Kasparinskis 2018).



5.2. attēls. Augu sugu skaits 1 m² atkarībā no novietojuma reljefā

Augsnes auglību ietekmē augsnes veidošanās procesi, piemēram, erozija. Pauguru virsotnēs erozijas procesi ir intensīvāki, organisko vielu akumulācijas horizonta biezums samazinās un līdz ar to samazinās arī augsnes auglība (Kravchenko 2000). Augsne kļūst nabadzīga, nosakot piemērotus apstākļus skrajākas, bet daudzveidīgākas veģētācijas attīstībai.

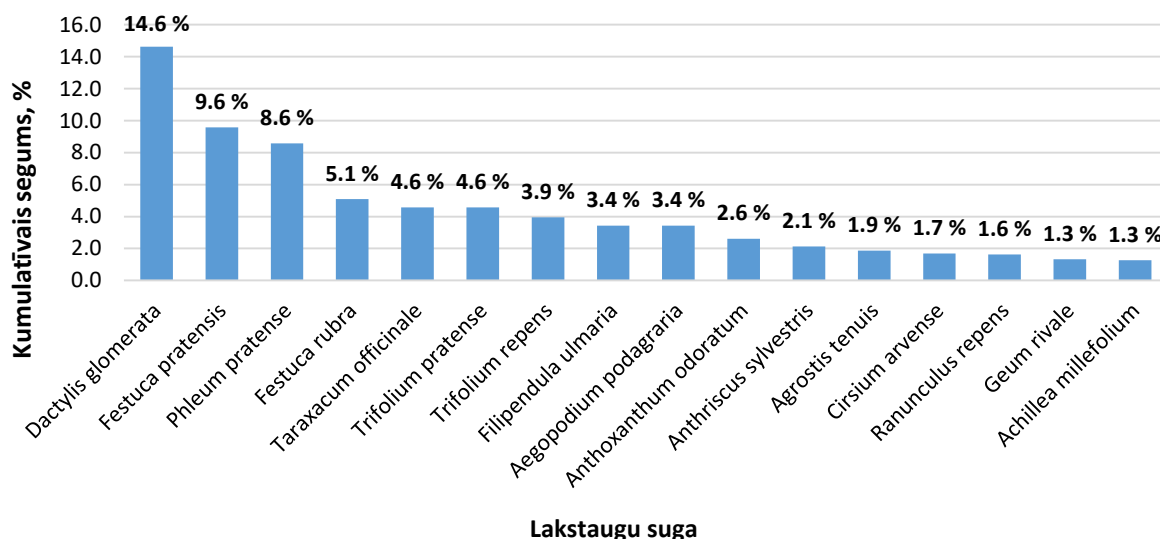
Pētījuma teritorijās visbiežāk konstatētās lakstaugu sugas ir ārstniecības pienene *Taraxacum officinale*, parastā kamolzāle *Dactylis glomerata*, pļavas auzene *Festuca pratensis*, parastais pelašķis *Achillea millefolium*, pļavas timotiņš *Phleum pratense*, ložņu āboliņš *Trifolium repens* u.c. sugas (5.3. attēls). Katra no šīm sugām konstatēta vairāk kā 10 parauglaukumos, bet ārstniecības pienene un parastā kamolzāle sastopama vismaz 20 no 35 analizētajiem zālāju parauglaukumiem.



5.3. attēls. Biežāk sastopamās lakstaugu sugas pētījuma teritorijās

Vairumā gadījumu biežāk sastopamās sugas ir arī dominējošās sugas ar lielāko kumulatīvo segumu. Sugas ar lielāko kumulatīvo segumu (%) visos pētījuma parauglaukumos

kopā ir parastā kamolzāle *Dactylis glomerata*, pļavas auzene *Festuca pratensis*, pļavas timotiņš *Phleum pratense*, sarkanā auzene *Festuca rubra*, ārstniecības pienene *Taraxacum officinale*, pļavas āboliņš *Trifolium pratense*, ložņu āboliņš *Trifolium repens*, parastā vīgrieze *Filipendula ulmaria*, podagras gārša *Aegopodium podagraria*, kā arī citas sugas (5.4. attēls). Parastā kamolzāle aizņem 14,6% visu parauglaukumu veidotā kopīgā kumulatīvā seguma. Tā ir viena no dominējošām sugām 12 no 35 parauglaukumu.



5.4. attēls. Dominējošās lakstaugu sugas un to kumulatīvais segums (%) visos parauglaukumos kopā

Parastā kamolzāle ir daudzgadīgs graudzāļu dzimtas lakstaugs, kas speciāli kultivēts lopbarības vajadzībām, tādēļ tā izplatība ir ļoti plaša visā Latvijas teritorijā (Parastā kamolzāle s.a.).

5.2. Augšņu daudzveidība pētījuma teritorijās

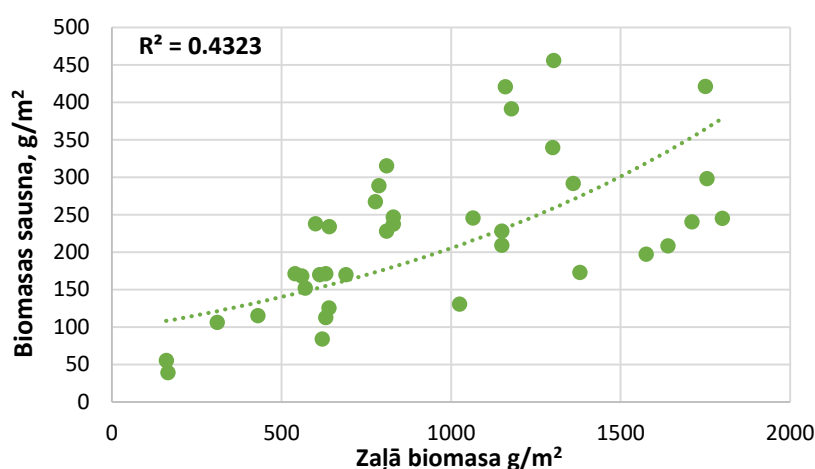
Pētījuma teritorija atrodas Vidzemes augstienes centrālajā daļā, un to raksturo saposmots reljefs, kas noteicis relatīvi lielu augšņu daudzveidību. 37 parauglaukumos atbilstoši Latvijas augšņu klasifikācijai pārstāvēti 5 augsnes tipi un 10 augsnes apakštipi, kas piederīgi visām trīs augsnes mitruma klasēm. Parauglaukumos no augsnēm visbiežāk konstatēta erodētā podzolaugsne (12), zemā purva trūdaini kūdrainā augsne (6), velēnpodzolētā virsēji glejotā augsne (5), velēnu podzolaugsne (4) un velēnglejotā augsne (3), bet retāk konstatēta kultūraugsne (2), velēnu glejaugsne (2), trūdainā glejotā augsne (1), trūdainā glejaugsne (1) un velēnpodzolētā glejaugsne (1).

Erodētās podzolaugsnes galvenokārt izvietojušās pauguru virsotnēs un nogāzēs, bet zemā purva trūdaini kūdrainās augsnes sastopamas reljefa ieplakās, kā arī nogāžu lejasdaļā.

Starppauguru ieplakās ir optimāli mitruma apstākļi hidromorfo augšņu attīstībai, jo nokrišņi un augsnes ūdens gravitācijas spēku ietekmē virzās lejup pa nogāzēm un uzkrājas reljefa zemākajās vietās.

5.3. Zālāju biomasa un to ietekmējošo faktoru izvērtējums

Pētījumā tika konstatēta pozitīva vidēji cieša ($r=0,66$) sakarība starp zaļās biomasas daudzumu, kas tika iegūts, sverot tikko uz lauka ievāktas biomasas paraugus, un biomasas sausnas daudzumu, kas iegūts pēc biomasas paraugu žāvēšanas (5.5. attēls). Sakarība parāda, ka zaļās biomasas dati ir ticami un izmantojami turpmākajā biomasas daudzuma analīzē.

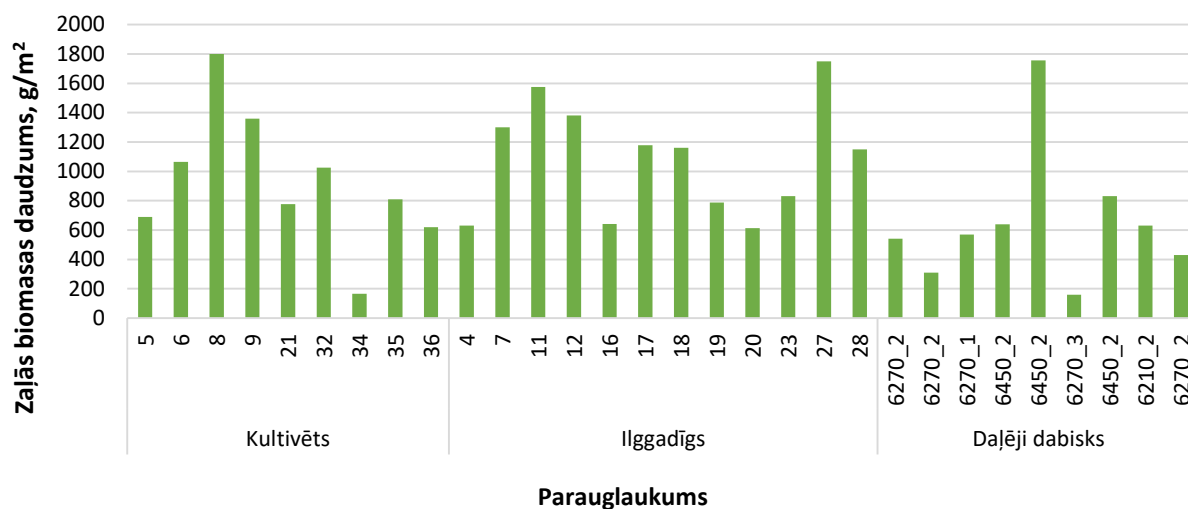


5.5. attēls. Zaļās biomasas daudzuma (g/m^2) attiecība pret biomasas sausnu (g/m^2)

Vērtējot zaļās biomasas apjomu zālāju klasēs, var redzēt, ka kultivētajos zālajos biomasas apjoms svārstās no 165-1800 g/m^2 , ilggadīgajos zālajos robežās no 612-1750 g/m^2 , bet daļēji dabiskajos zālajos no 160-1755 g/m^2 (5.6. attēls). No zālāju klasēm tieši daļēji dabiskajos zālajos zaļās biomasas apjoms ir vidēji vismazākais – 652 g/m^2 , bet vidēji vislielākais biomasas apjoms noteikts ilggadīgajos zālajos – 1063 g/m^2 . Tomēr vienfaktora dispersijas analīze neuzrāda būtiskas atšķirības starp zālāju klasēm (1. pielikums).

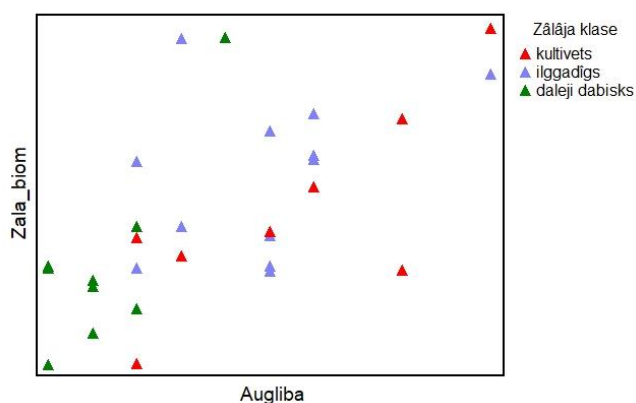
Galvenokārt kultivēti zālāji ir tie, kurus raksturo augstāks biomasas apjoms, kā arī pašas biomasas augstā kvalitāte enerģijas ražošanas vajadzībām, tomēr pierādīta arī sugām bagāto daļēji dabisko zālāju spēja saražot relatīvi lielu apjomu biomasas (Kalvāne u.c. 2014).

Pētījuma etalonteritorijās no daļēji dabisko zālāju biotopiem relatīvi augstāks zaļās biomasas apjoms raksturīgs 6450_2 biotopiem *Palieņu zālāji*, kas sakrīt ar pētījumiem Igaunijā, kur augstākais potenciāls biomasas un enerģijas ieguvē konstatēts sezonāli applūstošajiem palieņu zālājiem (Heinsnoo 2010).

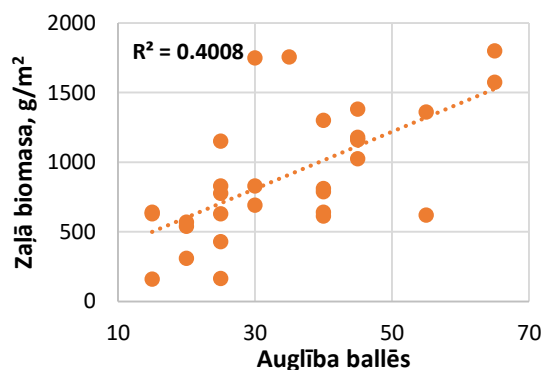


5.6. attēls. Zaļās biomasas daudzums (g/m²) dažādās zālāju klasēs

Pētījumā konstatēta būtiska vidēji cieša pozitīva sakarība ($r=0.63$) starp augsnes auglību un zaļo biomasu – pieaugot augsnes auglībai, palielinās zaļās biomasas apjoms (5.8. attēls). Atkarībā no zālāja klases izteikti nodalās daļēji dabisko zālāju parauglaukumi. Tos raksturo relatīvi mazauglīgākas augsnes, kā arī zemāks zaļās biomasas apjoms (5.7. attēls). Ilggadīgo un kultivēto zālāju parauglaukumi izteikti negrupējas, kas parāda, ka tie spēj pielāgoties ļoti daudzveidīgiem augšanas apstākļiem un veidoties augsnēs, kas atbilst dažādām zemes kvalitatīvās vērtības klasēm.



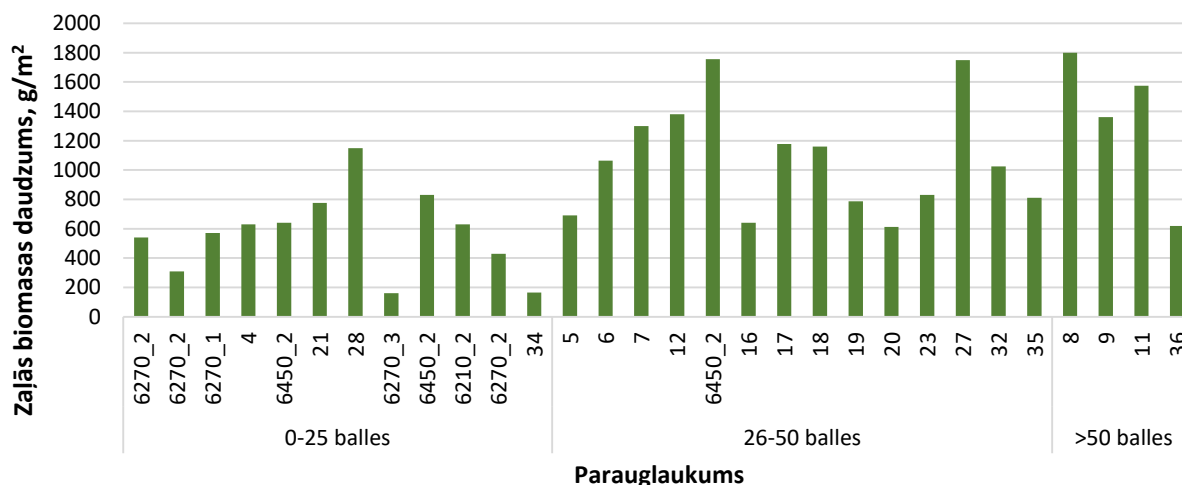
5.7. attēls. Zaļās biomasas daudzums (g/m²) atkarībā no augsnes auglības (ballēs) dažādās zālāju klasēs



5.8. attēls. Zaļās biomasas daudzums (g/m²) atkarībā no augsnes auglības (ballēs) ($r=0,63$)

Šo sakarību pierāda arī grafiks, kurā attēlots zaļās biomasas daudzums dažādās zemes kvalitatīvās vērtības klasēs. Redzams, ka parauglaukumus, kuri izvietojušies uz nabadzīgākajām augsnēm (0-25 balles), raksturo mazāks zaļās biomasas apjoms (5.9. attēls). Pēc vienfaktora dispersijas analīzes rezultātiem parādās būtiskas atšķirības starp zemu un

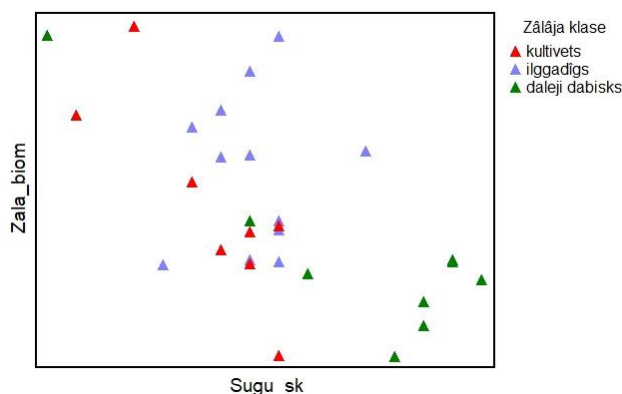
vidēju, kā arī zemu un augstu zemes kvalitatīvās vērtības klasi (1. pielikums). Starp zemu un vidēju ZKV klasi atšķirības uzrāda visi trīs testi, bet starp zemu un augstu – tikai divi. Jāmin, ka parauglaukumi, kuros konstatēti daļēji dabiskie zālāji, gandrīz visi piederīgi klasei ar zemu ZKV. Vienīgi 15. parauglaukums, kurā konstatēts biotops 6450_2, atbilst vidējai ZKV klasei. Šis parauglaukums vienīgais no daļēji dabisko zālāju parauglaukumiem izceļas ar izteikti augstu zaļās biomasas apjomu un vienlaicīgi ar ļoti zemu bioloģisko daudzveidību – vien 6 sugas/m².



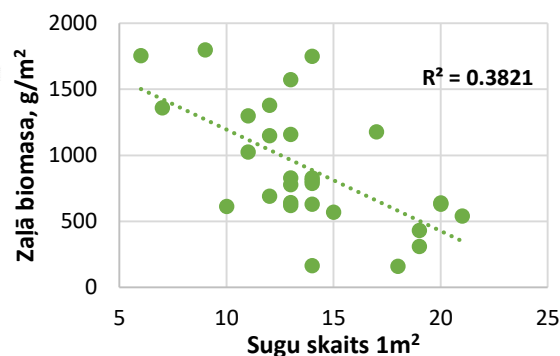
5.9. attēls. Zaļās biomasas daudzums (g/m²) dažādās zemes kvalitatīvās vērtības klasēs

Pētījumā konstatēta arī būtiska vidēji cieša negatīva sakarība ($r=0,62$) starp augu sugu skaitu 1 m² un zaļās biomasas daudzumu (5.11. attēls). Tādējādi var secināt, ka parauglaukumos, kur ir lielāks augu sugu skaits (1 m²), zaļās biomasas daudzums (g/m²) ir relatīvi zemāks. Līdzīgi kā iepriekš, izteikti grupējas daļēji dabisko zālāju, kas atbilst ES nozīmes aizsargājamiem bioloģiski vērtīgajiem zālāju biotopiem, parauglaukumi, kurus raksturo augsta bioloģiskā daudzveidība, bet zems zaļās biomasas apjoms (5.10. attēls). Pētījuma rezultāti rāda, ka parauglaukumos ar mazu un vidēji lielu bioloģisko daudzveidību, zaļās biomasas apjoms ir ievērojami lielāks.

To iespējams skaidrot ar sugu konkurenci. Bioloģisko daudzveidību zālājā nosaka hierarhijas mehānisms starp dominējošajām un raksturīgajām sugām. Zālāji, kuros nav izteikta savstarpējā sugu konkurence, parasti ir sugām nabadzīgākie, norādot uz veģetācijas homogenizāciju (Mariotte et al. 2013). Šajās vietās zālāji vairāk piemēroti biomasas ražošanai.

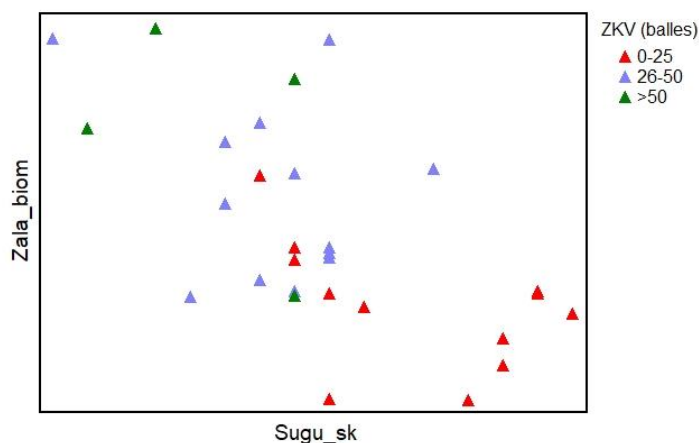


5.10. attēls. Zaļās biomasas daudzums (g/m^2) atkarībā no sugu skaita 1 m^2 dažādās zālāju klasēs



5.11. attēls. Zaļās biomasas daudzums (g/m^2) atkarībā no sugu skaita 1 m^2 ($r=0,62$)

Lielāko daļu daļēji dabisko zālāju parauglaukumu raksturo zema zemes kvalitatīvā vērtība (0-25 balles), un tie ir sugām bagātākie (5.12. attēls). Pētījuma etalonteritorijās, kas piederīgas vidējai zemes kvalitatīvās vērtības klasei (26-50 balles), zaļās biomasas apjoms variē visplašākajā diapazonā ($612\text{-}1755 \text{ g/m}^2$).



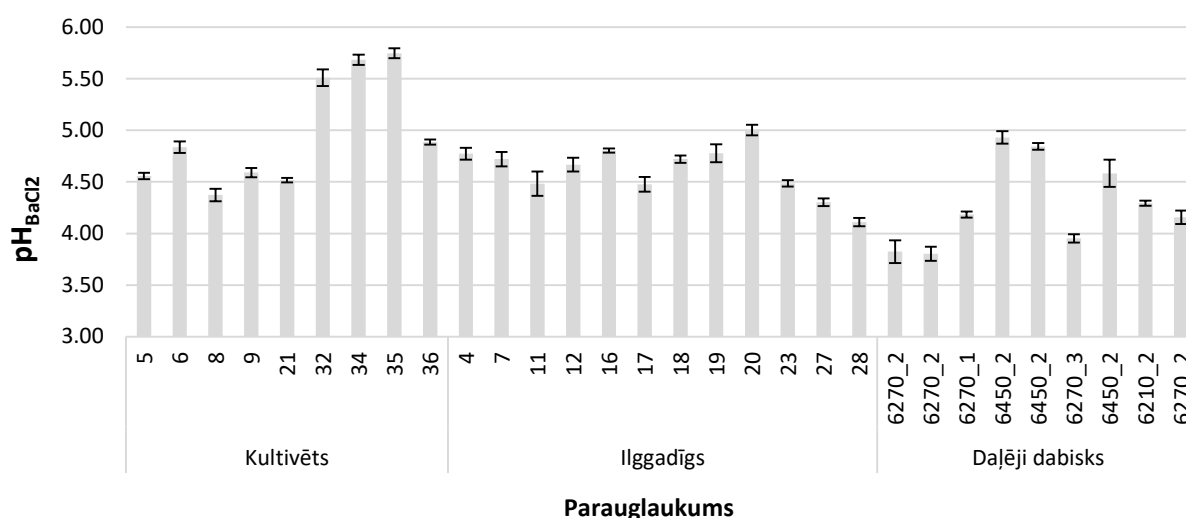
5.12. attēls. Zaļās biomasas daudzums (g/m^2) atkarībā no sugu skaita 1 m^2 dažādās zemes kvalitatīvās vērtības klasēs

Iegūtie rezultāti ļauj secināt, ka zālāju biomasa ir atkarīga no augsnes auglības, ko nosaka augsnes fizikālās un ķīmiskās īpašības. Augsnes auglība rakturo augsnē esošo barības vielu daudzumu un līdz ar to rada priekšnoteikumus konkrētu augu attīstībai un to ražībai. Augsnes auglība ir viens no galvenajiem zemes izmantošanu noteicošajiem faktoriem, kas gan vēsturiski, gan mūsdienās bijis par pamatu lauksaimniecības un meža zemju telpiskajai izplatībai. (Nikodemus un Kasparinskis 2018).

5.3.1. Augsnes nozīmīgāko ķīmisko un fizikālo īpašību izvērtējums

Augsnes auglību raksturo vairāki rādītāji – augsnes pH reakcija, kopējais oglekļa un slāpekļa saturs, apmaiņas bāzu summa, kustīgā fosfora koncentrācija u.c.

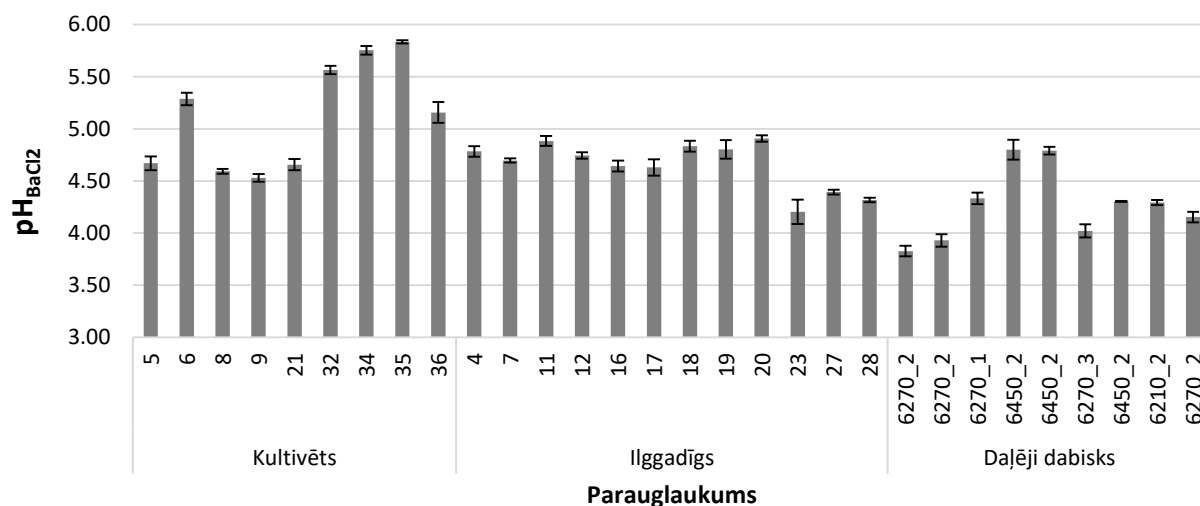
Pētījuma teritorijā **augsnis pH_{BaCl2}** vērtība augsnes dziļumā 0-10 cm ir robežās no 3,80 līdz 5,75 (5.13. attēls). Redzams, ka kultivētu zālāju augsnes ir ar augstākām augsnes pH vērtībām, nekā daļēji dabisko zālāju augsnes, būtiskas atšķirības starp kultivētajiem un daļēji dabiskajiem zālājiem uzrāda arī vienfaktora dispersijas analīze (1. pielikums).



5.13. attēls. pH_{BaCl2} vidējā vērtība augsnes dziļumā 0-10 cm dažādās zālāju klasēs

To iespējams skaidrot ar augsnes iekultivēšanu. Zināms, ka neitrālas līdz bāziskas augsnes vairāk piemērotas kultūraugu attīstībai (McCauley et al. 2017). Tā kā kultivēti zālāji galvenokārt paredzēti lopbarības produkcijas ražošanai, visticamāk, kādā laika periodā tie tikuši kaļķoti, lai samazinātu augsnes skābuma līmeni un paaugstinātu zālāju biomasas apjomu (Holland et al. 2018).

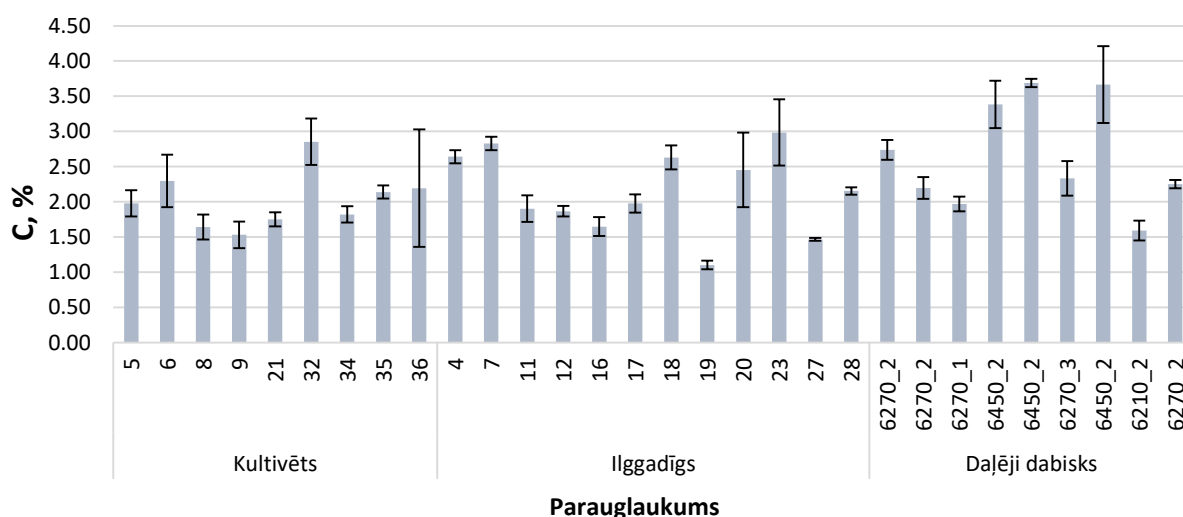
Vērtējot augsnes pH_{BaCl2} vērtības augsnes dziļumā 11-20 cm, redzams, ka pH reakcijai ir tendence palielināties līdz ar dziļumu. Šajā dziļumā pH_{BaCl2} vērtības svārstās no 3,83 līdz pat 5,83. (5.14. attēls). Līdzīgi kā augsnes virskārtas gadījumā, arī dziļumā 11-20 cm, salīdzinoši skābākas ir tieši daļēji dabisko zālāju augsnes. Vienfaktora dispersijas analīze uzrāda būtiskas atšķirības starp kultivētu un daļēji dabisku zālāju, tomēr arī starp kultivētu un ilggadīgu, kā arī ilggadīgu un daļēji dabisku zālāju būtiskas atšķirības uzrāda viens no analizētajiem testiem (1. pielikums).



5.14. attēls. pH_{BaCl2} vidējā vērtība augsnes dziļumā 11-20 cm dažādās zālāju klasēs

Kopējā oglekļa vidējais saturs (%) minerālaugsnes augsnes dziļumā 0-10 cm ir robežās no 1,10% līdz pat 3,67% (5.15. attēls). Kultivētajos zālajos tas ir vidēji 2,02%, ilggadīgajos – 2,14%, bet daļēji dabiskajos – 2,65%. Ar salīdzinoši augstākām oglekļa satura vērtībām izceļas daļēji dabisko zālāju parauglaurumi, kuros konstatēts biotops 6450* *Palieņu zālāji*, bet relatīvi zems oglekļa saturs ir biotopā 6210* *Sausi zālāji kalķainās augsnes*.

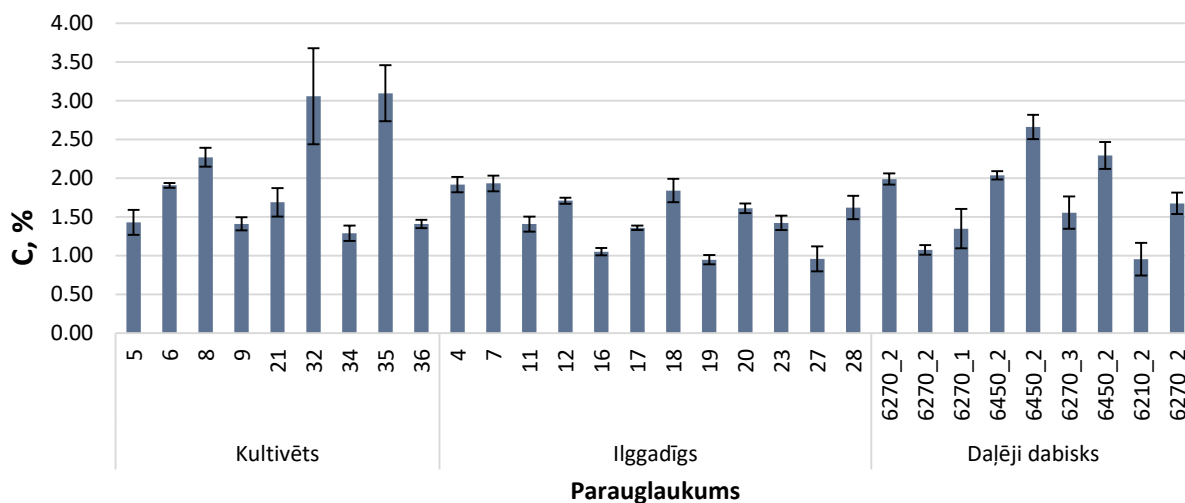
Palieņu zālāju augsto piesātinājumu ar barības vielām nosaka palu darbība. Pali darbojas kā dabisks mēslojums, jo līdz ar sevi atnes lielu apjomu barības vielu, kas nodrošina augsnes auglības dabisku atjaunošanos (Rūsiņa 2013).



5.15. attēls. Kopējā oglekļa vidējais saturs (%) augsnes dziļumā 0-10 cm dažādās zālāju klasēs

Ķīmisko analīžu rezultāti augsnes dziļumam 11-20 cm parāda, ka līdz ar dziļumu kopējam oglekļa saturam augsnē ir tendence samazināties. Kopējā oglekļa vērtības šajā augsnes dziļumā ir robežās no 0,95% līdz 3,06% (5.16. attēls). Atšķirībā no augsnes virsējā horizonta, augsnes

dziļumā 11-20 cm vidēji augstāks kopējā oglekļa saturs ir tieši kultivētajos zālajos (1,95%), ilggadīgajos tas ir 1,48%, bet daļēji dabiskajos – 1,73%. Tomēr nevienā no augsnes dziļumiem atšķirības starp augsnes klasēm nav būtiskas. Ar augstu oglekļa saturu augsnes dziļumā 11-20 cm izceļas 32. un 35. pētījuma teritorija.

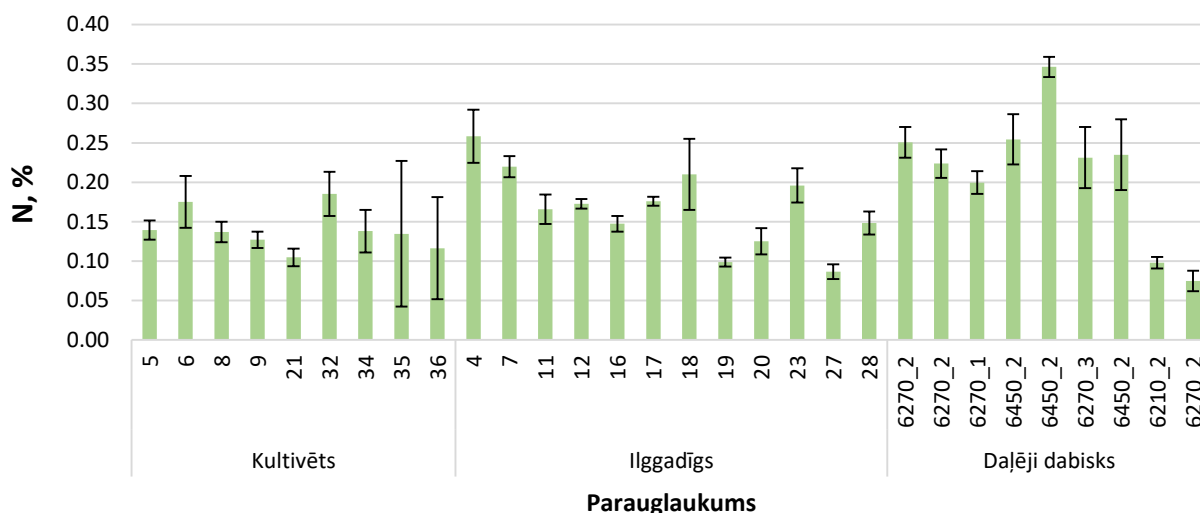


5.16. attēls. Kopējā oglekļa vidējais saturs (%) augsnes dziļumā 11-20 cm dažādās zālāju klasēs

To varēru skaidrot ar reljefa faktoru, jo abi no minētajiem parauglaukumiem izvietojusies reljefa zemākajās daļās – ieplakā un nogāzes lejasdaļā. Reljefam ir cieša saistība ar barības vielu koncentrāciju augsnē. Pētījumi rāda, ka reljefa ieplakās un lēzenās nogāzēs notiek pastiprināta organiskā materiāla uzkrāšanās (Kravchenko 2000).

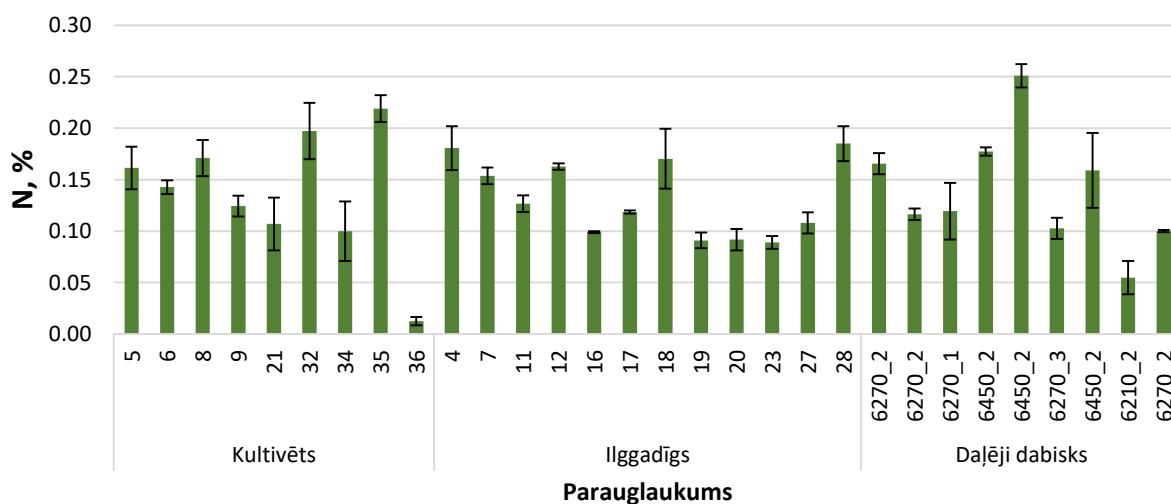
Kopējā oglekļa vidējo saturu augsnē ietekmē ne tikai reljefs un augsnes fizikālās īpašības, bet arī apsaimniekošanas prakse. Pētījumi rāda, ka dabiskas veģetācijas nomaiņa uz kultūraugiem spēj samazināt oglekļa un īpaši organiskā oglekļa krājumus augsnē (Poeplau 2011), jo zemju uzaršanas procesā augsnē uzkrātais ogleklis izdalās atpakaļ atmosfērā.

Kopējā slāpekļa vidējais saturs (%) pētījuma teritorijā augsnes dziļumā 0-10 cm ir robežās no 0,08% līdz 0,35% (5.17. attēls). Kultivētajos zālajos tas ir vidēji 0,14%, ilggadīgajos zālajos – 0,17%, bet daļēji dabiskajos zālajos salīdzinoši visaugstākais – 0,21%. Tomēr tieši daļēji dabiskajos zālajos slāpekļa satura vērtību amplitūda ir vislielākā, kas parāda, ka dabiski biotopi var veidoties uz ļoti daudzveidīgām augsnēm. Pēc vienfaktora dispersijas analīzes rezultātiem būtiski atšķiras parauglaukumi kultivētajos un daļēji dabiskajos zālajos.



5.17. attēls. Kopējā slāpekļa vidējais saturs (%) augsnes dziļumā 0-10 cm dažādās zālāju klasēs

Analizējot ķīmisko analīžu rezultātus augsnes dziļumā 11-20 cm, var redzēt, ka kopējā slāpekļa saturs parauglaukumos svārstās no 0,01% līdz 0,25% (5.18. attēls). Līdzīgi kā kopējā oglekļa gadījumā, palielinoties augsnes dziļumam, kopējā slāpekļa saturs augsnē samazinās. Šajā dziļumā daļēji dabisko zālāju augsnes vairs neizceļas ar izteikti augstākām kopējā slāpekļa satura vērtībām. Lai gan atšķirības starp zālāju klasēm dziļumā 11-20 cm nav būtiskas, daļēji dabiskos zālājus vēl joprojām raksturo vidēji augstākais kopējā slāpekļa saturs. Raksturīgi, ka augstākais slāpekļa saturs ir tieši auglīgajos palieņu zālajos (6450 biotops).



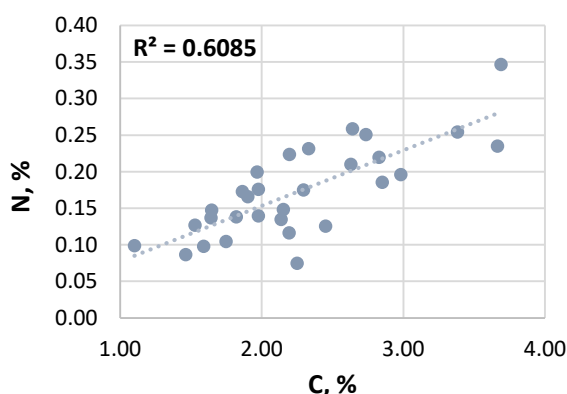
5.18. attēls. Kopējā slāpekļa vidējais saturs (%) augsnes dziļumā 11-20 cm dažādās zālāju klasēs

Kopējā slāpekļa relatīvi augstais saturs daļēji dabisko zālāju augsnēs iespējams radies nepiemērotas apsaimniekošanas rezultātā. Zālājus pļaujot, nepieciešams pievērst uzmanību gan

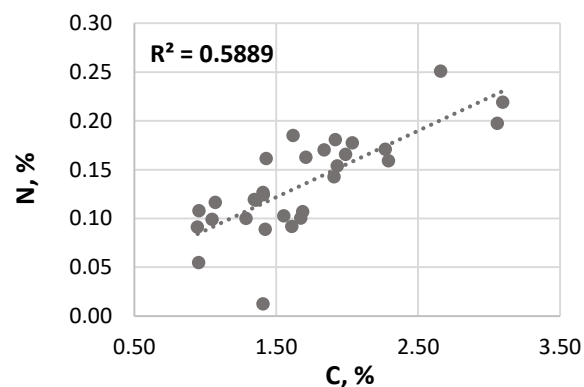
plaušanas režīmam, gan rīcībām pēc plavas nopļaušanas (Rūsiņa 2017). Lai zālāju augsnes netiktu bagātinātas ar papildus barības vielām, nopļauto zāli nepieciešams novākt no zālāja, pretējā gadījumā augsnē nokļūst papildus organiskās vielas, kas rodas augu noārdīšanās procesā (Bakker 2005). Vēl viens no faktoriem, kas varētu ietekmēt augsto slāpekļa saturu augsnē, ir vēlā plaušana. Nereti Latvijā plavas tiek plautas vasaras beigās vai pat rudens sākumā. Zālāju plaujot šajā periodā, netiek veidoti atbilstoši priekšnosacījumi turpmākai daļēji dabisku zālāju biotopu pastāvēšanai, jo no tiem vairs netiek iznests vajadzīgais barības vielu daudzums. Vēlu vasarā augi virszemes daļās esošās barības vielas jau ir transportējuši uz pazemes orgāniem – saknēm, kur tās uzkrājas, bagātinot augsni (Rūsiņa 2017).

Zālājus apsaimniekojot ganīšanas ceļā, svarīgi, lai teritorijas netiktu pārāk intensīvi noganītas. Mājlopu ekskrementi un urīns satur lielu apjomu slāpekļa savienojumu, kam var būt relatīvi liela ietekme augsnes bagātināšanā ar slāpekli (Orr et al. 2012).

Redzams, ka oglekļa un slāpekļa saturam augsnē ir izteikta korelācija. Abos augsnes dziļumos starp oglekli un slāpekli pastāv cieša pozitīva sakarība, attiecīgi $r=0,78$ un $r=0,77$ (5.19. un 5.20. attēls). Palielinoties augsnes oglekļa saturam, arī slāpekļa saturam ir tendence pieaugt un otrādi.

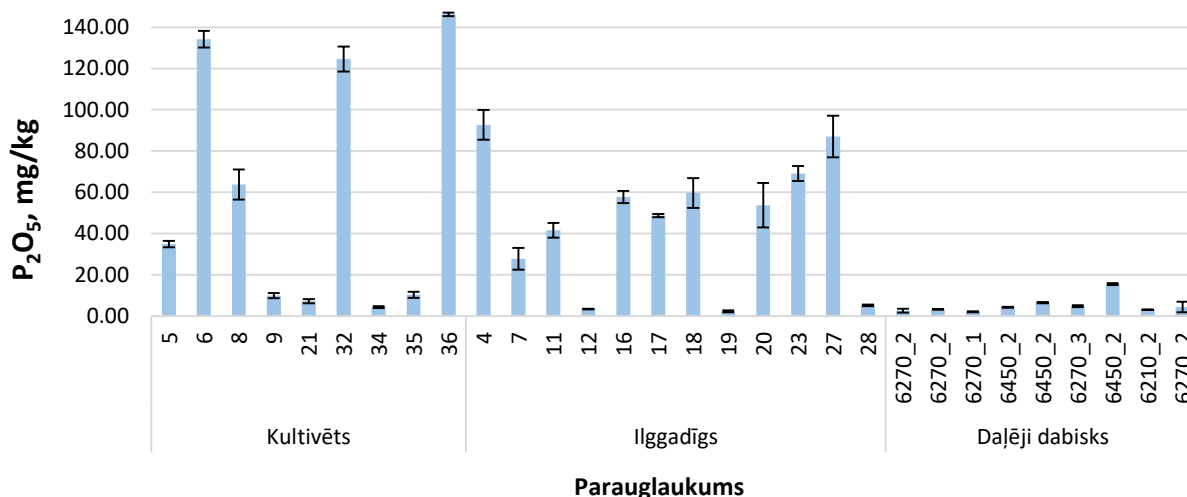


5.19. attēls. Oglekļa saturs attiecībā pret slāpekļa saturu (%) augsnes dziļumā 0-10 cm



5.20. attēls. Oglekļa saturs attiecībā pret slāpekļa saturu (%) augsnes dziļumā 11-20 cm

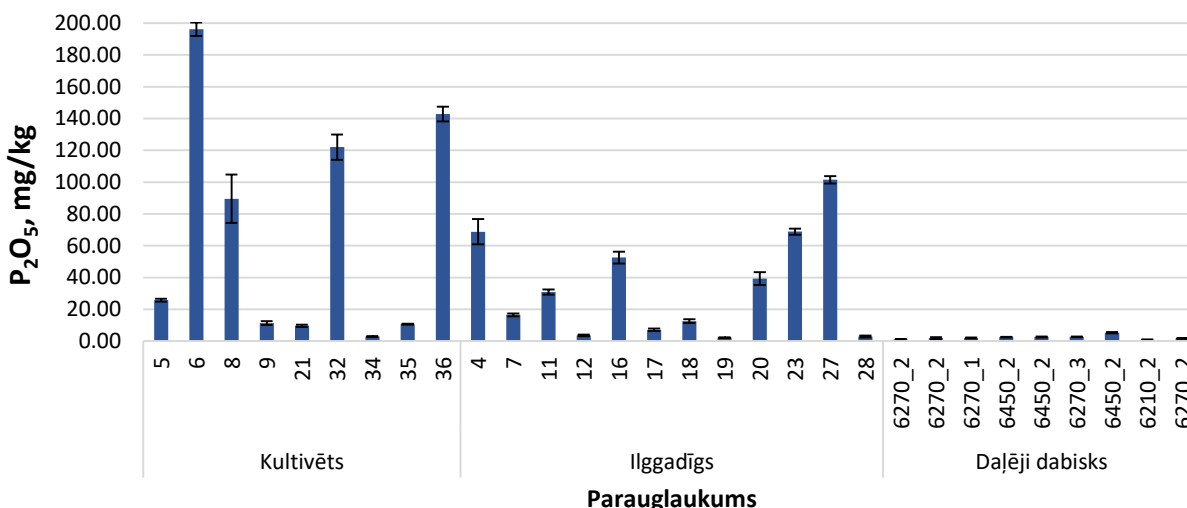
Kustīgā fosfora vidējā koncentrācija (mg/kg) pētījuma teritorijās augsnes dziļumā 0-10 cm ir robežās no 2,03 mg/kg līdz pat 146,22 mg/kg (5.21. attēls). Izteikti nodalās daļēji dabisko zālāju parauglaukumi, jo tajos kustīgā fosfora koncentrācija nepārsniedz 16 mg/kg. Savukārt gan kultivētajos, gan ilggadīgajos zālajos kustīgā fosfora koncentrācijas variē visplašākajā diapazonā. Vienfaktora dispersijas analīze uzrāda būtiskas atšķirības gan starp kultivētu un daļēji dabisku zālāju, gan ilggadīgu un daļēji dabisku zālāju (1. pielikums).



5.21. attēls. Kustīgā fosfora koncentrācija (mg/kg) augsnes dziļumā 0-10 cm dažādās zālāju klasēs

Visaugstākā fosfora koncentrācija novērojama 36., 6. un 32. parauglaukumā, ko varētu būt noteicis reljefa faktors, jo divi no parauglaukumiem izvietojušies nogāzes lejasdaļā, bet viens no parauglaukumiem atrodas starppauguru ieplakā.

Vērtējot kustīgā fosfora vidējās koncentrācijas augsnes dziļumā 11-20 cm, redzams, ka tās svārstās robežās no 0,83 mg/kg līdz pat 196,11 mg/kg (5.22. attēls). Lielākajā daļā gadījumu līdz ar dziļumu fosfora koncentrācijai ir tendence samazināties, tomēr daļā no parauglaukumiem situācija ir pretēja. 6., 8. un 27. parauglaukumā kustīgā fosfora pieaugums līdz ar dziļumu ir visizteiktāk novērojams.



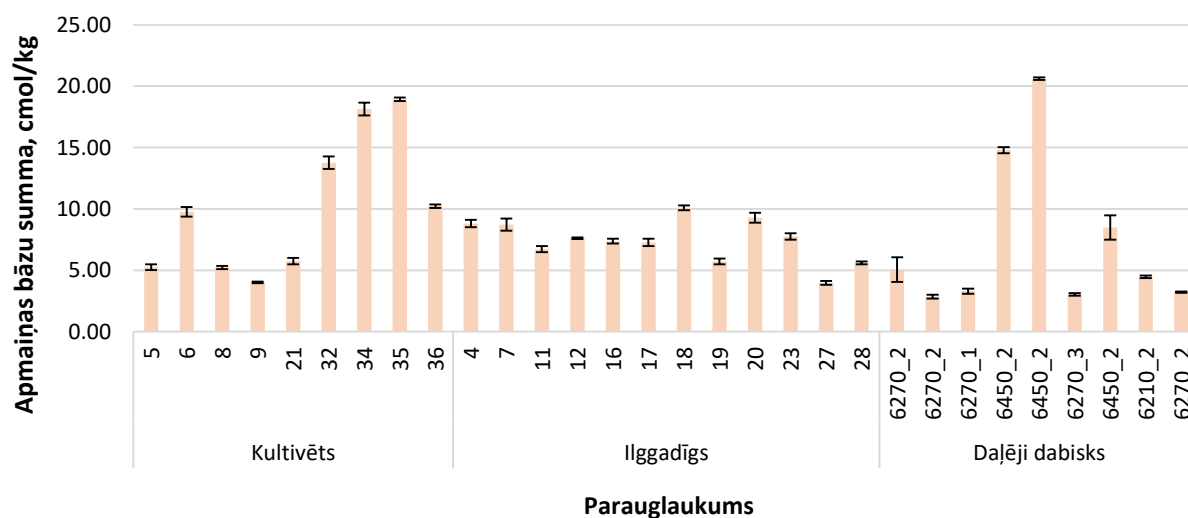
5.22. attēls. Kustīgā fosfora koncentrācija (mg/kg) augsnes dziļumā 11-20 cm dažādās zālāju klasēs

Rezultātus varētu skaidrot ar augsnes morfoloģiskajām īpašībām, piemēram, granulometriju. Konkrētajos parauglaukumos augsnes virskārta atbilst viegla granulometriskā sastāva grupai (grantij un mālsmiltij), kā rezultātā norisinās krietni aktīvāka ķīmisko elementu izskalošanās no virsējiem augsnes slāņiem un ieskalošanās dziļāk augsnē (Vanmechelen et al. 1997).

Pētījuma rezultāti rāda, ka, palielinoties fosfora koncentrācijai augsnē, zālāju bioloģiskā daudzveidība samazinās (Janssens et al. 1998). Kustīgais fosfors ir viens no galvenajiem rādītājiem, kas ietekmē zālāju veģetāciju un tās izplatību. Lielākā sugu daudzveidība parasti raksturo zālājus, kuri veidojušies uz nabadzīgām augsnēm ar zemu fosfora koncentrāciju (Gilbert et al. 2009).

Daudzviet Eiropā un Pasaulē daļēji dabisko zālāju teritorijās kustīgā fosfora koncentrācija ir paaugstināta, kas nozīmīgi kavē vērtīgo biotopu atjaunošanās iespējas. Fosfors augsnē uzkrājas stabilā formā, kas apgrūtina tā samazināšanas iespējas augsnē. Gada laikā ar veģetācijas palīdzību no augsnes iespējams iznest tikai 10-20 kg/ha fosfora (Janssens et al. 1998).

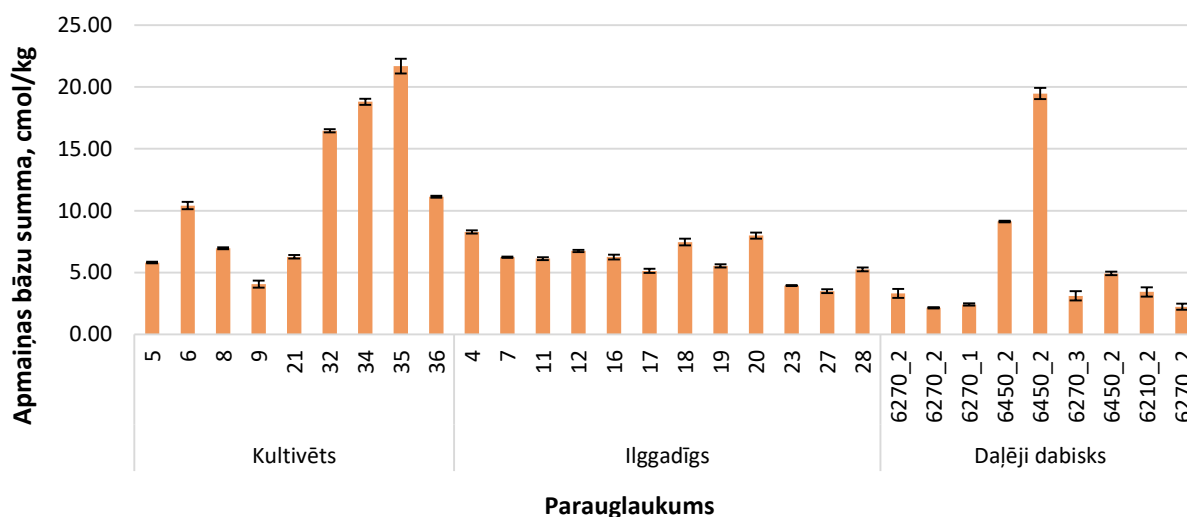
Apmaiņas bāzu summa (cmol/kg) parauglaukumos augsnes dziļumā 0-10 cm variē vērtībās no 2,84 – 20,61 cmol/kg (5.23. attēls). Kultivētajos zālajos apmaiņas bāzu summa vidēji ir 10,11 cmol/kg, ilggadīgajos zālajos – 7,41 cmol/kg, bet daļēji dabiskajos ES nozīmes aizsargājamajos zālāju biotopos – 7,31 cmol/kg. Atšķirības starp zālāju klasēm nav būtiskas. Dīvos no daļēji dabisko zālāju parauglaukumiem, kuri atbilst biotopam 6450* *Palieņu zālāji*, apmaiņas bāzu summas vērtības ir izteikti augstākas kā pārējos bioloģiski vērtīgo zālāju biotopos, attiecīgi 20,61 un 14,79 cmol/kg.



5.23. attēls. Apmaiņas bāzu summa (cmol/kg) augsnes dziļumā 0-10 cm dažādās zālāju klasēs

Augstās apmaiņas bāzu summas vērtības varētu skaidrot gan ar augsnes granulometrisku sastāvu, kas 6450_2 parauglaukumos atbilst vieglam smilšmālam un vieglam mālam, gan augšņu augsto piesātinājumu ar organiskajām vielām, kāds raksturīgs auglīgajiem 6450* *Palieņu zālājiem*. Organiskās daļiņas salīdzinājumā ar minerālajām daļiņām nodrošina līdz pat 30 reizēm aktīvāku katjonu apmaiņu uz koloīdu virsmām (Vanmechelen et al. 1997).

Savukārt augsnes dziļumā 11-20 cm apmaiņas bāzu summas vērtības ir robežās no 2,15 līdz 21,68 cmol/kg (5.24. attēls). Līdzīgi kā augsnes virskārtā (0-10 cm), augstākā apmaiņas bāzu summa raksturo 32., 34. un 35. parauglaukumu no kultivētajiem zālājiem un divus 6450_2 biotopam atbilstošus parauglaukumus no daļēji dabisko zālāju klases. Konkrētos parauglaukumus arī raksturo bāziskākās augsnes (5.13. attēls).



5.24. attēls. Apmaiņas bāzu summa (cmol/kg) augsnes dziļumā 11-20 cm dažādās zālāju klasēs

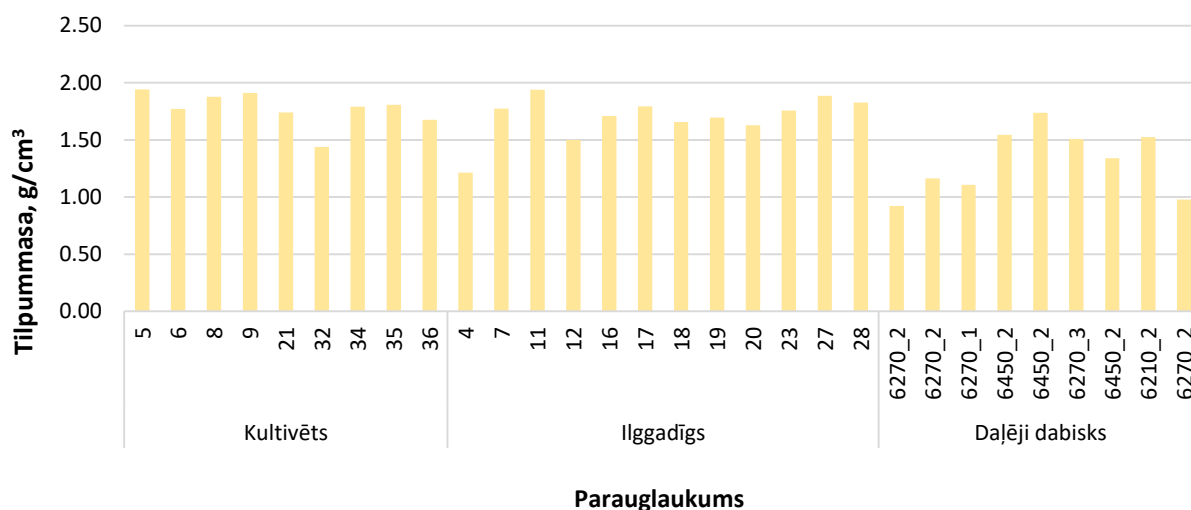
Gan ilggadīgajos, gan daļēji dabiskajos zālajos apmaiņas bāzu summas vērtības līdz ar dziļumu samazinās, turpretī visos kultivēto zālāju parauglaukumos izteikti parādās tendence, ka augsnes dziļumā 0-10 cm apmaiņas bāzu summa ir mazāka kā augsnes dziļumā 11-20 cm.

To iespējams skaidrot ar augsnes veidošanās procesu ietekmi un augsnes ģenēzi, kā rezultātā var būt situācijas, kad ģenētiskais horizonts A ir relatīvi biezāks, kā arī gadījumi, kur aršanas ietekmē veidojies relatīvi plāns A horizonts un notikusi elementu ieskalšanās dziļākajos augsnes slāņos.

Apmaiņas bāzu summu nosaka augsnes piesātinājums ar organiskajām vielām, kā arī māla minerālu saturs. Augsnes virsējais horizonts parasti ir piesātinātāks ar organisko materiālu, tādēļ parasti vērojams apmaiņas bāzu summas samazinājums līdz ar dziļumu (Gerrard 2000).

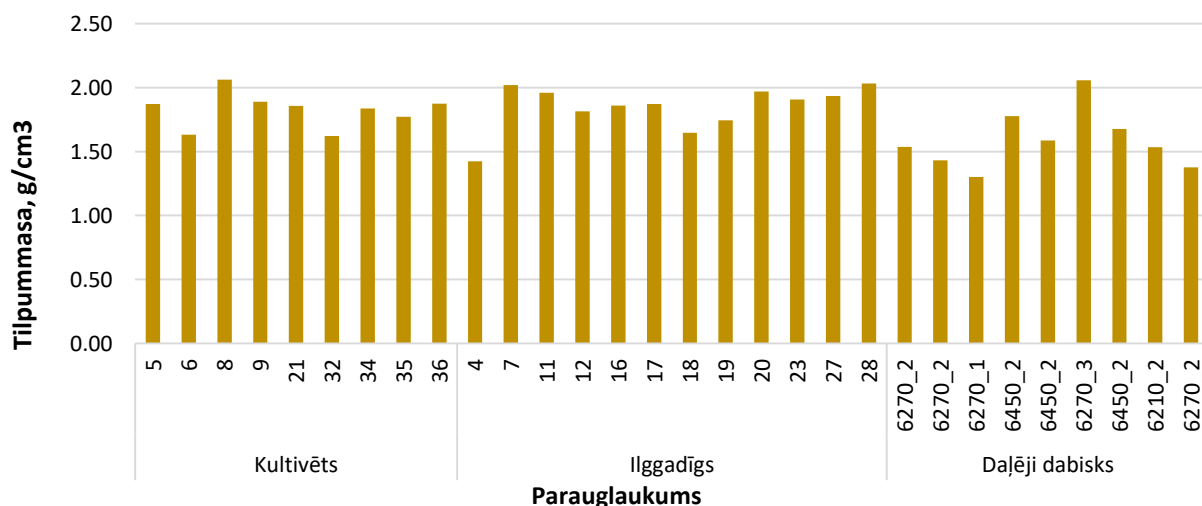
Relatīvi lielāko ietekmi uz zālāju sugu daudzveidību no apmaiņas ķīmiskajiem elementiem atstāj kālijs K^+ . Izteikts bioloģiskās daudzveidības samazinājums vērojams pie kālija koncentrācijām, kas pārsniedz 300 mg/kg (Janssens et al. 1998).

Augsnes **tilpummasas** (g/cm^3) vērtības parauglaukumos ir robežās no 0,92-1,94 g/cm^3 (5.25. attēls). Daļēji dabiskajos zālajos augsnes tilpummasa ir relatīvi mazāka, nekā kultivētajos un ilggadīgajos zālajos, ko arī parāda vienfaktora dispersijas analīzes rezultāti. Būtiskas atšķirības ir starp kultivētu un daļēji dabisku, kā arī ilggadīgu un daļēji dabisku zālāju.



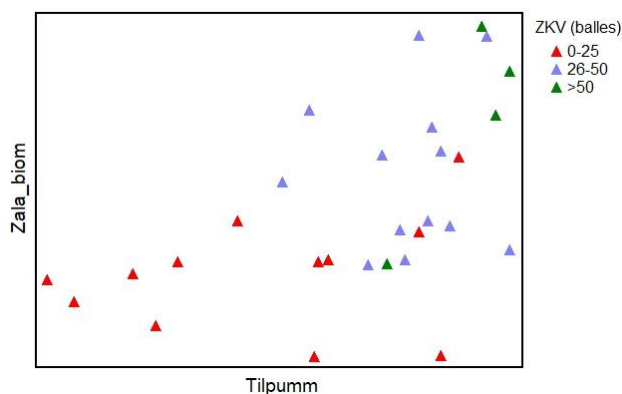
5.25. attēls. Augsnes tilpummasa (g/cm^3) augsnes dziļumā 0-10 cm dažādās zālāju klasēs

Savukārt augsnes dziļumā 11-20 cm tilpummasas vērtības variē no 1,30 līdz 2,06 g/cm^3 (5.26. attēls). Redzams, ka, pieaugot augsnes dziļumam, augsnes tilpummasai ir tendence palielināties.

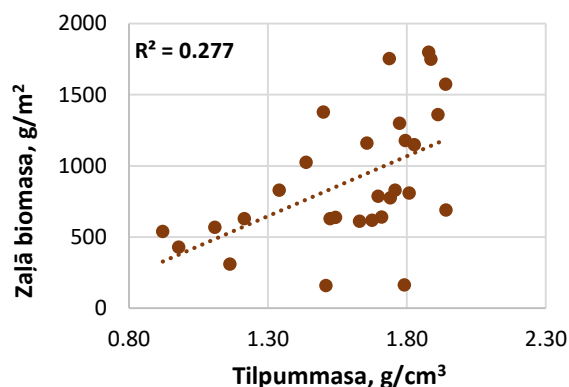


5.26. attēls. Augsnes tilpummasa (g/cm^3) augsnes dziļumā 11-20 cm dažādās zālāju klasēs

Redzams, ka pastāv būtiska vidēji cieša pozitīva sakarība ($r=0,53$) starp augsnes tilpummasu augsnes dziļumā 0-10 cm un zaļās biomasas apjomu (5.28. attēls). Pieaugot augsnes tilpummasai, arī zaļās biomasas apjomam ir tendence palielināties. Nodalās parauglaukumi, kas piederīgi klasei ar zemu kvalitatīvo vērtību (5.27. attēls). Tie ir parauglaukumi ar relatīvi zemāku tilpummasu un attiecīgi zemāku zaļās biomasas apjomu. Auglīgos zālājus, kuros zemes kvalitatīvā vērtība pārsniedz 50 balles, raksturo augstākā tilpummasa ($>180 \text{ g/cm}^3$).



5.27. attēls. Zaļās biomasas daudzums (g/m^2) atkarībā no augsnes tilpummasas (g/cm^3) dziļumā 0-10 cm dažādās zemes kvalitatīvās vērtības klasēs

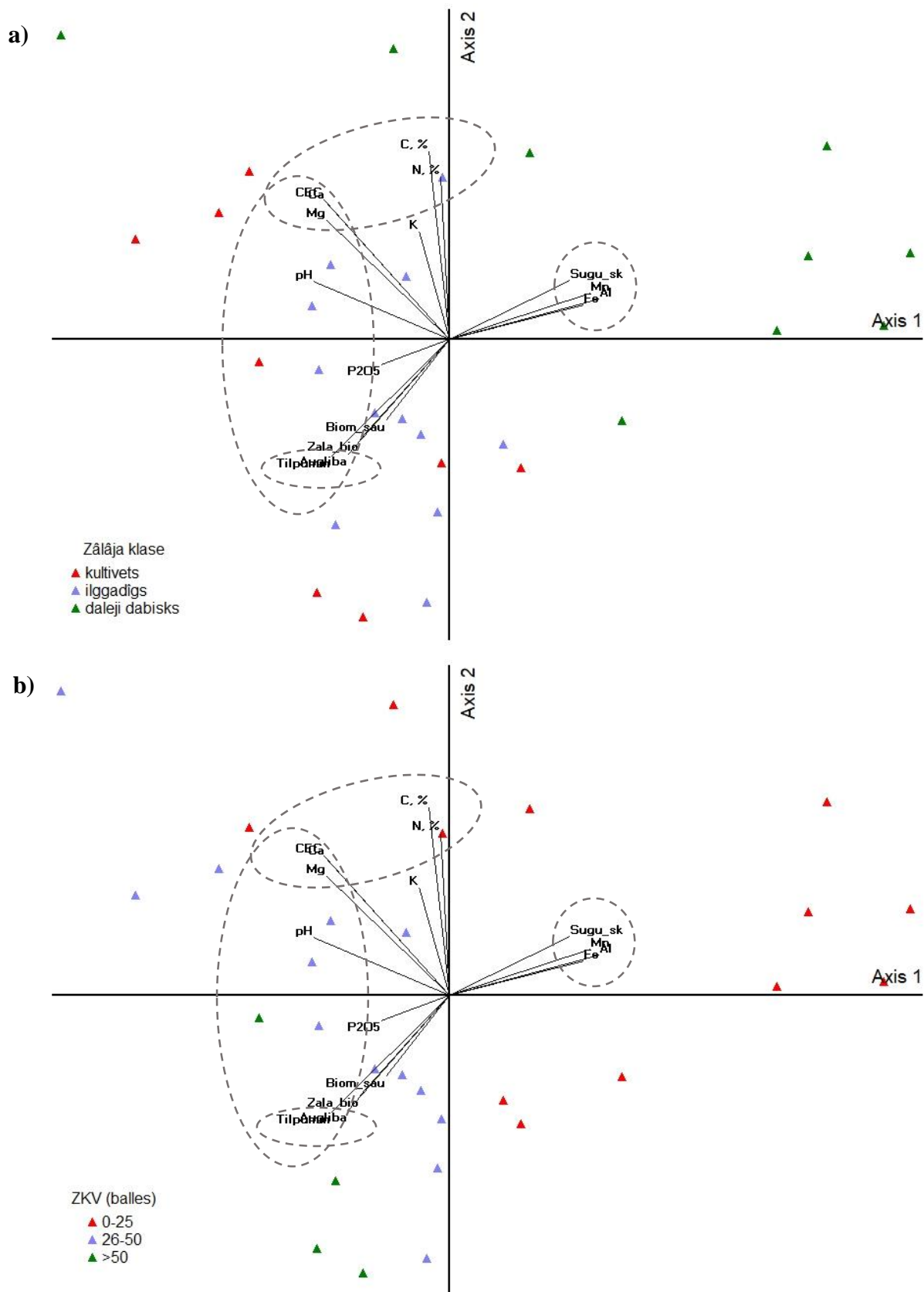


5.28. attēls. Zaļās biomasas daudzums (g/m^2) atkarībā no augsnes tilpummasas (g/cm^3) dziļumā 0-10 cm ($r=0,53$)

5.3.2. Augsnes faktoru izvērtējums zālāju ekosistēmu biomasas nodrošināšanā

Galveno komponentu analīze augsnes dziļumam **0-10 cm** uzrādīja, ka statistiski būtiskas ($p<0,05$) ir 1. un 2. ass. Ar divām pirmajām asīm izskaidrojami 60,51% no kopējās datu izkliedes. Pirmā ass izskaidro 39,38% rezultātu dispersijas. Saistībā ar 1. asi pastāv būtiska ($r>0,5$) pozitīva sakarība starp augu sugu skaitu 1 m^2 ($r=0,70$) un Mn^{2+} ($r=0,83$), Al^{3+} ($r=0,88$), Fe^{2+} ($r=0,79$), savukārt šiem rādītājiem ir būtiska negatīva sakarība ar zaļo biomasu ($r=-0,53$) un augsnes auglību ($r=-0,60$), pH reakciju ($r=-0,80$), Ca^{2+} ($r=-0,73$), Mg^{2+} ($r=-0,72$), CEC ($r=-0,74$), tilpummasu ($r=-0,70$).

Otrā ass izskaidro 21,13% rezultātu dispersijas. Ar to būtiska pozitīva sakarība pastāv starp C% ($r=0,81$), N% ($r=0,70$), Ca^{2+} ($r=0,60$), Mg^{2+} ($r=0,52$) un CEC ($r=0,60$), bet šie rādītāji negatīvi korelē ar augsnes auglību ($r=-0,50$) un tilpummasu ($r=-0,51$) (5.29. attēls un 2. pielikums).



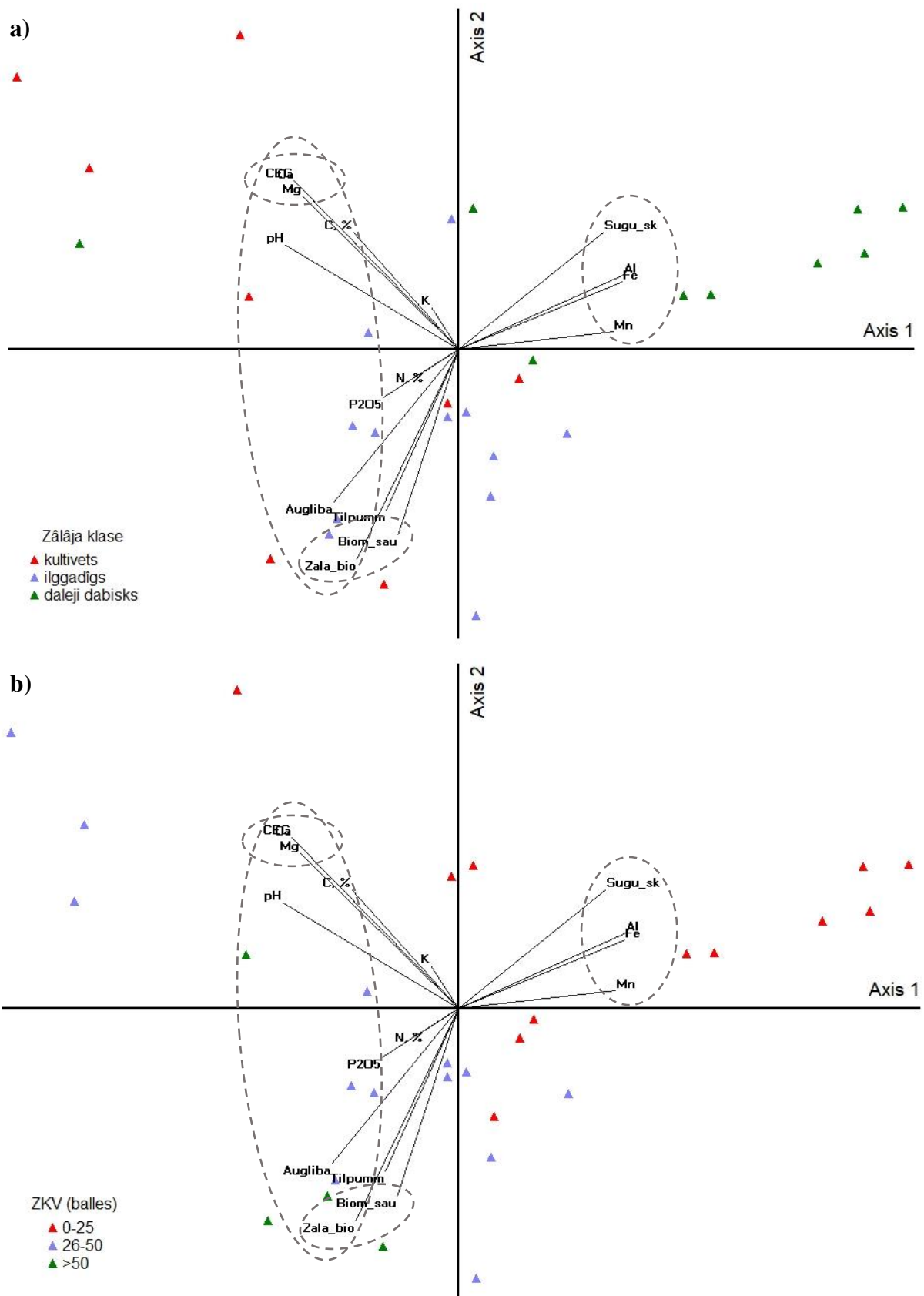
5.29. attēls. Galveno komponentu analīze augsnes dziļumam **0-10 cm** atkarībā no a)zālāja klases, b)zemes kvalitatīvās vērtības

Analizējot punktu izkliedi koordinātu plaknē atkarībā no zālāja klases (5.29. a) attēls), redzams, ka nodalās pētījuma teritorijas, kas piederīgas daļēji dabiskajiem zālājiem. Šos parauglaukumus raksturo lielāks augu sugu skaits, kā arī augstākas augsnes Mn^{2+} , Fe^{2+} un Al^{3+} vērtības. Augstāks Fe^{2+} un Al^{3+} saturs norāda par nabadzīgāku augsni. Savukārt kultivētajiem un ilggadīgajiem zālājiem raksturīga augstāka katjonu apmaiņas kapacitāte, Ca^{2+} , Mg^{2+} , augstāka augsnes auglība un līdz ar to lielāks zaļās biomasas apjoms, turklāt šo parauglaukumu augsnēm raksturīga arī augstāka augsnes pH reakcija, kas norāda uz augsnes kaļķošanu, lai paaugstinātu zālāju ražību.

Analizējot parauglaukumu punktu izkliedi saistībā ar zemes kvalitatīvās vērtības klasi (5.29. b) attēls), var novērot, ka parauglaukumi, kuros konstatēti sugām bagātākie daļēji dabiskie zālāji, pārsvarā sakrīt ar parauglaukumiem, kurus raksturo zema zemes kvalitatīvās vērtības klase (0-25 balles). Turklāt apmēram trešdaļa no kultivētajiem zālājiem piederīgi augstas zemes kvalitatīvās vērtības klasei (>50 balles). Pēc tā var spriest, ka barības vielu daudzums augsnē ir viens no galvenajiem zālāju izplatību noteicošajiem faktoriem. Parauglaukumos ar augstāku zemes kvalitatīvās vērtības klasi ir augstāka augsnes tilpummasa, bet mazāks C% un N% saturs.

Līdz ar to var secināt, ka zaļās biomasas pastiprinātu veidošanos pamatā nosaka augstāka augsnes auglība, augstāka augsnes pH vērtība, tilpummasa, katjonu apmaiņas kapacitāte, turklāt zālajos, kur novērojama lakstaugu veģētācijas homogenizācija, zaļā biomasa ir relatīvi lielāka.

Galveno komponentu analīze augsnes dziļumam **11-20 cm** uzrādīja, ka statistiski būtiskas ir divas pirmās ass. 1. un 2. ass kopā izskaidro 56,91% rezultātu izkliedes. Ar pirmo asi izskaidrojami 39,96% datu dispersijas un saistībā ar to pastāv būtiska pozitīva sakarība starp šādiem faktoriem: sugu skaitu $1\ m^2$ ($r=0,72$) un Mn^{2+} ($r=0,77$), Al^{3+} ($r=0,82$), Fe^{2+} ($r=0,81$). Savukārt būtiska negatīva sakarība šiem rādītājiem vērojama ar zaļo biomasu ($r=-0,50$), augsnes auglību ($r=-0,62$), pH reakciju ($r=-0,86$), C% ($r=-0,52$), Ca^{2+} ($r=-0,81$), Mg^{2+} ($r=-0,77$) un CEC ($r=-0,82$). Otrā ass izskaidro vien 16,95% no kopējās datu izkliedes. No faktoriem būtiska pozitīva sakarība pastāv starp Ca^{2+} ($r=0,54$), Mg^{2+} ($r=0,50$), CEC ($r=0,54$), bet negatīvi šie rādītāji korelē ar zaļo biomasu ($r=-0,68$) un biomasas sausnu ($r=-0,60$), kā arī augsnes tilpummasu ($r=-0,52$) (5.30. attēls un 3. pielikums).

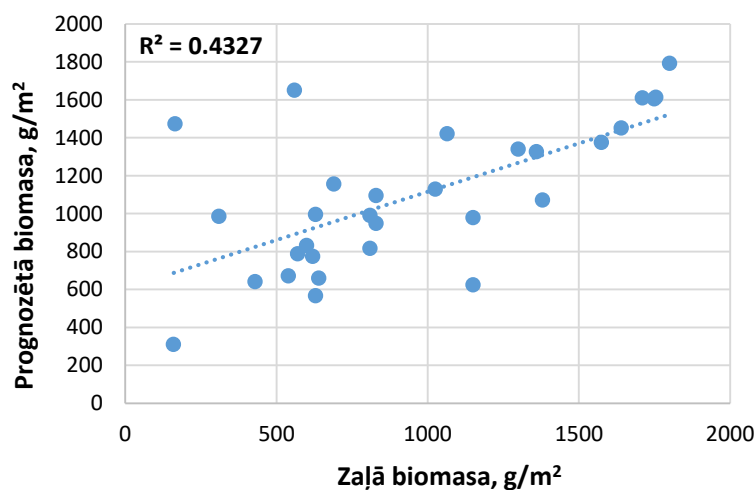


5.30. attēls. Galveno komponentu analīze augsnes dziļumam 11-20 cm atkarībā no a)zālāja klases, b)zemes kvalitatīvās vērtības

Galveno komponentu analīze virsējam augsnes dziļuma 0-10 cm izskaidro par 3,6% vairāk no parauglaukumu punktu izkliedes koordinātu plaknē. Salīdzinot galveno komponentu analīzes abiem augsnes dziļumiem, redzams, ka augsnes dziļumā 11-20 cm, samazinās būtisko faktoru skaits. Ar pirmo asi dziļumā 11-20 cm būtiskumu vairs neuzrāda C% saturs un tilpummasa, bet ar otro asi C% un N% saturs, kā arī augsnes auglība. Tas ļauj secināt, ka augsnes virskārtas ķīmiskajām un fizikālajām īpašībām ir lielāka ietekme uz zālāju veģetāciju un biomasu.

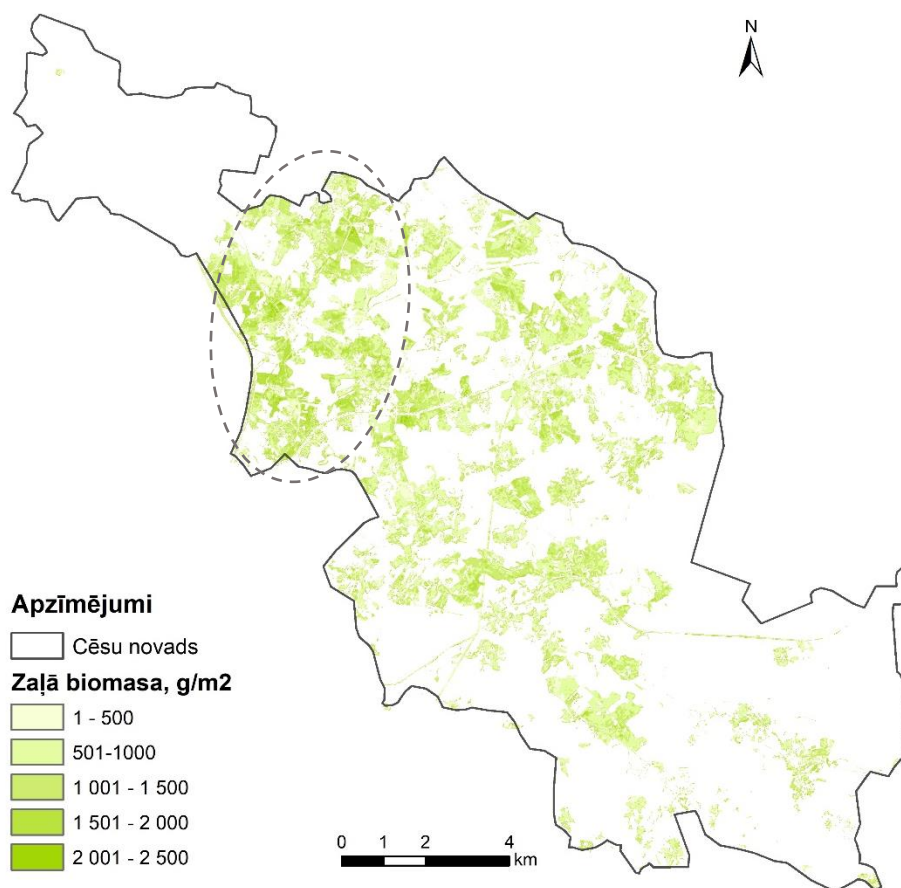
5.4. Tālzpētes metožu pielietojums biomasas noteikšanā

Viens no maģistra darbā izvirzītajiem uzdevumiem bija salīdzināt lauka darbos noteiktās biomasas un ar tālzpētes metodēm prognozētās biomasas apjomu. Analizējot tālzpētes datu izmantošanas iespējas zaļās biomasas prognozēšanā, tika konstatēta būtiska vidēji cieša pozitīva korelācija ($r=0,66$) starp lauka darbos noteikto zaļo biomasu un ar tālzpētes metodēm prognozēto zaļo biomasu (5.31. attēls).



5.31. attēls. Sakarība starp zaļo biomasu un prognozēto biomasu, izmantojot tālzpētes datus ($r=0,66$).

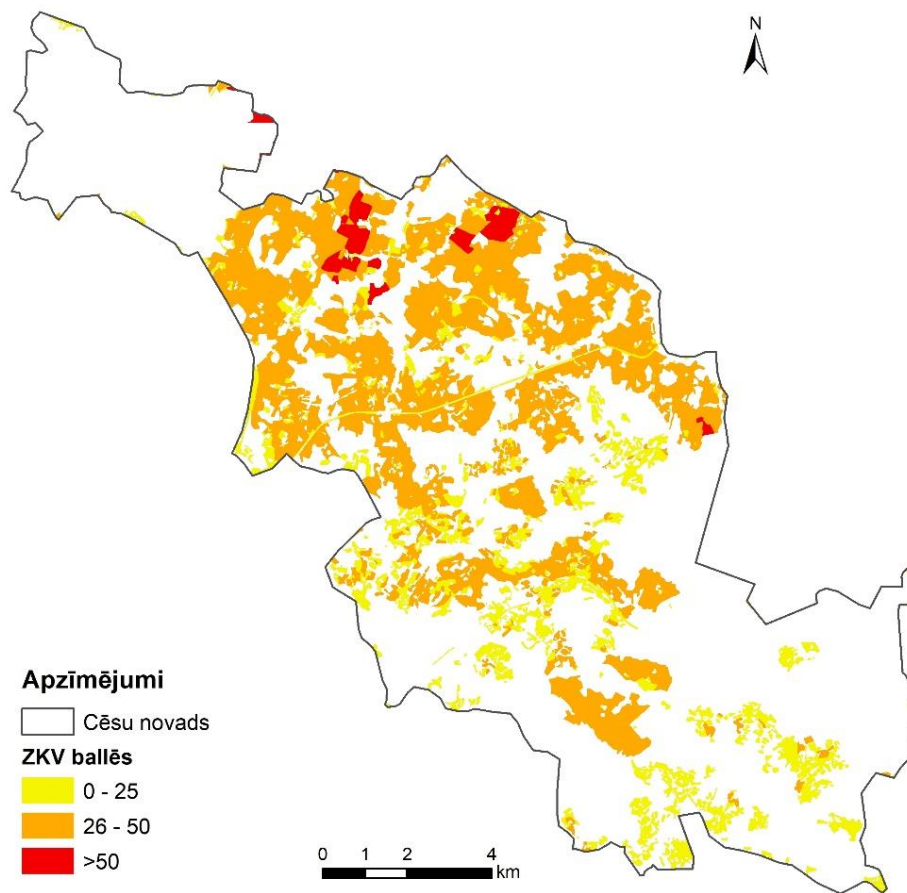
Rezultāti rāda, ka lielākajā daļā gadījumu prognozētā zaļā biomasas ir skaitliski lielāka, kā lauka darbos noteiktā. Prognozētās zaļās biomasas vērtības tika noteiktas, par pamatu ņemot Vides risinājumu institūta (VRI) izveidotu rastra modeli (5.32. attēls).



5.32. attēls. Prognozētā zaļā biomasa (g/m^2), izmantojot tālīzpētes metodes (Institute for Environmental Solutions 2018)

Zālāju izplatība Cēsu novadā ir nevienmērīga – tie koncentrējušies novada centrālajā daļā. Novada DA daļā zālāju izplatība ir minimāla meža platību dēļ, bet novada ZR plešas Cēsu pilsēta. Pēc prognozētās zaļās biomasas kartes redzams, ka relatīvi augstākais biomasas apjoms raksturo zālājus, kas izvietojušies novada centrālās daļas ZR. Zālāji ar relatīvi zemāku prognozēto biomasas apjomu konstatēti nevienmērīgi novada centrālajā daļā, tomēr salīdzinoši vairāk tie izvietojušies novada D daļā. Zālāju teritorijas ar lielāko prognozēto biomasas daudzumu raksturo lielākās zālāju kontūras pēc platības.

Prognozētās zaļās biomasas (g/m^2) apjoma kartei vērojama līdzība ar zemes kvalitatīvās vērtības izplatības karti (5.33. attēls). Teritorijas, kuras raksturo augsta ZKV klase, pārsvarā sakrīt ar teritorijām, kurās biomasas apjoms noteikts kā augstākais.



5.33. attēls. ZKV vērtība (ballēs) Cēsu novadā

Zālāju kontūru platība, it sevišķi paugurainēs, ir atkarīga no reljefa faktora. Vietās, kur reljefs ir saposmotāks, zālāju kontūras ir mazas un tās raksturo zemāka zemes kvalitatīvās vērtības klase. Izteikti saposmots reljefs ir ierobežojošs faktors intensīvai lauksaimnieciskajai darbībai, jo reljefa nogāzes ir grūti apstrādājamās ar lauksaimniecības tehniku. Tas noteicis sugām bagātu daļēji dabisko zālāju izplatību tieši šajās teritorijās.

SECINĀJUMI

1. Izvērtējot pieejamo zinātnisko literatūru, jāsecina, ka būtiski trūkst informācija par augsnes faktoru nozīmi un augsnes indikatoriem zālāju ekosistēmu pakalpojumu izvērtēšanā, it īpaši saistībā ar zālāju biomasu.
2. Pētījuma teritorijā dominējošās sugas ir parastā kamolzāle *Dactylis glomerata*, pļavas auzene *Festuca pratensis*, pļavas timotiņš *Phleum pratense*, sarkanā auzene *Festuca rubra*, ārstniecības pienene *Taraxacum officinale*, kas vienlaicīgi ir arī biežāk sastopamās sugas parauglaukumos.
3. Zālāju biomasu ietekmē zālāju klases, turklāt zālāju biomasu veidojošo lakstaugu sugu skaitu nosaka augsnes īpašības, kā arī augsnes faktori, piemēram, vienfaktora dispersijas analīzē konstatētas būtiskas atšķirības starp zālāju klasēm pēc pH, Al^{3+} , Fe^{2+} , P_2O_5 un augsnes tilpummasas vērtībām, bet starp zemes kvalitatīvās vērtības klasēm pēc Mn^{2+} , Al^{3+} , Fe^{2+} , P_2O_5 un augsnes tilpummasas vērtībām.
4. Galveno komponentu analīze augsnes dziļumā 0-10 cm un 11-20 cm parāda, ka nodalās parauglaukumi pēc zālāju klasēm un zemes kvalitatīvās vērtības klasēm, kur daļēji dabiskos zālājus raksturo augstāka sugu daudzveidība, Mn^{2+} , Al^{3+} un Fe^{2+} , koncentrācijas, bet zemāka augsnes auglība, tilpummasa, kā arī zaļās biomasas apjoms, turklāt parauglaukumi ar zemu zemes kvalitatīvās vērtības klasi pārsvarā atbilst daļēji dabiskajiem zālājiem.
5. Pētījuma rezultāti parāda, ka augsts zālāju biomasas apjoms visciešāk korelē ar augstu augsnes auglību, augstāku augsnes pH vērtību, lielāku tilpummasu un apmaiņas bāzu summu, turklāt lielāks biomasas daudzums liecina par lakstaugu veģetācijas homogenizāciju.
6. Salīdzinot pētījuma ietvaros veikto biofizikālo pētījumu rezultātus ar tālīzpētes metožu iegūtajiem rezultātiem, var secināt, ka hiperspektrālos datus, kā arī *Sentinel-2* satelītinformāciju iespējams izmantot zālāju biomasas telpiskās izplatības noteikšanā un prognozēšanā.
7. Veicot prognozētās zaļās biomasas telpisko novērtējumu Cēsu novadā, var konstatēt telpiskās sakarības (kontūru izmēru fragmentācijas ziņā) ar zemes kvalitatīvo vērtību, kas nosaka zālāju kontūru platību izvietojumu, ko savukārt ietekmē reljefa saposmojums.
8. Kopumā pētījuma rezultāti parāda, ka zālāju ekosistēmu biomasas vērtēšanā būtiska nozīme ir informācijai par zālāju klasēm un augsnes faktoriem, kas ļautu šo ekosistēmu pakalpojumu integrēt telpiskajā plānošanā un ilgtspējīgā zālāju apsaimniekošanā.

PATEICĪBA

Darba autore izsaka pateicību savam darba vadītājam vadošajam pētniekam asociētajam profesoram *Dr.geogr.* Raimondam Kasparinskim par veltīto laiku un sniegtajām konsultācijām maģistra darba izstrādes gaitā. Liela pateicība *Dr.geogr.* Imantam Kukuļam un vides zinātnes maģistra studiju programmas 1. kursa studentam Kristapam Auziņam par augsnes un biomasas paraugu ievākšanu 2018. vasarā, kā arī bioloģijas studentam Rihardam Miķelsonam par veģetācijas uzskaiti parauglaukumos. Paldies profesoram *Dr.geogr.* Oļģertam Nikodemum, *Dr.chem.* Lindai Dobkevičai, kā arī laborantam Konstantīnam Viliguram.

Autore izsaka pateicību par iespēju savu pētījumu izstrādāt LIFE Viva Grass starptautiskā projekta „Integrēta plānošanas pieeja zālāju dzīvotspējai” (Nr. LIFE13ENV/LT/000189) ietvaros. Paldies LU Ģeogrāfijas un zemes zinātņu fakultātei par laboratorijas telpu nodrošinājumu augšņu analīžu veikšanā.

IZMANTOTĀ LITERATŪRA UN AVOTI

- Adamovičs, A., Barbars, J., Bērziņš, A., Jurševskis, L., Klāsēns, V., Kreišmane, Dz., Kroģere, R., Lapiņš, D., Lauva, J., Priedītis, A., Rubenis, J., Ruža, A., Vilcāne, S. 1994. *Agronomijas pamati*. Rīga, Zvaigzne ABC.
- Āboltiņš, O. 1995. Mežoles pauguraine. *Latvijas daba: enciklopēdija*, 6. sēj., Rīga, Preses nams, 242-244.
- Āboltiņš, O. 1998. Vidzemes augstiene. *Latvijas daba enciklopēdija*, 6. sējums. Rīga, Preses nams, 73-76.
- Bahr, A., Ellström, M., Schnoor, T.K., Pålsson, L., Olsson, P.A. 2012. Long-term changes in vegetation and soil chemistry in a calcareous and sandy semi-natural grassland. *Flora*. 207, 379-387.
- Bakker, J.P. 2005. Vegetation conservation, management and restoration. Van der Maarel, E. (ed.). *Vegetation Ecology*. Blackwell Publishing, UK. 309-331.
- Batjes, N.H. 1996. Total carbon and nitrogen in soils of the world. *European Journal of Soil Science*. 47, 151-163.
- Bedard-Haughn, A. 2011. Gleysolic soils of Canada: Genesis, distribution, and classification. *Canadian Journal of Soil Science*. 91(5), 763-779.
- Blanchet, G., Libohova, Z., Joost, S., Rossier, N., Schneider, A., Jeangros, B., Sinaj, S. 2017. Spatial variability of potassium in agricultural soils of the canton of Fribourg, Switzerland. *Geoderma*. 290, 107-121.
- Bockheim, J.G., Gennadiyev, A.N., Hammer, R.D., Tandarich, J.P. 2005. Historical development of key concepts in pedology. *Geoderma*. 124, 23-36.
- Chen, J., Gu, S., Shen, M.G., Tang, Y.H., Matsushita, B., 2009. Estimating aboveground biomass of grassland having a high canopy cover: an exploratory analysis of in situ hyperspectral data. *International Journal of Remote Sensing*. 30 (24), 6497-6517.
- Conant, R.T., Paustian, K. 2002. Potential soil carbon sequestration in overgrazed grassland ecosystems. *Global Biogeochemical Cycles*. 16(4), 91-99.
- Critchley, C.N.R., Chambers, B.J., Fowbert, J.A., Sanderson, R.A., Bhogal, A., Rose, S.C. 2002. Association between lowland grassland plant communities and soil properties. *Biological Conservation*. 105(2), 199-215.
- Critchley, C.N.R., Burke, M.J.W., Stevens, D.P. 2004. Conservation of lowland semi-natural grasslands in the UK: a review of botanical monitoring results from agri-environment schemes. *Biological Conservation*. 115, 263-278.
- Davinic, M., Fultz, L.M., Acosta-Martinez, V., Calderón, F.J., Cox, S.B., Dowd, S.E., Allen, V.G., Zak, J.C., Moore-Kucera, J. 2012. Pyrosequencing and mid-infrared spectroscopy reveal distinct aggregate stratification of soil bacterial communities and organic matter composition. *Soil Biology and Biochemistry*. 46, 63-72.
- Dominati, E., Mackay, A., Green, S., Patterson, M. 2014. A soil change-based methodology for the quantification and valuation of ecosystem services from agro-ecosystems: A case study of pastoral agriculture in New Zealand. *Ecological Economics*. 100. 119-129.
- Doran, J.W. 2002. Soil health and global sustainability: translating science into practice. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 88, 119-127.
- European Space Agency 2015. *SENTINEL-2 User Handbook*. ESA Standard Document (1), 64 Atsauce tekstā (ESA 2015).
- FAO 2004. *Carbon sequestration in dryland soils*. *World soil resources reports No. 102*. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Fernandes, A.M., Conceição, F.T.D., Spatti Junior, E.P., Sardinha, D.D.S., Mortatti, J. 2016. Chemical weathering rates and atmospheric/soil CO₂ consumption of igneous and metamorphic rocks under tropical climate in southeastern Brazil. *Chemical Geology*. 443, 54-66.

- Florinsky, I.V., Kuryakova, G.A. 1996. Influence of topography on some vegetation cover properties. *Catena*. 27, 123–141.
- Ford, H., Roberts, A., Jones, L. 2016. Nitrogen and phosphorus co-limitation and grazing moderate nitrogen impacts on plant growth and nutrient cycling in sand dune grassland. *Science of The Total Environment*. 542(A), 203-209.
- Foth, H.D. 1990. *Fundamentals of soil science*. 8th ed. New York : John Wiley & Sons.
- Genxu, W., Ju, Q., Guodong, C., Yuanmin, L. 2002. Soil organic carbon pool of grassland soils on the Qinghai-Tibetian Plateau and its global implication. *The Science of the Total Environment*. 291, 207-217.
- Gerrard, J. 2000. *Fundamentals of Soils*. London, Routledge.
- Gilbert, J., Gowing, D., Wallace, H. 2009. Available soil phosphorus in semi-natural grasslands: Assessment methods and community tolerances. *Biological Conservation*. 142(5), 1074-1083.
- Heinsoo, K., Melts, I., Sammul, M., Holm, B. 2010. The potential of Estonian semi-natural grasslands for bioenergy production. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 137(1-2), 86-92.
- Holland, J.E., Bennett, A.E., Newton, A.C., White, P.J., McKenzie, B.M., George, T.S., Pakeman, R.J., Bailey, J.S., Fornara, D.A., Hayes, R.C. 2018. Liming impacts on soils, crops and biodiversity in the UK: A review. *Science of the Total Environment*. 610-611, 316-332.
- Hosseini, M., Agereh, S.R., Khaledian, Y., Zoghalchali, H.J., Brevik, E.C. 2017. Comparison of multiple statistical techniques to predict soil phosphorus. *Applied Soil Ecology*. 114, 123-131.
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E., Gao, X., Ferreira, L. 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*. 83(1–2), 195–213.
- Institute of Environmental Solutions 2018. *Assessment of grasslands using remote sensing techniques*. Report.
- Jackson, T.A. 2015. Weathering, secondary mineral genesis, and soil formation caused by lichens and mosses growing on granitic gneiss in a boreal forest environment. *Geoderma*. 251-252, 78-91.
- Janssens, F., Peeters, A., Tallwin, J.R.B., Bakker, J.P., Bekker, R.M., Fillat, F., Oomes, M.J.M. 1998. Relationship between soil chemical factors and grassland diversity. *Plant and Soil*. 202, 69-78.
- Kalvāne, I., Burkhard, B., Ruskule, A., Bojārs, E. 2014. *Metodoloģiskās vadlīnijas zālāju ekosistēmu pakalpojumu kartēšanā un novērtēšanā*. Baltijas Vides Forums.
- Kasparinskis, R. 2012. *Latvijas meža augšņu daudzveidība un to ietekmējošie faktori: promocijas darbs*. Rīga, LU Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte, Latvijas Universitāte.
- Kārklīšs A. 2008. *Augsnes diagnostika un apraksts*. Jelgava, Latvijas Lauksaimniecības universitāte.
- Kārklīšs, A., Gemste, I., Mežals, H., Nikodemus, O., Skujāns, R. 2009. *Latvijas augšņu noteicējs*. Jelgava, Latvijas Lauksaimniecības universitāte.
- Kolli, R., Ellermae, O., Koster, T., Lemettia, I., Asic, E., Kauer, K. 2009. Stocks of organic carbon in Estonian soils. *Estonian Journal of Earth Sciences*. 58(2), 95-108.
- Kravchenko, A.N., Bullock, D.G. 2000. Correlation of corn and soybean grain yield with topography and soil properties. *Agron*. 92, 75–83
- Li, Y.Y., Shao, M.A. 2006. Change of soil physical properties under long-term natural vegetation restoration in the Loess Plateau of China. *Journal of Arid Enviroments*. 64, 77-96.
- Lillesand, T.M., Kiefer, R.W., Chipman, J.W. 2004. *Remote Sensing and Image Interpretation: Fifth Edition*. Hoboken, NJ, John Wiley & Sons.

- Līpenīte, I., Kārklīšs, A. 2011. Augsnes kvalitāte zemes izmantošanas maiņas kontekstā II. Augsnes fizikālās un agroķīmiskās īpašības. *LLU Raksti*. 26 (321), 18-32.
- Lundström, U.S., Van Breemen, N., Brain, D. 2000. The podzolization process. A review. *Geoderma*. 94(2-4), 91-107.
- Mariotte, P., Buttler, A., Kohler, F., Gilgen, A.K., Spiegelberger, T. 2013. How do subordinate and dominant species in semi-natural mountain grasslands relate to productivity and land-use change? *Basic and Applied Ecology*. 14(3), 217-224.
- Masiello, C.A., Chadwick, O.A., Southon, J., Torn, M.S., Harden, J.W. 2004. Weathering controls on mechanisms of carbon storage in grassland soils. *Global Biogeochemical Cycles*. 18(4), 1-9.
- McBratney, A., Damien, J.F., Andrea, K. 2014. The dimensions of soil security. *Geoderma*. 2013. 203-213.
- McCauley, A., Jones, C., Olson-Rutz, K. 2017. Soil pH and organic matter. *Nutrient management*. Modul No.8, 4449-8.
- Mežals, G., Skujāns, R., Freivalds, V., Bambergs, K. 1970. *Augsnes zinātne un Latvijas PSRS augsnes*. Rīga, Zvaigzne.
- Millennium Ecosystem Assessment. 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Desertification Synthesis*. World Resources Institute, Washington, D.C.
- Nikodemus, O., Kārklīšs, A., Kļaviņš, M., Melecis, V. 2008. *Augsnes ilgtspējīga izmantošana un aizsardzība*. Rīga, LU Akadēmiskais apgāds.
- Nikodemus, O., Brūmelis G. (red. un sast.) 2011. *Dabas aizsardzība*. Rīga: LU akadēmiskais apgāds, 288.
- Nikodemus, O., Kasparinskis, R. 2018. Augsnes sega. Nikodemus, O. u.c. (zin. red). *Latvija. Zeme, daba, tauta, valsts*. Rīga: LU Akadēmiskais apgāds, 332-365.
- Orr, R.J., Griffith, B.A., Champion, R.A., Cook, J.E. 2012. Defaecation and urination behaviour in beef cattle grazing semi-natural grassland. *Applied Animal Behaviour Science*. 139, 18-25.
- Paul, E.A. (ed.) 2007. *Soil microbiology, ecology, and biochemistry*. 3rd edn. Academic Press is an imprint of Elsevier.
- Poeplau, C., Don, A., Vesterdal, L., Leifeld, J., Van Wesemael, B., Schumacher, J., Gensior, A., 2011. Temporal dynamics of soil organic carbon after land-use change in the temperate zone - carbon response functions as a model approach. *Global Change Biology*. 17 (7), 2415–2427.
- Poeplau, C., Don, A. 2013. Sensitivity of soil organic carbon stocks and fractions to different land-use changes across Europe. *Geoderma*. 192, 189-201.
- Psomas, A., Kneubühler, M., Huber, S., Itten, K., Zimmermann, N.E. 2011. Hyperspectral remote sensing for estimating aboveground biomass and for exploring species richness patterns of grassland habitats. *International Journal of Remote Sensing*. 32 (24), 9007–9031.
- Ridding, L.E., Redhead, J.W., Pywell, R.F. 2015. Fate of semi-natural grassland in England between 1960 and 2013: A test of national conservation policy. *Global Ecology and Conservation*. 4, 516-525.
- Rūsiņa, S. 2008. Dabisko zālāju apsaimniekošana augāja daudzveidībai. Grām.: Auniņš, A. (red.) *Aktuālā savvaļas sugu un biotopu apsaimniekošanas problemātika Latvijā*. Rīga, Latvijas Universitāte, 29-43.
- Rūsiņa, S. 2013. Zālāju biotopi. Grām.: Auniņš, A. (red.) *Eiropas Savienības aizsargājamie biotopi Latvijā. Noteikšanas rokasgrāmata. 2. papildinātais izdevums*. Rīga, Vides aizsardzības un reģionālās attīstības ministrija, Latvijas Dabas fonds, 151-205.
- Rūsiņa, S. (red.) 2017. Aizsargājamo biotopu saglabāšanas vadlīnijas Latvijā. 3. sējums. *Dabiskās pļavas un ganības*. Dabas aizsardzības pārvalde, Sigulda.

- Sauer, D., Sponagel, H., Sommer, M., Giani, L., Jahn, R., Stahr, K. 2007. Podzol: soil of the year 2007. A review on its genesis, occurrence, and functions. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 170(5), 581-597.
- Shaw, C.F. 1930. Potent factors in soil formation. *Ecology*. 11(2), 239-245.
- Shiri, J., Keshavarzi, A., Kisi, O., Iturraran-Viveros, U., Bagherzadeh, A., Mousavi, R., Karimi, S. 2017. Modeling soil cation exchange capacity using soil parameters: Assessing the heuristic models. *Computers and Electronics in Agriculture*. 135, 242-251.
- Sims, D. A., Gamon, J. A. 2002. Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages. *Remote Sensing of Environment*. 81(2-3), 337-354.
- Świtoniak, M. 2014. Use of soil profile truncation to estimate influence of accelerated erosion on soil cover transformation in young morainic landscapes, North-Eastern Poland. *Catena*. 116, 173-184.
- Tan, K., H. 2005. *Soil sampling, preparation, and analysis*. 2nd edition. Taylor & Francis Group, Boca Raton, 623.
- Tan, K.H. 2009. *Environmental soil science*. 3rd edition. Athens, Georgia, University of Georgia.
- Ulusoy, Y., Tekin, Y., Tümsavaş, Z., Mouazen, A.M. 2016. Prediction of soil cation exchange capacity using visible and near infrared spectroscopy. *Biosystems Engineering*. 152, 79-93.
- Vanmechelen, L., Groenemans, R., Van Ranst, E. 1997. *Forest Soil Condition in Europe. Results of Large-Scale Soil Survey. Technical Report*. EC, UN/ECE, Ministry of the Flemish Community, Brussels, Geneva, 259.
- Wei, Y., Wu, X., Cai, C. 2015. Splash erosion of clay-sandmixtures and its relationship with soil physical properties: The effects of particle size distribution on soil structure. *Catena*. 135, 254-262.
- Willems, J.H., Van Nieuwstadt, M.G.L. 1996. Long-term after effects of fertilization on above-ground phytomass and species diversity in calcareous grassland. *Journal of Vegetation Science*. 7. 177-184.
- Xu, J.M., Tang, C., Chen, Z.L. 2006. The role of plant residues in pH change of acid soils differing in initial pH. *Soil Biology & Biochemistry*. 38, 709-719.
- Zhang, Q., Liang, G., Myrold, D.D., Zhou, W. 2017. Variable responses of ammonia oxidizers across soil particle-size fractions affect nitrification in a long-term fertilizer experiment. *Soil Biology and Biochemistry*. 105, 25-36.
- Zhao, W., Zhang, R., Huang, C., Wang, B., Cao, H., Koopal, L.K., Tan, W. 2016. Effect of different vegetation cover on the vertical distribution of soil organic and inorganic carbon in the Zhifanggou Watershed on the loess plateau. *Catena*. 139, 191-198.
- Zörb, C., Senbayram, M., Peiter, E. 2014. Potassium in agriculture - status and perspectives. *Journal of Plant Physiology*. 171, 656-669.

Nebublicētīe avoti:

- Augšņu agroķīmisko izpētes un izpētes rezultātu kārtība. 6. pielikums. *Augsnes agroķīmisko analīžu metodes*. Zemkopības ministrijas kārtība Nr.21. Pieņemts 29.08.2014.
- Bullock, J.M., Jefferson, R.G., Blackstock, T.H., Pakeman, R.J., Emmett, B.A., Pywell, R.J., Philip Grime, J., Silvertown, J. 2011. *Broad habitats: Chapter 6: Semi-natural grasslands*. UK National Ecosystem Assessment: Technical Report. Sk. 06.06.18. Pieejams <http://uknea.unep-wcmc.org/LinkClick.aspx?fileticket=lfVaZJDoV8c%3D&tabid=82>
- Copernicus S.a. *Copernicus in brief*. Sk. 27.05.2019. Pieejams <https://www.copernicus.eu/en/about-copernicus/copernicus-brief>
- Humphreys, M.W., O'Donovan, G., Sheehy-Skeffington, M. S.a. Comparing synthetic and natural grasslands for agricultural production and ecosystem service. Sk. 06.06.2018. Pieejams

- http://cadair.aber.ac.uk/dspace/bitstream/handle/2160/26478/Mike_Humphreys_Plenary_Grasslands_for_Ecosystem_Service.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- LIFE Viva Grass S.a. *Ecosystem services in different grasslands*. Sk. 10.06.2018. Pieejams <http://vivagrass.eu/ecosystem-services/ecosystem-services-in-different-grasslands/>
- LVĢD Kwartārģeoloģija. Valsts Ģeoloģijas Dienesta Kwartāra nogulumu karšu mozaīka mērogā 1:200 000. LU ĢZZF WMS. Skatīts 03.06.2018. Pieejams <http://www.geo.lu.lv/kartes>
- LVĢMC S.a. *Latvijas klimats*. Sk. 03.06.2018. Pieejams <https://www.meteo.lv/lapas/vide/klimata-parmainas/latvijas-klimats/latvijas-klimats?id=1199&nid=562>
- Parastā kamolzāle*. S.a. Latvijas daba: Sugu enciklopēdija. Sk.27.05.19. Pieejams <https://www.latvijasdaba.lv/augi/dactylis-glomerata-l/>
- Vides risinājumu institūts S.a. Sk. 27.05.2019. Pieejams <http://www.videsinstituts.lv/lv/projekti>

PIELIKUMI

Pētījuma teritoriju raksturojošo augsnes ķīmisko un fizikālo īpašību, kā arī veģetācijas un biomasas parametru salīdzinājums: A-dažādās zālāju klasēs, B-dažādās zemes kvalitatīvās vērtības klasēs

A.

Zālāja klase	pH BaCl2	C, %	N, %	Apmaiņas elementi, mg/kg						KAK, cmol/kg	P2O5, mg/kg	Tilpummasa, g/cm3	Sugu skaits	Zaļā biomasa, g/m2	Sausā biomasa, g/m2
				Ca	Mg	K	Mn	Al	Fe						
Kultivēts zālājs - Ilggadīgs zālājs															
0-10 cm	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
11-20 cm	T	n.b.	n.b.	T; S	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.			
Kultivēts zālājs - Daļēji dabisks zālājs															
0-10 cm	T; S; D	n.b.	T; S	n.b.	n.b.	n.b.	T; S; D	T; S; D	T; S; D	n.b.	T; S	T; S; D	T; S; D	n.b.	n.b.
11-20 cm	T; S; D	n.b.	n.b.	T	n.b.	n.b.	n.b.	T; S; D	T; S; D	T	T; S	T; S; D			
Ilggadīgs zālājs - Daļēji dabisks zālājs															
0-10 cm	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	T; S; D	T; S	n.b.	T; D	T; S; D	T; S	n.b.	T; S; D
11-20 cm	D	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	T; S	T; S; D	n.b.	D	T; S; D			

T-būtiskas atšķirības pēc *Tukey*; **S**-būtisks pēc *Scheffe*; **D**-būtisks pēc *Dunnett T3*

n.b.-nav būtiskas atšķirības

B.

ZKV	pH BaCl2	C, %	N, %	Apmiņas elementi, mg/kg						KAK, cmol/kg	P2O5, mg/kg	Tilpummasa, g/cm3	Sugu skaits	Zaļā biomasa, g/m2	Sausā biomasa, g/m2
				Ca	Mg	K	Mn	Al	Fe						
Zema - Vidēja															
0-10 cm	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	T; S	T; S; D	T; S; D	n.b.	D	T; S; D	T; S; D	T; S; D	T; S; D
11-20 cm	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	T	T; S; D	T; S; D	n.b.	n.b.	n.b.			
Zema-Augsta															
0-10 cm	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	T; S; D	D	T; D	n.b.	T	T; S; D	T; S; D	T; S	n.b.
11-20 cm	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	T; S; D	D	n.b.	n.b.	T; S	T; S; D			
Vidēja-Augsta															
0-10 cm	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
11-20 cm	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.			

T-būtiskas atšķirības pēc *Tukey*; **S**-būtisks pēc *Scheffe*; **D**-būtisks pēc *Dunnett T3*

n.b.-nav būtiskas atšķirības

Galveno komponentu analīzes rezultāti augsnes horizontam dziļumā 0-10 cm

***** PRINCIPAL COMPONENTS ANALYSIS -- Paraugi in Faktori space *****

PC-ORD, 5.10

13 May 2019, 15:48

Randomization test requested. 999 runs.

1373 = Seed for random number generator.

0-10_bez_kudras

Cross-products matrix contains CORRELATION COEFFICIENTS among Faktori

VARIANCE EXTRACTED, FIRST 10 AXES

AXIS	Eigenvalue	% of Variance	Broken-stick	
			Cum.% of Var.	Eigenvalue
1	6.301	39.381	39.381	3.381
2	3.381	21.132	60.513	2.381
3	1.842	11.513	72.026	1.881
4	1.206	7.538	79.564	1.547
5	0.722	4.513	84.077	1.297
6	0.608	3.797	87.874	1.097
7	0.560	3.501	91.375	0.931
8	0.421	2.629	94.004	0.788
9	0.278	1.738	95.742	0.663
10	0.225	1.405	97.147	0.552

FIRST 6 EIGENVECTORS, scaled to unit length.

These can be used as coordinates in a distance-based biplot, where the distances among objects approximate their Euclidean distances.

Faktori	Eigenvector					
	1	2	3	4	5	6
Augliba	-0.2394	-0.2701	0.1710	0.1943	0.3187	-0.1282
pH	-0.3187	0.1354	-0.3149	0.0703	-0.0994	0.1554
C, %	-0.0482	0.4408	0.3307	-0.0137	0.0541	0.1024
N, %	-0.0213	0.3792	0.3748	-0.2208	0.2223	-0.1842
P2O5	-0.1598	-0.0600	0.1518	0.7071	0.0915	-0.3783
Ca	-0.2908	0.3223	-0.1623	-0.1459	-0.0210	-0.0199
Mg	-0.2887	0.2802	-0.0704	-0.0149	0.0824	-0.3945
K	-0.0706	0.2518	0.3573	0.4281	-0.3722	0.4856
Mn	0.3291	0.1080	0.1913	0.0432	-0.2717	-0.2127
Al	0.3496	0.0944	0.0479	-0.0395	0.1155	-0.1322
Fe	0.3142	0.0791	0.0663	-0.0923	0.3194	0.2368
CEC	-0.2953	0.3274	-0.1427	-0.1202	-0.0180	-0.0544
Tilpumm	-0.2781	-0.2751	-0.0431	-0.1480	-0.2323	0.0781

Sugu_sk	0.2808	0.1374	-0.2181	0.0493	-0.3850	-0.4597
Zala_bio	-0.2116	-0.2370	0.4184	-0.2518	0.1535	-0.1279
Biom_sau	-0.1498	-0.1911	0.3893	-0.2992	-0.5165	-0.1565

FIRST 6 EIGENVECTORS, each scaled to its standard deviation
 These are sometimes called V vectors, and, when applied to
 PCA of a correlation matrix, are the same as the correlation
 coefficient between scores for rows in the main matrix and the
 column variables.

Faktori	Eigenvector					
	1	2	3	4	5	6
Augliba	-0.6010	-0.4967	0.2322	0.2134	0.2708	-0.0999
pH	-0.8000	0.2489	-0.4274	0.0772	-0.0845	0.1211
C, %	-0.1210	0.8105	0.4489	-0.0151	0.0460	0.0798
N, %	-0.0535	0.6973	0.5087	-0.2425	0.1889	-0.1436
P2O5	-0.4012	-0.1104	0.2060	0.7765	0.0778	-0.2948
Ca	-0.7300	0.5926	-0.2202	-0.1603	-0.0178	-0.0155
Mg	-0.7247	0.5153	-0.0955	-0.0164	0.0701	-0.3075
K	-0.1772	0.4630	0.4850	0.4701	-0.3163	0.3785
Mn	0.8261	0.1986	0.2596	0.0475	-0.2309	-0.1658
Al	0.8776	0.1737	0.0650	-0.0433	0.0982	-0.1030
Fe	0.7886	0.1455	0.0900	-0.1013	0.2714	0.1846
CEC	-0.7413	0.6020	-0.1936	-0.1320	-0.0153	-0.0424
Tilpumm	-0.6981	-0.5058	-0.0585	-0.1625	-0.1974	0.0609
Sugu_sk	0.7048	0.2526	-0.2960	0.0542	-0.3272	-0.3583
Zala_bio	-0.5313	-0.4358	0.5679	-0.2765	0.1304	-0.0997
Biom_sau	-0.3761	-0.3513	0.5284	-0.3286	-0.4389	-0.1220

COORDINATES (SCORES) OF Paraugi

Paugi	Axis (Component)					
	1	2	3	4	5	6
1 1_	4.4640	2.2909	1.1932	0.0419	-0.4090	-1.0547
2 2_	5.4605	1.0206	0.3720	-0.0716	0.4323	-0.2676
3 3_	3.8765	0.1101	-0.1477	-0.7107	1.5425	0.8909
4 4_	-0.0852	1.9104	0.2801	1.0721	0.5858	-1.1945
5 5_	-0.0939	-1.4679	-0.8667	0.0050	0.0157	0.6677
6 7_	-1.5464	-0.3607	1.1028	-1.1655	0.1381	0.0408
7 8_	-1.5685	-2.9936	1.4122	0.5107	0.9632	0.1405
8 9_	-1.0195	-3.2875	0.3732	-0.9107	0.8952	0.9569
9 11_	-1.3418	-2.1913	0.5404	-0.1309	0.9298	-0.5871
10 12_	-0.8828	-0.8663	-0.2100	-0.6305	0.9572	0.1282
11 14_	-0.6616	3.4336	-0.9557	-0.7135	-0.6894	-0.1057
12 15_	-4.5914	3.5960	2.1051	-2.4287	1.0465	-0.2733
13 16_	-0.5522	-0.9347	-0.6836	0.5961	-0.1797	-0.1807
14 17_	-0.3313	-1.1301	0.9194	-0.3991	-1.2595	-1.5027
15 18_	-1.6289	0.3890	2.1199	0.3961	-1.4392	-0.0681

16 19_	-0.1400	-2.0475	-1.2753	-0.5451	-0.7231	-0.1428
17 20_	-1.4008	0.8808	0.5304	2.2859	-0.9881	2.0661
18 21_	0.8423	-1.5183	-0.6222	-0.5785	-1.1289	0.5439
19 23_	-0.5059	0.7407	1.2611	1.1123	-0.8967	0.5791
20 27_	-0.2627	-3.1121	1.1461	0.0861	-1.2724	-0.7513
21 28_	0.6352	-1.2405	-0.0397	-1.2267	0.3738	0.1798
22 29_	4.2504	0.9818	-0.1936	0.1028	-0.2066	-0.2661
23 30_	0.9571	2.2064	1.7564	-0.2975	0.0248	1.2341
24 31_	2.0382	-0.9666	-2.0636	-0.1939	-0.6004	-0.0340
25 32_	-2.7273	1.4958	0.3220	2.3667	0.7522	0.3323
26 33_	5.1439	0.1630	-0.7987	0.3516	0.5080	0.1283
27 34_	-2.3711	1.9802	-4.0079	-0.3386	0.0147	0.5356
28 35_	-3.7088	1.1841	-2.2393	-1.2665	-0.7704	-0.4623
29 36_	-2.2479	-0.2662	-1.3302	2.6808	1.3838	-1.5332

5.07 = inflation factor for biplot scores

BEGINNING RANDOMIZATIONS

RANDOMIZATION RESULTS

999 = number of randomizations

Axis	Eigenvalue	Eigenvalues from randomizations			
	from real data	Minimum	Average	Maximum	p *
1	6.3010	2.0271	2.5530	3.4541	0.001000
2	3.3811	1.6951	2.1558	2.6660	0.001000
3	1.8421	1.4952	1.8672	2.2490	0.580000
4	1.2061	1.3205	1.6208	1.9439	1.000000
5	0.72204	1.1356	1.4098	1.7215	1.000000
6	0.60759	0.97426	1.2251	1.5856	1.000000
7	0.56016	0.81172	1.0565	1.3143	1.000000
8	0.42064	0.64040	0.90766	1.1751	1.000000
9	0.27810	0.57441	0.76610	1.0108	1.000000
10	0.22473	0.46715	0.64358	0.90051	1.000000

* p-value for an axis is $(n+1)/(N+1)$, where n is the number of randomizations with an eigenvalue for that axis that is equal to or larger than the observed eigenvalue for that axis. N is the total number of randomizations.

APPLICATION OF STOPPING RULES

Last useful axis	Rule acronym	Explanation (see Peres-Neto, Jackson & Somers 2005)
2	Rnd-Lambda	Observed eigenvalue as compared to randomizations
10	Rnd-F	Observed pseudo-F-ratio as compared to randomizations
2	Avg-Rnd	Observed eigenvalue as compared to average eigenvalue from randomizations
2	BS	Observed eigenvalue as compared to broken-stick eigenvalue

Notes: Rnd-Lambda is relatively robust to non-normal data.

Rnd-F performs well with uncorrelated variables and multivariate normality.

Avg-Rnd performs well with multivariate normal data without uncorrelated variables.

BS performs well when variables are highly correlated.

For more information, see Peres-Neto et al. (2005 -- Comp.Stat.Data Anal.)

***** End of PCA *****

Galveno komponentu analīzes rezultāti augsnes horizontam dziļumā 11-20 cm

***** PRINCIPAL COMPONENTS ANALYSIS -- Paraugi in Faktori space *****

PC-ORD, 5.10

13 May 2019, 18:58

Randomization test requested. 999 runs.

4019 = Seed for random number generator.

11-20_bez_kudras

Cross-products matrix contains CORRELATION COEFFICIENTS among Faktori

VARIANCE EXTRACTED, FIRST 10 AXES

AXIS	Eigenvalue	% of Variance	Broken-stick	
			Cum.% of Var.	Eigenvalue
1	6.393	39.957	39.957	3.381
2	2.713	16.954	56.910	2.381
3	1.499	9.368	66.278	1.881
4	1.153	7.207	73.485	1.547
5	1.018	6.362	79.846	1.297
6	0.868	5.425	85.271	1.097
7	0.602	3.761	89.032	0.931
8	0.515	3.219	92.251	0.788
9	0.376	2.351	94.602	0.663
10	0.293	1.830	96.433	0.552

FIRST 6 EIGENVECTORS, scaled to unit length.

These can be used as coordinates in a distance-based biplot, where the distances among objects approximate their Euclidean distances.

Faktori	Eigenvector					
	1	2	3	4	5	6
Augliba	-0.2442	-0.2993	-0.1842	-0.2016	0.2336	-0.0663
pH	-0.3389	0.2049	-0.1722	0.0847	-0.0860	0.0851
C, %	-0.2054	0.2292	0.3814	-0.3362	0.2331	-0.0764
N, %	-0.0662	-0.0443	0.6266	0.0639	-0.3054	-0.4284
P2O5	-0.1490	-0.0952	-0.4003	-0.3076	0.2902	-0.4906
Ca	-0.3212	0.3280	0.0836	0.0360	0.0135	0.0133
Mg	-0.3053	0.3006	0.0302	-0.0619	0.0636	-0.0375
K	-0.0538	0.0815	-0.1364	-0.6938	-0.4914	0.2757
Mn	0.3030	0.0353	0.0972	-0.2887	-0.1343	-0.0174
Al	0.3225	0.1452	0.1584	-0.2300	0.1540	-0.2030
Fe	0.3213	0.1317	0.0843	-0.2694	0.2731	-0.0858
CEC	-0.3226	0.3294	0.0741	0.0051	0.0069	0.0132
Tilpumm	-0.1403	-0.3141	-0.0828	-0.0104	-0.5037	-0.3871

Sugu_sk	0.2847	0.2295	-0.0817	0.1534	-0.0069	0.0632
Zala_bio	-0.1993	-0.4110	0.2667	-0.0680	0.2902	0.0215
Biom_sau	-0.1182	-0.3632	0.2824	-0.1300	0.0785	0.5267

FIRST 6 EIGENVECTORS, each scaled to its standard deviation
 These are sometimes called V vectors, and, when applied to
 PCA of a correlation matrix, are the same as the correlation
 coefficient between scores for rows in the main matrix and the
 column variables.

Faktori	Eigenvector					
	1	2	3	4	5	6
Augliba	-0.6174	-0.4929	-0.2255	-0.2165	0.2356	-0.0618
pH	-0.8568	0.3374	-0.2109	0.0909	-0.0868	0.0793
C, %	-0.5192	0.3774	0.4670	-0.3610	0.2352	-0.0711
N, %	-0.1673	-0.0729	0.7671	0.0687	-0.3081	-0.3991
P2O5	-0.3766	-0.1568	-0.4901	-0.3303	0.2928	-0.4571
Ca	-0.8123	0.5402	0.1023	0.0387	0.0137	0.0124
Mg	-0.7718	0.4950	0.0370	-0.0664	0.0642	-0.0349
K	-0.1360	0.1343	-0.1670	-0.7450	-0.4958	0.2568
Mn	0.7662	0.0581	0.1190	-0.3100	-0.1355	-0.0162
Al	0.8154	0.2391	0.1939	-0.2469	0.1554	-0.1891
Fe	0.8124	0.2170	0.1032	-0.2893	0.2756	-0.0799
CEC	-0.8157	0.5426	0.0907	0.0055	0.0070	0.0123
Tilpumm	-0.3548	-0.5174	-0.1013	-0.0112	-0.5081	-0.3606
Sugu_sk	0.7198	0.3780	-0.1000	0.1647	-0.0070	0.0589
Zala_bio	-0.5038	-0.6768	0.3265	-0.0730	0.2928	0.0200
Biom_sau	-0.2989	-0.5982	0.3458	-0.1396	0.0792	0.4907

COORDINATES (SCORES) OF Paraugi

Paraugi	Axis (Component)					
	1	2	3	4	5	6
1 1_	4.5163	1.5762	1.2481	-1.7544	0.4011	-0.1394
2 2_	4.5847	1.0856	-0.0696	0.0712	0.2929	0.0146
3 3_	2.8487	0.6173	0.0489	0.8216	1.1044	0.7051
4 4_	-0.0728	1.4668	-0.1068	-0.2214	0.6277	-0.1046
5 5_	-0.1245	-0.6026	-0.5106	1.2653	-0.6377	-0.3137
6 7_	-1.3754	-1.9087	0.4835	0.5607	-0.1751	0.3789
7 8_	-2.1174	-2.3685	0.0297	-1.2982	1.2637	-1.4476
8 9_	-0.8450	-2.6531	-0.0149	0.4103	0.5435	0.2814
9 11_	-1.4558	-2.0892	-0.7098	0.6358	0.4448	-0.3874
10 12_	-1.1967	-0.8590	0.0807	0.6304	-0.0042	0.1245
11 14_	0.1646	1.5950	0.1799	1.2775	-0.8571	0.0915
12 15_	-4.2762	1.1961	2.5918	-0.1238	1.2154	0.6266
13 16_	-0.1191	-0.7610	-1.2621	0.3733	-0.4268	-0.0185
14 17_	0.3627	-1.6568	0.2555	0.3535	-0.0657	1.1198
15 18_	-0.9451	-0.9435	0.5831	-1.4409	-0.3851	2.0338

16 19_	0.0864	-0.7094	-0.6298	0.9172	-0.2824	1.1002
17 20_	-1.0119	0.1931	-1.5903	-3.1805	-2.8187	0.7880
18 21_	0.6902	-0.3324	0.1852	-0.0949	-0.8057	0.6181
19 23_	1.2235	-0.9560	-0.8163	-1.0093	-0.2959	-0.3618
20 27_	0.2017	-3.0074	-0.3500	-0.0609	0.6688	0.0218
21 28_	0.3955	-1.2053	3.6291	0.6919	-2.0469	-2.4750
22 29_	4.0594	0.9723	-0.1427	-0.1947	-1.1443	-1.4797
23 30_	0.8349	-0.1197	0.9736	-0.0023	0.4244	0.4021
24 31_	2.5386	0.6087	-0.9136	1.8696	0.1045	0.6649
25 32_	-4.1681	2.0460	-0.3309	-1.3029	1.1088	-1.1746
26 33_	5.0141	1.6015	0.1542	-0.8499	1.8910	0.0201
27 34_	-2.4629	3.5491	-1.3308	1.6290	-1.3336	-0.0755
28 35_	-4.9863	3.0709	1.4174	0.0170	0.1504	0.7392
29 36_	-2.3640	0.5944	-3.0823	0.0098	1.0378	-1.7529

5.79 = inflation factor for biplot scores

BEGINNING RANDOMIZATIONS

RANDOMIZATION RESULTS

999 = number of randomizations

Axis	Eigenvalue	Eigenvalues from randomizations			
	from real data	Minimum	Average	Maximum	p *
1	6.3931	2.0135	2.5754	3.3404	0.001000
2	2.7126	1.7553	2.1609	2.8028	0.002000
3	1.4988	1.5287	1.8653	2.2384	1.000000
4	1.1531	1.3321	1.6210	1.9982	1.000000
5	1.0178	1.1191	1.4103	1.7714	1.000000
6	0.86795	0.98271	1.2192	1.4755	1.000000
7	0.60172	0.83415	1.0563	1.3028	1.000000
8	0.51509	0.67675	0.90348	1.1505	1.000000
9	0.37619	0.48167	0.76615	0.96834	1.000000
10	0.29284	0.42641	0.64087	0.85102	1.000000

* p-value for an axis is $(n+1)/(N+1)$, where n is the number of randomizations with an eigenvalue for that axis that is equal to or larger than the observed eigenvalue for that axis. N is the total number of randomizations.

APPLICATION OF STOPPING RULES

Last useful axis	Rule acronym	Explanation (see Peres-Neto, Jackson & Somers 2005)
2	Rnd-Lambda	Observed eigenvalue as compared to randomizations
10	Rnd-F	Observed pseudo-F-ratio as compared to randomizations
2	Avg-Rnd	Observed eigenvalue as compared to average eigenvalue from randomizations
2	BS	Observed eigenvalue as compared to broken-stick eigenvalue

Notes: Rnd-Lambda is relatively robust to non-normal data.

Rnd-F performs well with uncorrelated variables and multivariate normality.

Avg-Rnd performs well with multivariate normal data without uncorrelated variables.

BS performs well when variables are highly correlated.

For more information, see Peres-Neto et al. (2005 -- Comp.Stat.Data Anal.)

*****End of PCA *****

Ar šo apliecinām, ka maģistra darbs

.....
.....
darba nosaukums

ir sagatavots aizstāvēšanai gala pārbaudījumu komisijā
dabaszinātņu maģistra grāda vides zinātnē iegūšanai.

Autors.....,
vārds, uzvārds *paraksts* *datums*

Zinātniskais vadītājs,
vārds, uzvārds *paraksts* *datums*

Noslēguma darba saņemšanas reģistrācija:

Darba reģistrācijas Nr.....

Vides zinātnes nodaļas lietvede:

Inese Silamiķele,
paraksts *datums*

Noslēguma darba aizstāvēšanas rezultāti:

maģistra darbs aizstāvēts maģistra studiju

gala pārbaudījumu komisijā
datums

un aizstāvēts ar atzīmi

Priekšsēdētājs: asoc.prof. Iveta Šteinberga,
vārds, uzvārds *paraksts* *datums*

Sekretāre: doc. Kristīne Āboliņa,
vārds, uzvārds *paraksts* *datums*