



LATVIJAS UNIVERSITĀTE
ĢEOGRĀFIJAS UN ZEMES ZINĀTŅU FAKULTĀTE
ĢEOGRĀFIJAS NODAĻA

**ILGGADĪGO ZĀLĀJU AUGŠŅU UN TO ĪPAŠĪBU RAKSTUROJUMS
VIDZEMES AUGSTIENĒ, Z/S „ŠOVĪTES”**

BAKALAURA DARBS

Autors: Anna Marta Rozenberga

Stud. apl. ar13088

Darba vadītājs:

Dr. geogr., docents, vadošais pētnieks Raimonds Kasparinskis

RĪGA 2016

SATURS

ANOTĀCIJA.....	3
ANOTATION.....	4
SAĪSINĀJUMI	5
IEVADS	6
1. ILGGADĪGIE ZĀLĀJI UN LAUKSAIMNIECĪBAS ZEMJU INTENSIFIKĀCIJA LATVIJĀ	9
2. CILVĒKU SAIMNIECISKĀS DARBĪBAS IETEKME UZ ILGGADĪGAJIEM ZĀLĀJIEM UN TO APSAIMNIEKOŠANA	11
3. AUGSNE, AUGŠŅU ĪPAŠĪBAS UN TO IETEKMĒJOŠIE DABAS FAKTORI	13
3.1. Augsnes auglība, to ietekmējošās fizikālās īpašības	13
3.2. Klimatiskie apstākļi.....	14
3.3. Teritorijas ģeoloģiskie veidošanās apstākļi un augsnes cilmeža ģenētiskais tips	15
3.4. Reljefa ietekme uz augsnes īpašībām.....	16
3.5. Augsnes ķīmiskās īpašības	18
4. PĒTĪJUMA MATERIĀLS UN METODES.....	24
4.1. Pētījuma etalonteritorijas raksturojums	24
4.2. Izejas dati.....	26
4.3. Pētījuma metodes	27
4.4. Datu statistiskā apstrāde	29
5. REZULTĀTI UN DISKUSIJA.....	30
5.1. Augsnes apakštipu raksturojums atkarībā no reljefa un granulometriskā sastāva	30
5.2. Augsnes ķīmiskās īpašības	34
5.3. Augšņu informācijas verifikācija	40
5.4. Ilggadīgo zālāju augšņu daudzveidības ietekmējošo faktoru izvērtējums	44
SECINĀJUMI	48
PATEICĪBA	50
IZMANTOTIE LITERATŪRAS AVOTI	51
PIELIKUMS.....	56

ANOTĀCIJA

Augsnes īpašības ietekmē zālāju kvalitāti un to ilgtspējīgu apsaimniekošanu, kā arī arvien nozīmīgs kļūst jautājums par ekosistēmu pakalpojumiem, kas ir atkarīgi no augsnes īpašībām. Turklāt kopš pagājušā gadsimta otrās puses Eiropā un arī Latvijā ir vērojama strauja ilggadīgo zālāju platību samazināšanās, tajā skaitā arī Vidzemes augstienē, tad ļoti būtiski ir noskaidrot augšņu īpašību ģeogrāfiskās likumsakarības un to ietekmējošos faktorus ne tikai reģionālā, bet arī lokālā mērogā, kas ir būtiski ne tikai saistībā ar zālāju ilgtspējīgu apsaimniekošanu, bet saistībā arī ar augsnes kartēšanas metodisko aspektu pilnveidošanu.

Bakalaura darba mērķis ir noskaidrot augšņu un to īpašību ģeogrāfiskās likumsakarības saistībā ar dabas faktoriem un cilvēka saimniecisko darbību ilggadīgajos zālajos Z/S „Šovītes”.

Pētījumā apkopota literatūra par dabiskajiem augsni ietekmējošajiem un antropogēnajiem faktoriem, kas rada ietekmi uz augsnes īpašībām un to telpisko raksturojumu.

Pētījuma rezultāti parāda, ka Z/S „Šovītes” ilggadīgajos zālajos lokālā mērogā, kur augsnes cilmiezis veidojies uz morēnas nogulumiem, ir sastopama relatīvi liela augšņu daudzveidība, ko nosaka dažādas izpausmes augsnes veidošanās procesi, piemēram, organisko vielu akumulācija, podzolēšanās, glejošanās, kā arī augsnes erozija. Augšņu ķīmiskās un fizikālās īpašības nosaka augsnes cilmiezis un granulometriskais sastāvs, kā arī reljefs un mitruma apstākļi, turklāt nozīmīga ir arī cilvēka saimnieciskā darbība un arī vēsturiskā zemes izmantošana. Iegūtie pētījuma rezultāti ir nozīmīgi ne tikai saistībā ar zālāju ilgtspējīgu apsaimniekošanu, bet saistībā arī ar augsnes kartēšanas metodisko aspektu pilnveidošanu lokālā mērogā.

Atslēgas vārdi: ilggadīgie zālāji, augsnes auglība, ietekmējošie faktori, augsnes veidošanās procesi, augsnes kartēšana.

ANOTATION

Soil properties affect grassland quality and sustainable management as well as increasingly become an important issue for ecosystem services that depend on soil characteristics. In addition, since the second half of last century in Europe and Latvia we have witnessed rapid permanent grassland area decrease including Vidzeme uplands. Thus it is essential to clarify the characteristics of the soil geographic regularities and factors which have an influence not only on a regional but also local level. That is essential both in relation to the sustainable management of grasslands and soil mapping methodological aspects of the development.

The aim of this bachelor thesis is to determine the influence of soil factors on geographical regularities in connection with the clearance of natural factors and human activity on the farm “Šovītes” permanent grasslands.

The study summarizes the literature on natural soil and anthropogenic influencing factors that have an impact on soil properties and their spatial characteristics.

The research results show that the farm “Šovītes” permanent grassland on a local level have a soil parent material that is formed on the moraine sediments and is present in a relatively high degree of soil diversity. That establishes various forms of soil formation processes such as organic matter accumulation, podsolization, gleyzation and soil erosion. The chemical and physical properties of the underlying soil parent material and size composition as well as relief and humidity conditions are also important in economic activities and historical land use. The obtained results of the study are important not only for the sustainable management of grasslands, but also in relation to soil mapping methodological aspects of the development on a local scale.

Key words: permanent grasslands, soil fertility, influencing factors, formation processes, soil mapping.

SAĪSINĀJUMI

LU ĢZZF – Latvijas Universitātes Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte

ASV – Amerikas Savienotās valstis

VZD – Valsts zemes dienests

Z/S – zemnieku saimniecība

KAK – katjonu apmaiņas kapacitāte

LVS – Latvijas standarts

ISO – International Organization for Standardization

LR – Latvijas Republika

PCA – galvenā komponentu analīze

GPS – Global Positioning System

IEVADS

Pēdējās desmitgadēs Eiropā zālāju platības samazinās (Stoate et al., 2009). Latvijā kopš pagājušā gadsimta vidus līdz mūsdienām zālāju, tajā skaitā arī ilggadīgo zālāju teritoriju apjomi samazinājušies vairāk kā par 50 %, respektīvi, no aptuveni 1500 tūkst. ha lielām platībām 1940. gadā līdz 670 tūkst. ha mūsdienās (Prižavoite, 2014).

Mainot zālāju apsaimniekošanas veidu, piemēram, teritorijas pamatot vai uzsākot intensīvo lauksaimniecību, notiek zālāju platības samazināšanās un sāk aktualizēties biotopu fragmentācija (Willems, 2001), kas būtiski ietekmē teritorijas bioloģisko daudzveidību. Zālāju ekosistēmu veidošanās, kā arī biodaudzveidība lielā mērā ir saistīta ar augsnes ķīmiskajām un fizikālajām īpašībām, kuras, mijiedarbojoties ar cilvēka saimniecisko darbību, nosaka šo biotopu pastāvēšanu un izmantošanu (Bobbink et al., 2003).

Augstieņu teritorijās, tajā skaitā arī Vidzemes augstienē, zālāju platību saglabāšanos īpaši ietekmējis teritorijas saposmotais, viļņotais reljefs, kas radījis apgrūtinātus augsnes tehnogēnās apsaimniekošanas apstākļus. Reljefs un relatīvi augsts nokrišņu daudzums augstieņu teritorijās ir veicinājis erozijas procesu attīstību, kas pēc tam būtiski ietekmē arī zālāju zelmeņa atšķirīgo attīstību.

Tā kā Latvijā dabisko zālāju platības samazinās, tad ir fundamentāli svarīgi veikt augšņu un veģetācijas telpisko likumsakarību pētījumus, lai aktualizētu tēmas nozīmīgumu ekosistēmu daudzveidības un dabisko ainavu saglabāšanā. Tādēļ zālāju platību un biodaudzveidības sarukumam Latvijā būtu jāpievērš lielāka uzmanība, kā rezultātā būtu jāsekmē ilggadīgo kultivēto zālāju dabiskošana un dabisko zālāju saglabāšana. No otras puses, ļoti nozīmīgi ir iegūt sakarības saistībā ar augsnes īpašību ietekmējošiem faktoriem lokālā mērogā saistībā ar augsnes kartēšanas metodisko aspektu pilnveidošanu. Augsnes īpašības ietekmē zālāju kvalitāti un to ilgtspējīgu apsaimniekošanu, kā arī arvien nozīmīgs kļūst jautājums par ekosistēmu pakalpojumiem, kas ir atkarīgs no augsnes īpašībām.

Bakalaura darba hipotēze: lokālā mērogā ilggadīgo zālāju augšņu īpašības un telpisko mainību uz viena augsnes cilmieža ģenētiskā tipā (morēnas) galvenokārt ietekmē augsnes granulometriskais sastāvs, reljefs un mitruma apstākļi, kā arī cilvēka saimnieciskā darbība.

Bakalaura darba mērķis – Noskaidrot augšņu un to īpašību ģeogrāfiskās likumsakarības saistībā ar dabas faktoriem un cilvēka saimniecisko darbību ilggadīgajos zālajos lokālā mērogā Z/S „Šovītes”.

Bakalaura darba mērķa sasniegšanai tika izvirzīti šādi *uzdevumi*:

- 1) Apkopot zinātnisko literatūru, par ilggadīgo zālāju augšņu un to īpašību ietekmējošiem faktoriem.
- 2) Veikt pētījuma etalonteritoriju izvēli, parauglaukumu ierīkošanu, dabas faktoru raksturošanu un augsnes paraugu ievākšanu parauglaukumos Z/S „Šovītes”.
- 3) Veikt augšņu paraugu fizikālās un ķīmiskās analīzes LU ĢZZF augšņu laboratorijā.
- 4) Raksturot augšņu īpašību telpisko izplatību un izveidot augsnes apakštipu un granulometriskā sastāva kartes Z/S “Šovītes”.
- 5) Noskaidrot augsnes apakštipu daudzveidību un zemes kvalitatīvo vērtību Z/S “Šovītes”, izmantojot LR Valsts zemes dienesta rīcībā esošos materiālus M 1:10 000, un salīdzināt karšu atbilstību atbilstoši iegūtajiem rezultātiem lauka darbu ietvaros.
- 6) Veikt iegūto augsnes fizikālo un ķīmisko īpašību ģeogrāfisko likumsakarību analīzi ar dabas faktoriem Z/S „Šovītes”, izmantojot statistiskās datu apstrādes metodes.

Pētāmā teritorija atrodas Vidzemes augstienes centrālajā daļā, Vecpiebalgas novada Dzērbenes pagasta zemnieku saimniecībā „Šovītes”. Saimniecībā līdz 1991. gadam pašreizējās zālāju teritorijas tika izmantotas kā aramzeme un veikta tās iekultivēšana. Tomēr aptuveni 25 gadu laikā, kopš tikusi pārtraukta intensīvā lauksaimniecība, teritorijas bioloģiskā daudzveidība nav palielinājusies, tādejādi aktuāla ir augsnes ietekme uz ilggadīgo kultivēto un dabisko zālāju izplatību.

Bakalaura darba izstrāde tika veikta 2 starptautisko projektu ietvaros:

- LIFE Viva Grass starptautiskā projekta „Integrēta plānošanas pieeja zālāju dzīvotspējai” (Nr. LIFE13ENV/LT/000189) ietvaros.
- Eiropas Ekonomikas zonas finanšu instrumenta 2009.-2014. gada perioda programmas “Nacionālā klimata politika” starptautiskā zinātniskā projekta “Nacionālās sistēmas pilnveidošana siltumnīcefekta gāzu inventarizācijai un ziņošanai par politikām, pasākumiem un prognozēm” zinātniskā pētījuma projekta “Ilgtspējīga zemes resursu pārvaldības veicināšana, izveidojot digitālu augšņu datubāzi” ietvaros.

Bakalaura darba autore 2015. un 2016. gadā piedalījies LU 73. un 74. zinātniskajā konferencē, sekcijā „Zemes un Vides zinātnes”, apakšsekcijā „Zemes un augsnes ilgtspējīga izmantošana” ar šādiem ziņojumiem:

- **Rozenberga, A. M.,** Kasparinskis, R., Nikodemus, O. 2016. Augšņu informācijas verifikācija Vidzemes augstienē, Z/S „Šovītes”. *Latvijas Universitātes 74. Zinātniskā*

konference. *Ģeogrāfija, Ģeoloģija, Vides zinātne. Referātu tēzes*. Rīga. Latvijas Universitāte. 521. – 523.

- Matuko, J., Kasparinskis, R., Liepiņš, I., Nikodemus, O., Prižavoite, D., Rotkovska, I., **Rozenberga, A. M.**, Rūsiņa, S. 2015. Dabisko zālāju augsnes Vidzemē. *Latvijas Universitātes 73. Zinātniskā konference. Ģeogrāfija, Ģeoloģija, Vides zinātne. Referātu tēzes*. Rīga. Latvijas Universitāte. 478. – 480.
- Afanasjeva, K., Brūmelis, G., Dirnēna, B., Jankovska, I., Kasparinskis, R., Liepiņa, L., Liepiņš, I., Nikodemus, O., Rotkovska, I., **Rozenberga, A. M.**, Ruskule, A., Sevčuka, A., Tabors, G. 2015. Egles (*Picea abies*) kā edafaktora ietekme uz augsnes īpašībām bijušajās lauksaimniecībā izmantojamās zemēs. *Latvijas Universitātes 73. Zinātniskā konference. Ģeogrāfija, Ģeoloģija, Vides zinātne. Referātu tēzes*. Rīga. Latvijas Universitāte. 442. – 443.
- Liepiņa, L., Afanasjeva, K., Dirnēna, B., Kasparinskis, R., Liepiņa, L., Liepiņš, I., Nikodemus, O., Rotkovska, I., **Rozenberga, A. M.**, Ruskule, A., Sevčuka, A., Tabors, G. 2015. Mikorizu simbiozes aktivitāte ar egli (*Picea abies*) aizaugošās lauksaimniecības zemēs. *Latvijas Universitātes 73. Zinātniskā konference. Ģeogrāfija, Ģeoloģija, Vides zinātne. Referātu tēzes*. Rīga. Latvijas Universitāte. 475. – 476.

Bakalaura darba autore ir veikusi zinātniskās literatūras analīzi no starptautiskajiem zinātniski recenzējamiem žurnāliem, kas pieejami datubāzēs: EBSCO, Web Of Science, Scopus un Science Direct, kā arī izmantoti elektroniskie resursi, grāmatas un Valsts zemes dienesta augšņu kartēšanas dati Cēsu rajona sovhozam „Dzērbene”.

Autore ir piedalījies lauka darbos, aprakstot 45 augšņu profilus atbilstoši Latvijas augšņu klasifikācijai un ievākusi augšņu paraugus 2014. un 2015. gada vasarās. LU Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultātes augšņu laboratorijā autore ir veikusi 270 augsnes paraugu (t.sk. 3 atkārtojumos) fizikālo (augšnes granulometriskais sastāvs) un ķīmisko (kopējā slāpekļa un organiskā oglekļa saturs (%), fosfors (mg/kg), apmaiņas bāzu (K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Na^+) saturs (mg/kg), augsnes reakcijas pH_{BaCl_2} vērtība) īpašību noteikšanu. No iegūtajiem datiem ir izveidota augšņu īpašību datu bāze.

Autore ir sagatavojusi etalonteritorijas kartogrāfisko materiālu, izmantojot Latvijas Universitātes Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultātes servera (kartes.geo.lu.lv) kartogrāfiskos resursus un *GIS Latvija 10.2*.

Bakalaura darba apjoms ir 55 lpp ar 2 pielikumiem 8 lpp apjomā, darbu ilustrē 22 attēli.

1. ILGGADĪGIE ZĀLĀJI UN LAUKSAIMNIECĪBAS ZEMJU INTENSIFIKĀCIJA LATVIJĀ

Zālāji, kuru vecums pārsniedz 5 gadus un kuros izveidojusies zālāju ekosistēmai raksturīga flora un fauna tiek uzskatīti par ilggadīgajiem zālājiem. Ilggadīgie zālāji ir gan dabiski, gan kultivēti zālāji. Tāpat par ilggadīgiem zālājiem ir uzskatāmi degradēti zālāji vai kultivēti zālāji, kas ir sākuši dabiskoties (Rūsiņa, bez dat.). Pēc Latvijas lauku attīstības programmas no 2014. gada daudzgadīgi un pastāvīgi zālāji ir sinonīms ilggadīgiem zālājiem, kas ir oficiālā definīcija šāda veida zālājiem (Rūsiņa u.c., 2016).

Dabiskie zālāji no kultivētajiem ir atšķirami pēc sugu sastāva, biodaudzveidības, zelmeņa struktūras un apsaimniekošanas tradīcijām. Kultivētā zālājā sastopamo sugu skaits ir 1 – 20, bet dabiskā zālājā sugu skaits pārsniedz 30 sugu. Tāpat pretēji kultivētam zālājam, dabiskajā zālājā nav veikti ielabošanas pasākumi, un tā vecums, kopš iepriekšējā zemes lietojuma veida, pārsniedz 20 gadus, bet kultivēto zālāju vecums nereti ir zem 10 gadiem (Rūsiņa, 2008). Kaut arī ilggadīgie sētie jeb jultivētie zālāji ir dažāda vecuma un daļā no tiem ir vērojamas arī dabisko zālāju pazīmes, to platība nepalielinās, jo nav notikusi pilnīgi pārveidošanās par dabiskajiem zālājiem (Rūsiņa u.c., 2016). Kultivēto zālāju raksturo parastās kamolzāles (*Dactylis glomerata*), pļavas timotiņa (*Phleum pratense*), pļavas skarenes (*Poa pratensis*), purva skarenes (*Poa palustris*), pļavas lapsastes (*Alopecurus pratensis*) dominance, bet dabīgajā zālājā indikatorsugas ir daudz vairāk, piemēram, ārstniecības ancītis (*Agrimonia eupatoria*), parastais vizulis (*Briza media*), dzirkstelīte (*Dianthus deltoides*), pļavas ķērsa (*Cardamine pratensis*) un sāres grīslis (*Carex panicea*) (Rūsiņa 2008). Atšķirīga ir arī šo zālāju ražība. Kultivēto zālāju ražība ir 6-8 t/ha, bet dabisko zālāju ražība ir salīdzinoši neliela. Atkarībā no aizsargājamā zālāju biotopa, dabisko zālāju ražība svārstās robežās no 0,5- 5 t/ha (Adamovich and Kreismane, 2000).

Līdz pat pagājušā gadsimta vidum Latvijā bija izteikti liels dabisko zālāju apjoms, no kuriem visbiežāk tika iegūts vien 0,5 – 1 t/ha mazvērtīga siena (Tērauds, 1972). Šādu vides attīstību pārtrauca intensifikācijas process, kad zālājus arvien biežāk pameta vai uzsāka to ielabošanu. Tādēļ jau pēc 1980. gada no Latvijas kopējās sauszemes platības dabiskie zālāji aizņēma vien 1%. Augšņu ielabošanas procesa aktualizācija noteica iekultivēto zemju apjoma strauju pieaugumu (Skromanis u.c., 1994). 20 gadu periodā līdz 1980. gadam minerālmēsļu patēriņš vidēji bija palielinājies 4 reizes (Strods, 1992). Tā rezultātā 1990. gadā 60 % no lauksaimniecības zemēm fosfora rādītāji dabiskajiem zālājiem bija ļoti augsti, sasniedzot pat 7 – 40 mg/100 g (Skromanis u.c., 1994), kas liecināja par intensīvu mēslošanu, jo dabiskajos

zālajos kustīgā fosfora (P_2O_5) apjoms augsnē nedrīkstētu pārsniegt 5 mg /100 g (Kiehl and Jeschke, 2005). Tātad lielai daļai daudzgadīgo zālāju jeb šo kultivēto zālāju daļai galvenais ierobežojošais faktors, kas ietekmē biotopā esošo biodaudzveidību, ir pārlietu liels barības vielu saturs augsnē, it īpaši tāda ķīmiskā elementa kā fosfora apjoms (Rūsiņa u.c., 2016)

Zviedru zinātnieku pētījumi liecina, ka mēreni mitros zālajos sugu daudzveidība samazinās, ja tiek pārsniegts 20 – 30 kg/ha slāpekļa apjoms augsnē, bet sausos zālajos šādas izmaiņas vērojamas, pārsniedzot 10 – 20 ha (Bobbink et al., 2003).

Mūsdienās lielākā daļa no dabiskajiem zālājiem veidojušies vecu kultivētu zālāju un tīrumu platībās, kas mainījušas savu funkcionalitāti un tiek izmantotas vien pļaušanai un ganīšanai bez intensīvas iekultivēšanas šajā laikā (Rūsiņa u.c., 2016).

Laikā pēc iestāšanās Eiropas Savienībā galvenie faktori, kas veicinājuši zālāju apsaimniekošanas izmaiņas Latvijas mērogā ir sociālie un ekonomiskie, tajā skaitā, Eiropas Savienības agrārā politika un valsts nostādnes. Eiropas Savienības atbalsta maksājumi pēc 2004. gada pozitīvi ietekmējuši zālāju apsaimniekošanu un to dabiskuma saglabāšanos, tomēr tie nav veicinājuši mozaīkveida ainavu veidošanos vietās, kur dominē meža zemes un tādējādi arī nav veicinājušas kopējo zālāju platību palielināšanos (Penēze, 2009).

Pašreiz dabisko zālāju platības Latvijā aizņem 0,7 % no valsts kopplatības (Rūsiņa u.c., 2016). 90% no visiem ilggadīgajiem zālājiem aizņem ilggadīgie kultivētie zālāji, bet atlikušos 10 % sastāda dabiskie zālāji 68 000 ha lielās platībās (Kabucis et al., 2003).

2. CILVĒKU SAIMNIECISKĀS DARBĪBAS IETEKME UZ ILGGADĪGAJIEM ZĀLĀJIEM UN TO APSAIMNIEKOŠANA

Pagājušā gadsimta otrajā pusē vieni no nozīmīgākajiem pētniekiem, kas analizēja cilvēka saimnieciskās darbības ietekmi uz ainavu Latvijā, bija K. Ramans un A. Melluma. Šajos pētījumos tika aktualizēta dabas un antropogēno faktoru mijiedarbība Latvijas ainavu veidošanās procesā (Melluma un Leinarte, 1992; Ramans 1994). Jau kopš saimnieciskās darbības aizsākumiem, lielas auglīgo zemju platības tika zaudētas, cilvēkiem neracionāli izmantojot zemi – tika pielietotas konkrētai vietai nepiemērotas agrotehniskās apstrādes iekārtas un metodes (Nikodemus u.c., 2008). Auglīgo zemju platības un pati augsnes auglība tiešā veidā ir saistīta ar zemes iespējamo produktivitāti. Tas ir resurss, kura saglabāšanu un auglību galvenokārt nosaka zemes apsaimniekotājs (Adamovičs u.c., 1994).

Ņemot vērā to, ka ilggadīgie zālāji pēc savas būtības ietver divus atšķirīgu zālāju veidus - kultivētos un dabiskos, ir nepieciešams izziņāt to potenciālos apsaimniekošanas mērķus un cēloņsakarības, kādas pastāv starp augsnes un veģetācijas ietekmējošajiem faktoriem un cilvēka saimniecisko darbību. Tomēr abu veidu zālājiem (kultivētajiem un dabiskajiem) pamata apsaimniekošanas veidi ir to pļaušana un ganīšana (Rūsiņa, 2008).

Pļaušanu bieži vien izmanto kā vienu no metodēm, lai sekmētu bioloģisko daudzveidību zālajos, ar nosacījumu, ja nenotiek lauku mēslošana. Tomēr pļaušanas ietekmē augsnē samazinās pieejamā oglekļa apjomi, un tā rezultāta iespējama atsevišķu sugu, kas piemērotas augsnēm ar augstāku auglību un ķīmisko elementu saturu, izzušana no attiecīgā biotopa (Ilmarinen and Mikola, 2009).

Ganīšana ir labs apsaimniekošanas veids dažādu mitruma apstākļu augtenēs (Bakker, 2005). Augsnes virskārta visvairāk tiek pakļauta erozijas riskam (Jones et al., 2003) un lielākie zaudējumi no noplicinājuma ganībās ir tieši mitros zālajos pavasarī, kad sāk attīstīties veģetācija (Edmond, 1963). No ganāmpulku izraisītās augsnes virskārtas nomīdīšanas rodas augsnes sablīvēšanās un veidojas zelmeņa traucējumi un pārtraukumi (Ludvíková et al., 2014). Pēc lielo zālējumu radītās augsnes sablīvēšanās nereti samazinās sēklu dīgspēja, kā arī vietām rodas intensīva ūdens notece pa reljefa nogāzēm, veicinot augsnes eroziju (Ausden, 2007). Lai viena zālāja ietvaros dzīvnieki atšķirīgas veģetācijas dēļ neradītu nevienmērīgu noganījumu (veidojas pārganījumi un nenoganītas vietas), pētnieki iesaka ņemt vērā faktisko ganīšanas intensitāti un ik pēc gada pārganītus kultivētos zālājus atstāt nenoganītus (Gusewell et al., 2007).

Lai no ilggadīgiem kultivētajiem zālājiem saražotu pēc iespējas lielāku lopbarības produkciju, apsaimniekotāji kultivētos zālājus visbiežāk **mēslo un meliorē** (Conant, 2001), taču šāda veida saimniecisko darbību dabisko zālāju apsaimniekošana nepieļauj (Rūsiņa, 2008). Ar šo metodi tiek palielināta augsnes auglība un uzlabota barības vielu pieejamība augiem. Tomēr mēslošanas un meliorēšanas rezultātā no augošo sugu klāsta sāk izzust mitrummīlošās sugas. Tādējādi biotopā samazinās sugu daudzveidība un ir mazāka iespējamība, ka šeit vvarētu veidoties dabiskie zālāji. (Rūsiņa u.c., 2016).

Lai palielinātu augsnes produktivitāti un samazināt skābuma līmeni kultivētajos zālājos, nereti tiek izmantota Ca^{2+} un Mg^{2+} **iekultivēšanas metode, jeb kaļķošana**. Šādā veidā augsnē palielinās aerācija un augiem tiek pievadīti vajadzīgie elementi (Edmeades and Ridley, 2003), kā arī tiek samazināts CO_2 izdalīšanās potenciāls no augsnes. Kā liecina pētījuma dati, Lielbritānijā šādā veidā potenciāli iespējams rast risinājumu globālās sasilšanas problemātikai, attiecīgi samazinot CO_2 emisijas un pat radīt šo elementu piesaisti augsnē (Fornara, 2011).

Tā kā lielākie oglekļa apjomi uzkrājas augu biomasā un tikai augu daļiņu sadalīšanās rezultātā akumulējas augsnē, tad, ņemot vērā, ka biomasā, ko iegūst no dabiskajiem zālājiem, ir neliela un dabisko zālāju augi ir pieraduši mazam barības vielu daudzumam, tad liels piesaistāmā CO_2 apjoms nebūtu iespējams. Tomēr pozitīvais aspekts no mazauglīgām un viegla granulometriskā sastāva augsnēm ir lielā biodaudzveidība, kas attīstās uz šāda veida augsnēm. Lai arī biotopu mēslošana veicina biomasas pieaugumu, tajā pat laikā samazinās floras daudzveidība, jo daudzas sugas, kas aug mazauglīgās augsnēs, augsnes auglībai pieaugot, izkonkurētu barības vielām prasīgākas sugas, kā, piemēram, parastā kamolzāle un pļavas timotiņš (Adamovich and Kreismane, 2000).

Daudzviet pasaulē galvenais veids, kā īsā laikā būtu iespējams attīstīt tieši dabisko zālāju ekosistēmas, ir, izmantojot **augšņu virskārtas noņemšanas metodi**. Tomēr, apsaimniekojot šādu teritoriju, jāņem vērā, ka šī metode būtiski ietekmē augsnes auglību un zelmeņa ražību. Tādā veidā augsnē būtiski samazinās kopējais oglekļa apjoms, mikroorganismi un augsnes dzīvnieki, pH, katjonu apmaiņas kapacitāte, kā arī blīvums (Geissen et al., 2013).

3. AUGSNE, AUGŠŅU ĪPAŠĪBAS UN TO IETEKMĒJOŠIE DABAS FAKTORI

3.1. Augsnes auglība, to ietekmējošās fizikālās īpašības

Augsne ir neviendabīga, jo to veido gan minerālās, gan organiskās vielas, kā arī neatņemama sastāvdaļa ir augsnes ūdens un gaiss, kas, mijiedarbojoties savā starpā, veido augsni kā sistēmu (Bradl, 2004). Augsne ir būtisks komponents daudzos fizikālos un ekoloģiskos procesos. Informācija par augsni ir nepieciešama ne tikai ekoloģiskos un ar dabu saistītos pētījumos, bet arī hidroloģijas un klimatoloģijas jomās (Gray, 2009).

Augsni ietekmē tādi faktori kā klimats, cilmiezis, reljefs (Gray, 2009), dzīvie organismi, augsnes veidošanās laiks un antropogēnā ietekme (McBratney et al., 2003). Pēc šiem faktoriem ir ērti iespējams raksturot augsni.

Svarīgākā augsni raksturojošā īpašība ir **auglība** (Adamovičs u.c., 1994). Augsnes pamatzdevums ir uzturvielu nodošana augiem, tomēr tas ir arī svarīgs elements degradācijas un biomasas ražošanas procesā (Bradl, 2004). Pastāv trīs dažādas augsnes auglības - dabiskā, efektīvā un potenciālā augsnes auglība. Dabisko auglību nosaka augsnei piemītošās pastāvīgās un dabīgās īpašības. Efektīvā auglība piemīt augsnei noteiktā veģetācijas periodā, kuru nereti ietekmē agrotehniskie un melioratīvie pasākumi. Bet potenciālo auglību var sasniegt, optimizējot tādas limitējošos faktorus, kā, piemēram, neatbilstošu vides reakciju, ūdens režīmu un sablīvējumu (Kārklīšs, 2008)

Augsnes kvalitāti un tās spēju pretoties degradācijas procesu attīstībai būtiski ietekmē **augsnes fizikālās īpašības**. Augsnes fizikālās īpašības raksturo augsnes cietās fāzes un poru savstarpējās sakarības augsnes masā, kā, piemēram, augsnes tilpummasa, struktūra un sakārtas blīvums, ūdens infiltrācija un porainība (Līpenīte un Kārklīšs, 2011). Augsnē parasti atrodas strukturālās plaisas un bioporas, kā arī lielās poras, kas veidojas no augsnes dzīvniekiem un pērnajām atmirušajām saknēm (Stirzaker, 1996). Tādēļ, lai raksturotu augsni, ieteicams noteikt augsnes tilpummasu, kas kalpo par augsnes porainības un sablīvētības rādītāju. Jo mazāk ir poru un organisko vielu augsnē, jo mazāka ir augsnes tilpummasa (Adamovičs u.c., 1994)

Augsnes īpašības, sēklu dīgšanu, augu sakņu izplatību, augu barošanu un apgādi ar ūdeni visvairāk ietekmē augsnes virsējo horizontu granulometriskais sastāvs (Skujāns un Mežals, 1964). Tāpat granulometriskais sastāvs ietekmē arī apaugumu un veģetācijas izplatību (Ruskule, 2013). Augsnes struktūra un augsnes kvalitātes indikators – infiltrācija ir ļoti cieši

saistīti. Infiltrācija raksturo augsnes spēju nodrošināt ūdens iesūkšanos un kustību cauri profilam, tādā veidā veicinot ūdens pieejamību augiem un labvēlīgu vidi augsnes organismiem. Tāpat šī indikatora vērtība ir būtiski atkarīga no augsnes porainības un jau pieminētās tilpummasas, kas labas struktūras augsnē nodrošina gan lejupejošu plūsmu, gan arī ūdens noturēšanu augsnes kapilārajās porās. Tādējādi smaga granulometriskā sastāva augsnēs ar vāji izteiktu struktūru infiltrācija ir apgrūtināta. Ja tiek pārsniegta infiltrācijas kapacitāte, kas parasti notiek rudens plūdu un pavasara palu laikā, ūdens vai nu uzkrājas augsnes virspusē, kā rezultātā tiek traucēta augsnes aerācija, sakņu darbība un barības vielu pieejamība augiem, vai arī pārvietojas uz reljefa pazeminājumiem, šķīdinot un aiznesot organiskā daļiņas no augsnes virskārtas (Līpenīte un Kārklīšs, 2011).

Augsnes virskārtā sablīvēšanos un poru tilpuma samazināšanos rada smagas tehnikas pārvietošanās īpaši palielināta mitruma apstākļos. Tāpat to veicina arī augsnes ilgstoša apstrāde vienā dziļumā, ierobežota augu maiņa bez sakņu izvietojuma dziļuma variācijām, augu atlieku aizvākšana vai sadedzināšana, kā arī nepārdomāta ganību sistēma. Sablīvētā augsnē vāji attīstās sakņu sistēma, un augu nodrošinājums ar mitrumu un gaisu ir limitēts, līdz ar to samazinās audzēto kultūraugu ražība (Līpenīte un Kārklīšs, 2011)

Lai novērstu degradācijas risku un dažādu augsnes elementu, piemēram, oglekļa, slāpekļa un fosfora zudumus no augsnes un augsnes porainības samazināšanos, būtu jāuzlabo augsnes agregātu stabilitāte (Kasper et al., 2009). Stabilitāti iespējams palielināt, paaugstinot organisko vielu saturu, māla minerālu un katjonu apmaiņas kapacitātes vērtību augsnē, ko iespējams panākt ar mēslošanu (Bronick un Lal, 2005).

3.2. Klimatiskie apstākļi

Par vienu no augsnes veidojošajiem faktoriem var nosaukt arī klimatu. Ar klimatu saistītie procesi tiešā veidā ietekmē augsnes minerālo daļiņu pārvietošanos un dēdēšanu, kā arī nosaka augsnes ģenēzes procesus un augsnes īpašību maiņu (Nikodemus u.c., 2008). Tomēr arī paši klimatiskie faktori, kā, piemēram, nokrišņu intensitāte, temperatūra, solārā radiācija un arī augsnes relatīvais mitrums ir atkarīgs no novietojuma reljefā (Twongyirwe et al., 2012).

Tā kā Latvija atrodas mērenajā klimatā un nokrišņu daudzums pārsniedz iztvaikošanu, tad augsnē nereti notiek palielināta mitruma uzkrāšanās un infiltrācija. No Baltijas jūras uz Latvijas sauszemi plūst Atlantijas gaisa masas un teritoriju ietekmē arī siltā Golfā straume. Straumes efektu palielina arī valdošie rietumu vēji, nesot okeāna mitrumu un siltumu uz Latviju. Vidējais gada nokrišņu daudzums svārstās no 550 līdz 600 mm līdzenumos un no 700 līdz 800 mm

augstienēs. Latvijas klimats veicina izskalošanās procesa attīstību automorfajās augsnēs un ūdens uzkrāšanos virs ūdens mazcaurlaidīgiem slāņiem, tā rezultātā veidojas glejotās augsnes, kā arī var pastiprināties purva veidošanās attīstības gaita (Adamovich, 2005).

Klimats augsni var ietekmēt tieši un netieši. Tiešā ietekme saistās ar nokrišņu daudzumu un siltuma sadalījumu, piemēram, sasilšana, atdzišana, sasalšana, atkušana, ūdens pārvietošanās augsnē, vēja darbība un citi faktori. Netiešā darbība saistās ar dzīvo organismu darbību augsnē un to izplatības pielāgojumiem klimatam (Adamovičs u.c., 1994). Paugurainā reljefā solārās radiācijas daudzums un intensitāte nav vienmērīga. Vissiltākās ir dienvidu un rietumu nogāzes, bet vēsākās - austrumu un ziemeļu nogāzes. Šāda veida nevienmērīgs sadalījums tieši ietekmē temperatūras režīmu teritorijā (Kārklīšs u.c., 2009) un tālāk ietekmē augsnes veidošanās procesus un īpašības, kā arī veģetācijas izplatību (Nikodemus u.c., 2008).

Pētījumi pierāda, ka bez dominējošās veģetācijas, augsnes dziļuma, vecuma un apsaimniekošanas lielu nozīmi augsnes oglekļa apjomu piesaistē vai izdalīšanās procesā dod arī mikroklimatiskie apstākļi (Conant, 2001). Lielāka saules radiācijas ietekme nosaka ātrāku organisko atlieku mineralizāciju un līdz ar to augstāku bāzisko katjonu saturu. Attiecīgi arī augstākas vidējās un diennakts temperatūru svārstības var paātrināt minerālu un iezu sadēdēšanas ātrumu. Pētījumi liecina, ka augsnes mitrumu un ķīmisko sastāvu būtiski ietekmē klimats, kas veido teritorijai raksturīgos apstākļus dabisko procesu attīstībai (Yang et al., 2012). Klimats ietekmē gan augsnes mitrumu, gan temperatūru, kas savukārt ietekmē skābekļa apmaiņu augsnē (Shi et al., 2011).

3.3. Teritorijas ģeoloģiskie veidošanās apstākļi un augsnes cilmieža ģenētiskais tips

Reģionālie klimatiskie apstākļi savā attīstības laikā ir ietekmējuši ģeoloģisko nogulumu veidošanos apstākļus, tādēļ ir izveidojušies relatīvi daudzveidīgi ģeoloģiskie nogulumi jeb augsnes cilmieža ģenētiskie tipi. Viens no galvenajiem faktoriem, kas ietekmē augšņu tipu, apakštipu, kā arī augsnes fizikālās un ķīmiskās īpašības, ir ģeoloģisko nogulumu izcelsme un to sastāvs. Bet augsnes mineraloģiskais sastāvs nosaka augsnes turpmāko attīstību un veidošanos (Sumner, 2000).

Viena no būtiskākajām fizikālajām īpašībām, ko ietekmē ģeoloģisko nogulumu izplatība, ir granulometriskais sastāvs, kurš ir ļoti saistīts ar augsnes cilmieža ķīmisko sastāvu (Kasparinskis, 2012). Smilts un putekļu daļiņām, salīdzinot ar māla daļiņām, piemīt mazāka barības elementu adsorbēšana, kā arī organominerālu kompleksu veidošanas spēja (Vanmechelen et al., 1997). Kvarcs un no tā sastāvošās smilts daļiņas pret dēdēšanu ir izturīgas un grūti

šķīstošas. Tas ir iemesls, kādēļ augsnes veidošanās procesā šis minerāls saglabājas augsnes virsējos horizontos (Nikodemus u.c., 2008).

Aptuveni puse no Latvijas teritorijas augsnēm aizņem morēnas jeb glaciģēnie nogulumus. Latvijā glaciģēnie nogulumus relatīvi bieži satur kalcija karbonātus (CaCO_3) un dolomītus ($\text{CaMg}[\text{CO}_3]_2$), kas nogulumos nonākuši, ledājam virzoties pāri Zemes virspusē esošiem dolomītiem un kaļķakmens nogulumiem (Kārklīšs u.c., 2009). Augsnes granulometriskais sastāvs un brīvo karbonātu pieejamība nosaka augsnes auglību raksturojošo katjonu apmaiņas kapacitāti un piesātinājuma pakāpi ar bāzēm. Mālainās augsnēs iepriekš pieminētie rādītāji ir daudz augstāki nekā smilts augsnēs (Kasparinskis, 2012).

Ūdens un augsnes šķīduma iedarbībā uz pieminētajiem morēnas sastāvā esošajiem karbonātskājiem minerāliem un iežiem notiek to šķīšana un pakāpeniska dēdēšana, kā rezultātā atbrīvojas Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} un citi elementi, kas galvenokārt ietekmē augsnes pH reakciju, elementu kustīgumu un padara tos uzņemamus augiem (Nikodemus u.c., 2008).

3.4. Reljefa ietekme uz augsnes īpašībām

Reljefs ir viens no faktoriem, kas izteikti atspoguļo ģeoloģisko nogulumu telpisko izplatību un formu, kā arī augšņu tipu un mehāniskā sastāva teritoriālās atšķirības un izplatību. Tā, piemēram, morēnas pauguru virsotnēs izplatīti ir smilts nogulumus, savukārt ieplakās – mālsmilts nogulumus (Nikodemus u.c., 2008). Teritorijas reljefs ietekmē arī veģetācijas izplatību, kas lielā mērā ir atkarīga no augsnes mitruma, granulometriskā un ķīmiskā sastāva diferenciacijas (Benayas et al., 2004).

Augsnes īpašības un ainavas stāvoklis būtībā ir saistāms ar erozijas attīstību. Izteikta reljefa dēļ attīstās ūdens erozijas un koluviālie procesi, kas ietekmē augsnes fizikālo un ķīmisko īpašību izplatību (Houben, 2012; Świtoniak, 2014). Tomēr augsnes masas daļiņas pārvietojas vēja ietekmes rezultātā (Kārklīšs u.c., 2009), kas Latvijā īpaši novērojams augstieņu teritorijās, piemēram, Vidzemes, Latgales un Alūksnes augstienēs.

Šajās teritorijās īpaši bieži novērojama arī augsnes ūdens erozija, kā rezultātā notiek organisko vielu un putekļu daļiņu noskalošanās uz reljefa ieplakām (3.d.1. attēls). Ūdens erozijas skartajās teritorijās augsnes virskārtā samazinās barības vielu daudzums. Šāda erozija izteikta ir pauguru virsotnēs, kā arī nogāzēs, taču, aprakstot erozijas procesus, ir jāņem vērā augsnes un vietas raksturojošās īpašības, kā, piemēram, nogāzes slīpums, garums, augsnes granulometriskā sastāva grupa, akmeņainums, augsnes profila biezums, zemes virsas segums un zemes vienības

apstrādes virziens (Soms u.c., 2015), kā arī topogrāfija, ūdens infiltrācijas spēja un nokrišņu daudzums (Lal, 1998).



3.4.1. attēls. **Augsnes ūdens erozija aramzemēs** (Eurostat Statistics..., 2013)

Tiek uzskatīts, ka augsnes masas zudumiem, kas radušies erozijas rezultātā, vajadzētu būt līdzsvarā ar augsnes veidošanās procesos notiekošo iežu dēdēšanas apjomu. Tomēr atšķirībā no augsnes organisko vielu satura izmaiņām, erozija augsnes kvalitāti var izmainīt ļoti īsā laikā (Līpenīte un Kārklīņš, 2011). Tādēļ daudzi pētījumi atklāj, ka zālāji un viendabīgas veģetācijas attīstīšana tiek izmantota kā līdzeklis augsnes erozijas samazināšanai. Tādējādi intensīvi izmantotas un erodētas platības nereti atjauno, mainot zemes apsaimniekošanas veidu, piemēram, no aramzemes uz zālājiem (Guo, 2002).

Lai apstiprinātu šādas tendences efektivitāti, ir veikti vairāki pētījumi par augsnes erozijas ietekmi uz augsnes organiskā oglekļa krājumiem lauksaimniecības zemēs (Polyakov and Lal, 2004; Lal, 2005). To apliecina atsevišķi pētījumi (Polyakov and Lal, 2004), kuros ar modelēšanas palīdzību tika pierādīts, ka organiskā oglekļa zudumi no augsnes ir ievērojami, bet vājas erozijas gadījumā oglekļa daudzums augsnē ir iespējams atjaunot. Tādā veidā tika noskaidrots, ka vidējas un spēcīgas erozijas rezultātā, zaudētais augsnes organiskais ogleklis ir salīdzināms ar šī elementa zudumiem biomasas un ražas novākšana laikā no plantācijām (Polyakov and Lal, 2004).

Kā atklāj pētījumi ASV, organiskā oglekļa apjomi mālainās un vāji drenētās augsnēs ir lielāki. Tāpat erodētās augsnēs ir zemāka primārā produktivitāte salīdzinājumā ar neerodētām augsnēm, kuras ir mēslošanas un apūdeņotas. Erodētās augsnēs norit efektīvā sakņu dziļuma

samazināšanās, ko ietekmē ūdens un barības vielu nevienmērīga pieejamība, kā arī hidroloģisko un ķīmisko elementu ciklu traucējumi, kas kopumā izraisa augsnes kvalitātes un jau pieminētās primārās produktivitātes samazināšanos (Lal, 2005).

Augsnes attīstību un tās kvalitāti var ietekmēt arī gruntsūdens līmeņa dziļums. Pētījumi pierāda, ka organisko vielu daudzums palielinās, samazinoties nogāzes slīpumam (Kravchenko, 2000). Šādus apgalvojumus apstiprina arī fakts, ka pa nogāzi uz leju parasti tiek transportēts augsnes organiskā horizonta materiāls, kas parasti sagulst reljefa ieplakās, veidojot ļoti auglīga materiāla kopumu jeb kolūviju (Aweto and Enaruvbe, 2010). Turklāt reljefa pazeminājumos ir arī augstāks ūdens līmenis nekā nogāzē, kas nosaka to, ka šeit ir piemēroti augšanas apstākļi atsevišķām sugām, kas neattīstas reljefa nogāzes un virsotnēs (Lopez, 2003).

Zviedru zinātnieki savos pētījumos atklājuši vairākas likumsakarības, kas saistītas ar topogrāfijas ietekmi uz augsnes īpašībām. Piemēram, organiskā horizonta biezums samazinās, palielinoties mitruma līmenim augsnē. Izskalošanās (E) horizonta biezums samazinās virzienā no paugura virsotnes uz ieplaku. Savukārt augsnes pH palielinās pieaugot augsnes mitrumam, kamēr oglekļa un slāpekļa attiecība šādā gadījumā samazinās. Tāpat pētījums pierāda, ka reljefa ziemeļu nogāzēs pH vērtības ir zemākas nekā dienvidu nogāzēs. Tendence vērojama arī proporcijā starp divvērtīgo bāzes katjonu (Ca^{2+} un Mg^{2+}) rādītājiem un vienvērtīgo bāzes katjonu (K^{+} un Na^{+}) attiecību koncentrāciju virsējā horizontā, kas palielinās, pieaugot mitruma līmenim augsnē. Šīs sakarības fundamentāli reprezentē reljefs un augsnes īpašību mainību neviendabīgumu pie liela kvantitatīvo vienību skaita (Seibert et al., 2007).

3.5. Augsnes ķīmiskās īpašības

Augsnes ķīmisko sastāvu un īpašības nosaka ļoti daudzi jau iepriekš aprakstīti faktori, kā, piemēram, ģeoloģiskie nogulumi, granulometriskais sastāvs, reljefs, antropogēnā ietekme, tajā skaitā arī augsnes iekultivēšana u.c. pazīmes (Nikodemus u.c., 2008).

Viens no svarīgākajiem ķīmiskajiem rādītājiem ir **augšnes pH vērtība**. Augšnes reakcija ir būtiska īpašība, kas ietekmē augu augšanu un dažādu ķīmisko elementu uzņemšanu augos. Katram augam ir savs optimālais pH intervāls; lielai daļai kultūraugu tas ir pH_{KCl} 6,5-7,0 (Nikodemus u.c., 2008). Galvenās augsnes īpašības, kas ietekmē augsnes pH ir organiskā oglekļa apjomi, māla saturs un māla minerālu veids augsnē (Wanga, 2015). Pētījumi rāda, ka, palielinoties augu atliekām augsnē, arī pH reakcija palielinās. Augšnes pH palielināšanās lielā mērā ietekmē arī augsnes šķīduma koncentrācijas sārmainību, slāpekļa apjomus un augsnes buferespēju (Xu, 2006).

Galvenie skābuma radītāji augsnē ir augsnes šķīdumā esošie brīvie ūdeņraža (H^+), alumīnija (Al^{3+}) un dzelzs (Fe^{3+}) joni, bet galvenie tā regulatori augsnē ir kalcijs (Ca^+) un magnijs (Mg^+) (Nikodemus u.c., 2008).

Augsnes ķīmiskās īpašības ietekmē arī svarīgs augsnes auglību raksturojošs rādītājs-katjonu apmaiņas kapacitāte (KAK) un bāzu apmaiņas summa (Līpenīte un Kārklīņš, 2011). Katjonu apmaiņas kapacitāte nosaka maksimālo augsnē esošo katjonu daudzumu, ko noteiktos apstākļos augsnes cietā fāzē var apmainīt pret šķīdumā esošiem katjoniem. Šī rādītāja lielums ir atkarīgs no lādiņu kopsummas, kas piemīt augsnes koloīdiem noteiktos apstākļos un no to aktivitātes, piesaistot augsnes šķīduma pozitīvi lādētos katjonus, kā Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Al^{3+} , Na^+ , NH_4^+ un H^+ (Kasparinskis, 2012).

Savukārt **apmaiņas bāzu summa** raksturo tieši augsnes apmaiņas bāzisko katjonu summu (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) (Nikodemus u.c., 2008). Šī summa nosaka laika intervālu, kurā augsnē esošais skābums tiek neizneutralizēts. Tādēļ apmaiņas bāzu summai, līdzīgi kā katjonu apmaiņas kapacitātei (KAK), svarīgi ir tās apjomi, lai laikā, kad augsē nonāk liels skābuma apjoms no ķīmiskajiem elementiem un skābajiem lietiem, augsnes katjoni spētu pretoties skābēm un būtiski nemainītu augsnes auglību un pH. Augsnēs, kurās apmaiņas bāzu summa ir zema, zema pH reakcija spēj samazināt augsnes auglību uz ilgāku laiku un tā īsā laika posmā nespēj atgriezt auglību sākotnējā līmenī (Turner and Clark, 1996). Viena ģeoloģiskā noguluma tipa robežās apmaiņas bāzu summa un katjonu apmaiņas kapacitāte savstarpēji maz atšķiras. Glacigēnajos nogulumos novērojams, ka KAK virsējā minerālajā slāni ir relatīvi zemāks nekā apakšējā, bet glaciofluviālajos, glaciolimniskajos u.c. nogulumos vērojams pretējs process - KAK vērtība ir augstāka virsējos horizontos (Kasparinskis, 2012) Auglīgās augsnēs 50- 80% no kopējās katjonu apmaiņas kapacitātes veido kalcijs, bet atlikušos 20-50% - pārējie katjoni. Skābās augsnēs, kurās $pH < 5$, šķīdumā galvenokārt atrodas ūdeņraža un alumīnija joni, kas negatīvi ietekmē augsnes struktūru un augu barības elementu dinamiku (Nollendorfs, 2014). Tomēr augsnes auglībai vajadzīgi vairāki ķīmiskie elementi, kas spēj nodrošināt pilnvērtīgu elementu apriti un augsnes reakciju.

Kalcijs (Ca^{2+}) ir bieži sastopams sārmezemju metāls, kas veido 3,6% no Zemes garozas (Kelling and Schulte, 2004). Kalcijs ietekmē augu šūnu sienīņu attīstību, šūnu dalīšanos, nitrātu uzņemšanu un vielmaiņu, fermentu aktivitāti un cietes metabolismu. Kalcijs nav ļoti mobils augsnē vai augu audos, tādēļ ir svarīgākie pietiekamie apjomi un pieejamība (Spectrum Analytic, s.a.). Tas sastopams daudzu minerālu un iežu sastāvā, piemēram, vizlās, laukšpatos, dolomītos, ģipšos u.c., kuru dēdēšanas un izskalošanās procesos kalcijs var tikt iznests no augsnes (Kelling and Schulte, 2004).

Visvairāk elements tiek izskalots pārmitrās un nemeliorētās augsnēs. Izskalošanos nosaka arī zemes lietojuma veids, piemēram, ilggadīgajos zālajos kalcijs izskalojas mazāk nekā aramzemēs. Uzņemtais kalcijs daudzums ir atkarīgs no transpirācijas ātruma, piemēram, vēsos un lietainos laikapstākļos, samazinoties iztvaikošanai caur lapām, samazinās arī augiem uzņemtais kalcijs daudzums (Nikodemus u.c., 2008).

Mangāns (Mn^{+}) augsnē tiek uzskatīts par būtisku mikroelementu, kas atbild par fotosintēzi, hlorofila sintēzi, nitrātu asimilāciju, fermentu aktivizēšanu un citiem procesiem (Spectrum Analytic, s.a.). Tomēr gan elementa deficīts, gan pārpalikums var mainīt un būtiski ietekmēt šos procesus. Mangāna deficīts ir bīstams augu hloroplastiem, tas ietekmē ūdens sadalīšanās sistēmas. Augiem mangāns kļūst toksisks, kad tas nonāk augsnē lielos daudzumos ar skābajiem nokrišņiem. Mangāna fitotoksiskums izpaužas kā biomasas un fotosintēzes samazināšanās, kā arī bioķīmiskie traucējumi, piemēram, oksidatīvais stress. Pārmērīga mangāna koncentrācija augsnē var mainīt augu audos notiekošos procesus, piemēram, fermentu aktivitāti, absorbciju, pārvietošanās un citu minerālu elementu (Ca, Mg, Fe un P) izmantošanu, kas izraisa jau pieminēto oksidatīvo stresu. pH samazināšanās ietekmē augsnes šķīdumā pieaug apmaiņas mangāna Mn^{2+} daudzums, tādā veidā tas kļūst pieejams augiem (Millaleo et al., 2010).

Alumīnijs (Al^{3+}) sastopams apmēram 7% no Zemes garozas un ir pats izplatītākais metāls tajā. Alumīnija formas ir atkarīgas no augsnes pH. Al^{3+} dominē skābās augsnēs zem pH 5, bet neitrālā un vāji bāziskā vidē (pH 6-9) alumīnija jonu migrācija tikpat kā nav iespējama, jo tie pāriet koloidālu nogulšņu veidā (Nikodemus u.c., 2008) Augsnēs ar augstu Al^{3+} jonu daudzumu ir apgrūtināta augu sakņu attīstība, kas samazina augu spēju absorbēt ūdeni un uzņemt jonus (Krstic et al., 2012).

Dzelzs (Fe^{3+}) ir ceturtais biežāk sastopamais ķīmiskais elements uz Zemeslodes. Šis ķīmiskais elements ir ļoti nozīmīgs hlorofila attīstībā, enerģijas pārnēsē, augu elpošanā, metabolismā, slāpekļa fiksācijā, kā arī tas ir augu fermentu un olbaltumvielu sastāvā (Spectrum Analytic, s.a.). Augsnē lielākā daļa dzelzs atrodams silikātu minerālu, dzelzs oksīdu vai hidroksīdu veidā- formās, kurās augiem tie ir grūti pieejami. Augsnē eksistē dzelzs Fe^{2+} un Fe^{3+} formās, un to izplatību iespējams noteikt pēc pH. Dzelzs savienojumiem ir vāja šķīdība augsnes šķīdumā, un apstākļi, kurā notiek elementa veidošanās, samazina dzelzs pieejamību augiem. Dzelzs pieejamību var ietekmēt augsnes pH, augsnes aerācija, reakcijas ar organiskām vielām un augu pielāgojumi (Schulte, 2004).

Magnijs (Mg^{2+}) veido 2,7 % no Zemes garozas un ir sastāvā vairākiem minerāliem–biotītam, amfibolam, dolomītam un olivīnam. Pateicoties tā hidratācijas apvalkam, Mg^{2+} vāji

absorbējas uz augsnes daļiņām un tas bieži mēdz izskaloties, tādēļ ir vērojams tā trūkums. Tomēr magnija joni pārsvarā ir sastopami uz māla un organiskajām daļiņām. Magnija apmaiņas joni ir pieejami augiem, bet tie nav viegli uzņemami (Schulte, 2004). Augiem magnijs ir svarīgs elements, jo tam ir liela nozīmē fotosintēzē, tas augu daļās pārvieto fosforu, sintezē cukuru, pārvieto cieti, veido augu eļļas un taukus, kā arī ir gan fermentu aktivizētājs, gan daudzu enzīmu sastāvdaļa. Tāpat mangāns tauriņziežu dzimtas augiem nodrošina slāpekļa fiksāciju gumos (Spectrum Analytic, s.a.).

Kālijs (K^+) augsnē ir sastopamas četrās formās: nepieejamais, fiksētais, apmaiņas un augsnes šķīduma kālijs. Augiem pieejamā forma ir apmaiņas kālijs (K^+), un augi to ērti spēj absorbēt. Šī kālija forma atrodama uz māla daļiņu un organiskā materiāla virsmas (Smart Fertilizer Management, s.a.). Tāpat arī visvairāk kālijs ir sastopams mālainās augsnēs, kur tas ir cilmieža pamatsastāvā (Dawson, 2014), bet smilšainās augsnēs zems kālija apjoms sekmē elementa izskalošanās aktivitātes šādos apstākļos (Pain, s.a.)

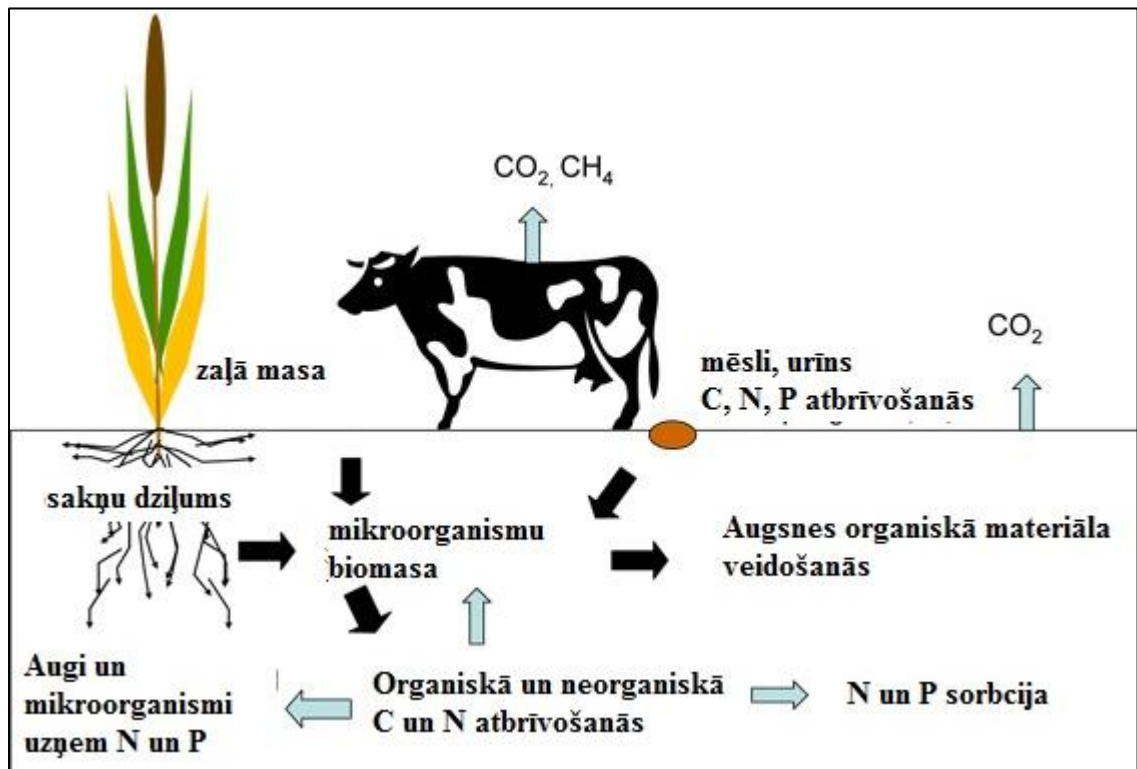
Kālijs ir būtisks augu barības elements un ir nepieciešams lielos daudzumos, lai tiktu nodrošināta sekmīga augu attīstība (Smart Fertilizer Management, s.a.) un ūdens pievadīšana tiem (Pain, s.a.). Kālijs tiek uzskatīts kā otrs svarīgākais elements pēc slāpekļa un tiek dēvēts par kvalitātes uzturvielu (Smart Fertilizer Management, s.a.). Tomēr pārlietu liels elementa daudzums augsnē var izraisīt magnija un vēlāk arī kalcija apjomu samazināšanos un to aprūtinātu uzņemšanu augiem (Ardjasa, 2002).

Ilggadēji lauka izmēģinājumi un pētījumi pierāda, ka zālajos izmantotajam kālija mēslojumam ir augstāka efektivitāte nekā slāpekļa un fosfora mēslojumam. Ja augsnē trūkst kālija, tad augstvērtīga zālaugu raža neveidojas, lai gan pārējo augiem nepieciešamo elementu ir pietiekami (Zālāju ierīkošana, 2011)

Slāpekļis (N) ir viens no svarīgākajiem pamatelementiem, kas vajadzīgs augiem, un tas ir augiem nepieciešams lielos apjomos. Slāpekļa trūkums var izraisīt vāju augu attīstību, augu lapu bojājumus un ievērojami samazināt ražu. Savukārt slāpekļa pārpalikums var radīt sakņu sistēmas attīstības traucējumus, nespēju uzņemt vajadzīgās vielas, un tā rezultātā - zemas kvalitātes produkciju (Smart Fertilizer Management, s.a.)

Atmosfērā slāpekļa ir daudz, bet lielākajai daļai augu nav iespējams tiešā veidā izmantot atmosfēras slāpekli. Augi slāpekli spēj uzņemt vairākos veidos, piem., nitrāta (NO_3) un amonija (NH_4) veidā, bet citādos savienojumos, slāpekļi jātransformē uz kādu no formām, kurus augi spēj izmantot (Spectrum Analytic, s.a.).

Pētījumi liecina, ka slāpekļa mēslojums augsnē palielina ne tikai kopējā slāpekļa, bet arī augsnes organiskā oglekļa saturu. Ietekme izpaužas ar slāpekli pārbagātu augu daļu sadalīšanās procesā (Alvarez, 2005).



3.5.1.attēls. C, N, P elementu apmaiņa ganībās (Rumpel et al, 2015)

Augsnē organiskais **ogleklis** (C) rodas augu un dzīvnieku atlieku sadalīšanās rezultātā (3.5.1.attēls), savukārt neorganiskā oglekļa saturu augsnē nosaka augsnes cilmiezis, tipiskākie ir karbonāti – kalcīts (CaCO_3) un dolomīts $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. Kopējais organiskais ogleklis sastāv no tā neorganiskajām un organiskajām formām (Brian and Schumacher, 2002). Augsnes organiskais ogleklis ir ļoti nozīmīga sastāvdaļa, kas ietekmē augu attīstību, un ir kā pamatne augu barības vielu pieejamībai mineralizācijas rezultātā. Tāpat šis elements ir galvenais enerģijas un uzturvielu avots. Augsnes organiskā viela – glomulīns, kas viedo 20% no augsnes oglekļa, stabilizē augsnes struktūru un padara to izturīgu pret augsnes eroziju. Tas ir pietiekami porains, lai ļautu gaisam, ūdenim un augu saknēm brīvi pārvietoties pa augsni. Palielinoties augsnes organiskajam materiālam, palielinās arī kopējais oglekļa apjoms, kas veicina lielāku bioloģisko daudzveidību augsnē, tādā veidā nodrošinot augstāku buferespēju pār augu slimībām un kaitēkļiem (Soil quality..., 2011).

Oglekļa krājumu izmaiņas augsnē būtiski ietekmē zemes izmantošanas un tās pārvaldības prakses. Efektīvs darbību kopums, lai palielinātu oglekļu apjomus augsnē, ir intenīvas zemes apsaimniekošanas veida nomaiņa, piemēram, no aramzemes uz zālējumiem vai mežu. Savukārt augkopība bijušo zālāju platībās samazina oglekļa apjomu augsnē (Guo, 2002). Galvenais veids, kā nemainot zemes lietojuma veidu, palielināt organiskā oglekļa apjomu augsnē, ir

kūtsmēslu vai komposta materiāla izmantošana. Bet organisko atlieku dedzināšana vai novākšana no laukiem, samazina augsnes organiskā oglekļa apjomus (Soil quality..., 2011).

Organiskais materiāls ir viens no svarīgākajām sastāvdaļām, kas ietekmē ne tikai ķīmiskās, bet arī fizikālās un bioloģiskās īpašības. Augsnes organiskais materiāls uzlabo spēju saglabāt ūdeni un barības vielas augsnē, kā rezultātā rodas labvēlīgāki apstākļi augu izplatībai (Ontl et al., 2012).

Fosfors (P) ir ļoti nozīmīgs makro elements daudzu augu funkciju un struktūru veidošanās nodrošināšanai (Smart Fertilizer Management, s.a.). Šī elementa pieejamība augsnē nodrošina augu fotosintēzi, elpošanu, sēklu un augļu veidošanos, enerģijas ražošanu, ka arī to šūnu dalīšanos un paplašināšanos. Augsnē optimāls šī elementa apjoms var veicināt sakņu attīstību, un sēklu ražošanas apjomu palielināšanos, ražas kvalitāti un nogatavošanās ātrumu (Spectrum Analytic, s.a.). Fosfors augsnē atrodas gan organiskajos savienojumos, gan arī neorganiskajos- minerālu formā (Bunemann et al., 2011). Tomēr organiskā fosfora daudzums pieejamā formā uz kopējā fosfora apjoma summas ir salīdzinoši mazs. Tādēļ nereti augsnei ir jāpievada fosfora mēslojumi, lai augiem nodrošinātu vajadzīgo elementu apjomu (Smart Fertilizer Management, s.a.).

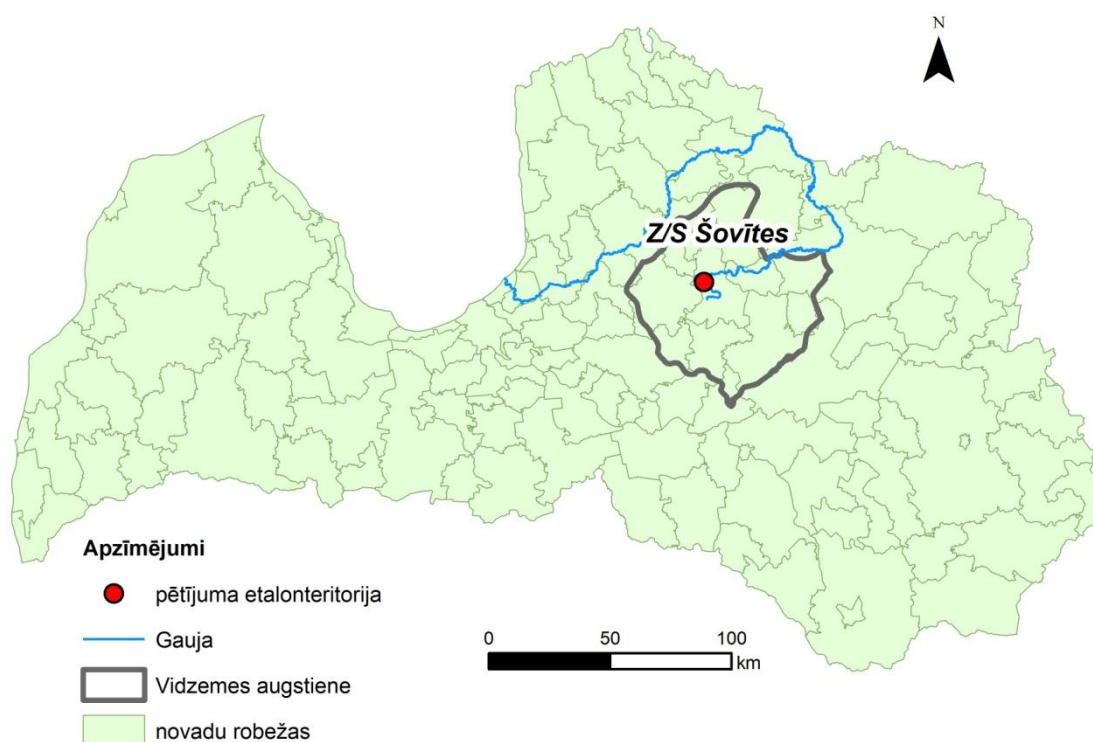
Augsnē minerālais un organiskais fosfors ir līdzsvarā un, kad augu saknes no augsnes šķīduma patērē fosforu, daļa no cietajā fāzē adsorbētā fosfora, sadaloties nonāk augsnes šķīdumā. Skābās augsnēs fosfors reaģē ar alumīniju, dzelzi un mangānu, bet sārmainā augsnē dominējošā fiksācija ir ar kalciju. Šie fosfora savienojumu veidi, kas pastāv augsnē nosaka augsnes pH. Ar maksimālo fosfora pieejamību optimālais pH ir diapazonā 6,0-7,0 (Smart Fertilizer Management, s.a.).

Fosfora trūkums, tāpat kā tā pārlietu liels apjoms augsnē, kavē augu attīstību. Ja augiem fosfora trūkst, tiek nomākta sakņu sistēmas attīstība, kā arī pilnvērtīgi nenotiek ziedēšanas process un auga vecākās lapas kļūst tumši violetas. Ja fosfors augsnē ir par daudz, tad augiem caur sakņu sistēmu mazāk tiek pievadīti citi elementi, piemēram, dzelzs, mangāns un cinks (Smart Fertilizer Management, s.a.).

4. PĒTĪJUMA MATERIĀLS UN METODES

4.1. Pētījuma etalonteritorijas raksturojums

Z/S Šovītes atrodas Vidzemes augstienes centrālajā daļā, Vecpiebalgas novada Dzērbenes pagastā. 2014. un 2015. gada vasarā Z/S „Šovītes” ilggadīgo zālāju teritorijās tika veikti lauka pētījumi, parauglaukumu novietojumos, kas raksturo ilggadīgo zālāju augšņu attīstības tendences Vidzemes augstienē.



4.1.1. attēls. Etalonteritorijas atrašanās vieta (izstrādājusi autore, izmantojot GIS Latvija 10.2.)

Vidzeme atrodas Latvijas centrālajā daļā (4.1.1. attēls), kur augsnes eroziju ziemas mēnešos veicina biežā sniega sega. Teritorijā vidējā gada temperatūra ir zemāka nekā vidēji Latvijā, līdz ar to augsne atkūst lēnāk un ūdens infiltrācija nenotiek tik ātri kā citos Latvijas reģionos (LVĢMC, bez dat.). Janvāra vidējā gaisa temperatūra ir no -6° līdz -7° °C, bet jūlijā $+16,5^{\circ}$ °C. Bez sala periods ir no 118 līdz 133 dienām, bet sniega sega saglabājas no 130 – 140 dienām (Āboltiņš, 1998). Nokrišņu daudzums, kas gada laikā vidēji izkrīt Latvijā ir 667 mm, bet Vidzemes augstienē tas ir robežās no 750 līdz 850 mm gadā (LVĢMC, bez dat.)

Vidzemes augstiene ir raksturīga ar daudzveidīgām pauguru un paugura grupu mijām ar starppauguru ieplakām. Izteikti viļņotā reljefā pie palielinātiem mitruma apstākļiem ir vērojama izteikta vertikālā zonalitāte, ko veicina augsnes erozija un augsnes auglīgās virskārtas nonešana uz zemākām reljefa vietām, tādā veidā pastiprinot augsnes mainību un dažādu augšņu apakštipu izveidošanos pat relatīvi mazās platībās (Āboltiņš, 1998).

Vidzemes pauguraino augstieņu augšņu rajonā augsnes cilmiežu granulometriskā sastāva grupas galvenokārt ir mālsmilts un smilšmāls. Reljefa paaugstinājumos dominē velēnu podzolaugšnes, kas uz lauksaimniecībā izmantojamām zemēm stāvajās nogāzēs ir stipri erodētas. Uz šādām mazauglīgām augsnēm nereti attīstās dabisko zālāju veģetācija (Nikodemus u.c., 2008).

Pētāmajā etalonteritorijā atrodami ilggadīgie zālāji 69 ha platībā ir veidojušies uz glaciģēnajiem nogulumiem jeb morēnas. Teritorija atrodas Andrēnu pimmasīvā un reljefs tajā ir izteikti saposmots - tas mainās augstumā no 232 līdz 268 m v. j. l. (Rozenberga u.c., 2016), kas būtiski ietekmē augšņu izplatības tendences.



4.1.2. attēls. Z/S „Šovītes” liellopu ganāmpulks pētāmās teritorijas ilggadīgos zālajos (foto: R. Kasparinskis)

Etalonteritorija, kas mūsdienās sadalīta 4 zālāju blokos ar meliorāciju sistēmām un vietējās nozīmes ceļu, vēl līdz PSRS lauksaimnieciskās politikas sabrukumam funkcionēja kā aramzeme. Zālāju teritorija padomju laikos ilgi tikusi izmantota kartupeļu, biešu un labības audzēšanai. Taču sovhozā „Dzērbene” saimniecības pēdējā gadā (1992.g.) visā teritorijā tikuši

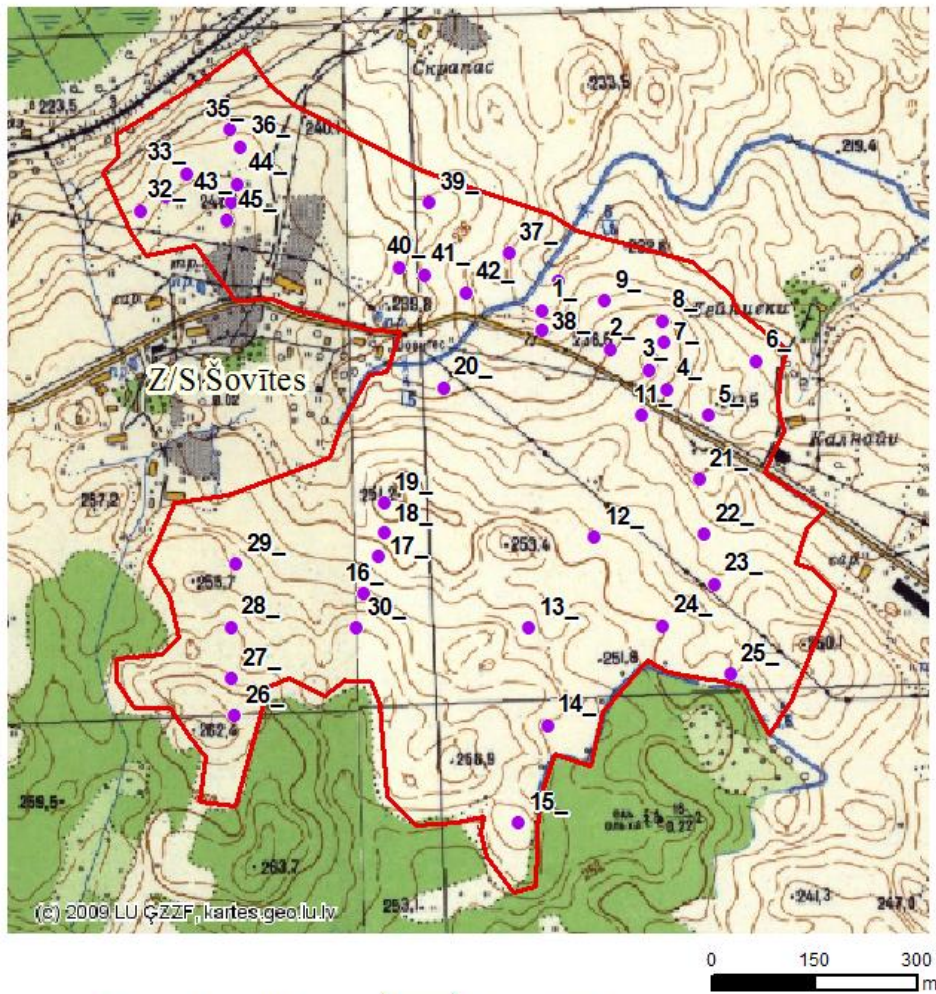
iesēti daudzgadīgie zālāji. Tomēr pašlaik, kā redzams 4.1.2. attēlā, teritorijā ir iekoptas ganības liellopiem (Dambekalns, 2016).

4.2.Izejas dati

Bakalaura darbā izmantota literatūra no starptautiskajiem zinātniskajiem žurnāliem, kas pieejami datubāzēs: EBSCO, Web Of Science, Scopus un Science Direct, kā arī izmantoti elektroniskie resursi, grāmatas un LR Valsts zemes dienesta augšņu kartēšanas 1984. gada dati mērogā 1:10 000.

Rezultātu apkopošanā izmantotas veidlapas, kas tika aizpildītas 2014. un 2015. gadā lauka kursa ietvaros LU ĢZZF studiju kursā „Augsnes zinātne”. Attiecīgi veicot:

- augsnes parauglaukumu izveidi – kopā 45 augsnes dziļrakumu profilu ierīkošanu, koordinātu noteikšanu un to fiksāciju;
- augsnes dziļrakumu profilu aprakstīšanu atbilstoši Latvijas augšņu klasifikācijai (Karkliņš u.c., 2009);
- augsnes ietekmējošo faktoru – ģeoloģisko nogulumu un novietojuma reljefā – noteikšanu;
- augsnes veidošanās procesu noteikšanu.



● augšņu dziļrakumi □ etalonteritorija

4.2.1.attēls. Augšņu dziļrakumu izvietojums etalonteritorijā (izstrādājusi autore, izmantojot TOPO 10K PSRS)

Kartē (4.2.1. attēlā) atspoguļota informācija par augšņu dziļrakumu izvietojumu pētāmajā teritorijā. Dziļrakumu grupas izvietotas katēnās, transektu veidā, kas visuzskatāmāk atspoguļo teritorijas telpiskās struktūras.

4.3.Pētījuma metodes

Pētījums veikts Vidzemes augstienē, kur, izmantojot transektu metodi, pēc teritorijas apsekojuma dabā tika izveidoti 45 parauglaukumi Z/S „Šovītes” ilggadīgo zālāju teritorijā. Parauglaukumos tika aprakstīta veģetācija (izmantojot Brauna-Blankē metodi) – veikts augšņu raksturojums atbilstoši Latvijas un starptautiskajai FAO WRB (2014) augšņu klasifikācijai, kā arī tika noteikti ģeoloģiskie nogulumu, brīvo kalcija karbonātu dziļums, gruntsūdens līmeņa dziļums. Veikta profila fotofiksācija. Augsnes paraugi tika ievākti no ģenētiskajiem horizontiem.

Augsnes paraugi tika ievākti no virsējā un apakšējā ģenētiskā horizonta, kopā iegūstot 90 augšņu paraugus, pievienojot tiem informāciju ar parauglaukuma numuru un augsnes slāņa dziļumu. Augšņu paraugu ņemšanas vietās tika noteiktas koordinātas ar GPS (Magellan), lai pēc tam izveidotu kartogrāfisko materiālu par pētāmo teritoriju.

2014.gada rudenī tika uzsākti darbi LU Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultātes augšņu laboratorijā, kur augsnes paraugi tika izžāvēti līdz gaissausam stāvoklim, pēc tam minerālaugsnes paraugi tika izsijāti caur 2 mm sietu. Pēc paraugu sagatavošanas, tika veiktas augsnes paraugu fizikālās un ķīmiskās analīzes 3 atkārtojumos, tika noteikts:

- augsnes pH_{BaCl_2} , izmantojot pH-metru WTW inoLab ar stikla elektrodu 1M $BaCl_2$ šķīdumā (masas/tilpuma attiecība 1:5);
- kopējā slāpekļa ($N_{kop.}$) un kopējā oglekļa ($C_{kop.}$) koncentrācija (%), izmantojot CHNSO elementanalizatoru *EuroVector*;
- apmaiņas katjoni (Ca^{2+}), (Mg^{2+}), (K^+), (Na^+) $BaCl_2$ šķīdumā, nosakot koncentrāciju (mg/kg) ar atomabsorbcijas spektrometru *Perkin Elmer Analyst 200* (Tan, 2005);
- augsnes granulometriskais sastāvs (%), izmantojot pipetēšanas metodi. Paraugi tika apstrādāti ar 1M NaOH šķīdumu. Lietojot nomogrammu (Kārklīšs, 2008), tika izdalītas augsnes granulometriskā sastāva grupas;
- Kustīgais fosfors (P_2O_5) (mg/kg) noteikts izmantojot LVS ISO 11263:2002 metodiku.

Lai veiktu augšņu informācijas pārbaudi esošajai situācijai dabā un salīdzinātu (verificētu) to ar vēsturiskajiem augsnes kartēšanas datiem, no LR Valsts zemes dienesta tika iegūti dati par Cēsu rajona sovhoza „Dzērbene” augsnes kartēšanas rezultātiem no 1984.gada (Cēsu rajona..., 1984). Iegūtais kartogrāfiskais materiāls tika salīdzināts ar bakalaura darba izstrādes laikā izstrādāto aktuālo augšņu apakštīpu karti par Z/S „Šovīšu” ilggadīgo zālāju teritoriju. Izmantojot izveidotās kartes teritorija tika salīdzinoši aprakstīta pēc augšņu apakštīpiem un granulometriskā sastāva grupām un to izplatību teritorijā. Tomēr, tā kā augšņu klasifikācijas pēc kādām augsne tika aprakstīta 1984. gadā un 2015. gadā atšķīrās, tad datu salīdzināšanai tika izmantotas tabulas ar 1952. gadā apstiprināto un mūsdienīgu augšņu klasifikācijas salīdzinājumu, ko savā grāmatā aprakstījis Latvijas Lauksaimniecības universitātes profesors Aldis Kārklīšs (Kārklīšs, 2008).

4.4. Datu statistiskā apstrāde

Lai analizētu galvenos ietekmējošos faktoros, kas nosaka augšņu īpašību atšķirības parauglaukumos, tika izveidota MS Excel datu bāze ar augsnes ķīmisko un fizikālo parametru rezultātiem, un reljefa novietojuma datiem 45 dziļrakumu profiliem.

Datu matricās, galvenās komponentu analīzes veidošanai, augsnes virsējam un apakšējam horizontam tika kodēti augsnes kvalitatīvie rādītāji. Augsnes paraugi tika klasificēti pēc 4 pazīmju vērtībām, vērtību diapozonus apzīmējot ar veseliem skaitļiem.

Pēc tam dati tika analizēti ar netiešo ordinācijas metodi - galveno komponentu analīzi (PCA) - izmantojot *PC-ORD 5.0* programmu tika noskaidrotas galvenās likumsakarības, kas izveidojušās starp augsnes virsējiem un apakšējiem horizontiem saistībā ar augsnes ķīmiskajām un fizikālajām īpašībām.

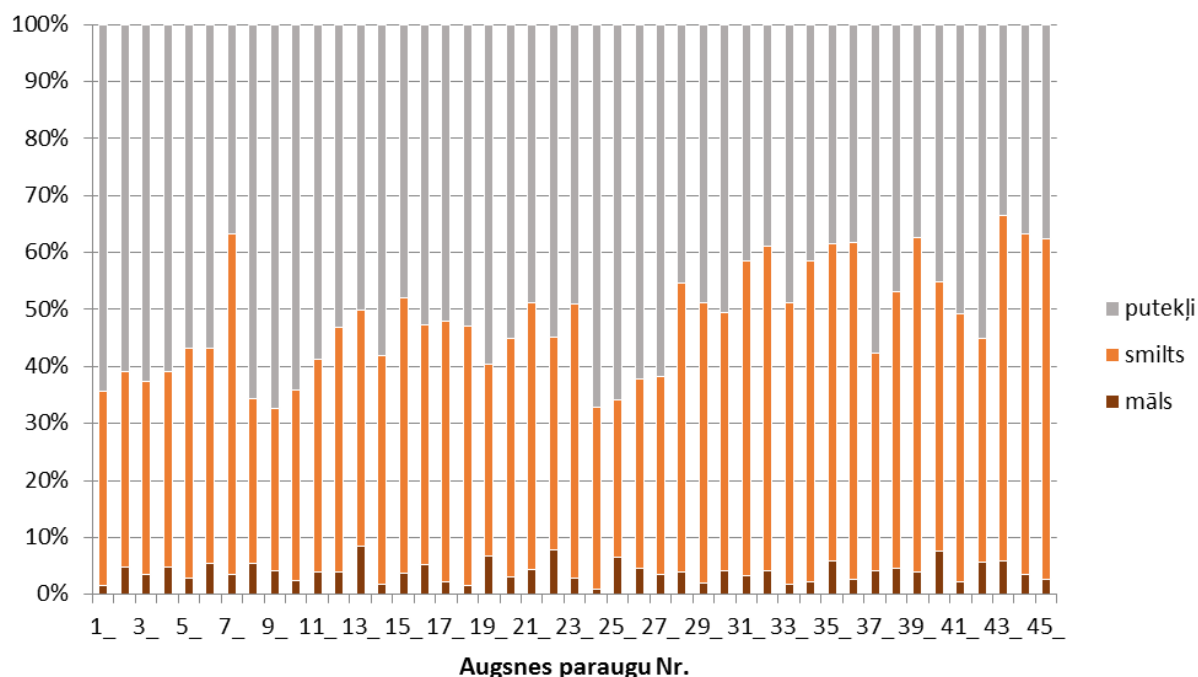
Lai raksturotu etalonteritorijas augsnes un pētījuma parauglaukumus, kartogrāfisko materiālu izveidei tika izmantota *ArcMap 10.3.1*. programmatūra.

5. REZULTĀTI UN DISKUSIJA

Z/S „Šovītes” ilggadīgo zālāju platības veido 69 ha lielu teritoriju ap saimniecību, kuras pašreizējais lietojuma veids ir ganības. Ilggadīgajos zālajos, veicot 45 augsnes dziļrakumus, tika konstatēti 6 augšņu apakštipi (5.1.2. attēls), kas telpiski diferencējušies gan pēc fizikālajām, gan ķīmiskajām īpašībām, tādēļ šajā nodaļā tiks izvērtēta augsnes veidošanās faktoru ietekme uz ilggadīgo zālāju augšņu īpašībām.

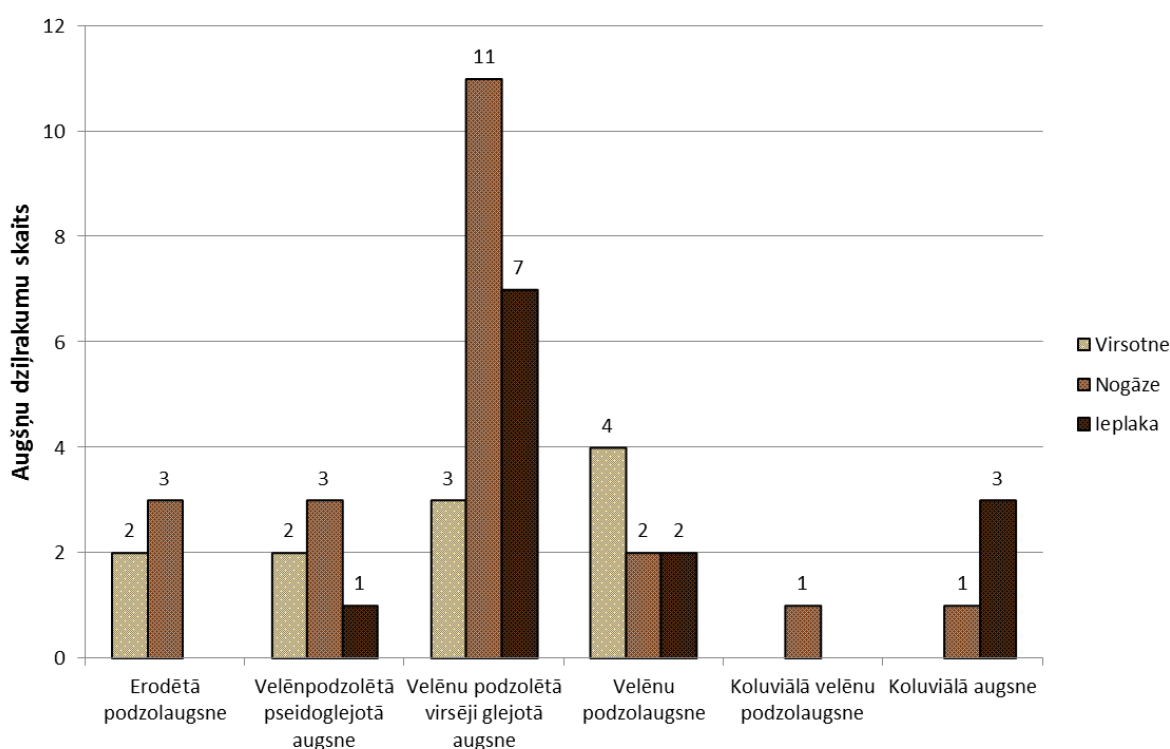
5.1. Augsnes apakštipu raksturojums atkarībā no reljefa un granulometriskā sastāva

Etalonteritorijā galvenās fizikālās īpašības, kas nosaka ūdens erozijas procesa attīstību ir granulometriskais sastāvs, kā arī māla daļiņu īpatsvars, kas erozijas procesa attīstību spēj samazināt. Augsnes dziļrakumu virsējā minerālā horizonta granulometriskais sastāvs iedalās 3 grupās, ko nosaka pēc daļiņu – smilts, putekļu un māla – dominances (pārsniedz 50% no parauga kopējā sastāva). Augšņu paraugi, kur putekļu daļiņu sastāvs pārsniedz 50% no parauga kopējās masas ir putekļains smilšmāls, bet paraugi, kuros smilts daļiņas pārsniedz 50% - smaga mālsmilts (Kārkliņš, 2008).



5.1.1. attēls. Augsnes profilu virsējā minerālā horizonta granulometriskais sastāvs (smilts, māla un putekļu daļiņu īpatsvars, %) parauglaukuumos (izstrādājusi autore, izmantojot fizikālo analīžu rezultātus)

Minerālaugsnes virskārtā etalonteritorijā (5.1.1. attēls) izplatītas 2 granulometriskās sastāva grupas - smaga mālsmilts un putekļains smilšmāls. Kopumā teritorijas vidējais putekļu daļiņu saturs sasniedz 51,99%, smilts daļiņas veido 43,99%, bet māla daļiņu saturs vidēji sasniedz 4,02 %. Savukārt, putekļaina smilšmāla augsnēs māla daļiņas vidēji ir 4,22%, smilts daļiņas 37,0 % un putekļu daļiņas 58,75% apjomā, bet smagas mālsmilts augsnēs vidējais māla daļiņu saturs augsnē ir 3,73%, smilts daļiņas 53,5% un 42,73 % putekļu daļiņas. Šādi attēlojot datus saprotams, kādu daļiņu dominance katrā no sastopamajām granulometriskā sastāva grupām pastāv.

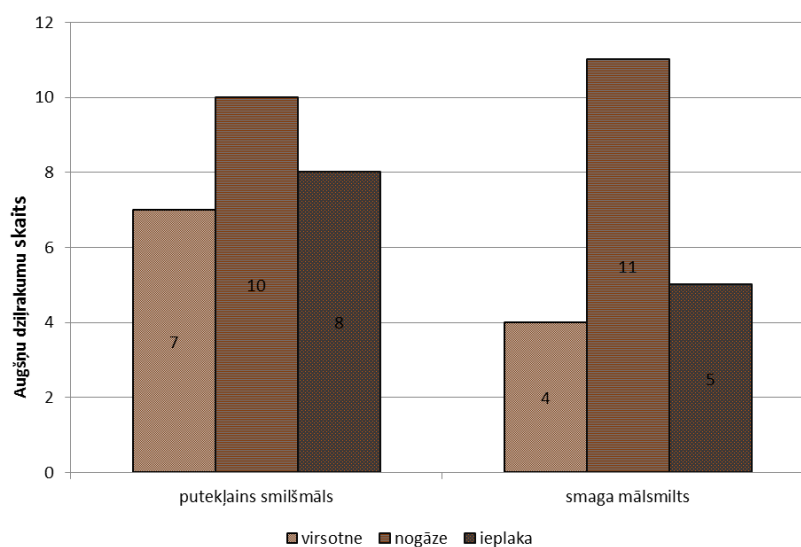


5.1.2. attēls. Augšņu apakštīpu izplatība atkarībā no reljefa (izstrādājusi autore, izmantojot ķīmisko analīžu rezultātus)

Pētāmajos ilggadīgajos zālajos, kuri atrodas uz viļņota reljefa ar 36 m lielu relatīvo augstumu, tika konstatēta liela augšņu mainība. Pauguru virsotnēs tika konstatēti 4 augšņu apakštīpi, kas pēc savas būtības galvenokārt raksturo podzolēšanās, erozijas un glejošanās procesu attīstību (5.1.2. attēls). Šo augsnes veidošanās procesu dominānce vērojama arī reljefa nogāzēs, tomēr, palielinoties mitruma apstākļiem virzienā uz katēnas lejasdaļu, ir izteikti attīstījušies virsējās glejošanās un pseidoglejošanās procesi velēnu podzolētajās augsnēs, kas mijas ar retāk sastopamajām erodētajām un velēnu podzolaugsnēm.

Par reljefa neviendabību liecina fakts, ka koluviālās augsnes ir sastopamas ne tikai reljefa ieplakās, bet arī nogāzēs. Tas ir skaidrojams ar mikroreljefu raksturojošiem elementiem, piemēram, nelielu ieplaku vai terasi nogāzē, kas intensīvas lauksaimniecības laikā, iespējams, aršanas rezultātā tikusi aizpildīta ar nonesto augsnes virsējo horizontu minerālajām un organiskajām daļiņām, kas iekultivēšanās un ūdens erozijas ceļā tikušas nonestas uz leju un aizpildījušas nogāzes ieplaku. Tādējādi A horizontam, vēl nesasniedzot 50 cm biezumu, visticamāk ir izveidojusies koluviālā velēnu podzolaugsne. Savukārt ieplakās, pieaugot erozijas ceļā nonestajam augsnes auglīgajam materiālam un nogāzes slīpumam, salīdzinoši bieži sastopamas koluviālās augsnes. To pierāda arī veiktie pētījumi, kas atklāj, ka, pieaugot nogāzes slīpumam nogāzē, organisko vielu daudzums samazinās, bet ieplakās tajā pašā laikā tas palielinās (Kravchenko, 2000). Etalonteritorijas ieplakās visbiežāk sastopamas velēnu podzolētās virsēji glejotās augsnes, kuras spējušas attīstīties gan relatīvi augstās starppauguru ieplakās, gan ieplakās pie ļoti stāvām nogāzēm, tām mijoties ar koluviālajām augsnēm.

Teritorijā visizplatītākā augsne ir velēnu podzolētā virsēji glejotā augsne, kas sastopama 21 no 45 augšņu dziļrakumiem. Šādas augsnes izplatība teritorijā liecina par sabīvētu augsnes slāņu esamību augsnes profilā, kuri traucē vienmērīgai ūdens infiltrācijai. Pieņemot, ka agrāk teritorijā bijusi aramzeme, tad virsējā glejošanās attīstība ir pamatota un loģiska. Aramzemēs parasti, augsni iekultivējot vienā noteiktā dziļumā (aptuveni 20– 25 cm), augsnē izveidojas slānis, kas agrotehnisko apstākļu ietekmē nav sairdināts, bet ir sabīvējies. Tādējādi virs šī slāņa attīstās nokrišņu ūdeņu stagnēšanās un ilglaicīgā periodā arī virsējās glejošanās process (Adamovich, 2005), kas izplatīts arī visā Z/S „Šovītes” ilggadīgo zālāju teritorijā.

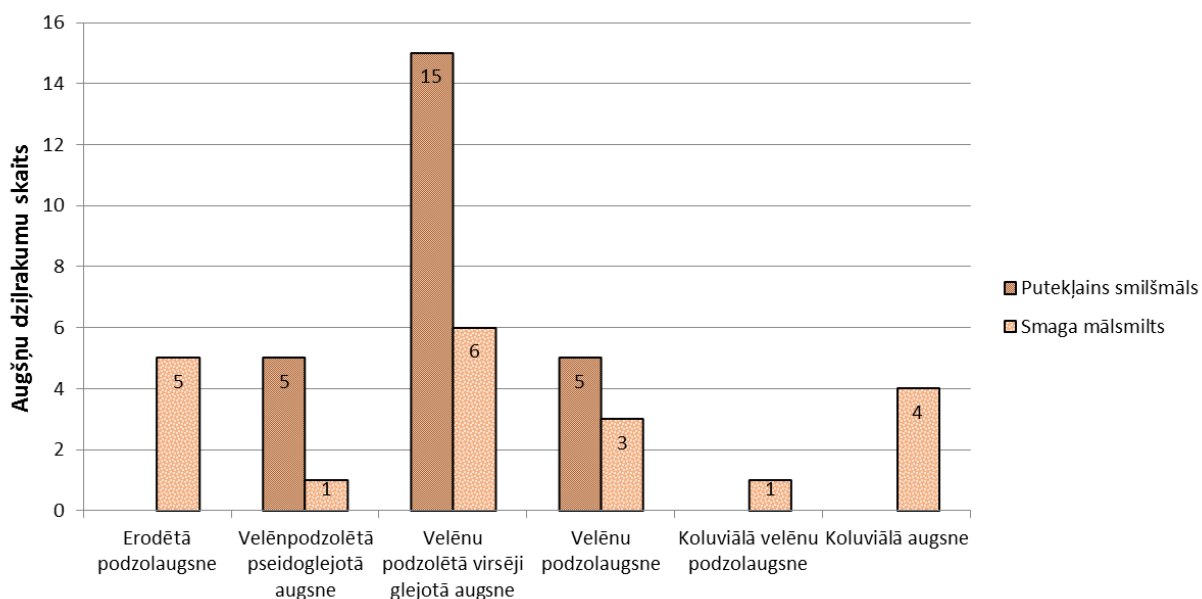


5.1.3. attēls. Augšņu profilu novietojums reljefā pa granulometriskā sastāva grupām (izstrādājusi autore, izmantojot ķīmisko analīžu rezultātus)

Augšņu profilu novietojums reljefā pa sastopamajām granulometriskā sastāva grupām (5.1.3. attēls) raksturo attiecīgā granulometriskā sastāva izplatību teritorijā. Kopumā etalonteritorijā no visiem (45) augšņu dziļrakumiem – 25 bija ar putekļaina smilšmāla, bet 20 profili ar smagas mālsmilts virsējo minerālo augsnes horizontu.

Aplūkojot attēlu, redzams, ka atkarībā no granulometriskā sastāva grupas, mainās arī veikto augšņu dziļrakumu skaits. Ņemot vērā, ka dziļrakumi tika veidoti vietās, kas attiecīgo novietojumu reljefā reprezentēja visprecīzāk, tad var secināt, ka teritoriju visvairāk raksturo tieši nogēzes, nevis plašas pauguru virsotnes vai iepakas.

Vieglāka granulometriskā sastāva augsnes atšķirībā no smilšmāla augšņu sadalījuma biežāk bija sastopamas nogāzēs, kas skaidrojams ar daļiņu noskalošanās intensitāti un iespējamo erozijas procesa apturēšanu laikā, kad teritorijā sākusi attīstīties zālāju veģetācija. Kā atklāj pētnieki, mainot augsnes apsimmiekošanas veidu uz ekstensīvāku, erozijas procesa un augsnes daļiņu noskalošanās samazinās (Līpenīte un Kārklīņš, 2011). Savukārt smilšmāla augsnes teorētiski pret eroziju ir izturīgākas (Nikodemus u.c., 2008), arī tādēļ šī granulometriskā sastāva augsnes vienmērīgi attīstījušās visā etalonteritorijā.



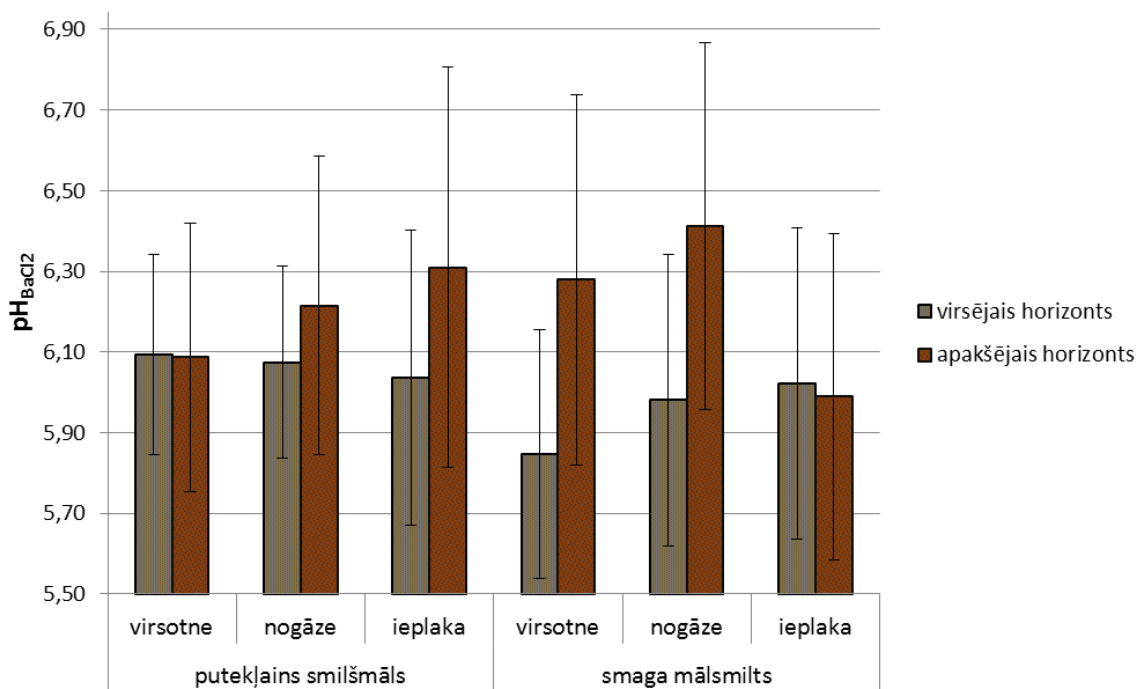
5.1.4. attēls. Augšņu apakštīpi atkarībā no granulometriskā sastāva grupas (izstrādājusi autore, izmantojot ķīmisko analīžu rezultātus)

Augšņu apakštīpu sadalījums pa granulometriskā sastāvu grupām (5.1.4. attēls) raksturo etalonteritorijā esošo augšņu mainību saistībā ar augsnes veidošanās procesiem, kas reprezentē katru augšņu apakštīpu. Uz smagāka granulometriskā sastāva augsnēm attīstījusies lielākā daļa

no aprakstītajiem parauglaukumu profiliem, šeit galvenie augsnes veidošanās procesi, kas spējuši attīstīties vienā augsnes profilā, ir gan podzolēšanās un glejošanās, gan arī zālāju teritorijām raksturīgā velēnošanās. Etalonteritorijā raksturīgākie augšņu apakštipi, kas attīstījušies uz putekļaina smilšmāla ir velēnu podzolētā virsēji glejotā augsne, velēnu podzolētā pseidoglejotā augsne un velēnu podzolaugsne. Savukārt uz vieglāka granulometriskā, bez jau pieminētajām attīstījušies vēl 3 augšņu apakštipi- erodētā podzolaugsne, koluviālā velēnu podzolaugsne un koluviālā augsne. Tātad uz smagas mālsmilts etalonteritorijā sastopami visi 6 saimniecības zālajos sastopamie augšņu apakštipi, pretēji tam, ka uz putekļaina smilšmāla attīstījušies vien puse – 3 no teritorijā sastopamajiem augšņu apakštipiem.

5.2. Augsnes ķīmiskās īpašības

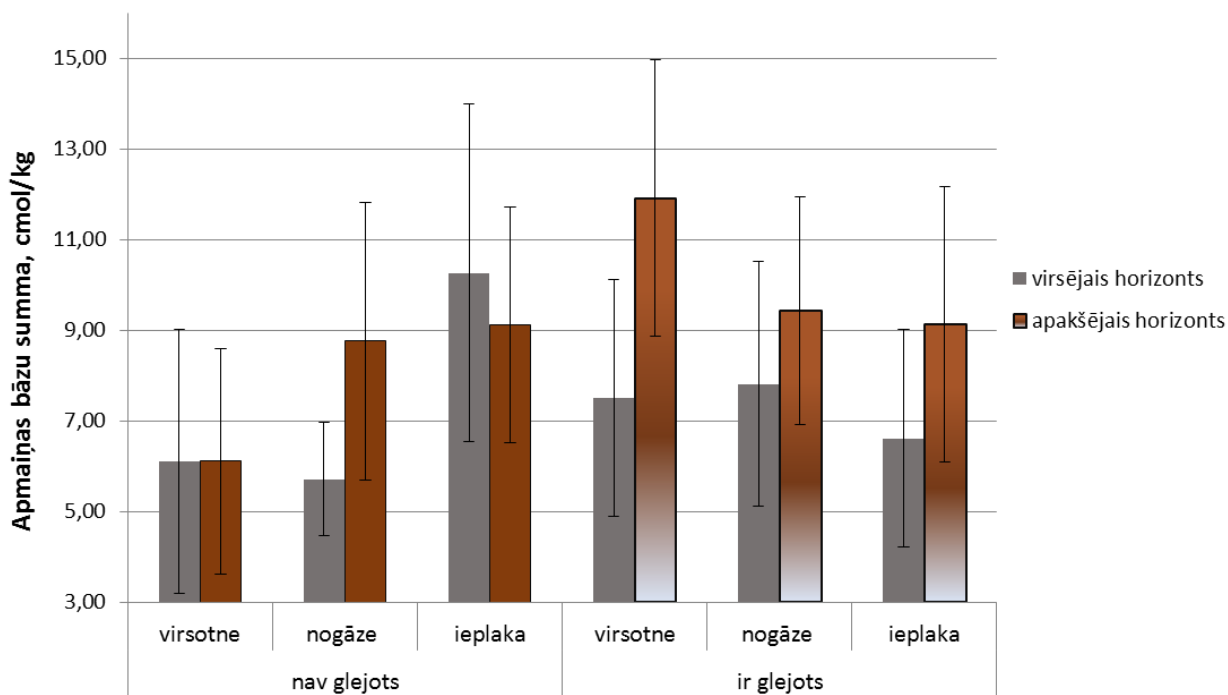
Z/S „Šovītes” ilggadīgo zālāju augšņu apstākļus būtiski ietekmē reljefs un vēsturiskā saimnieciskā darbība. Mainoties dažādiem augsnes ietekmējošajiem faktoriem, mainās arī augsnes apakštipi un šo augšņu galvenās raksturojošās īpašības, piemēram, ķīmiskās īpašības, kas nosaka augiem pieejamo elementu daudzumu augsnē. Galvenie augsnes auglību raksturojošie rādītāji, pēc kuriem iespējams spriest par augsnē atrodamajiem ķīmiskajiem elementiem, ir augsnes reakcija jeb pH vērtība, apmaiņas bāzu summa, augsnes virsējā minerālā horizonta biezums, kustīgā fosfora, kā arī kopējais oglekļa un slāpekļa saturs augsnē.



5.2.1. attēls. pH_{BaCl2} vērtība augsnē pa reljefa un granulometriskā sastāva grupām virсējam un apakšējam horizontam (izstrādājusi autore, izmantojot ķīmisko analīžu rezultātus)

Aplūkojot 5.2.1. attēlu, redzams, ka kopumā virsējā minerālā horizonta pH_{BaCl_2} vērtību izmaiņu saistība ar augšņu profilu granulometrisko sastāvu variē atkarībā no horizonta dziļuma un profilu novietojumu reljefā. Kaut arī putekļaina smilšmāla augsnes virsējā horizontā pH vērtības būtiski neatšķiras, tomēr salīdzinoši palielinātā māla daļiņu satura ietekmē smilšmāla augsnes virsējais minerālais horizonts ir relatīvi bāziskāks par mālsmilts augšņu virsējiem horizontiem. Tāpat arī smilšmāla augsnēs, samazinot augstumu v.j.l., augsnes dziļākajos horizontos pH vērtība palielinās. Tas liecina par intensīvāku augsnes minerālo daļiņu uzkrāšanos vai to akumulēšanos ieplakās, kā rezultātā pH vērtība paaugstinās.

Smagas mālsmilts augsnēs virsējā horizonta pH vērtība palielinās, samazinoties augstumam v.j.l., kas nozīmē, ka ar fizikālo pārnesei notiek augsnes minerālo un organisko daļiņu nonese pa nogāzi un akumulējušās ieplakās. Tomēr dziļākajos horizontos šāda sakarība nepastāv, jo mālsmilts augsnēs dziļākajā horizontā novērojama izteikta pH vērtības samazināšanās. Tas, iespējams, saistāms ar augstu gruntsūdens līmeni un pārmitrinājumu, kas, rada reducēšanās procesa attīstību.

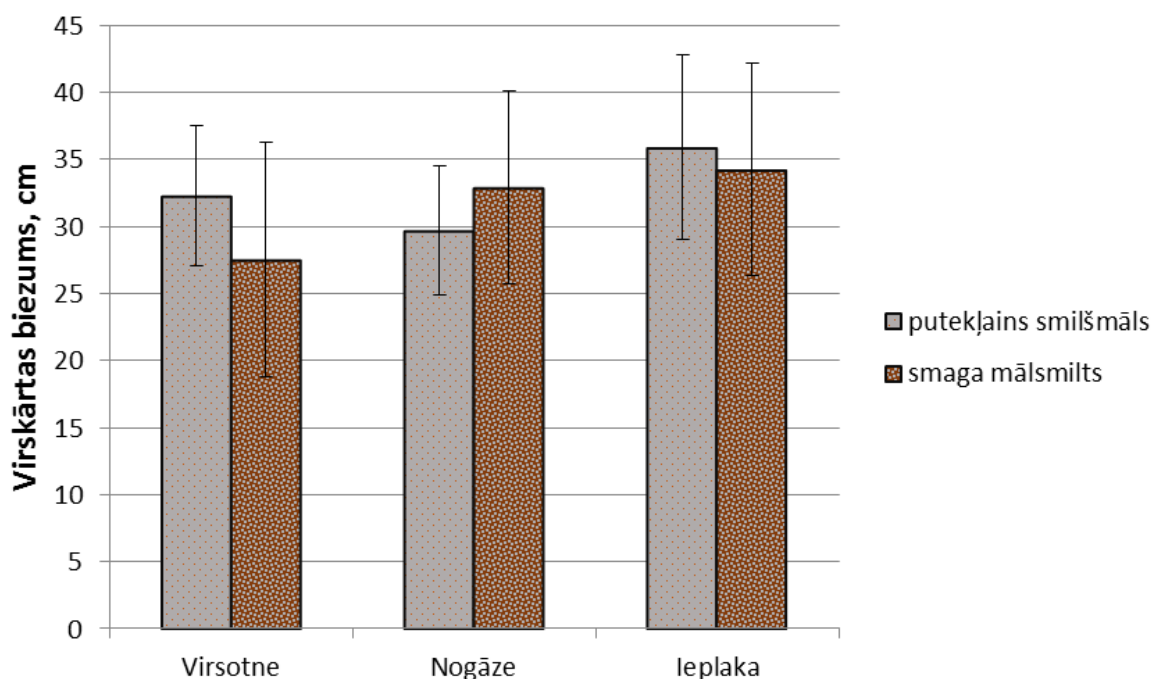


5.2.2. attēls. Apmaiņas bāzu summa (cmol/kg) dažāda reljefa augsnes profilu horizontos saistībā ar glejošanās pazīmēm (izstrādājusi autore, izmantojot ķīmisko analīžu rezultātus)

5.2.2. attēlā vērojamas sakarības nosaka, ka augsnēs, kurās nav novērotas glejošanās pazīmes, apmaiņas bāzu summa palielinās virzienā pa katēnu uz ieplaku. Tas nozīmē, ka, palielinoties mitruma daudzumam augsnē, arī apmaiņas bāzu summa palielinās. Apmaiņas bāzu summas saistību ar reljefu pierāda arī zviedru pētījumi, kur apskatītas viegālaka

granulometriskā sastāva augsnes, kurās glejošanās procesu attīstība ir retāka (Seibert et al., 2007). Apgriezta likumsakarība vērojama augsnēs, kurās tika konstatētas glejošanās pazīmes, kur apmaiņas bāzu summa palielinās, pieaugot relatīvajam augstumam jeb samazinoties mitruma apstākļiem. Pēc granulometriskā sastāva grupām (3.1.4. attēls) uzskatāmi redzams, ka glejošanās norisinās vairāk uz smilšmāla augsnēm.

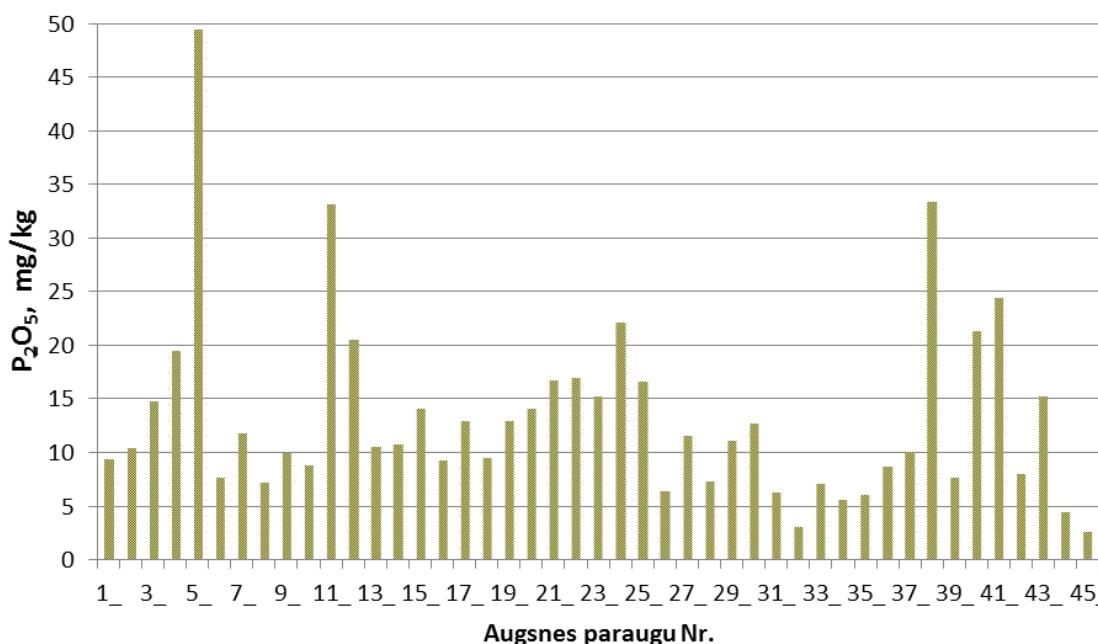
Salīdzinot glejotās (pushidromorfās augsnes) un neglejotās (automorfās) augsnes, var secināt, ka augsņu dziļākie horizonti pauguru virsotnēs, kas ir glejoti, satur aptuveni 2 reizes lielāku apmaiņas bāzu summu, nekā neglejotām augsnēm, kas arī atrodas virsotnēs.



5.2.3. attēls. Dažāda granulometriskā sastāva grupu augsņu virsējā minerālā horizonta biezums atkarībā no reljefa (izstrādājusi autore, izmantojot ķīmisko analīžu rezultātus)

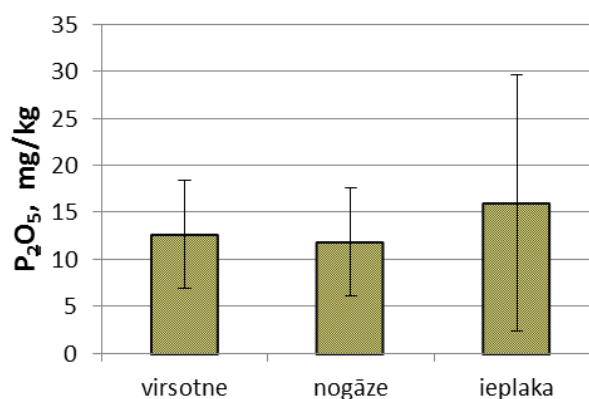
Augsnes virsējā minerālā horizonta biezums raksturo attiecīgās augsnes spēju pretoties erozijas procesam un to, cik viegli no reljefa augstākām vietām ir iespējams izskalot organiskās daļiņas. 5.2.3. attēlā redzams, ka putekļaina smilšmāla erozija izteikti neattīstās, pretēji smagas mālsmilts augsnēm, kur organiskās daļiņas no dominējošās smilts tekstūras tiek vieglāk izskalotas. Putekļaina smilšmāla augsnēs daļiņu plūsma ar ūdeni tiek vairāk absorbēta (Līpenīte un Kārklīšs, 2011). Virsējā horizonta biezumu aptuveni 30 gadus pēc intensīvas lauksaimnieciskās darbības pārtraukšanas ietekmē smilšainas augsnes, kur ir zemāka augsnes auglība, tāpēc ir arī zemākas biomasas zelmēnis, kas fundamentāli ietekmē organisko vielu uzkrāšanās apjomus, pieņemot, ka teritorija tiek noganīta vienmērīgi (Benayas et al., 2004). Tā

rezultātā var secināt, ka vienādos mitruma apstākļos, augsnes virskārtas biezums relatīvi biežāks būs smagāka granulometriskā sastāva augsnēm, bet nogāzēs tas var atšķirties.



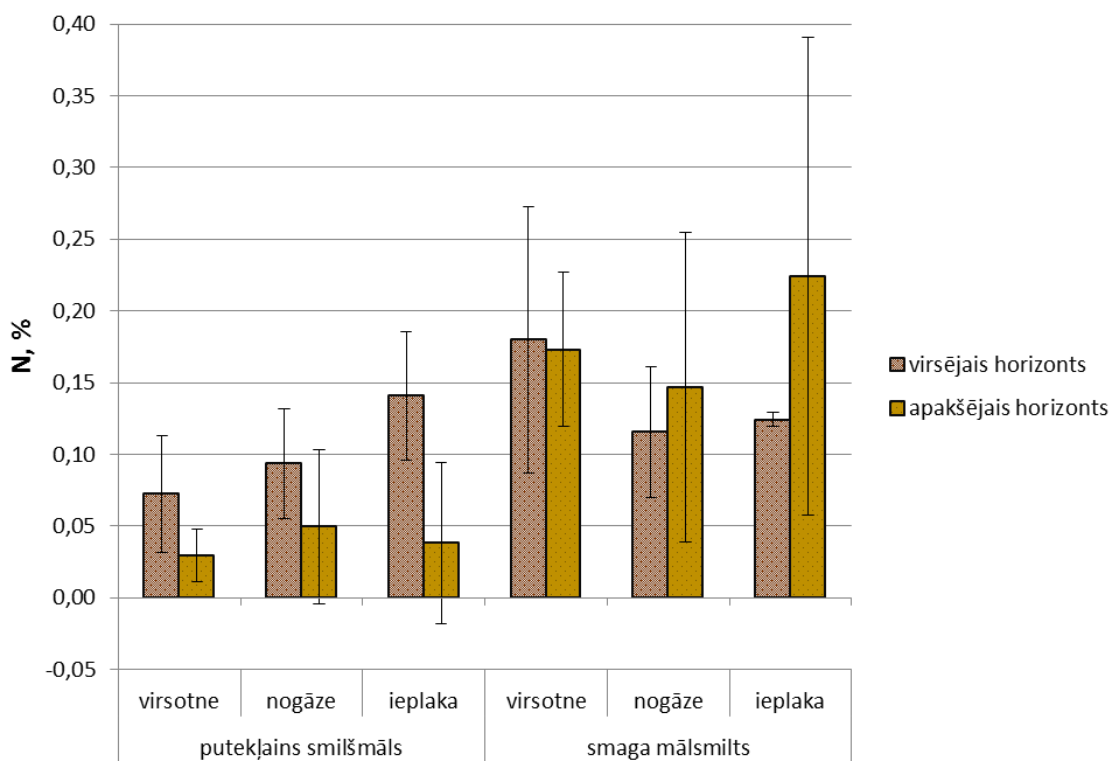
5.2.4. attēls. Kustīgā fosfora (mg/kg) vidējā koncentrācija virsējā augsnes horizontā augšņu parauglaukumos (izstrādājusi autore, izmantojot ķīmisko analīžu rezultātus)

Kustīgais fosfors jeb apmaiņas veidā augiem pieejamais fosfors (P₂O₅) etalonteritorijā ir relatīvi zemās koncentrācijās (5.2.4. attēls). Lai arī šie zālāji atbilst ilggadīgo zālāju definīcijai, precīzāk ilggadīgiem kultivētiem zālājiem pēc augu sugu sastāva, tomēr kustīgā fosfora apjomi augsnē ir atbilstoši dabisko zālāju augšņu īpašībām, nepārsniedzot 50 mg/kg kustīgā fosfora daudzumu (Kiehl and Jeschke, 2005). Tas liecina par iekultivēto minermālmēsļu pilnīgu izskalošanos no augsnes, kopš pēdējo platību ielabošanas pasākumiem deviņdesmito gadu sākumā, tādēļ mūsdienās teritorijā vērojamas zālāju dabiskošanās pazīmes. Tomēr izteikti kustīgā fosfora apjoma datu ekstrēmi vērojami parauglaukumos Nr. 5, 11 un 38, kas saistāmas ar parauglaukumu novietojumu vietējās nozīmes grants ceļa tuvumā (4.2.1. attēls). Gar grants ceļu aptuveni 10 m attālumā no parauglaukumiem ir elektriskais gans, kas ierobežo ganību platību un nepieļauj liellopu migrēšanu pāri ceļam un ceļmalu noganīšanu. Tā rezultātā augsnē intensīvāk uzkrājas augu organiskās atliekas, kas nosaka straujāku kustīgā fosfora apjoma pieaugumu.



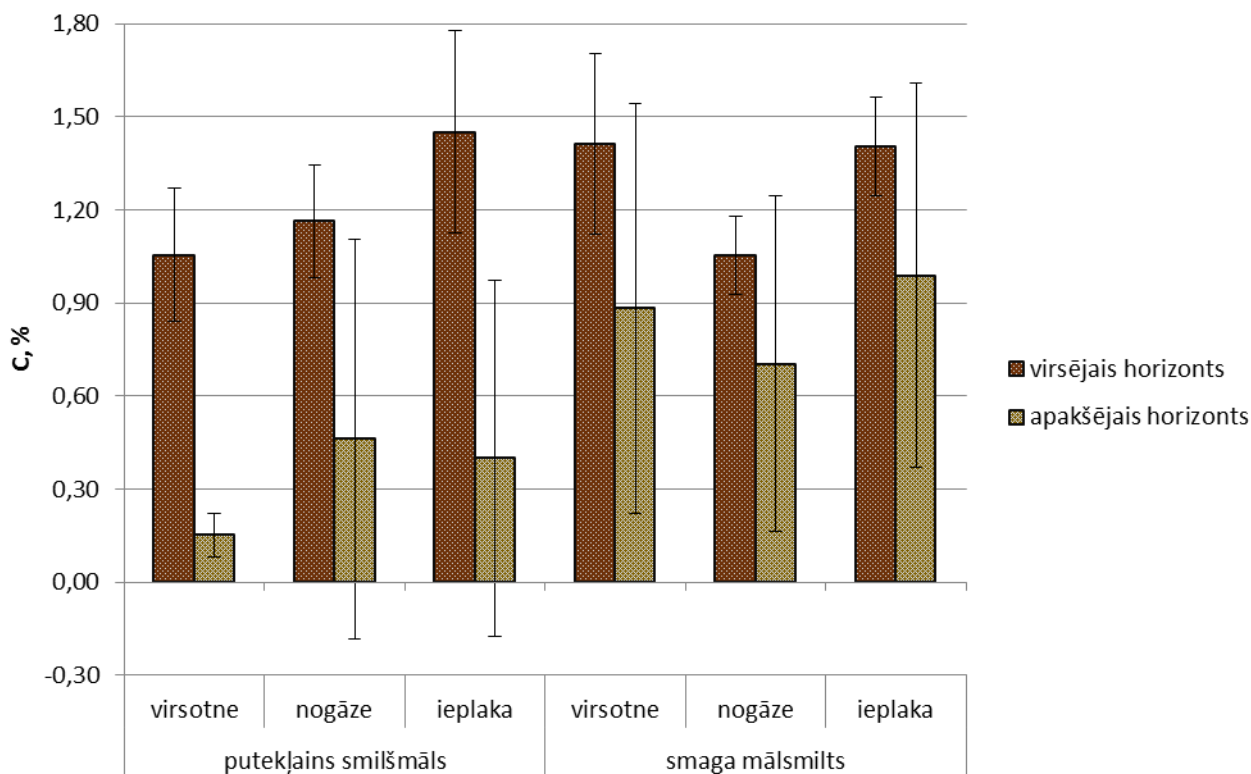
5.2.5. attēls. Kustīgā fosfora (mg/kg) vidējā koncentrācija dažādos novietojumos reljefā (izstrādājusi autore, izmantojot ķīmisko analīžu rezultātus)

Aplūkojot 5.2.5. attēlu, redzams, ka virsotnēs un nogāzēs kustīgais fosfors augsnes profilos vidēji sastopams 12 mg/kg koncentrācijā. Tomēr reljefa ieplakās sastopamā kustīgā fosfora koncentrācija sasniedz 16 mg/kg ar aptuveni divas reizes lielāku datu standartnovirzi nekā reljefa augstākajās vietās. Tas skaidrojamas ar ilggadīgu augšņu noganīšanas pakāpi, kur ir gan ieplakas, kas ir intensīvi noganītas, kā arī tādas ieplakas, kur liellopi nespēj piekļūt un netiek traucēta organisko atlieku uzkrāšanās, kas arī būtiski palielina datu variāciju jeb izkliedi.



5.2.6.attēls. Kopējā slāpekļa (%) vidējais saturs viršējā un apakšējā augsnes horizontā pa granulometriskā sastāva grupām un pēc novietojuma reljefā (izstrādājusi autore, izmantojot ķīmisko analīžu rezultātus)

Kopējā slāpekļa vidējais saturs augsnē izteikti atšķiras dažādu granulometrisku sastāvu augsnēs. Putekļaina smilšmāla augsnēs virsējā horizontā slāpekļa apjoms pieaug virzienā pa katēnu uz leju, bet pretēja situācija ir vērojama smagas mālsmilts augsnēs, kur slāpekļis samazinās virzienā uz reljefa ieplaku. Tāpat arī nav viennozīmīga sakarība starp slāpekļa daudzumu apakšējā augsnes horizontā un reljefu, tomēr atšķirības vērojamas starp granulometrisku sastāvu grupām. Putekļaina smilšmāla augšņu apakšējos horizontos slāpekļa daudzums ir vidēji četras reizes mazāks nekā tas ir smagas mālsmilts apakšējos horizontos. Tas izskaidrojams ar ūdens infiltrāciju smilšmāla augšņu profilos, kas smaga granulometriskā sastāva dēļ ir palēnināta, un slāpekļis daudz lēnāk ieskalojas dziļākajos augsnes horizontos. Tādēļ var secināt, ka augsnē, palielinoties mitruma apstākļiem, slāpekļa apjomi būtiski samazinās, kas ir apskatīts jau iepriekš minētajā zviedru pētījumā (Seibert et al., 2007).



5.2.7..attēls. **Kopējā organiskā oglekļa (%) vidējais saturs virsējā un apakšējā augsnes horizontā pa granulometriskā sastāva grupām un pēc novietojumu reljefā** (izstrādājusi autore, izmantojot ķīmisko analīžu rezultātus)

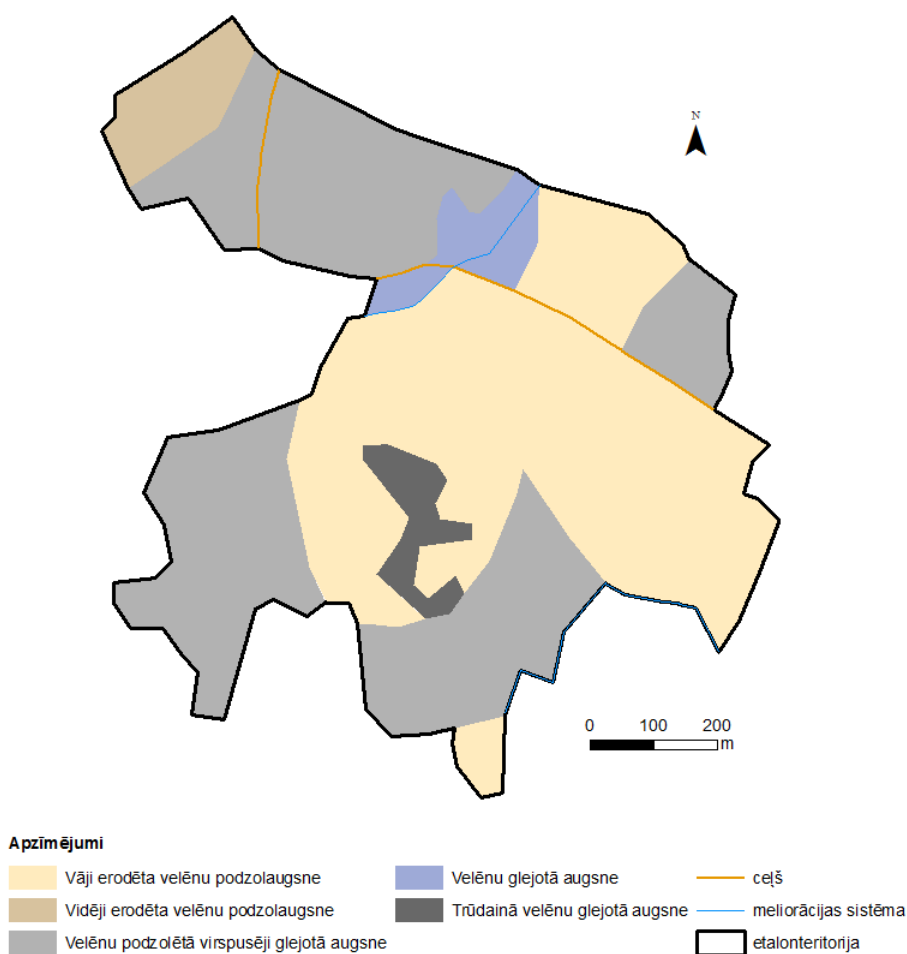
Kopējā organiskā oglekļa saturs salīdzinoši liels ir augsnes virsējā horizontā, jo elements augsnē dabīgā ceļā nonāk, sadaloties augu organiskajām atliekām (Brian and Schumacher, 2002). Putekļaina smilšmāla augsnēs vērojama izteikta sakarība, ka virskārtā esošais oglekļa apjoms palielinās, samazinoties relatīvajam augstumam. Salīdzinot savtšrapēji profila apakšējos

horizontus pa granulometriskā sastāva grupām, redzams, ka fosfora apjoms smagas mālsmilts augsnēs ir vismaz divas reizes lielāks nekā putekļainā mālsmiltilī. Tas tāpat kā ar slāpekļa ieskalošanās procesiem, skaidrojams ar to, ka vieglāka granulometriskā sastāva augsnēs, elementi, t.sk. arī ogleklis, ātrāk ieskalojas un akumulējas augsnes dziļākajos horizontos, kas atbilst arī pētījuma datiem par ūdens infiltrāciju vieglāka granulometriskā sastāva augsnēs (Līpenīte un Kārklīšs, 2011).

5.3. Augšņu informācijas verifikācija

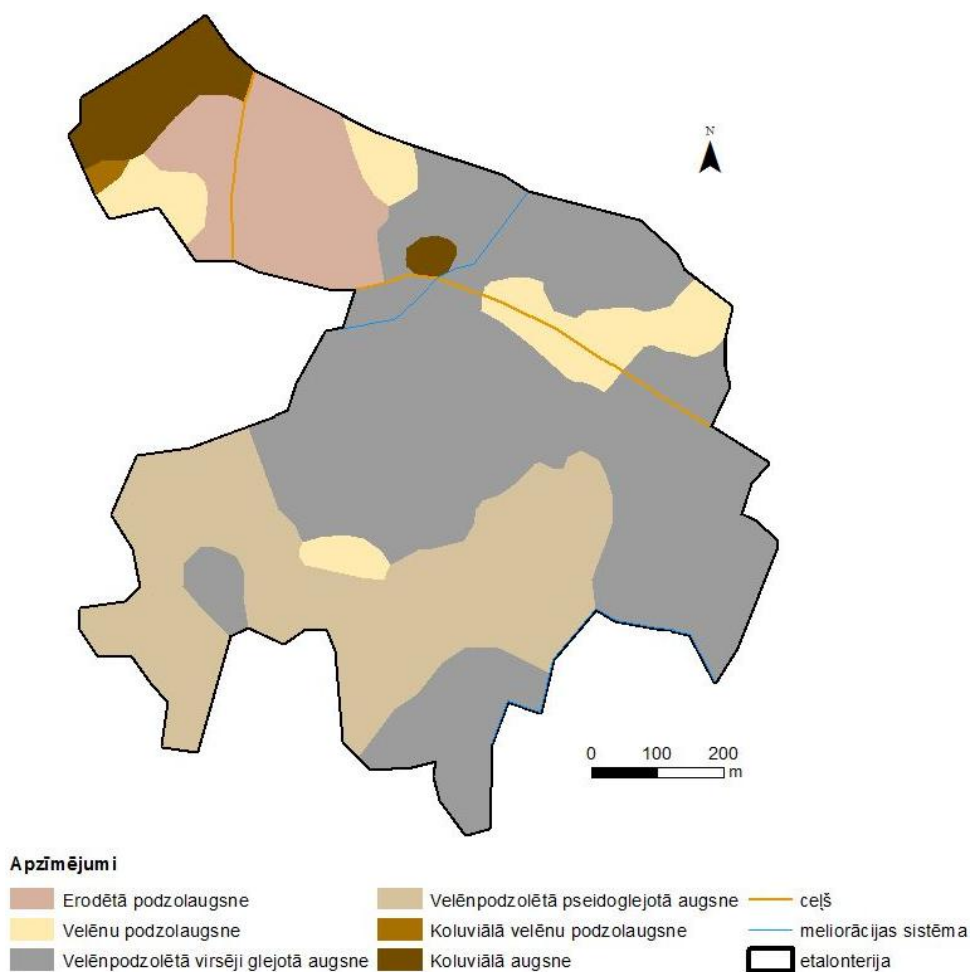
Augsne laika gaitā spēj mainīt savas īpašības, un šo mainību paātrina arī izteikta reljefa un intensīvas lauksaimniecības ietekme. Nodaļā tiek salīdzinātas kartes, kas par pētāmo etalonteritoriju ir veidotas vairāk nekā pirms 30 gadiem, ar kartēm, kas veidotas mūsdienas.

Pētāmās teritorijas Z/S “Šovītes” augšņu kartēšana notikusi 1984. gadā. Salīdzinot iegūto informāciju ar 2014. un 2015. gada vasarā veikto augšņu pētījumu rezultātiem etalontritorijā, vērojamas augšņu informācijas atšķirības.



5.3.1. attēls. Z/S “Šovītes” 1984. gada augšņu karte (Izveidojusi autore, izmantojot VZD augšņu kartēšanas datus)

Pēc 1984. gada augšņu kartēšanas datiem (5.3.1. attēls) pašreizējās zemnieku saimniecības teritorijā bija konstatēti 5 augšņu apakštipi, un kopumā teritorijā dominēja vāji erodēta velēnu podzolaugsne un velēnu podzolētā virspusēji glejotā augsne. Teritorijā dominējošie augšņu apakštipi liecina, galvenokārt, par erozijas un glejošanās procesa attīstību. Šie procesi ir būtiski saistāmi ar etalonteritorijas atrašanos saposmota reljefa apvidū, kur ūdens erozijas rezultātā stāvās nogāzēs veidojas erodētas augsnes, bet lēzenās nogāzēs, veidojoties apgrūtinošiem ūdens infiltrācijas apstākļiem, augsnē ir attīstījušies glejošanās procesi, kur notiek ūdens stagnēšanās sablīvētos un smaga granulometriskā sastāva slāņos.



5.3.2.attēls. Z/S “Šovītes” 2015. gada augšņu karte (izstrādājusi autore, izmantojot 2015.g. augšņu kartēšanas datus)

2015. gadā 69 ha lielajā teritorijā (5.3.1. attēls) dominē 6 augšņu apakštipi, no kuriem vislielāko teritorijas daļu aizņem velēnpodzolētā virsēji glejotā un velēnu podzolētā pseidoglejotā augsne. Savukārt virzienā uz teritorijas ziemeļu daļu, augšņu daudzveidība izteikti palielinās, un palielinās arī nogāzes slīpums. Tur biežāk sastopamas gan velēnu

podzolaugnes un erodētās podzolaugnes, gan arī koluviālās augsnes un koluviālās velēnu podzolaugnes.

Glejošanās procesa attīstība teritorijā saistāma ar intensīvās lauksaimniecības periodu etalonteritorijā. Ņemot vērā, ka līdz 1992. gadam etalonteritorijas lietošanas veids bija aramzeme, tad būtisks faktors, kas ietekmējis ūdens infiltrēšanos, ir sablīvētā horizonta jeb aramkārtas izveidošanās zem augsnes virsējā minerālā horizonta (Adamovich, 2005). Ilglaicīgi nemainot augsnes aršanas dziļumu, virsējais nesaartais horizonts sablīvējas un izveido slāni, kas aiztur ūdeni un neļauj tam infiltrēties, veidojot virsēji glejotās un pseidoglejotās augsnes.

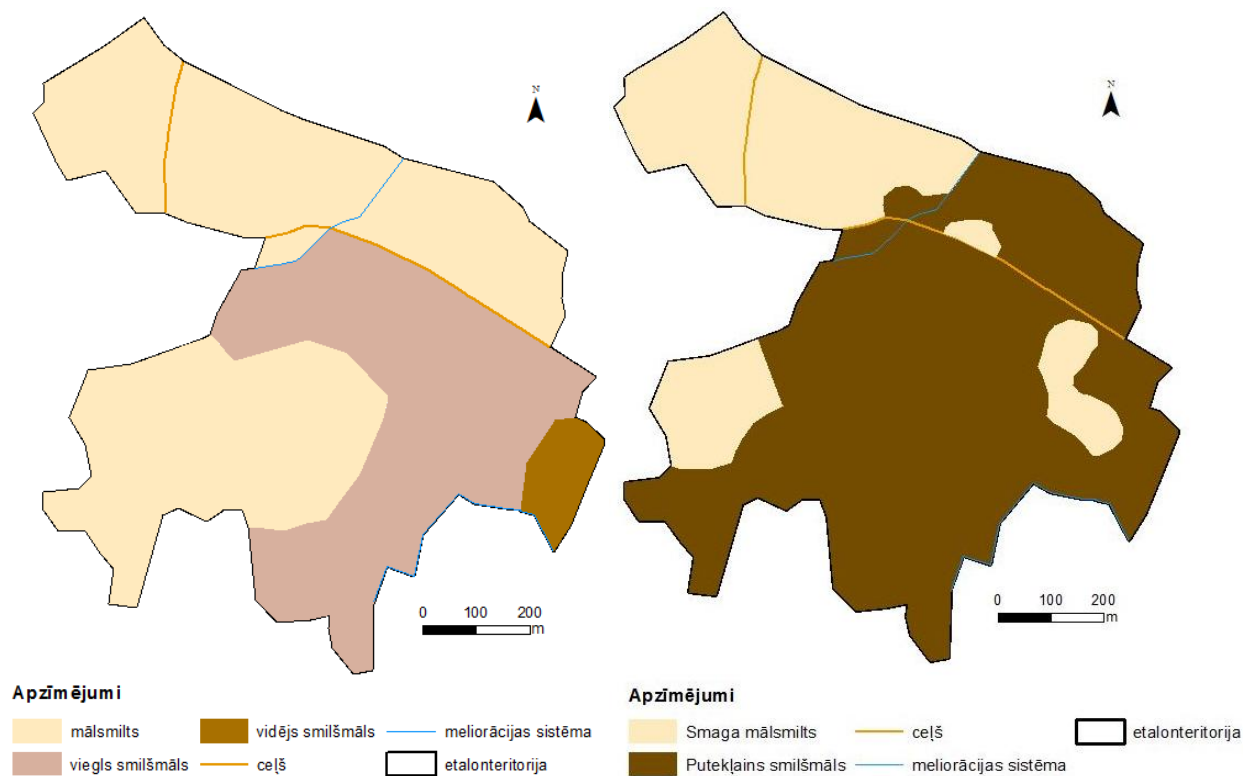
Salīdzinot abas izveidotās kartes (5.3.1.attēls; 5.3.2.attēls) laika griezumā, jāsecina, ka tik strauja augšņu mainība teritorijā nevarētu veidoties. Ņemot vērā, ka etalonteritorijā glejošanās apstākļi bija izplatīti jau 1984. gadā, ir iespējams, ka pēc intensīvas lauksaimnieciskās darbības teritorijā, sākuši attīstīties citi augsnes veidošanās procesi, piemēram, vairāk izteikta velēnošanās un glejošanās, jo augsnes virsējā horizonta sajaukšana tiksusi apturēta.

Tomēr, pieņemot, ka augsnes veidošanās vecums mērenā kilmatā ir aptuveni 1000 gadi (Alfred and Conklin, 2004) un aptuveni 1 cm biezs horizonts var izveidoties 200- 400 gadu laikā (Soil formation, S.a.), saprotams, ka 30 gadu laikā augsnē glejoti horizonti nevar izveidoties, bet šādas pazīmes var veidoties. Tādēļ augšņu mainība lielā mērā būtu jāskaidro ar augšņu kartēšanas metodiku atšķirībām un izmantotajām augšņu klasifikācijām.

Augšņu kartēšana 1984. gadā izteikti atšķirās no 2015. gadā veiktās kartēšanas galvenokārt atšķirīgo detalizācijas pakāpju dēļ. Augšņu kartēšana 1984. gadā tika veikta galvenokārt izmantojot zondēšanu, mērogā 1:10 000, bet 2014. un 2015. gadā kartēšana veikta daudz detalizētākā mērogā, izmantojot transektu metodes ar relatīvi daudz dziļrakumu profiliem, kas sniedz daudz precīzāku un ticamāku informāciju par pētāmo teritoriju (Rozenberga u.c., 2016).

Galvenās klasifikācijas atšķirības saistāmas ar glejotu augšņu definēšanu. Lai augsni nosauktu par glejotu, pēc 1982. gada augšņu noteikšanas klasifikācijas (Kārklīņš, 2008) augsnē nepieciešams būt vismaz 5% glejošanās pazīmju, bet mūsdienās tiem jābūt vismaz 10%. Savukārt, salīdzinot attēlus, var secināt, ka galvenās atšķirības starp augšņu apakštipu izvietojumu ir vietās, kur abos gadījumos parādās erodēto augšņu apakštīps. Vietām, veicot masveida augšņu kartēšanu, vietās, kur atrodas lauksaimniecības zeme un tajā bijuši sējumi vai stādījumi, speciālisti augsni kartējuši pēc subjektivitātes principa, ņemot vērā novietojumu reljefā un nogāzes slīpumu. To apstiprina informācija, ka padomju laikos kartētajās teritorijās uz katriem 1000 ha tika veikti vien 5 – 10 (1 – 2 m dziļi) pamatatsegumi, lai izpētītu visu augsnes profilu. Savukārt viens kontroles atsegums (<70 cm) tika izdarīts uz katriem 25 ha

teritorijas raksturīgākajā vietā, lai noteiktu augsnes segas vienmērīgumu un horizontu dziļumu. Atlikušajās teritorijas daļās tika izmantota zondēšanas metode, kas būtiski samazina datu precizitāti (Boruks u.c., 2002).



5.3.3.attēls. Z/S „Šovītes” 1984. gada granulometriskā sastāva karte (izveidojusi autore, izmantojot VZD augšņu kartēšanas datus)

5.3.4.attēls. Z/S „Šovītes” 2015. gada granulometriskā sastāva karte (izveidojusi autore, izmantojot 2015. g. augšņu kartēšanas datus)

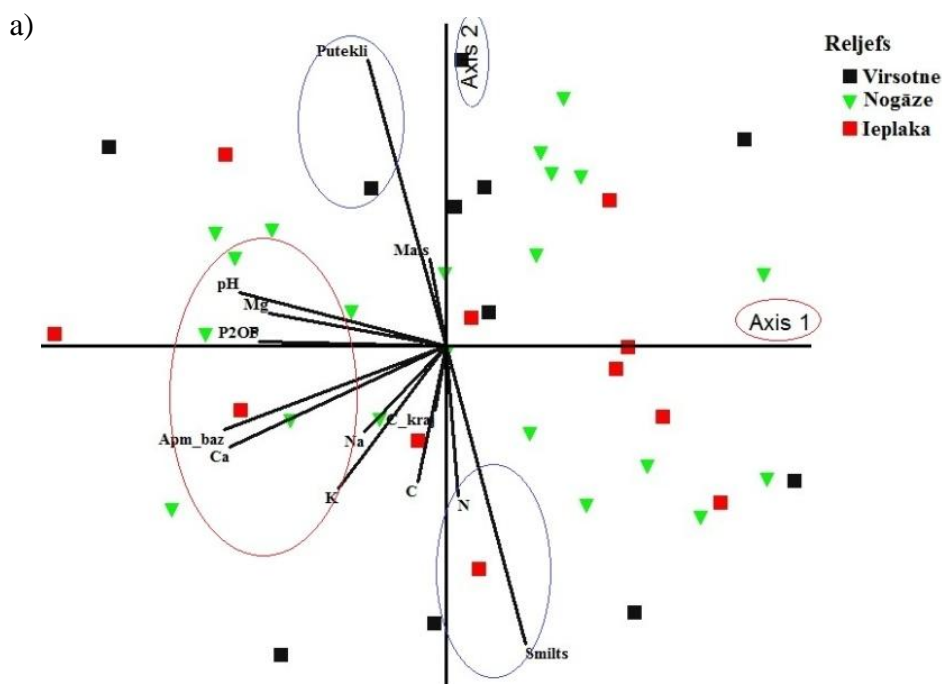
Zemnieku saimniecības etalonteritorijā gan pēc 1984. gada (5.3.3.attēls), gan pēc 2015. gada pētījuma datiem (5.3.4.attēls) augsnē dominē 2 līdz 3 granulometriskā sastāva grupas. Tomēr pēc procentuālās mēra, smilts un putekļu daļiņu attiecības granulometriskā sastāva apakšgrupas neatbilst viena otrai teritoriālajā atveidojumā. Attēlos redzams, ka 1984. gadā etalonteritorijā dominēja mālsmilts augsnes, bet 2015. gadā teritorijā galvenokārt sastopamas putekļaina smilšmāla augsnes. Tā kā visas kartēs redzamās granulometriskā sastāva grupas savstarpēji atšķiras ar procentuālo smilts un putekļu daļiņu apjomu paraugā (Kārklīšs, 2008), tad bez augšņu granulometriskā sastāva noteikšanas laboratorijas apstākļos ir ļoti viegli kļūdīties šo grupu identificēšanu uz lauka. 1984. gada dati par augšņu paraugu granulometriskā sastāvu tika noteikti lauka apstākļos, bet pašreizējā pētījuma laikā

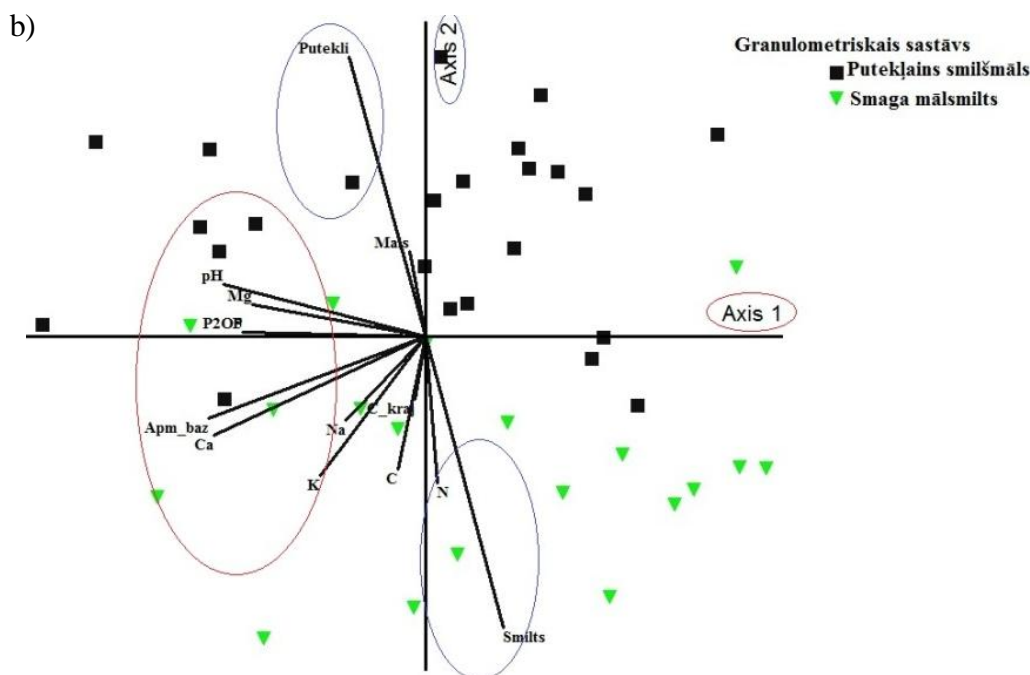
granulometriskais sastāvs tika noteikts laboratorijas apstākļos. Tādēļ par daudz precīzāku etalonteritorijas granulometriksā sastāva karti var uzskatīt 2015. gadā izveidoto.

Kopumā galvenie iemesli augšņu informācijas atšķirībām pētāmajā teritorijā vēsturiskā griezumā saistāmi ne tikai ar zemes lietojuma veida maiņu un apsaimniekošanu, kas spētu ietekmēt augsnes veidošanās procesus (mitruma apstākļu izmaiņas, erozijas samazināšanos, trūdvielu akumulāciju), bet arī ar kartēšanas detalizācijas pakāpes un kartēšanas metodiskajām atšķirībām (Rozenberga u.c., 2016).

5.4. Ilggadīgo zālāju augšņu daudzveidības ietekmējošo faktoru izvērtējums

Galveno komponentu analīzē (PCA) (1. pielikums) tika noskaidrotas augsnes virsējā un apakšējā horizonta teritoriālās izplatības būtiskākās sakarības saistībā augsnes fizikālajām un ķīmiskajām īpašībām, kā arī raksturojošajiem faktoriem- reljefu un granulometrisko sastāvu. Divi no reljefa raksturojošajiem parametriem – glejošanās sastopamība un augsnes virsējā minerālā horizonta biezums būtiskas sakarības ar parauglaukumu izvietojumu koordinātu plaknē neuzrādīja, tādēļ tālākajās analīzēs netika izmantoti.





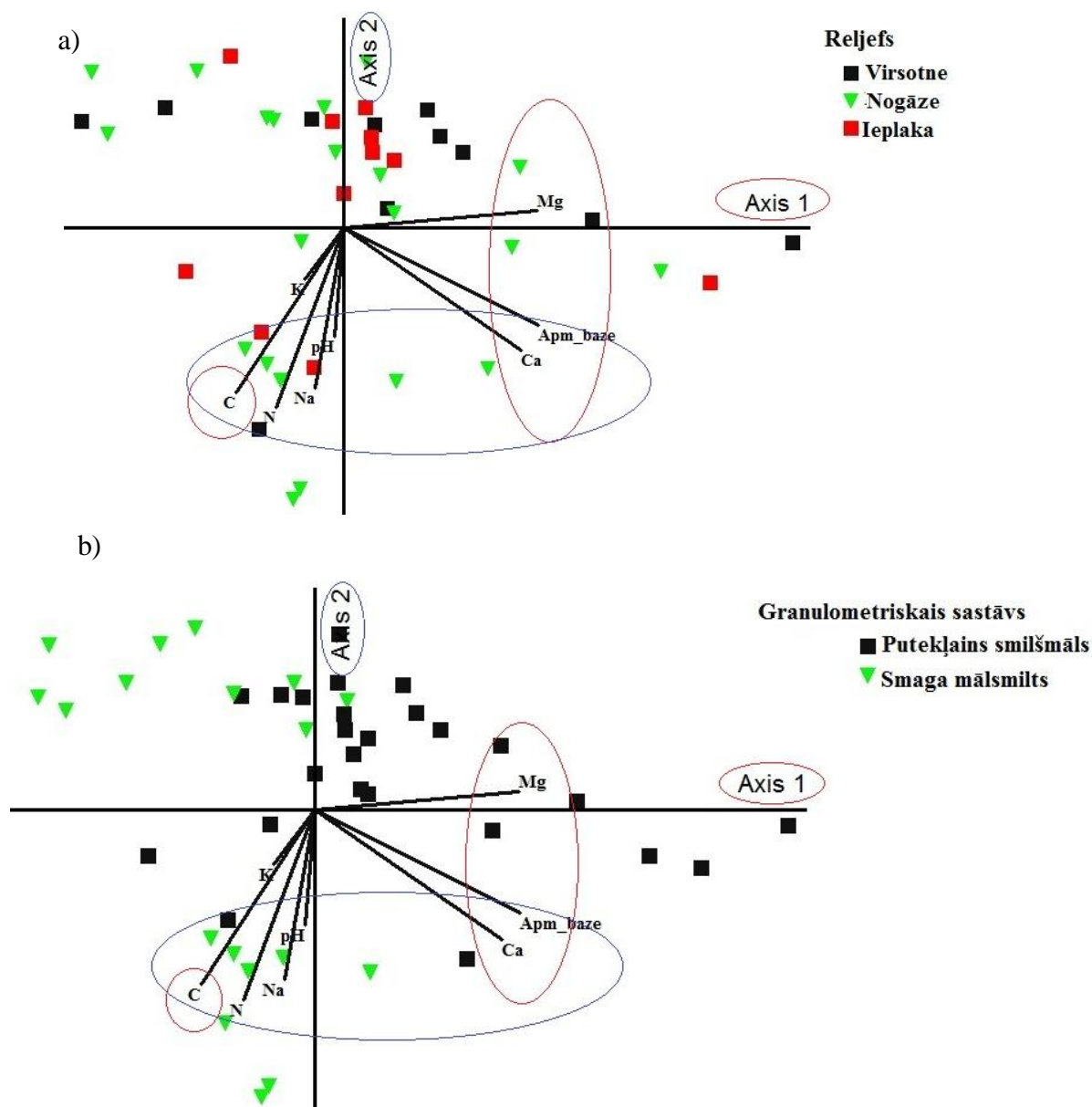
5.3.1. attēls. Augsnes virsējā minerālā horizonta ķīmisko un fizikālo rādītāju izvietojums pa komponentanalīzes nodalītajām asīm atkarībā no a) reljefa; b) granulometriskā sastāva (izstrādājusī autore, izmantojot PCA rezultātus)

Komponentu analīzē tika aplūkotas būtiskākās sakarības starp augsnes virsējā horizonta ķīmiskajām un fizikālajām īpašībām un to ietekmējošajiem faktoriem (1.pielikums un 5.3.1. attēls). Augsnes virsējā horizonta parauglaukumu izvietojums koordinātu plaknē ir statistiski būtisks ar pirmo un otro asi ($p=0,001$), kas izskaidro 48,36 % no kopējās augsnes paraugu dispersijas. Ar pirmo asi, kas raksturo 31,8 % no kopējās dispersijas, tika konstatēta būtiska ($r > 0,5$) pozitīva sakarība starp pH vērtību ($r = -0,84$), apmaiņas Mg^{2+} ($r = -0,72$), apmaiņas Ca^{2+} ($r = -0,87$), kustīgo fosoru ($r = -0,76$), kā arī apmaiņas bāzu summu ($r = -0,90$). Bet ar otro asi, kas raksturo 16,56 % no dispersijas tika konstatēta būtiski negatīva sakarība ar smilts daļiņu saturu ($r = -0,87$), kopējo slāpekļa ($r = -0,44$) un putekļu daļiņu saturu ($r = 0,84$).

Šī analīze pierāda, ka etalonteritorijas vietās, kur smilts daļiņu saturs augsnes virskārtā pārsniedz putekļu daļiņu īpatsvaru, augsnē daudz retāk ir novērojami glejošanās apstākļi. Uz smagāka granulometriskā sastāva augsnēm ūdens lēnāk infiltrējas un ir iespējami stagnēšanās apstākļi atšķirībā no viegla granulometriskā sastāva augsnēm, kur ūdens augsnes profilam viegli izplūst cauri, ko pierādā arī citi pētījumi (Līpenīte un Kārklīņš, 2011).

Augsnes virskārtu raksturo likumsakarība, ka, pieaugot māla daļiņu saturam augsnē, palielinās apmaiņas kalcijs, apmaiņas magnijs un rezultātā arī augsnes pH. To apstiprina arī pētījumi, kur galvenās augsnes īpašības, kas spēj paaugstināt augsnes pH, ir māla apjoms

augsnē un māla minerālu veids tajā (Wanga, 2015). Un tā kā magnija un kalcija joni atrodami uz māla un organiskajām daļiņām, tad veidojas likumsakarība, ka, palielinoties kalcijam un magnijam, pieaug arī augsnes pH (Schulte, 2004).



5.3.2. attēls. Augsnes apakšējā minerālā horizonta ķīmisko un fizikālo rādītāju izvietojums pa komponentanalīzes nodalītajām asīm atkarībā no a) reljefa; b) granulometriskā sastāva (izstrādājusi autore, izmantojot PCA rezultātus)

Šajā galveno komponentu analīzē, tika skatītas būtiskākās sakarības, kas pastāv augsnes apakšējā horizontā saistībā ar augsnes ķīmiskajām īpašībām (2. pielikums un 5.3.2. attēls). Analīzē būtiska ir pirmā un otrā ass ($p=0,001$), kas kopā izskaidro 61,34% no kopējās augsnes paraugu dispersijas, bet atsevišķi attiecīgi 34,22% un 27,12%. Ar pirmo asi pozitīva sakarība ir starp apmaiņas Mg^{2+} ($r=0,90$), apmaiņas Ca^{2+} ($r=0,83$) un apmaiņas bāzu summu ($r=0,91$), bet

negatīva sakarība starp kopējo oglekli ($r = -0,50$) un jau pieminētajiem rādītājiem. Otrā ass būtiski raksturo pozitīvas sakarības, kas pastāv starp pH vērtību ($r = -0,45$), apmaiņas Na^+ ($r = -0,67$), apmaiņas Ca^{2+} ($r = -0,51$), kopējo slāpekli ($r = -0,75$) un kopējo organisko oglekli ($r = -0,69$).

Veicot komponentu analīzi, tika noskaidrots, ka būtiskākās sakarības starp datiem vērojamas tieši augsnes apakšējos horizontos, kas skaidrojamas ar to, ka antropogēnā darbība šos augsnes horizontus neietekmē. Ar analīzi tika pierādīts, ka, granulometriskā sastāva grupai jeb putekļu un māla daļiņu saturam augsnes apakškārtā palielinoties, palielinās arī apmaiņas kalcijs, magnijs un apmaiņas bāzu summa. Smagas mālsmilts augsnēs izteikti palielinās apmaiņas nātrijs, kopējā organiskā oglekļa un kopējā slāpekļa saturs, ko apstiprina pētījumi, kur ir pierādīts, ka sausākās augsnēs oglekļa un slāpekļa attiecība samazinās (Seibert et al., 2007).

SECINĀJUMI

- Pētījuma rezultāti parāda, ka Z/S „Šovītes” ilggadīgajos zālajos lokālā mērogā, kur augsnes cilmiezis veidojies uz morēnas nogulumiem, ir sastopama relatīvi liela augšņu daudzveidība (erodētā velēnu podzolaugsne, velēnu podzolaugsne, velēnu podzolētā virsēji glejotā augsne, velēnpodzolētā pdeidoglejotā augsne, koluviālā velēnu podzolaugsne, koluviālā augsne), ko nosaka dažādas izpausmes augsnes veidošanās procesi, piemēram, organisko vielu akumulācija, podzolēšanās, glejošanās, kā arī augsnes erozija, kuri ir atkarīgi no pētītajiem faktoriem.
- Augšņu ķīmiskās un fizikālās īpašības nosaka augsnes cilmiezis un granulometriskais sastāvs, kā arī reljefs un mitruma apstākļi, turklāt nozīmīga ir arī cilvēka saimnieciskā darbība un arī vēsturiskā zemes izmantošana, jo galveno komponentu analīzes rezultāti apliecina, ka relatīvi būtiskākas sakarības ir augsnes apakškārtas horizontiem (augšnes cilmieža nozīme) nekā augsnes virskārtas horizontiem, kurus ietekmē augsnes apsaimniekošana.
- Par reljefa neviendabību etalonteritorijā liecina fakts, ka koluviālā augsne ir sastopama ne tikai reljefa ieplakās, bet arī nogāzēs, kas skaidrojams ar mikroreljefu raksturojošiem elementiem, piemēram, nelielu virspalu terasi vai ieplaku nogāzē. Padomju laikos aramzemju platībās aršanas un kultivēšanas rezultātā ar organisko materiālu ir aizpildītas nogāzes lejasdaļas un ieplakas, kur tā rezultātā ir izveidojusies koluviālā augsne.
- Uz smagas mālsmits granulometriskā sastāva etalonteritorijā sastopami visi 6 saimniecības zālajos sastopamie augšņu apakštipi, bet uz putekļaina smilšmāla attīstījusies vien puse – 3 no teritorijā sastopamajiem augšņu apakštipiem. Var secināt, ka smilšmāls ir izturīgs pret eroziju, attiecīgi neļaujot to erodēt un daļiņas akumulēt reljefa zemākajās vietās.
- Z/S „Šovītes” ilggadīgajos zālajos augsnes dziļākajos horizontos kustīgā fosfora koncentrācija smagas mālsmits augsnēs ir divas reizes lielāks nekā putekļaina smilšmāla augsnēs, kas skaidrojams ar to, ka vieglāka granulometriskā sastāva augsnēs ķīmiskie elementi ar nokrišņu ūdeņiem ātrāk tiek ieskaloti augsnes dziļākajos horizontos un tur arī akumulējas.
- Tā kā kustīgā fosfora (P_2O_5) koncentrācija augsnē ir atbilstoši dabisko zālāju augšņu īpašībām un tie nepārsniedz 50 mg/kg, tad padomju laika iekultivēšanas pazīmes teritorijā nav vērojamas, un ir konstatētas augšņu dabiskošanās pazīmes.

- Putekļaina smilšmāla augšņu apakšējos horizontos slāpekļa daudzums ir vidēji četras reizes mazāks nekā tas ir smagas mālsmits apakšējos horizontos, jo smilšmāla augsnēs ūdens infiltrācija augsnes profilā smagā granulometriskā sastāva dēļ ir palēnināta, un slāpeklis daudz lēnāk ieskalojas dziļākajos augsnes horizontos.
- Iegūtie pētījuma rezultāti ir nozīmīgi ne tikai saistībā ar zālāju ilgtspējīgu apsaimniekošanu, bet saistībā arī ar augsnes kartēšanas metodisko aspektu pilnveidošanu lokālā mērogā 1:10 000. Detalizācijas pakāpes palielināšana ir rekomendējama, lai iegūtu pēc iespējas reprezentatīvāku augsnes informāciju, pielietojot gan transektu metodi saistībā ar dziļrakumu profilu ierīkošanu, kā arī zondēšanas intensitātes palielināšanu.
- 1984. gadā augšņu kartēšanas laikā etalonteritorijā granulometriskā sastāva grupas lauka darbu apstākļos ir noteiktas neprecīzi, ko apliecina 2016. gadā augšņu laboratorijā veiktās granulometriskā sastāva analīzes.
- Augsnes informāciju par pētāmo teritoriju ietekmē ne vien augsnes veidošanās procesu izmaiņas, bet arī augsnes klasifikācijas attīstība un augsnes kartēšanas metodiskās atšķirības.

PATEICĪBA

Darba autore izsaka lielu pateicību savam bakalaura darba vadītājam *Dr. geogr.* Docentam un vadošajam pētniekam Raimondam Kasparinskim par veltīto laiku un konsultācijām bakalaura darba izstrādē. Autore pateicas arī ģeogrāfijas un vides zinātnes programmu pirmā kursa studentiem, kas 2014. Un 2015. gada jūnijā piedalījās lauka kursa „Augsnes zinātne” praksē un augšņu profilu aprakstīšanā. Pateicība arī LU Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultātes prof. *Dr. geogr.* Oļģertam Nikodemus, doktorantei Danai Prižovoitei un vides zinātņu maģistram Ingum Liepiņam, kā arī laborantam Konstantīnam Viliguram un 2. Kursa ģeogrāfijas bakalaura studentēm Malvīnei Sostei un Maijai Pavlovskai.

Liels paldies LIFE Viva Grass starptautiskajam projektam „Integrēta plānošanas pieeja zālāju dzīvotspējai” (Nr. LIFE13ENV/LT/000189) par finansiālo atbalstu pētījuma veikšanai. Tāpat arī paldies projektam „Ilgspējīgas zemes resursu pārvaldības veicināšana, izveidojot digitālu augšņu datubāzi” par iegūtajiem kartogrāfiskajiem materiāliem.

IZMANTOTIE LITERATŪRAS AVOTI

- Adamovich, A., Kreismane, Dz. 2000. *Phytometric indices of yield formation in legume-grass sward*. In: Conventional and ecological grassland management, Proceeding of the international Symposium, Tartu, p. 153-156.
- Adamovičs, A., Barnars, 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.
- Alfred, R., Conklin J. 2004. Soil formation. *Remediation Weekly*. 1, 1-9.
- Almagro, M., Maestre, F. T., Martinez-Lopez, J., Valencia, E., Rey, A. 2015. Climate change may reduce litter decomposition while enhancing the contribution of photodegradation in dry perennial Mediterranean grasslands. *Soil Biology & Biochemistry*. 90, 214-223.
- Alvarez, R. 2005. A review of nitrogen fertilizer and conservation tillage effects on soil organic carbon storage. *Soil Use and Management*. 21, 38-52.
- Ardjasa, W. S., Abe, T., Ando, H., Kakuda, K., Kimura, M. 2002 Fate of basal N and growth of crops cultivated under cassava-based intercropping system with reference to K application rate, *Soil Science and Plant Nutrition*. 48, 365-370.
- Ausden, M., 2007. *Habitat Management for Conservation. Handbook of Techniques*. Oxford University Press, New York.
- Aweto, A.O., Enaruvbe, G.O., 2010. Catenary variation of soil properties under oil palm plantation in South Western Nigeria. *Ethiop. J. Environ. Stud. Manag.* 3 (1), 1-7.
- Āboltiņš, O. 1998. Vidzemes augstiene. Latvijas daba, 6. sējums. Rīga, Preses nams, 73-76.
- Bakker J.P., 2005. Vegetation conservation, management and restoration. Blackwell Publishing. *Vegetation Ecolog.* UK, 309-331.
- Benayas, J.M., Nchez-Colomer, G., Escudero, A. 2004. Landscape and fieldscale control of spatial variation of soil properties in Mediterranean montane meadows. Spain. *Biochemistry*. 69, 207-225.
- Bobbink, R., Ashmore, M., Braun, S., Fluckiger, W., van den Wyngaert, I.J.J. 2003. Empirical nitrogen critical loads for natural and semi-natural ecosystems: 2002 update. In: Empirical critical loads for nitrogen. Environmental Documentation No 164. Acherman, B., Bobbink, R. (eds.). *Swiss Agency for the Environment, Forests and the Landscape*. Berne, 43-170.
- Bobbink, R., Ashmore, M., Braun, S., Fluckiger, W., van den Wyngaert, I.J.J. 2003. Empirical nitrogen critical for natural and semi-natural ecosystems: 2002 update. Environmental Documentation No 164. Acherman, B., Bobbink, R. (eds.) *Swiss Agency for Environment, Forests and the Landscape*. Berne, 43-170.
- Boruks, A., Kārklīņš, A., Nikodemus, O. 2002. *Augsnes izpētes un zemes novērtējuma metodikas pilnveidošanas problēmas*. Skrīveri, Latvijas karte.
- Bradl, H. B. 2004. Adsorption of heavy metal ions on soils and soils constituents. *Journal of Colloid and Interface Science*. 277, 1-18.
- Bronick, C.J., Lal, R., 2005. Soil structure and management: a review. *Geoderma* 124, 3-22.
- Bunemann, E. K., Oberson, A., Frossard, E. 2011. *Phosphorus in Action. Biological Processes in Soil Phosphorus Cycling*. Berlin. Springer.
- Conant, R.T., Paustian, K., Elliot, E.T. 2001. Grassland management and conversion into grassland effects on soil carbon. *Ecological Applications*, 11(2), 343-355
- Dawson, C. 2014. *Potassium a Nutrient Essential for Life*. 2. Horgen. International Potash Institute. 12-15.
- Edmeades, D.C., Ridley, A. M. (2003) *Using lime to ameliorate topsoil and subsoil acidity*. *Handbook of Soil Acidity*, Marcel Dekker Inc., New York. 297-336.
- Edmond, D.B., 1964. Some effects of sheep treading on the growth of 10 pasture species. *N. Z. J. Agr. Res.* 7, 1-16.
- Fornara, D. A., Steinbeiss, S., McNamara N. P., Gleixner, G., Oakley, S., Poulton, P. R., McDonald, A. J., Bargett, R. D. 2011. Increases in soil organic carbon sequestration can reduce the global warming potential of long-term liming to permanent grassland *Global Change Biology* 17, 1925-1934.
- Geissen, V., Wang, S., Oostindie, K., Huerta, E., Zwart, K., B., Smit, A., Ritsema, C. J., Moore, D. 2013. Effects of topsoil removal as a nature management technique on soil functions. *Catena*. 101, 50-55.

- Geissen, V., Wang, S., Oostindie, K., Huerta, E., Zwart, K., B., Smit, A., Ritsema, C., J., Moore, D. 2013. Effects of topsoil removal as a nature management technique on soil functions. *Catena*. 101, 50–55.
- Gray J.M., Humphreys G.S., Deckers J.A., 2009. Relationships in soil distribution as revealed by a global soil database. *Geoderma*, 150 (3/4), 309-323.
- Guo, L.B., Gifford, R.M., 2002. Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. *Global Change Biology*. 8, 345–360.
- Gusewell S., Pohl M., Gander A. and Strehler C. 2007. Temporal changes in grazing intensity and herbage quality within a Swiss fen meadow. *Botanica Helvetica*. 117, 57–73.
- Holmstrup, M., Lamande, M., Torp, S., Greve, M., Labouriau, R., Heckrath G. 2011. Associations between soil texture, soil water characteristics and earthworm populations in grassland. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B Soil and Plant Science*. 61, 583-592.
- Houben, P. 2012. Sediment budget for five millennia of tillage in the Rockenberg catchment (Wetterau loess basin, Germany). *Quat. Sci. Rev.* 52, 12–23.
- Ilmarinen, K., Mikola, J. 2009. Soil feedback does not explain mowing effects on vegetation structure in a semi-natural grassland. *Acta Oecologica* 35, 838–848.
- Kabucis, I., Rūsiņa, S., Veen, P. 2003. *Grasslands of Latvia. Status and conservation of semi-natural grasslands. European Grasslands. Report Nr.6*. Royal Dutch Society for Nature Conservation, Latvian Fund for Nature, 46.
- Kasper, M., Buchan, G.D., Mentler, A., Blum, W.E.H., 2009. Influence of soil tillage systems on aggregate stability and the distribution of C and N in different aggregate fractions. *Soil Tillage Res.* 105, 192-199.
- Kārklīš A. 2008. *Augsnes diagnostika un apraksts*. Jelgava, Latvijas Lauksaimniecības universitāte.
- Kārklīš A., Gemste I., Mežals H., Nikodemus O., Skujāns R., 2009. *Latvijas augšņu noteicējs*. Jelgava, Latvijas Lauksaimniecības universitāte.
- Kiehl, K., Thormann, A., Pfadenhauer, J. 2006. Evaluation of initial restoration measures during the restoration of calcareous grasslands on former arable fields. *Restoration Ecology*. 14 (1), 148–156.
- Kļaviņš, M., Zaļoksnis, J. (red.) 2010. *Vide un ilgtspējīga attīstība*. Rīga, Māra Kļaviņa un Jāņa Zaļokšņa redakcija.
- Kravchenko, A.N., Bullock, D.G., 2000. Correlation of corn and soybean grain yield with topography and soil properties. *Agron.* 92, 75–83.
- Lal, R. 1998. Soil erosion impact on agronomic productivity and environmental quality. *Critical Reviews in Plant Science*. 17 (4), 319-464.
- Lal, R. 2005. Soil erosion and carbon dynamics. *Soil & Tillage Research*. 81, 137-142
- Līpenīte, I., Kārklīš, A. 2011. Augsnes kvalitāte zemes izmantošanas maiņas kontekstā II. Augsnes fizikālās un agroķīmiskās īpašības. *LLU Raksti*. 26 (321), 18-32.
- Lopez, I.F., Lambert, M.G., Mackay, A.D., Valentine, I., 2003. The influence of topography and pasture management on soil characteristics and herbage accumulation in a hill pasture in the North Island of New Zealand. *Plant Soil*. 255, 421–434.
- Ludvíková, V., Pavlu, V. V., Gaisler, J., Hejzman, M., Pavlu, L. 2014. Long term defoliation by cattle grazing with and without trampling differently affects soil penetration resistance and plant species composition in *Agrostis capillaris* grassland. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 197, 204–211.
- Melluma, A., Leinerte, M. 1992. *Ainava un cilvēks*. Rīga, Avots, 175.
- Millaleo, R., Reyes-Diaz, M., Ivanov, A.G., Mora, M.L., Alberdi, M. 2010. Manganese as essential and toxic element from plants: transport, accumulation and resistance mechanisms. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 10 (4), 470 – 481.
- Nikodemus, O., Kārklīš, A., Kļaviņš, M., Melecis, V. 2008. *Augsnes ilgtspējīga izmantošana un aizsardzība*. Rīga, LU Akadēmiskais apgāds.
- Ontl, T. A., Schulte, L. A. 2012. Soil Carbon Storage. *Nature Education Knowledge*. 3, 10–35.
- Polyakov, V., Lal, R. 2004. Modeling soil organic matter dynamics as affected by soil water erosion. *Environment International*. 30, 547–556.
- Pykala, J. 2005. Plant species responses to cattle grazing in mesic semi-natural grassland. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 108, 109–117.
- Ramans, K. 1994. Ainavrajonēšana. Grām: *Enciklopēdija „Latvijas Daba”* 1. Sējums Rīga, Latvijas Enciklopēdija, 22- 24.
- Rozenberga, A. M., Kasparinskis, R., Nikodemus, O. 2016. Augšņu informācijas verifikācija Vidzemes augstienē, Z/S „Šovītes”. *Latvijas Universitātes 74. Zinātniskā konference. Ģeogrāfija, Ģeoloģija, Vides zinātne. Referātu tēzes*. Rīga. Latvijas Universitāte. 521. – 523.

- Rumpel, C., Creme, A., Ngo, P. T., Vel'asquez, G., Mora, M. L. 2015. The impact of grassland management on biogeochemical cycles involving carbon, nitrogen and phosphorus. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 15 (2), 353-371.
- Ruskule, A. 2013. *Lauksaimniecības zemju aizaugšanas ainavu ekoloģiskie un sociālie aspekti: promocijas darba kopsavilkums*. Rīga, Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte, Latvijas Universitāte.
- Rūsiņa, S. 2007. *Latvijas mezofīto un kserofīto zālāju daudzveidība un kontaktsabiedrības*. Latvijas Veģetācija 12, 33–66.
- 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. 2008. Dabisko zālāju apsaimniekošana augāja daudzveidībai. Grām.: Auniņš, A. (red.) *Aktuālā savvaļas sugu un biotopu apsaimniekošanas problemātika Latvijā*. Rīga, Latvijas Universitāte, 29-43.
- Seibert, J., Stendahl, J., Sorensen, R. 2007. Topographical influences on soil properties in boreal forests. Sweden. *Geoderma*. 141, 139–148.
- Seibert, J., Stendahl, J., Sorensen, R. 2007. Topographical influences on soil properties in boreal forests. *Geoderma*. 141, 139-148.
- Shi, W., Tateno, R., Zhang, J., Wang, Y., Yamanaka, N., Du, S. 2011. Response of soil respiration to precipitation during the dry season in two typical forest stands in the forest–grassland transition zone of the Loess Plateau. *Agricultural and Forest Meteorology*. 151, 854-863.
- Skromanis, A., Reinfelde, L., Timbare, R. 1994. *Latvijas augšņu agroķīmiskās īpašības (1959.-1990.gads)*. Ražība, 9.laid., 104.lpp.
- Skujāns, R., Mežals, G. 1964. *Augšņu pētīšana*. Rīga, Latvijas Valsts izdevniecība.
- Sojneková, M., Chytrý, M. 2015. From arable land to species-rich semi-natural grasslands: Succession in abandoned fields in a dry region of central Europe. *Ecological Engineering*. 77, 373–381.
- Soms, J., Kasparinskis, R., Ruskule, A. 2015. [Buklets] *Augsnes ūdens erozija un tās novērtēšana*.
- Stirzaker, J.R., Passioura, J.B., Wilms, Y. 1996. Soil structure and plant growth: Impact of bulk density and biopores. *Plant and Soil*. 185, 151-162.
- Stoate, C., Báldi, A., Beja, P., Boatman, N.D., Herzon, I., van Doorn, A., de Snoo, G.R., Rakosy, L., Ramwell, C. 2009. Ecological impacts of early 21st century agricultural change in Europe – A review. *Journal of Environment Management*. 91, 22-46.
- Strods, H. 1992. *Latvijas lauksaimniecības vēsture*. Rīga, Zvaigzne, 287.
- 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.
- Tērauds, V. 1972. *Pļavas un ganības*. Zvaigzne, Rīga.
- Tóth, G., Gardi, C., Bódis, K., Ivits, E., Aksoy, E., Jones, A., Jeffrey, S., Petursdottir, T., Montanarella, L. 2013. Continental-scale assessment of provisioning soil functions in Europe. *Ecological Processes*. 2-32.
- Turner, R.C. and Clark J.S., 1966, Lime potential in acid clay and soil suspensions. Trans. Comm. II & IV Int. Soc. *Soil Science*. 208–215
- Twongyirwe, R., Sheil, D., Majaliwa, J.G.M., Ebanyat, P., Tenywa, M.M., van Heist, M., Kumar, L. 2012. Variability of Soil Organic Carbon stocks under different land uses: A study in an afro-montane landscape in southwestern Uganda. *Geoderma*. 193, 282–289.
- 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.
- Wanga, X., Tanga, C., Mahonya, S., Baldock J. A., Butterly C. R. 2015. Factors affecting the measurement of soil pH buffer capacity: approaches to optimize the methods. *European Journal of Soil Science*, 66, 53–64.
- Willems, J.H. (2001) Problems, approaches, and results in restoration of Dutch calcareous grassland during the last 30 years. *Restoration Ecology*. 9 (2), 147-154.
- 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.
- Yang, L., Wei, W., Chen, L., Mo, B. 2012. Response of deep soil moisture to land use and afforestation in the semi-arid Loess Plateau, China. *Journal of Hydrology*. 475, 111-122.

Interneta resursi

- Adamovich, A. 2005. Soils and topography. Latvia University of Agriculture. Sk. 02.05.16. Pieejams <http://www.fao.org/ag/agp/agpc/doc/counprof/latvia/Latvia.htm#soils>
- Brian, A. & Schumacher, Ph. D. 2002. Methods for the Determination of Total Organic Carbon (TOC) in Soils and Sediments. Ecological Risk Assessment Support Center. Sk. 10.03.2015. Pieejams <http://epa.gov/esd/cmb/research/papers/bs116.pdf>
- Dambekalns, V. 2016. *Intervija*. Dzērbene. 5. Maijā
- Eurostat Statistics explained. 2013. *Example of soil water erosion on arable land*. Sk.19.05.16. Pieejams http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/File:Example_of_soil_water_erosion_on_arable_land_.png Atsauce tekstā (Eurostat Statistics..., 2013)
- Kelling, K.A., Schulte, E.E. 2004. *Soil and Applied Calcium*. Sk. 20.01.2016. Pieejams <http://www.soils.wisc.edu/extension/pubs/A2523.pdf>
- Krstic, D., Djalovic, I., Nikezic, D., Bjelic, D. 2012. Aluminium in Acid Soils: Chemistry, Toxicity and Impact on Maize Plants, *Food Production - Approaches, Challenges and Tasks*, Sk. 20.01.2016. Pieejams <http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/26525.pdf>
- Latvijas daba [Bez dat.] Latvijas fiziskā ģeogrāfija. Nokrišņu un sniega sega. Sk. 05.01.2016. Pieejams <http://latvijas.daba.lv/ainava/#v17>
- LVGMC [Bez dat.] Latvijas klimats. Sk. 05.01.2016. Pieejams <https://www.meteo.lv/lapas/vide/klimata-parmainas/latvijas-klimats/latvijas-klimats?id=1199&nid=562>
- Nollendorfs, V. 2004. Augsnes jākaļķo regulāri. Vides vēstis. Sk. 20.01.2016. Pieejams <http://www.videsvestis.lv/content.asp?ID=68&what=38>
- Pain, B. [S.a.]. Phosphate and potash, Managing Livestock Manures booklet 2. Sk. 20.01.2016. Pieejams <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:-iZu65rLZrAJ:www.britishgrassland.com/system/files/P%2520%252526%2520K%2520factsheet.pdf+&cd=2&hl=en&ct=clnk&gl=lv>
- Rūsiņa, S., Auniņš, A., Dolmanis, G., Gustiņa, L., Kļaviņa, Ē., Lārmanis., V, Priede, A., Spuņģis, V. 2016. Dabisko ūrvu un ganību apsaimniekošana un atjaunošana. Vadlīnijas Eiropa Savienības nozīmes aizsargājamo zālāju biotopu kopšanai un atjaunošanai. Sk. 05.05.16. Pieejams http://nat-programme.daba.gov.lv/upload/File/Zalaji_vadlinijas_1_10_nod_11012016.pdf
- Schulte, E., E. 2004. *Soil and Applied Iron*. Sk. 02.01.2016. Pieejams <http://www.soils.wisc.edu/extension/pubs/A3554.pdf>
- Schulte, E., E. 2004. *Soil and Applied Magnesium*. Sk. 02.01.2016. Pieejams <http://www.soils.wisc.edu/extension/pubs/A2524.pdf>
- Smart Fertilizer Management. [S.a.]. Nitrogen management. Sk. 20.01.2016. Pieejams <http://www.smart-fertilizer.com/articles/nitrogen>
- Smart Fertilizer Management. [S.a.]. Phosphorus in Soil and Plants. Sk. 25.04.2016. Pieejams <http://www.smart-fertilizer.com/articles/phosphorus>
- Smart Fertilizer Management. [S.a.]. Potassium in Soil. Sk. 20.01.2016. Pieejams <http://www.smart-fertilizer.com/articles/potassium-in-soil>
- Soil formation [S.a.]. School energy&environment. Skat. 20.05.16. Pieejams <http://www.eniscuola.net/en/argomento/soil/soil-formation/how-long-does-it-take-to-form/>
- Soil quality for environmental health, 2011. *Total Organic Carbon*. Sk. 25.04.16 Pieejams http://soilquality.org/indicators/total_organic_carbon.html Atsauce tekstā (Soil quality..., 2011)
- Spectrum Analytic Inc. [S.a.]. Calcium in the Soil. Sk. 20.01.2016. Pieejams http://www.spectrumanalytic.com/support/library/ff/Ca_Basics.htm
- Spectrum Analytic Inc. [S.a.]. Iron (Fe⁺⁺). Sk. 20.01.2016. Pieejams http://www.spectrumanalytic.com/support/library/ff/Fe_Basics.htm
- Spectrum Analytic Inc. [S.a.]. Magnesium in the Soil. Sk. 20.01.2016. Pieejams http://www.spectrumanalytic.com/support/library/ff/Mg_Basics.htm
- Spectrum Analytic Inc. [S.a.]. Manganese (Mn⁺⁺) Sk. 20.01.2016. Pieejams http://www.spectrumanalytic.com/doc/library/articles/mn_basics
- Spectrum Analytic Inc. [S.a.]. Nitrogen in the Soil. Sk. 20.01.2016. Pieejams http://www.spectrumanalytic.com/doc/library/articles/n_basics#nitrogen_in_the_soil
- Spectrum Analytic Inc. [S.a.]. Phosphorus (P). Sk. 25.04.2016. Pieejams http://www.spectrumanalytic.com/doc/library/articles/p_basics

Nepublicētie materiāli

Kasparinskis, R. 2012. *Latvijas meža augšņu daudzveidība un to ietekmējošie faktori: promocijas darbs*. Rīga, LU Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte, Latvijas Universitāte.

Prižavoite, D., 2014. *Telpiskās un ekoloģiskās likumsakarības lauksaimniecības zemju aizaugšanai ar baltalksni un parasto egli morēnas paugurainē Vidzemē: maģistra darbs*. Rīga, LU Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte, Latvijas Universitāte.

Kartogrāfiskie materiāli

Cēsu rajona padomju saimniecības „Dzērbene” augsnes karte 1984. 1:10 000. Rīga, Latvijas Valsts zemes ierīcības projektēšanas institūts. Atsauce tekstā (Cēsu rajona..., 1984)

GIS Latvija 10.2. Envirotech 2013. Sk. 7.01.2016. Pieejams <http://www.envirotech.lv/lv/aktualitates/gis-latvija-10-2/>

TOPO 10K PSRS. Bijušās PSRS armijas ģenerālštāba 42. gada sistēmas topogrāfisko karšu mozaīka mērogā 1:50 00. LU ĢZZF WMS. Sk. 12.01.16. Pieejams <http://kartes.geo.lu.lv> Atsauce tekstā (TOPO 10K PSRS)

PIELIKUMS

Galveno komponentu analīzes rezultāti: augsnes virsējais horizonts- ķīmiskās īpašības

(izstrādājusi autore)

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

PC-ORD, 5.10

18 May 2016, 15:37

Randomization test requested. 999 runs.
2527 = Seed for random number generator.

Cross-products matrix contains CORRELATION COEFFICIENTS among Faktori

CROSS-PRODUCTS MATRIX

```

-----
pH      0.1000D+01
Na      0.3398D+00 0.1000D+01
Mg      0.6918D+00 0.1216D+00 0.1000D+01
K       0.1666D+00 0.4297D+00 0.7965D-01 0.1000D+01
Ca      0.6769D+00 0.3107D+00 0.6456D+00 0.4349D+00 0.1000D+01
N      -0.3353D-01 -0.7123D-02 0.3342D-02 -0.6950D-01 0.4303D-01 0.1000D+01
C      -0.1205D+00 -0.1424D+00 0.1923D-01 0.4933D-01 0.1872D+00 0.2671D+00
0.1000D+01
P       0.5105D+00 0.6667D-01 0.2749D+00 0.3455D+00 0.5059D+00 -0.3705D-01
0.1602D+00 0.1000D+01
P2O5   0.5105D+00 0.6667D-01 0.2749D+00 0.3455D+00 0.5059D+00 -0.3705D-01
0.1602D+00 0.1000D+01 0.1000D+01
C_kraj -0.6680D-01 -0.1159D+00 -0.6751D-01 -0.1197D+00 0.9931D-01 0.1588D+00
0.7175D+00 0.5568D-01 0.5568D-01 0.1000D+01
Mals   0.1111D+00 0.1292D-01 0.9718D-01 0.2670D+00 -0.7216D-01 -0.1949D+00
-0.2647D+00 0.1371D-01 0.1371D-01 -0.3311D+00 0.1000D+01
Smilts -0.3343D+00 0.7646D-01 -0.2544D+00 0.1813D+00 -0.3022D-01 0.2483D+00
0.8825D-01 -0.2252D+00 -0.2252D+00 -0.7129D-01 -0.1712D+00 0.1000D+01
Putekli 0.3191D+00 -0.7995D-01 0.2405D+00 -0.2327D+00 0.4384D-01 -0.2165D+00
-0.4130D-01 0.2260D+00 0.2260D+00 0.1327D+00 -0.8664D-02 -0.9837D+00
0.1000D+01
Apm_baz 0.7190D+00 0.3122D+00 0.7518D+00 0.4221D+00 0.9881D+00 0.3374D-01
0.1600D+00 0.4928D+00 0.4928D+00 0.6248D-01 -0.2918D-01 -0.7076D-01
0.7714D-01 0.1000D+01
-----

```

VARIANCE EXTRACTED, FIRST 10 AXES

```

-----
Broken-stick
AXIS  Eigenvalue  % of Variance  Cum.% of Var.  Eigenvalue
-----
1     4.451      31.795      31.795      3.252
2     2.319      16.561      48.356      2.252
3     2.150      15.357      63.713      1.752
4     1.354       9.673      73.386      1.418
5     0.983       7.022      80.408      1.168
6     0.890       6.355      86.763      0.968
7     0.787       5.618      92.381      0.802
-----

```

8	0.440	3.141	95.522	0.659
9	0.279	1.990	97.512	0.534
10	0.191	1.366	98.879	0.423

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
pH	-0.3969	0.1022	-0.0848	0.2146	-0.0878	-0.0806
Na	-0.1569	-0.1650	-0.2725	0.1342	0.5639	-0.4621
Mg	-0.3396	0.0619	-0.0362	0.4278	-0.1744	0.2740
K	-0.2073	-0.2740	-0.2652	-0.3326	0.3777	0.1299
Ca	-0.4142	-0.1947	0.0022	0.1788	0.0247	0.0623
N	0.0234	-0.2875	0.1977	0.2020	-0.3672	-0.0815
C	-0.0542	-0.2597	0.5163	-0.0874	0.2120	0.3094
P	-0.3577	0.0078	0.0995	-0.4837	-0.2392	-0.1618
P2O5	-0.3577	0.0078	0.0995	-0.4837	-0.2392	-0.1618
C_kraj	-0.0204	-0.1222	0.5608	0.0044	0.3642	0.1439
Mals	-0.0320	0.1662	-0.3658	-0.2001	0.0634	0.6950
Smilts	0.1531	-0.5706	-0.1532	-0.0096	-0.1911	-0.0102
Putekli	-0.1495	0.5488	0.2222	0.0463	0.1824	-0.1164
Apm_baz	-0.4258	-0.1614	-0.0192	0.2274	0.0049	0.1091

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
pH	-0.8374	0.1555	-0.1243	0.2497	-0.0870	-0.0760
Na	-0.3310	-0.2512	-0.3995	0.1561	0.5591	-0.4359
Mg	-0.7165	0.0943	-0.0531	0.4978	-0.1730	0.2585
K	-0.4374	-0.4172	-0.3889	-0.3870	0.3745	0.1225
Ca	-0.8739	-0.2964	0.0032	0.2081	0.0245	0.0588
N	0.0495	-0.4378	0.2898	0.2350	-0.3641	-0.0769
C	-0.1144	-0.3954	0.7570	-0.1017	0.2102	0.2919
P	-0.7547	0.0119	0.1458	-0.5629	-0.2371	-0.1526
P2O5	-0.7547	0.0119	0.1458	-0.5629	-0.2371	-0.1526
C_kraj	-0.0431	-0.1861	0.8223	0.0051	0.3611	0.1358
Mals	-0.0674	0.2531	-0.5364	-0.2329	0.0629	0.6556
Smilts	0.3230	-0.8688	-0.2246	-0.0112	-0.1894	-0.0096
Putekli	-0.3155	0.8356	0.3258	0.0538	0.1808	-0.1098
Apm_baz	-0.8984	-0.2458	-0.0281	0.2647	0.0049	0.1029

COORDINATES (SCORES) OF Paraugi

Paraugi	Axis (Component)					
	1	2	3	4	5	6
1 1_	0.2500	0.2837	3.5921	0.7305	0.7842	0.2528
2 2_	0.9389	1.9101	0.4987	0.0373	-0.3053	0.4460
3 3_	0.0894	1.3885	1.5669	-0.3047	0.2379	0.1196
4 4_	-0.7485	1.5661	0.7458	-0.4889	-0.5672	0.3095
5 5_	-3.8898	0.1164	2.7214	-3.3165	-1.9449	-1.2337
6 6_	1.0522	1.7056	-0.8973	0.3488	-0.2962	0.2251
7 7_	-0.1189	-2.7621	-0.1984	1.8391	-2.6393	-0.1350
8 8_	1.1656	2.4565	0.6271	0.3691	0.4409	0.7699
9 9_	-2.1936	1.8990	-0.0974	1.9712	0.2007	0.5807
10 10_	1.6259	1.4481	0.3248	0.6637	-1.3989	-1.4536
11 11_	-4.8687	-0.7141	2.0314	-0.9085	0.1683	0.7959
12 12_	-2.1006	0.8645	-0.8860	-0.0863	-0.2052	-0.0440
13 13_	1.3366	1.6724	-1.9216	-0.8844	-0.2148	1.2519
14 14_	1.8087	-0.0131	2.2582	-1.0999	1.4928	-0.4564
15 15_	3.1583	0.7042	-0.7098	-1.7339	-0.6594	-1.1277
16 16_	2.9672	2.0531	-2.2135	-1.6510	-0.0423	-0.2975
17 17_	2.1516	-0.7046	3.6200	-0.7835	0.4933	0.0830
18 18_	1.6876	-0.2265	1.6980	0.0167	-0.0079	-0.4135
19 19_	-0.0111	0.7152	1.3187	-0.0854	0.6427	1.4219
20 20_	0.8960	0.8961	0.4402	-0.2605	-0.6658	-0.3824
21 21_	-2.3918	0.1062	-1.4013	1.2806	-1.2205	0.1498
22 22_	-1.7285	1.1496	-1.1764	0.2990	-0.6614	1.5570
23 23_	-0.6640	-0.7388	-0.6513	1.2079	-1.8173	-1.4894
24 24_	-3.3511	1.9850	0.2663	0.9371	-0.3328	-1.4392
25 25_	0.1489	2.8485	-0.9241	-1.4603	0.2173	0.3058
26 26_	0.3798	1.5821	0.0515	0.7809	1.1115	0.0934
27 27_	-2.2977	1.1186	0.3362	2.0400	0.2876	0.1777
28 28_	0.0073	-0.0703	-1.6890	1.4130	-0.5158	0.1161
29 29_	-0.2857	-0.9412	1.6171	1.1167	-0.0433	-0.0495
30 30_	0.4190	0.3404	-1.3460	-0.4540	-0.0681	-0.6114
31 31_	2.0052	-1.2009	-1.0926	0.2917	0.3224	-0.8226
32 32_	2.5329	-1.7101	-0.4409	0.3585	0.6364	0.0341
33 33_	0.8355	-0.8744	0.2663	1.0095	0.6683	-1.2745
34 34_	0.3227	-2.2130	0.8657	1.3602	0.3586	-0.1864
35 35_	2.7275	-1.5587	-0.3515	-1.4332	0.0593	1.9476
36 36_	1.8749	-2.6468	-0.2842	-0.3928	0.7821	-0.7209
37 37_	-0.9459	0.3386	-1.6561	0.7297	1.0295	-0.1712
38 38_	-4.8496	-2.4212	-0.8277	-1.9334	0.0437	-0.1461
39 39_	1.3913	-1.5929	-2.1624	0.2639	0.7654	-1.0635
40 40_	-1.5513	-0.7465	-3.2565	-1.9791	0.8688	0.4530
41 41_	-2.7247	-1.6386	-0.9297	-1.3359	1.4680	-1.8462
42 42_	-2.0493	-0.6340	-0.3152	1.3896	3.2445	0.0710
43 43_	-1.6482	-3.0700	-0.3879	-0.2256	-0.8996	3.0674
44 44_	3.1889	-1.3334	0.4564	0.0067	-0.8149	0.8416
45 45_	3.4573	-1.3375	0.5142	0.3564	-1.0032	0.2939

5.19 = inflation factor for biplot scores

RANDOMIZATION RESULTS

999 = number of randomizations

Axis	Eigenvalue	Eigenvalues from randomizations			p *
	from real data	Minimum	Average	Maximum	
1	4.4512	1.7148	2.0838	2.8374	0.001000
2	2.3186	1.4696	1.7874	2.2579	0.001000
3	2.1500	1.3212	1.5760	1.9391	0.001000
4	1.3542	1.1408	1.3950	1.6850	0.700000
5	0.98305	1.0433	1.2392	1.4536	1.000000
6	0.88972	0.91043	1.1001	1.2936	1.000000
7	0.78656	0.78943	0.97307	1.1399	1.000000
8	0.43974	0.66042	0.85570	1.0153	1.000000
9	0.27860	0.58407	0.74418	0.95595	1.000000
10	0.19131	0.46109	0.64174	0.82742	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)
3	Rnd-Lambda	Observed eigenvalue as compared to randomizations
10	Rnd-F	Observed pseudo-F-ratio as compared to randomizations
3	Avg-Rnd	Observed eigenvalue as compared to average eigenvalue from randomizations
3	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 apakšējais horizonts- ķīmiskās īpašības
(izstrādājusi autore)

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

PC-ORD, 5.10
18 May 2016, 15:46

Randomization test requested. 999 runs.
1153 = Seed for random number generator.

Cross-products matrix contains CORRELATION COEFFICIENTS among Faktori

CROSS-PRODUCTS MATRIX

```

-----
pH      0.1000D+01
Na     -0.5478D-01  0.1000D+01
Mg     -0.2198D+00 -0.1335D+00  0.1000D+01
K      -0.3229D+00  0.4410D+00  0.7913D-02  0.1000D+01
Ca     0.2503D+00  0.1826D+00  0.6250D+00 -0.1302D+00  0.1000D+01
N      0.2065D+00  0.4045D+00 -0.3073D+00  0.1794D+00  0.1148D+00  0.1000D+01
C      0.4146D+00  0.3632D+00 -0.4386D+00  0.9401D-01 -0.6915D-01  0.5671D+00
      0.1000D+01
Apm_baze 0.1315D+00  0.1383D+00  0.7779D+00 -0.7486D-01  0.9757D+00
0.1536D-01
      -0.1705D+00  0.1000D+01
-----

```

VARIANCE EXTRACTED, FIRST 8 AXES

```

-----
                          Broken-stick
AXIS  Eigenvalue  % of Variance  Cum.% of Var.  Eigenvalue
-----
1      2.737      34.215      34.215      2.718
2      2.170      27.122      61.337      1.718
3      1.578      19.728      81.065      1.218
4      0.531      6.638      87.703      0.885
5      0.483      6.041      93.744      0.635
6      0.357      4.465      98.209      0.435
7      0.143      1.787      99.996      0.268
8      0.000      0.004      100.000     0.125
-----

```

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
pH	-0.0275	-0.3087	0.5973	-0.5367	-0.1838	-0.3521
Na	-0.0807	-0.4539	-0.4091	-0.2238	0.6914	-0.0380
Mg	0.5462	0.0479	-0.1582	0.0286	-0.2643	0.3423
K	-0.1103	-0.1449	-0.6482	-0.4033	-0.5635	-0.2008
Ca	0.5008	-0.3482	0.0809	0.0199	0.0728	-0.1007
N	-0.1912	-0.5102	-0.0235	0.7005	-0.2564	-0.3137
C	-0.3036	-0.4664	0.1533	-0.0854	-0.1721	0.7800
Apm_baze	0.5502	-0.2764	-0.0002	0.0094	-0.0088	0.0099

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
pH	-0.0454	-0.4547	0.7504	-0.3911	-0.1278	-0.2105
Na	-0.1334	-0.6686	-0.5139	-0.1631	0.4807	-0.0227
Mg	0.9036	0.0706	-0.1987	0.0208	-0.1837	0.2046
K	-0.1825	-0.2134	-0.8144	-0.2939	-0.3918	-0.1200
Ca	0.8285	-0.5129	0.1016	0.0145	0.0506	-0.0602
N	-0.3164	-0.7515	-0.0295	0.5104	-0.1783	-0.1875
C	-0.5024	-0.6870	0.1926	-0.0622	-0.1196	0.4662
Apm_baz	0.9103	-0.4071	-0.0003	0.0069	-0.0061	0.0059

COORDINATES (SCORES) OF Paraugi

Paraugi	Axis (Component)					
	1	2	3	4	5	6
1 1_	-0.0034	0.3650	0.1529	-0.2135	1.4965	-0.3243
2 2_	0.3956	0.5610	0.3293	0.0029	1.0946	-0.2171
3 3_	-0.3478	1.1633	-0.4163	0.1858	0.0765	-0.0621
4 4_	0.8956	1.2571	1.5100	0.1520	-0.4785	-0.1848
5 5_	0.3025	0.8039	-0.5342	0.6006	1.9031	0.2338
6 6_	1.7980	-0.2081	0.7437	-0.1009	1.2089	-0.0728
7 7_	0.3331	1.0972	-0.6624	1.0289	0.0537	0.1485
8 8_	1.8878	0.6480	-0.3888	0.4719	0.3508	0.6538
9 9_	3.9097	-0.5919	-0.7245	0.1510	-0.2442	0.4023
10 10_	0.2910	0.9644	-0.1754	0.2829	0.4197	-0.0748

11 11_	0.5361	0.7189	-0.0479	-1.0021	-1.6812	-0.5627
12 12_	-0.7477	1.1529	-0.2198	-0.6922	-1.0178	-0.8099
13 13_	-0.4543	-0.1412	3.2064	-0.6727	0.6778	-0.8879
14 14_	-0.1275	1.1414	1.2964	0.0826	0.6201	-0.4805
15 15_	-0.8137	1.1762	-2.4451	0.0609	-0.0453	-0.1703
16 16_	0.4591	0.2064	-0.2683	-0.2066	0.2982	-0.7063
17 17_	-1.6815	-0.4655	3.2925	-1.2164	0.2467	0.4406
18 18_	0.2342	1.2893	-0.5484	0.2245	-0.0258	0.1497
19 19_	1.5413	-1.5026	3.1811	-0.9588	0.0462	0.3555
20 20_	0.5324	0.1547	-1.3971	-0.5667	0.2918	-0.3725
21 21_	-1.5621	1.6784	-1.0690	-0.2348	-0.4317	-0.2224
22 22_	3.3839	-0.4631	-0.4467	0.1539	0.1159	0.4323
23 23_	-0.0916	0.8008	0.8925	0.2418	-1.1390	-0.9264
24 24_	1.0246	0.9755	1.1116	-0.2430	-0.8634	-0.2054
25 25_	2.6569	0.0837	-0.5088	0.0046	-0.5381	0.3182
26 26_	4.7862	-0.1592	0.9225	0.3052	-0.8077	0.7823
27 27_	0.2431	1.7755	-0.6279	0.8157	0.3819	0.5349
28 28_	-0.2032	1.2880	-1.5266	-0.3144	-0.7330	0.0268
29 29_	-1.2129	1.8359	-0.6752	0.0500	0.0614	-0.0363
30 30_	1.2680	0.8035	1.4043	0.3117	0.1369	-0.1517
31 31_	-0.6673	-1.6220	-0.9208	-0.6754	0.8868	-0.3995
32 32_	-0.8210	-1.4565	-0.8377	-0.6007	0.7891	-0.3237
33 33_	-0.5329	-2.8915	-0.6028	0.2519	-0.1922	0.1949
34 34_	-3.7708	-2.2003	1.0850	0.2747	0.0626	2.0966
35 35_	-0.5005	-4.8510	0.6646	3.1242	-0.4848	-1.6231
36 36_	-0.8992	-2.1487	-0.3468	-0.7369	-0.7281	0.1952
37 37_	-1.0487	-1.2983	-0.4793	-0.2364	-0.7747	1.0212
38 38_	-0.3146	-1.4952	-0.4718	0.1626	-0.3992	0.7883
39 39_	-2.5155	1.0070	-0.7555	0.0985	0.3641	-0.1575
40 40_	0.5631	-1.6401	-2.0139	-0.1698	0.3045	0.2124
41 41_	-0.4658	-2.7827	-2.0933	-1.5954	0.1853	-0.5079
42 42_	-0.8801	-1.1157	-0.4984	-0.7735	-0.4115	-0.4091
43 43_	-2.7956	1.1404	1.4134	0.5844	-0.3132	-0.0969
44 44_	-2.6836	1.6600	0.4156	0.7851	-0.4162	0.4456
45 45_	-1.9010	1.2851	0.0807	0.8021	-0.3474	0.5530

3.77 = inflation factor for biplot scores

BEGINNING RANDOMIZATIONS

RANDOMIZATION RESULTS

999 = number of randomizations

Axis	Eigenvalue	Eigenvalues from randomizations			p *
	from real data	Minimum	Average	Maximum	
1	2.7372	1.3579	1.6838	2.2368	0.001000
2	2.1698	1.1534	1.4063	1.7197	0.001000
3	1.5782	0.98589	1.2031	1.4314	0.001000

4	0.53103	0.81000	1.0333	1.2683	1.000000
5	0.48331	0.68419	0.88351	1.0639	1.000000
6	0.35720	0.54373	0.74169	0.93387	1.000000
7	0.14294	0.40807	0.60105	0.79420	1.000000
8	0.30176E-03	0.23283	0.44721	0.68579	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)
3	Rnd-Lambda	Observed eigenvalue as compared to randomizations
7	Rnd-F	Observed pseudo-F-ratio compared to randomizations
3	Avg-Rnd	Observed eigenvalue as compared to average eigenvalue from randomizations
3	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
