

LATVIJAS UNIVERSITĀTE  
ĢEOGRĀFIJAS UN ZEMES ZINĀTŅU FAKULTĀTE  
VIDES ZINĀTNES NODAĻA

**PODZOLĒŠANĀS PROCESA ATTĪSTĪBA MORĒNAS PAUGURU  
MEŽU AUGSNĒS**

MAĢISTRA DARBS

Autors: Agita Freimane

Stud.apl. VidZ030046

Darba vadītājs: Linda Eglīte, Dr. chem.

Darba konsultants: Raimonds Kasparinskis,

Vides zin. maģ.

Rīga, 2010

## ANOTĀCIJA

Maģistra darbā ir apzināti galvenie podzolēšanās procesu ietekmējošie dabiskie un antropogēnie faktori un procesa pētīšanas metodes pasaulē .

Darba mērķis ir noskaidrot podzolēšanās procesa attīstību uz morēnas nogulumiem un to ietekmējošos faktorus. Latvijā līdz šim nav veikta podzolēšanās procesa novērtēšana uz šāda veida nogulumiem.

Pētījuma ietvaros ar statistiskām metodēm ir noskaidroti galvenie procesa ietekmējošie faktori: veģetācija un tās vecums, ģeoloģiskie nogulumi, profila novietojums reljefā, augsnes granulometriskais sastāvs.

**Atslēgas vārdi:** podzolēšanās process, ekstrahējамais Al un Fe, vides faktoru ietekme, māla daļiņu izskalošanās.

## ANNOTATION

In the Master work were studied most important natural and antropogenic factors that can influence podzolization process and the research methods in the world.

The aim of the research is to faind the development of podzolization process on till sediments and their influencing factors.

The study of stastistic analysis have revealed the key process influencing factors: vegetation and that age, geological deposits, relief and soil granulometry

**Keywords:** Podzolization, extractable Al and Fe, environmental exposure, leaching of clay particles.

# SATURA RĀDĪTĀJS

Saīsinājumi un terminu skaidrojumi .....	5
IEVADS .....	6
1. LITERATŪRAS APSKATS .....	8
1.1. Podzolēšanās procesa nozīme .....	8
1.2. Podzolēšanās procesa teorijas .....	9
1.3. Podzolēšanās procesa teritoriālā izplatība .....	10
1.3.1. Pasaulē .....	10
1.3.2. Latvijā .....	11
1.4. Podzolu veidi un to pazīmes .....	11
1.4.1. Makromorfoloģiskās pazīmes .....	12
1.4.2. Mikromorfoloģiskās pazīmes .....	12
1.5. Podzolēšanās procesa attīstību ietekmējošie vides faktori .....	13
1.5.1. Dabiskie faktori .....	13
1.5.1.1. Klimatiskie apstākļi .....	13
1.5.1.2. Veģetācija .....	12
1.5.1.3. Augsnes organiskās vielas un skābes .....	16
1.5.1.4. Reljefs un nogāzes ekspozīcija .....	19
1.5.1.5. Augsnes cilmiezis .....	23
1.5.1.6. Augsnes granulometriskais sastāvs .....	24
1.5.1.7. Augsnes vecums .....	26
1.5.2. Antropogēnie faktori .....	28
1.5.2.1. Lauksaimniecībā izmantojamo zemju apmežošana .....	28
1.5.2.2. Mežu apsaimniekošana .....	29
1.5.2.3. Skābie nokrišņi .....	29
1.5.2.4. Augsnes kaļķošana .....	30
1.6. Podzolēšanās procesa pētījumu metodes Pasaulē un Latvijā .....	31
2. PĒTĪJUMU MATERIĀLI UN METODES .....	33
2.1. Etalonteritoriju apraksts .....	33
2.2. Izejas dati .....	34
2.3. Pētījumu metodes .....	34
2.3.1. Augšņu paraugu ķīmiskās analīzes .....	34
2.3.2. Datu apstrāde .....	36
3. REZULTĀTI UN DISKUSIJA .....	37
3.1. Augšņu dziļrakumu profilu raksturojums .....	37
3.2. Augsnes granulometriskais sastāvs .....	47
3.3. Ekstrahējamā $Al_0$ un $Fe_0$ saturs augsnē .....	51
3.4. Podzolēšanās procesu ietekmējošie faktori .....	58
3.4.1. Faktoru nozīmīgums .....	58
3.4.2. Faktoru kopas .....	59
3.4.3. Meža zemes vecums .....	61
3.4.4. Novietojums reljefā .....	62
3.4.5. Augsnes granulometriskā sastāva ietekme uz Al un Fe daudzumu augsnē .....	64
3.4.6. Organiskās vielas .....	70
3.4.7. Koku sugas .....	71
SECINĀJUMI .....	73
PATEICĪBA .....	74
LITERATŪRAS SARAKSTS .....	75
PIELIKUMS .....	81

## SAĪSINĀJUMI UN TERMINU SKAIDROJUMI

LU – Latvijas Universitāte

LZP – Latvijas Zinātnes padome

ASV – Amerikas Savienotās Valstis

LIZ – Lauksaimniecībā izmantojamā zeme

*WRB* – World Soil Reference Base – Pasaules augšņu klasifikators

*FAO* – Food and Agriculture Organization – Pārtikas un lauksaimniecības organizācija

IUSS – International Union of Soil Sciences – Starptautiskā augsnes zinātnes apvienība

## IEVADS

Podzolēšanās process ir viens no dominējošajiem augsnes veidošanās procesiem Latvijas teritorijā. Visizteiktāk process norisinās uz mineralogiski nabadzīgiem (smilšainiem) cilmiežiem, kur dominē caurskalojošs ūdens režīms, bet tā kā Latvijā apmēram puse no augsnēm veidojušās uz morēnas nogulumiem (Kārklīņš u.c., 2009), kas ir relatīvi smagāka granulometriskā sastāva un bagātāki ar karbonātiem, ir būtiski noskaidrot kā process attīstās šādās augsnēs un kas ir to ietekmējošie faktori. Jo podzolēšanās rezultātā augsnē notiek ķīmisko un fizikālo īpašību maiņa – māla daļiņu un barības vielu ieskalošanās dziļākos augsnes horizontos, tādējādi samazinās augsnes auglība un augi nespēj vairs uzņemt nepieciešamos barības elementus. Procesa attīstības izpētīšana meža augsnēs, varētu dot rekomendācijas mežu apsaimniekošanas jautājumos.

Pasaulē podzolēšanās procesa attīstībai pēdējos gados tiek pievērsta liela uzmanība, jo pieaugot skābo nokrišņu apjomiem, process norisinās intensīvāk. Eiropā process galvenokārt tiek pētīts meža zemēs uz smilšainiem nogulumiem.

Latvijā līdz šim nav bijuši pētījumi, kas saistāmi ar podzolēšanās procesa izpēti morēnas nogulumos, turklāt arī pasaulē šis process netiek īpaši pētīts ar karbonātiem bagātos nogulumos. Tādēļ šī zinātniskā darba ietvaros pirmo reizi Latvijā tiek veikts šāds pētījums.

Maģistra darbā tika izvirzīts **mērķis** noskaidrot podzolēšanās procesa attīstību ietekmējošos vides faktorus morēnas nogulumu mežu augsnēs.

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

1. Izmantojot literatūras avotus, noskaidrot podzolēšanās procesa nozīmi, tā attīstības ietekmējošos dabiskos un antropogēnos faktorus, kā arī pētījumu metodes Latvijā un pasaulē;
2. Veikt augsnes paraugu izvilkumu sagatavošanu ekstrahējamā  $Al_0$  un  $Fe_0$  koncentrāciju noteikšanai ar atomabsorbcijas spektrofotometru *Perkin Elmer*;
3. Veikt iegūto rezultātu datu statistisko apstrādi ar *PC ORD 5.10 un SPSS PASW Statistics 18* programmatūru;
4. Veikt rezultātu interpretāciju un analīzi, lai noskaidrotu podzolēšanās procesa attīstību un tā ietekmējošos faktorus morēnas nogulumu mežu augsnēs Zaubes un Zvārdes apkārtnē.

Maģistra darbs ir izstrādāts LZP grantu „Lauksaimniecībā izmantojamo zemju apmežošanas ainavekoloģisks vērtējums (09.1118)” ietvaros. Darba autore ir veikusi 231 augsnes paraugu izvilkumu sagatavošanu LU Ģeogrāfijas un Zemes Zinātņu fakultātes Augšņu laboratorijā atbilstoši (ICP Forest, 2006), lai varētu noteikt ekstrahējamā  $Al_0$  un  $Fe_0$

koncentrāciju, izmantojot liesmas atomabsorbcijas spektrofotometru *Perkin Elmer*. Darba autore ir veikusi arī datu statistisko apstrādi un interpretāciju.

Maģistra darba apjoms ir 80 lpp. un pielikums 13 lpp. Darbu ilustrē 47 attēli un 3 tabulas.

# 1. LITERATŪRAS APSKATS

## 1.1. Podzolēšanās procesa nozīme

Podzolēšanās ir viens no augsnes veidošanās procesiem, kas norit pie pozitīvas nokrišņu bilances (nokrišņi > iztvaikošana), kā rezultātā notiek ūdens infiltrēšanās augsnē. Procesā rezultātā dzelzs, alumīnijs, organiskās vielas, māla daļiņas un barības vielas ūdens lejupejošās kustības dēļ tiek pārvietotas dziļāk augsnē, veidojot E (izskalošanās) un B (ieskalošanās) horizontus (World soil ..., 2001). Izskalošanās rezultātā E horizontā paliek galvenokārt kvarcs ( $\text{SiO}_2$ ), veidojot horizontu gaiši pelēkā krāsā un bez struktūras. Turklāt daudzas no šīm augsnēm raksturo oksidējoša vide, kas nozīmē, ka dzelzs nevar tikt pārvietots kā  $\text{Fe}^{2+}$  šķīstošie veidi (Birkeland, 1984). Podzolēšanās procesa rezultātā augsnē notiek gan morfoloģiskas izmaiņas, gan arī augsnes fizikāli ķīmisko īpašību maiņa, kā rezultātā tiek veicināta augsnes makro- un mikroelementu ieskalošanās dziļāk augsnē, kur tos grūtāk uzņemt augiem (Tyler, 2004).

Augsnes pH reakcija ietekmē jonu apmaiņas kapacitāti un barības elementu pieejamību augiem. Samazinoties augsnes pH reakcijai, mainās ķīmisko elementu migrācija augsnē. Podzolēšanās rezultātā augsnes reakcija samazinās zem 6,5. Samazinoties augsnes pH zem 6,5 Al un Fe koncentrācijas augsnē palielinās (Jansen et al., 2003).

Procesa rezultātā barības vielas un māla daļiņas tiek ienestas dziļāk augsnē, kā rezultātā barības vielas pie zemas pH vērtības vairs nav augiem pieejamā formā, tādējādi samazinās augsnes auglība.

Latvijā līdz šim ir bijuši relatīvi maz pētījumu saistībā ar podzolēšanās procesa izpēti. Saistībā ar lauksaimniecības zemju apmežošanu un līdz ar to arī augsnes auglības samazināšanos. Podzolēšanās procesa izpētei Latvijas teritorijā ir nepieciešams veikt lielāku uzmanību.

Podzolēšanās process pasaulē tiek plaši pētīts lielu uzmanību pievēršot tā veidošanās pamatprincipiem. Jautājums ir aktuāls, jo pašlaik izvirzītās teorijas nav pilnīgas (Lundström et al., 2000a). Podzolēšanās procesa izpratnei ir liela praktiskā nozīme, saistībā ar rekomendāciju izstrādi augšņu apsaimniekošanā.

## 1.2. Podzolēšanās procesa teorijas

Gan atsevišķu pētījumu ietvaros, gan plašas starpdisciplināras izpētes ietvaros podzolaugsnes pasaulē ir pētītas relatīvi ilgu laika periodu dažādos klimatiskajos reģionos, un līdz ar to ir izvirzītas vairākas to veidošanās teorijas.

Norvēģijas mežzinis J. B. Barth 1856. gadā prezentēja detālu rūsakmeņa slāņa aprakstu, kuram augšpusē bija izveidojies balināts slānis, kuru nosauca par pavadošo smilti. Viņš izvirzīja divas augsnes veidošanās procesu alternatīvas teorijas. J. B. Barth uzskatīja, ka rūsakmeni veido humusa daļiņas, kas tiek transportētas no augsnes virspuses ar ūdens palīdzību un akumulējas dziļāk mazāk caurlaidīgos slāņos, vai, ka rūsakmens sākotnēji ir veidojies virspusē, bet pēc tam tas ir pārpūsts ar smiltīm, bet pēc gada Dane Forchhammer noraidīja teoriju par pārpūšanu un ierosināja, ka tā ir ūdens transportēta smiltis, kas pārklāj rūsakmeni. No mūsdienu teoriju viedokļa, viens no Barth skaidrojumiem bija precīzāks. Ideju par eluviāla horizonta translokāciju un iluviālu horizontu izvirzīja P. E Müller 1887. gadā (Lundström, et al., 2000 a).

Podzolu ilglaicīga izpēte ir notikusi Krievijā (Muir, 1961; Ponomareva, 1957), kur arī ir konstatējama termina „podzols” izcelsme, kas nozīmē -zem („*nod*”) pelniem („*зола*”). Podzolēšanās process visvairāk tiek pētīts Ziemeļeīropā (Lundström et al., 2000 a, b; Mokma et al., 2004, Jönsson et al., 2003, u.c.), kā arī Nīderlandē (Buurman un Jongmans, 2005 u.c.), Lielbritānijā (Wilson, 2001), Dānijā (Mossin et al., 2002, Kristiansen, 2001 u.c.), Itālijā (D'Amico et al., 2008), Polijā (Kabala, 2006) un Vācijā.

Starp zinātniekiem pasaulē pastāv atšķirīgi viedokļi par podzolēšanās procesa teorijām. Pašlaik vadošās ir divas galvenās teorijas par podzolēšanās mehānismu, kuras atšķiras to skaidrojumā par  $Al^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$  un  $Fe^{2+}$  (turpmāk tekstā Al, Fe) imobilizāciju B horizontā. Bet abas teorijas apstiprina to, ka Al un Fe migrē lejupejoši no E uz B horizontu un veido organisko savienojumu kompleksus (Lundström et al., 2000 a, b). Literatūrā ir atrodama vēl trešā teorija, kuru skaidro Nīderlandes pētnieki, pamatojoties uz citu zinātnieku atklājumiem (Buurman un Jongmans, 2005).

- **Adsorbcijas/nogulsnēšanās (fulvātu) teorija**

Šī teorija pamatojas uz to, ka organiskās skābes ar relatīvi augstu molekulmasu, piemēram, fulvoskābes, kas izskalotas no O horizonta, veido kompleksus ar Al un Fe, tādējādi veidojot E horizontu. Nogulsnēšanās norisinās nepārtraukti, papildinoties ar metāliem lejupejošā migrācijā, kamēr tiek sasniegta noteikta oglekļa/metālu attiecība, izraisot nogulsnēšanās kompleksu, kas veido B horizontu (Petersen, 1976).

- **Biodegradācijas teorija**

Šajā teorijā podzolēšanās tiek skaidrota ar to, ka organiskie ligandi galvenokārt organiskās skābes ar zemu molekulmasu, tiek mikrobiāli sadalītas migrējot augsnes profilā uz leju, atbrīvojoties Al un Fe joniem, kas izgulsnējas B horizontā Al-Si-OH formā un Fe-OH cietvielu fāzēs kā imogolīta tipa materiāls (ITM) un dzelzs hidrīts (Lundström et al., 1995).

- **Fulvātu bikarbonīta teorija**

Pastāv arī trešā teorija, kuras pamatā ir podzola profila attīstība divās pakāpēs, kuras noris secīgi vai vienlaicīgi:

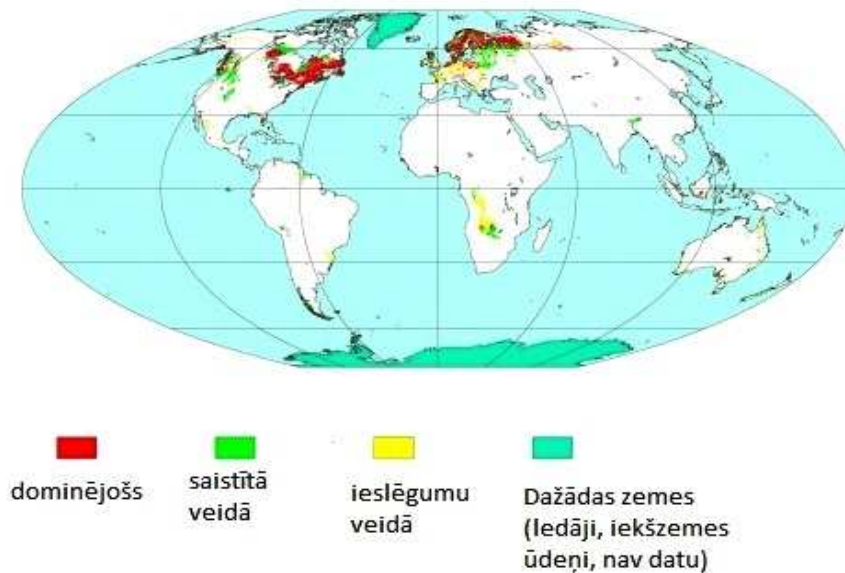
- Imogolīta/alafāna veidošanās ogļskābes erozijas procesu rezultātā to atrašanās vietā B horizontos;
- Fulvātu skābes nogulsnešanās ar Al bagātās nogulsnēs B horizontā (Ugolini un Dahlgren, 1987).

Iepriekš aprakstītajās teorijās dominē mobilizācijas – transportēšanas – nogulsnešanās modelis. Lai gan pastāv tikai daļēji pierādījumi par iepriekšminēto procesu eksistenci, tie nepaskaidro galvenās pārmaiņas podzola ķīmiskajā uzbūvē un morfoloģijā. Gan attiecībā uz makromorfoloģiju un klasifikāciju, gan mikromorfoloģiju un organisko vielu ķīmisko uzbūvi pastāv pretrunas starp teoriju un novērojumiem, kas tika apskatīti teorētiskajos modeļos. Šīs pretrunas ir pētījuši zinātnieki P. Būrmans un A. G. Jongmans (Buurman un Jongmans, 2005), pamatojot tās ar podzolu veidošanās izplatību pasaulē.

### **1.3. Podzolēšanās procesa teritoriālā izplatība**

#### **1.3.1. Pasaulē**

Pasaulē podzolēšanās procesa rezultātā izveidojušās augsnes aizņem aptuveni 485 miljonus hektāru, galvenokārt tās ir izplatītas vēsā, mitrā klimatā un ir dominējošās augsnes boreālo mežu zonā (1.3.1.1. att.). Plaši izplatītas Eiropas ziemeļos, Skandināvijā, Krievijas ziemeļrietumos un Kanādā. Podzolēšanās ir izplatīta arī augstkalnu reģionos ekvatora tuvumā, piemēram, Rocky kalna un Apalaču kalnu apkārtnē (ASV), Rietumu Sierra Madrē (Meksika), Bolīvijas augstienēs, Eiropas Alpos, Himalajos un Jaunzēlandes Alpos. Novērotas arī mēreni siltā un mitrā klimatā (Skotijā, Īrijā). Turklāt podzolaugšnes atrastas arī subarktiskajā tundrā un polārajā tuksnēsī (Blume et al., 1996). Arī tropu reģionos šīs augsnes ir atrastas visos kontinentos: Āfrikā – Kongo baseinā un uz dienvidiem no tā (Angolā, Zambijā, Bostvānā), Damerikā – Gviānā un Surinamā, Austrālijas D un A piekrastē, kopumā aizņemot mazāk par 10 miljoniem hektāru (Sauer et al., 2000).



1.3.1.1. attēls. **Podzola izplatība pasaulē** (World soil ..., 2001)

### 1.3.2. Latvijā

Podzolēšanās ir viens no dominējošiem augsnes veidošanās procesiem Latvijā, jo visa teritorija ietilpst boreālnemorālā klimata joslā, kur šis process norisinās dabiski. Latvijā apstākļos podzolēšanās process visizteiktāk norisinās reljefa paaugstinājumos zem skuju koku mežiem ar sūnām zemsedzē uz nabadzīgiem cilmiežiem un līdzenumos, kur dominē caurskalojošs ūdens režīms. Tipiskie podzoli teritoriāli vislielākās platības aizņem Piejūras zemienē, Strenču un Valkas iekšzemes kāpu smiltāju priežu sila, mētrāja un lāna meža augšanas apstākļu tipā (Kārklīšs u.c., 2009).

### 1.4. Podzolu veidi un to pazīmes

Podzolu izplatība pasaulē norāda uz to, ka tas var attīstīties gan ziemeļu, gan tropu zonā. Podzolan no dažādiem reģioniem un dažādiem cilmiežiem ir atšķirīgas makro – un mikromorfoloģiskās pazīmes (Buurman un Jongmans, 2005).

Pasaulē sastopamos podzolu pēc to pazīmēm var iedalīt 3 veidos:

1. boreālais (ziemeļu) podzols – sastopams auksta klimata platuma un augstuma zonās,
2. „ne – ziemeļu” podzols – sauss un mitrs uz nabadzīga cilmieža, kas radies ārpus ziemeļu zonas,
3. tropiskais podzols – izplatīts tropu zonā (Buurman un Jongmans, 2005).

### 1.4.1. Makromorfoloģiskās pazīmes

Ziemeļu podzolā ir lielāka Al un Fe oksīdu un mazāka organisko vielu akumulācija B horizontā salīdzinot ar „ne – ziemeļu” podzolu, kā rezultātā boreālajam podzolam ir izteiktāka nokrāsa. Podzola statistiskā analīze norāda, ka dominējošās podzola krāsas sākas no 7,5YR/4/4 un ir sarkanākas (Buurman un Jongmans, 2005).

Savukārt „ne – ziemeļu” podzolam, kas vairāk pētīts Rietumeiropā, dominējošā krāsa ir tumši pelēka vai melna (10YR 4/1 – 5YR 2/2) B horizonta augšējās slāņos un spēcīgāka nokrāsa (5 – 7,5YR 3/2-5/8) zemākajos B horizonta slāņos. Hidromorfiskais, smilšainais podzols var nesaturēt dzelzi un bieži vien augstākajos B horizontos tas ir melns (daļa, kas periodiski pakļauta gaisa un skābekļa iedarbībai) un tumši brūns zemākajos B horizonta slāņos, kas nav pakļauti gaisa un skābekļa iedarbībai, turklāt Al šeit ir dominējošais metāla jons. Arī tropiskajam podzolam smilšainajos piekrastes līdzenumos dominē tumšā krāsa kombinācijā ar alumīniju (Buurman un Jongmans, 2005).

### 1.4.2. Mikromorfoloģiskās pazīmes

Podzola B horizontā var izdalīt divus galvenos humusa tipus: polimorfā organiskā viela (lodītes veida) un monomorfā organiskā viela (slāņu veida).

Polimorfās organiskās vielas ir organisko sanesu iežu trūdēšanas rezultāts, piemēram, saknes. Mikromorfoloģiskie pierādījumi norāda, ka lodītes var saaugt un savienotās laikā pārveidoties (pārtrauktas, necaurspīdīgas) par monomorfām līdzīgā pseidoslānī. Lai arī D. P. Franzmeier ar kolēģiem pētījumā (Franzmeier et al., 1963) konstatēja, ka šādas lodītes var veidot humusa slāņu fragmentēšanu, caurspīdīgie monomorfe slāņi un necaurspīdīgie metālu slāņi ir morfoloģiski ļoti atšķirīgi un nav pierādījumu, ka šāda veida transformācijas vispār var notikt.

Monomorfo organisko vielu slāņi parasti ir nepārtraukti, brūnā līdz tumši brūnā krāsā, viendabīgi vai slāņaini un mazliet caurspīdīgi. Tajos bieži ir plaisas, kas tiek skaidrotas kā spēcīgi hidrolizētu organisko vielu šķīduma izzūšanas pazīme. Slāņi veidojas uz strukturālajiem elementiem vai graudiem un var pilnībā aizpildīt poru sistēmas smilšainā augsnē (Buurman un Jongmans, 2005).

## **1.5. Podzolēšanās procesa attīstību ietekmējošie vides faktori**

Podzolēšanās procesa ietekmējošie faktori ir cieši saistīti ar augsnes veidošanās faktoriem. Augsnes veidošanās jeb pedoģenēze ir atkarīga no pieciem galvenajiem faktoriem, kuri veido augsni savstarpēji mijiedarbojoties (Jenny, 1994):

- Cilmiezis - klintis un minerāli, kuri sadrūpot kļūst par augsnes neorganisko sastāvdaļu.
- Klimats - karstums, lietus, ledus, sniegs, vējš, saules gaisma un citi dabiskie faktori, nosaka augsnes procesu ātrumu.
- Organismi - visi augi un dzīvnieki, kuri dzīvo augsnē vai uz tās (ieskaitot mikroorganismus un cilvēkus). Tajā mītošie dzīvnieki ietekmē trūdēšanas procesus un vielu apriti augsnē. Mīrušo organismu atliekas kļūst par trūdvielām, kuras bagātina augsni. Arī cilvēku darbība ietekmē augsnes īpašības.
- Reljefs – ietekmē augsnes siltuma, mitruma, vielu sadalījumu, kā arī nosaka augsnes ūdens erozijas procesu attīstību.
- Laiks - visu šo faktoru iedarbībai ir nepieciešams laiks, bieži pat gadu tūkstoši (Jenny, 1994).

### **1.5.1. Dabiskie faktori**

#### **1.5.1.1. Klimatiskie apstākļi**

Klimats nosaka augsnes veidošanās enerģētiskos procesus, temperatūras un ūdens režīmu, augiem pieejamā mitruma uzrāšanos, augsnes sasalšanu/atkušānu. Klimata procesi un apstākļi ietekmē augsnes minerālo daļiņu pārvietošanu (izskalošanu, eroziju) un pārveidošanu (dēdēšanu), kā arī nosaka augsnes izplatības zonalitāti (Kārkliņš u.c., 2009).

Podzolēšanās procesa attīstību būtiski ietekmē tādi klimata parametri kā temperatūra un nokrišņu/iztvaikošanas attiecība. Temperatūra ietekmē ķīmiskās reakcijas un bioloģiskās aktivitātes intensitāti augsnē, bet nokrišņu ietekme izpaužas caur ūdens īpašībām (vielu, šķīdināšana, vielu transportēšana, u.c.). Nokrišņu daudzumam pārsniedzot iztvaikotā mitruma daudzumu, augsnes veidojas periodiskas caurskalošanās ūdens režīmā - attīstās podzolēšanās process (Kārkliņš u.c., 2009).

Tipiskajās podzolu teritorijās, janvāra temperatūra ir robežās starp -40 un +5°C un, jūlijā, starp +10 un +20°C. Nokrišņu daudzums ir no 200 līdz >1000 mm, bet iztvaikošana ir mazāka. Līdz ar to podzoli ir izplatīti kontinentālos vēsos vasaras un jūru rietumu krastu

klimatos Amerikas ziemeļu daļā, Eiropā un Āzijā. Ir pētījumi, kur podzoli ir atrasti subarktiskajā tundrā un polārajā tuksnesī (Sauer et al., 2007).

Podzoli mazāk attīstās Zemes puslodes dienvidu pusē, kur ir siltāks un mazāk nokrišņu. Tropu podzola veidošanos apstākļu var iedalīt divās grupās. Pirmās grupas podzoli veidojas smilšakmens dēdēšanas reģionos un vietās, kur ir kvarca smilšu sanesumi, piemēram, piekrastes zonās. Precīzs sadalījums tropu podzolam nav zināms, bet zināmi novērojumi ir atrasti Rio Negro, Gviānā Dienvidamerikā un Malaizijas reģionā, kā arī ziemeļu un dienvidu Austrālijā, bet mazāk izplatīts ir Āfrikā (Sauer et al., 2007). Otro grupu ietekmē zema izometriskā temperatūra palielinoties augstumam virs jūras līmeņa, kuru pētījuši zinātnieki Ruandā un Zimbabvē (Samimi un Wagenseil, s.a.).

Salīdzinot divus parauglaukumus Somijā, kas atrodas atšķirīgos klimatos, bet ar līdzīgiem citiem aspektiem, tika atklāts, ka parauglaukumā ar kontinentālu un mitru klimatu un ar lielākiem nokrišņiem ir labāk attīstīti podzoli (Jauhiainen, 1973).

Ir novērota pieaugoša podzola attīstība virzienā no dienvidiem uz ziemeļiem Ziemeļviskonsīnā un Mičiganas ziemeļpusalā, ko zinātnieki skaidro ar snigšanas pieaugumu: bieza sniega sega nomāc salu, līdz ar to notiek intensīvāk sniega kušanas ūdeņu infiltrēšanās mitrajā augsnes profilā (Schaetzl, 1996).

Temperatūras pazemināšanās un mitruma pieaugums ir būtiski faktori attiecībā uz palēninātu organisko atlieku sadalīšanās ātrumu un augsnes organiskās vielas daudzuma palielināšanos augsnes sastāvā. Konstatēts, ka samazinoties augsnes temperatūrai, samazinās nobiru trūdēšanas ātrums, organisko vielu sadalīšanās ātrums (Titeux un Delvaux, 2009) un līdz ar to podzolēšanās notiek intensīvāk.

Latvijas teritorijā klimats augšņu veidošanos ietekmē ar nokrišņu daudzumu (nokrišņi > iztvaikošana). Vidējais nokrišņu daudzums gadā ir 703 mm. Lielākais nokrišņu daudzums izkrīt Vidzemes un Rietumkursas augstienēs (700 – 750 mm gadā). Savukārt gada vidējā iztvaikošana Latvijas teritorijā ir 458 mm (Zīverts, 1995), tāpēc Latvijas augsnēs veidojas lejupejoša ūdens plūsma, un nokrišņu ūdens pastāvīgi vai periodiski caurskalo augsni.

Klimata netiešā ietekme uz augsnes veidošanos izpaužas veģētācijas attīstībā, kas savukārt būtiski ietekmē augsnes veidošanās procesus – uzkrātās biomasas daudzumu un kvalitāti (Mežals, 1980). Dažādos klimata apstākļos attīstās piemēroti augi un dzīvnieki, kā arī dažādi sadalās augu un dzīvnieku atliekas un veidojas jauni organiskie savienojumi.

### 1.5.1.2. Veģetācija

Barības vielu pieejamība meža ekosistēmās ir atkarīga no efektīvas to otrreizējas izmantošanas ekosistēmas iekšienē. Šajā ciklā barības vielas tiek atdotas atpakaļ augsnē ar nobirām. Atmirstot augu audiem, nobiras sadalās un mineralizējas (Prescott, 2002).

Veģetācija, kura ietekmē podzolēšanās attīstību ir ar sekojošām īpašībām:

- ar augstu lignīna un miecvielu saturu – skāba, zems bāzu sastāvs, lēni sadalās,
- nobirām sadaloties veidojas humusvielas: fulvoskābes, humīnskābes, humīns (Buurman et al., 2007).

Ziemeļeiropā un Amerikā podzolēšanās process veidoja augsnes dabisku attīstību pēc apledojuma (pirms 9000 – 13000 gadiem), kam sekoja šādas nabadzīgas augsnes kolonizācija un veģetācijas sukcesija boreālajos mežos. Cilvēku darbības rezultātā pirms 2000 – 3000 gadiem izcērtot lapu kokus dienvidu teritorijās, attīstījās virsāju augšana, bet vēlāk, šīs vietas apmežojot ar skuju kokiem, sekoja podzolēšanās process (Lundström et al., 2000 a).

Igaunijas zinātnieku pētījumā (Palo, 2005) ir meklētas likumsakarības starp veģetācijas tipiem un augsnes tipiem un to īpašībām. Pētījuma rezultātā tika secināts, ka ar barības vielām bagātās augsnēs (*Skeletal Leptosols*, *Rendzic Leptosols*, *Calcari-gleyic Leptosols* u.c.) pastāv likumsakarības ar veģetācijas ainavu tipiem. Turpretī, augsnēm ar zemu barības vielu saturu (*Haplic Podzols*, *Arenosols*, *Gleyic Albeluvisols*) ir izteiktākas asociācijas atšķirībā no veģetāciju ainavu tipiem. Ļoti vāja korelācija konstatēta starp mežu tipiem, kas veidojušies uz kūdras augsnēm (Palo, 2005).

Pēc matemātiskās datu apstrādes rezultātiem ir izdarīti secinājumi, ka vecāki meži ar tipiskām meža augsnēm Igaunijas salā Sāremā ir izvietojušies tiešā atkarībā no augstuma virs jūras līmeņa. Augu sabiedrības, kam raksturīgas sausas un smilšainas podzolaugsnis izvietojas atkarībā no augstuma faktora. Šāda tipa augi kā *Calluna vulgaris*, *Calamagrostis arundinacea* un citi ir tipiski raksturīgi smilšainām augsnēm (*Haplic Podzols* vai *Leptic podzols*), kas parasti ir tiešā jūras piekrastē, vai arī veidojušās uz glaciolimniskajiem nogulumiem un jūras nogulumiem, kas sastāv no sedimentiem ar zemu karbonātu saturu (Palo, 2005).

Podzolu attīstībai vislabvēlīgākie apstākļi ir skujkoku mežos, bet podzolēšanās process norisinās arī jauktu (skuju/lapu) koku mežos, kā arī teritorijās, kur izplatīti ēriku (*Ericaceae*) dzimtas krūmāji– mellenes, dzērvenes, zilenes, brūklenes, virši, u.c. Podzolēšanās process attīstība ir iespējama arī lapu koku mežos (Lundström et al, 2000 a).

Podzolēšanās process intensīvāk norisinās skuju koku mežos, jo to nobiras ir izturīgākas pret sadalīšanos nekā lapu koku nobiras, kā arī nobiru ķīmiskais sastāvs ir atšķirīgs (Kawadas et al., 2001).

Dažādu koku sugu mežos ir novērotas dažādas tendences barības vielu pieejamībā meža stāvam un augsnei. Egļu audžu nobirās novērota augstāka barības vielu koncentrācija salīdzinājumā ar priežu audzēm (Perala un Alban, 1982). Mežos ar lielu platlapju koku piejaukumu nobirās ir augstāks bāzisko katjonu saturs, kā arī augstāka augsnes pH vērtība (Binkley, 1994).

Noskaidrots, ka Jaunzēlandē augošais Kauri koks (*Agathis Australis*) var būt podzolēšanās procesa izraisītājs un veicinātājs. Tas ir endēms mūžzaļš skujkoks, kurš aug mērenā, gandrīz, subtropiskā klimatā un spēj veicināt podzolēšanās procesu uz Fe bagāta cilmieža materiāla un uz mālsmilts virsējā horizonta. Šis koks nomet mizu biežā kārtā, kas akumulējas ap koku. Izskalotais E horizonts ir pārklāts ar 0,3 līdz 2 m biezu, skābu organisko *mor* slāni, kurā ir augsts kopējā slāpekļa saturs, bet ļoti zems pieejamais slāpeklis. Kauri koka ietekmi uz podzolēšanās attīstību augsnē pētījuši vairāki zinātnieki (Lundström et al, 2000 a).

### 1.5.1.3. Augsnes organiskās vielas un skābes

Nozīmīgākie augsnes organiskās daļas avoti, kas ietekmē podzolēšanās procesu ir augu nobiras, atmirušās augstāko augu saknes, augsnē dzīvojošie mikroorganismi un augsnes dzīvnieki, kā arī to vielmaiņas produkti. Augstāko augu nobiras uzkrājas augsnē, to daudzums ir atkarīgs no zemes izmantošanas veida, veģetācijas tipa un klimatiskajiem apstākļiem (1.5.1.3.1. tab.).

1.5.1.3.1. tabula

**Organiskā oglekļa ( $t_c \text{ ha}^{-1}$ ) ienese augsnē ar nobirām dažādos veģetācijas un zemes izmantošanas tipos (Nikodemus u.c., 2009)**

Veģetācijas tips/zemes izmantošana	Organiskais ogleklis ( $t_c \text{ ha}^{-1}$ )
Alpīnās pļavas un arktiskie krūmāji	0,1 – 0,4
Aramzeme	1,0 – 2,0
Mēreno platuma grādu pļavas	2,0 – 4,0
Skujkoku meži	1,5 – 3,0
Platlapju meži	1,5 – 4,0
Tropu lietus meži	5,0 – 10,0

Latvijā priežu mežu ekosistēmās, vidējais ikgadējais nobiru daudzums var sasniegt  $4,7 t \text{ ha}^{-1}$ , bet egļu audzē pat  $6,2 t \text{ ha}^{-1}$ . Lauksaimniecībā izmantojamās augsnēs galvenais organisko atlieku avots ir augu saknes. Daudzgadīgo zālāju sakņu masa otrajā gadā sasniedz  $0,6 - 0,8 t \text{ ha}^{-1}$ , bet viengadīgie kultūraugi atstāj  $0,3 - 0,5 t \text{ ha}^{-1}$  (Nikodemus u.c., 2009).

Zālāju un tīrumu augsnēs organiskās atliekas satur vairāk slāpekļa un minerālvielu, bet maz lignīna un miecvielu. Tas sekmē intensīvu mikroorganismu darbību un organisko atlieku straujāku sadalīšanos. Turpretim meža nobiru transformāciju kavē to sastāvā esošās miecvielas un sveķi (1.5.1.3.2. tab.).

1.5.1.3.2. tabula

**Organisko vielu saturs (%) dažādos dzīvajos organismos (Nikodemus u.c., 2009)**

Organismi	Pelnu saturs	Olbaltumvielas	Hemiceluloze, pektīns	Celuloze	Lignīns	Lipīdi, tanīni
Ķērpji	2-6	3-5	60-80	5-10	8-10	1-3
Sūnas	3-10	5-10	30-60	15-25	0	5-10
Papardes	6-7	4-5	20-30	20-30	20-30	2-10
Koksne	0,1-1	0,5-1	20-30	40-50	20-25	5-15
Skujas	2-5	4-10	10-20	15-25	20-30	5-15
Lapas	3-8	4-10	10-20	15-25	20-30	5-15
Daudzgadīgie graudaugi	5-10	5-12	25-35	25-40	15-20	2-10
Pākšaugi	5-10	10-20	15-25	25-30	15-20	2-10

Organisko atlieku noārdīšanās process izpaužas kā atlieku fizikālās un ķīmiskās izmaiņas. Noārdīšanās ietvaros darbojas trīs dažādi procesi – izskalošanās, mehāniskā sadalīšanās un ķīmiskā noārdīšanās. Praktiski šie procesi notiek vienlaicīgi un mijiedarbojas savā starpā.

Nobiru sadalīšanās un mineralizācijas ātrumu ietekmē klimats – temperatūras un mitruma apstākļi, kā arī nobiru ķīmiskās un fizikālās īpašības un C : N attiecība (Prescott, 2002). Pētījumā par priežu skuju nobiru ķīmiskā sastāva komponentu noārdīšanos, kas veikts 15 parauglaukumos skujkoku mežos Eiropā no Nīderlandes līdz Spānijai, tika konstatēts, ka lignīna noārdīšanās lielā mērā ir atkarīga no evapotranspirācijas, savukārt celuloze ātrāk sadalījās vietās ar salīdzinoši augstu nokrišņu daudzumu. Hemicelulozes sadalīšanās intensitāte bija atkarīga no temperatūras (Mc Tierman et al., 2003).

Attiecība C : N parāda ar kādu ātrumu tiek mineralizētas organiskās vielas. Jo C : N attiecība ir tuvāk 10, jo intensīvāka ir organisko vielu sadalīšanās. Ja attiecība ir lielāka par 10, tad organiskās vielas mineralizējas daudz lēnāk un rezultātā uzkrājas biežāka augsnes virskārta. Pētījums Vidzemes augstienē, kur tiek salīdzinātas divas atšķirīgas mežu audzes (egļu un lazdu), rāda, ka egļu audzē C : N attiecība ir 23 – 35, tas nozīmē to, ka šeit notiek lēna organisko vielu mineralizācija un notiek organisko vielu uzkrāšanās. Lazdu audzē C : N attiecība ir 13,4 – 15,7, kas liecina, ka šeit notiek intensīvāka organisko vielu uzkrāšanās. To rāda arī O horizonta biezums: egļu audzē 4,7 – 8,3cm, bet lazdu audzē 3 – 3,8 cm (Samauska, 2008).

Boreālie skuju koku meži ir nabadzīgi ar barības vielām, jo nobiru sadalīšanās norit samērā lēni un barības vielu pieejamība augiem ir zema (Staaf un Berg, 1981).

Podzolu organisko vielu ķīmiskās pazīmes ir plaši pētītas. Agrākajos pētījumos uzmanība galvenokārt tika veltīta fulvoskābēm, humīnskābēm un humīniem, taču tās nesniedz izpratni molekulārā līmenī. Lielākā daļa autoru pamatojas uz podzolu izpēti B horizontos, neizpētot pārklājošo un pamatā esošos horizontus un neatklājot to saistību ar Bh horizonta ķīmiskajām īpašībām (Buurman un Jongmans, 2005).

Pētījumi parāda, ka podzola sākotnējās stadijās, organiskās vielas B horizontā ir galvenokārt radušās no saknēm un nenodod ķīmisko līdzsvaru šķīstošajām organiskajām vielām tajos pašos profilos, bet turpmākie kombinētie pētījumi (ķīmiskie un mikromorfoloģiskie) atklāja, ka polimorfās organiskās vielas ķīmiski līdzinās saknēm, bet monomorfās līdzinās filtrētajām organiskajām vielām. Konstatēts, ka monomorfās organiskās vielas bija koncentrējušās slikti drenētos horizontos ar nelielu sakņojumu (Buurman et al., 2007).

Šeit rodas pretrunas starp organisko vielu transportēšanas modeli un organisko vielu dominējošo formu B horizontā. Podzolēšanās teorijas pamatā ir princips, ka organisko vielu akumulācija ir ieskalosšanās rezultāts, tomēr novērojumi parāda, ka lielākā daļa organisko vielu akumulāciju ir sakņu trūdēšanas rezultāts.

Al vai Fe kompleksu veidošana ar organiskajām vielām palēnina to trūdēšanu, tādējādi komplekso metālu pārvietošana no B horizonta augšējās daļas palielina atlikušo organisko vielu nepieciešamību un mikrobi patērē visus būtiskākos organiskos savienojumus. Šī mikrobiālā trūdēšana izraisa organisko vielu noplicināšanu un E horizonta veidošanos, kā rezultātā labi attīstītajos E horizontos dominē stabilie garo ķēžu alifātiskie savienojumi (Buurman et al., 2007).

Akumulācijas klasiskais mehānisms – ieskaloto organisko vielu mobilizācija, transportēšana un nogulsnešana vairāk dominē mitros boreālajos podzolos, bet sakņu trūdēšanas rezultātā veidojušās organiskās vielas vairāk izteiktas ir sausos „ne – ziemeļu” podzolos (Buurmann un Jongmans, 2005).

No literatūras avotiem var secināt, ka jebkura organisko vielu akumulācija augsnē gan augšējos, gan apakšējos horizontos ir apgādes un trūdēšanas līdzsvara rezultāts. Podzola B horizonta apgāde notiek caur saknēm un ieskalotajām organiskajām vielām.

Organiskās skābes augsnē var tikt veidotas izskalojoties no augiem, sadaloties nobīrām mikrobu darbības rezultātā, kā arī izdaloties no saknēm, sēnēm un mikroorganismiem (Lundström et al., 2000 b).

Augsnes šķīdumā, organiskās skābes, kas veicina minerālu dēdēšanu un eluviālā horizonta veidošanos, ietver humīnskābes, fulvoskābes vai zemas molekulārās masas (ZMM) alifātiskās un aromātiskās skābes. Divas izšķīdušo organisko skābju īpašības ir nozīmīgas podzolēšanās procesā:

- skābju grupu skaits uz oglekļa masas vienību;
- skābes stiprums un kompleksu veidošanas spēja (Lundström et al., 2000 b).

Meža un zālāju veģetācijas pētījumi pasaulē parāda, ka augi, kas saistīti ar podzolēšanās procesu, izdala skābes. Francijā no ozolu, dižskābaržu, priežu un egļu mežiem tika identificētas citronskābe, ābolskābe, skābeņskābe. Amerikā zemsedzes un minerālaugsnes ekstraktos no priežu un ozolu mežiem atklāja skābeņskābi, skudruskābi un citronskābi (Lundström et al., 2000 b). Zālajos veiktajos pētījumos skudruskābes augstākas koncentrācijas tika atrastas rizosfērā salīdzinot ar pārējo augsnes daļu (Fox un Comerford, 1992).

Vides pH reakcijas nozīme ir svarīga organisko atlieku noārdīšanas procesā. Augu nobiru pH parasti ir skābs. Mērenā klimata joslas mežos lapu koku nobirās pH ir 5,0 – 6,5, skuju koku nobiras ir skābākas (pH 3,5-4,2). Lapu nobiru pH ir cieši saistīts ar augsni, kurā aug veģetācija (Lundström et al., 2000 b), turklāt ir pierādīts, ka skuju koki efektīvi uzkrāj nokrišņu un atmosfēras nosēdumus, tādejādi palielinot skābo izsēšanos (Brown un Iles, 1991; De Schrijver et.al, 2004).

Ir veikts aprēķins, ka bērza, egles un priedes humusa atliekas producē 1 – 1,5 g organisko skābju uz 1 kg. Nodrošinot pietiekamu filtrēšanu, šādas skābes izraisa minerālu dēdēšanu augšējos horizontos un pakāpeniski arī barības vielu samazināšanos (Suominen et al., 2003).

Beļģijā veiktie pētījumi, kur tika salīdzinātas augsnes zem 80 gadus vecām Norvēģijas eglēm un dižskābarža, parādīja, ka egļu audzēs dēdēšana ir intensīvāka (30 % primāro hlorīdu zudums) salīdzinot ar dižskābarža audzēm (5 %). Pētījums parādīja, ka egļu audzēs ~60 % magnijs tiek zaudēts augsnes augšējos 20 cm un vel 27 % visā profilā (Lundström et al., 2000 b).

#### **1.5.1.4. Reljefs un nogāzes ekspozīcija**

Reljefs ietekmē augsnes siltuma, mitruma, vielu sadalījumu, kā arī nosaka augsnes ūdens erozijas procesu attīstību. Ar reljefa *makroformām* (augstienes un zemienes) ir saistīta augsnes vertikālā zonalitāte, bet ar *meziformām* (līdzenumi, pauguri, kāpas, deltas, ieplakas

u.c.) un *mikroformām* (pēc izmēra nelielas (augstumā < 1 m, diametrā 10 – 30 m) – augsnes tipu izvietojums (Kārklīšs, 2008).

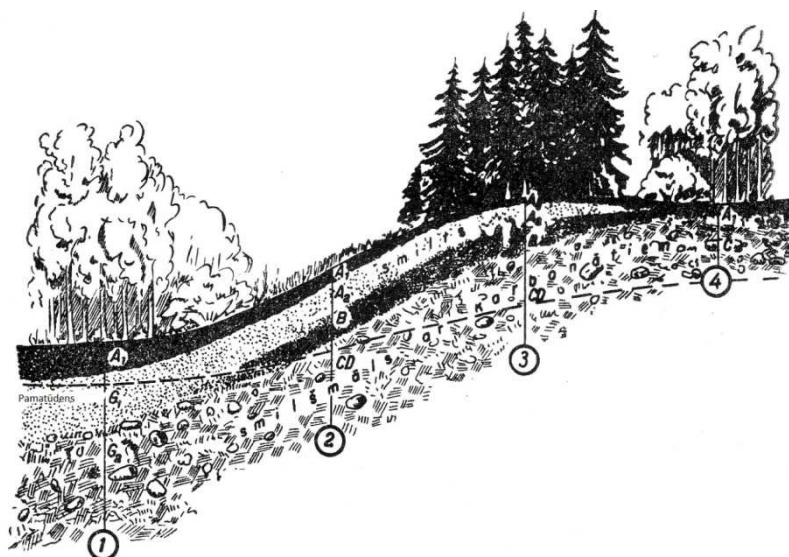
No nogāzes ekspozīcijas ir atkarīgs solārā siltuma daudzums, ko nogāze saņem. Kalnu un paugurainu reljefā siltuma daudzums, ko saņem nogāzes dažādās debespusēs nav vienāds: vissiltākās ir dienvidu un rietumu nogāzes, visaukstākās – ziemeļu un austrumu nogāzes (Brīvkalns, 1959).

Ziemeļu nogāzēm ir lielāks nokrišņu daudzums un zemāka augsnes temperatūra kā austrumu/dienvidaustrumu virziena nogāzēm. Gaisma, augsnes temperatūra un mitrums ietekmē koku augšanu un veģetācijas izplatību, kas var atšķirties atkarībā no augstuma virs jūras līmeņa (Griffiths et al., 2009).

Augsnes īpašības ir atkarīgas no zemes virsmas slīpuma. Gravitācijas spēku ietekmē augsnes daļiņas un vielas tiek nestas pa nogāzi uz leju. Nogāzes slīpums ietekmē ūdens pārvietošanos un infiltrāciju augsnē. Nokrišņu ūdens no pauguru virsotnēm pa stāvām nogāzēm tiek novirzīts uz zemākajām vietām, tāpēc zemākās vietas ir ilgāk mitras nekā nogāzes. Mainoties reljefa apstākļiem, mainās arī gruntsūdens atrašanās dziļums. Reljefa augstākajās vietās tas atrodas dziļāk, bet reljefa pazeminājumos tas atrodas seklāk, līdz ar to augstākajās vietās notiek intensīvāka vielu izskalošanās (Nikodemus u.c., 2009).

Reljefs ir galvenais kontrolējošais faktors, kas ietekmē gan augsnes, gan hidroloģiskos procesus ainavas mērogā (Seibert et al., 2007).

Neskatoties uz to, ka bieži vien teritorijas reljefa īpašības nav izteiktas, augsnes rāda spēcīgu katēnas ietekmi uz augsnes veidošanās procesiem. Augsnes slāņa biezums uz pauguru virsotnēm ir plāns, bet nogāžu augšējā daļā tas ir pats mazākais. Aktīva augsnes erozija nogāžu augšējās daļās nosaka, ka augsnei ir neliels A horizonts un izteikta robeža ar Bt horizontu. Augsnes dziļums palielinās pret nogāzes vidusdaļu, lielāko biezumu sasniedzot piekājē, kur ir novērojama arī glejošanās pazīmes (1.5.1.4. att).

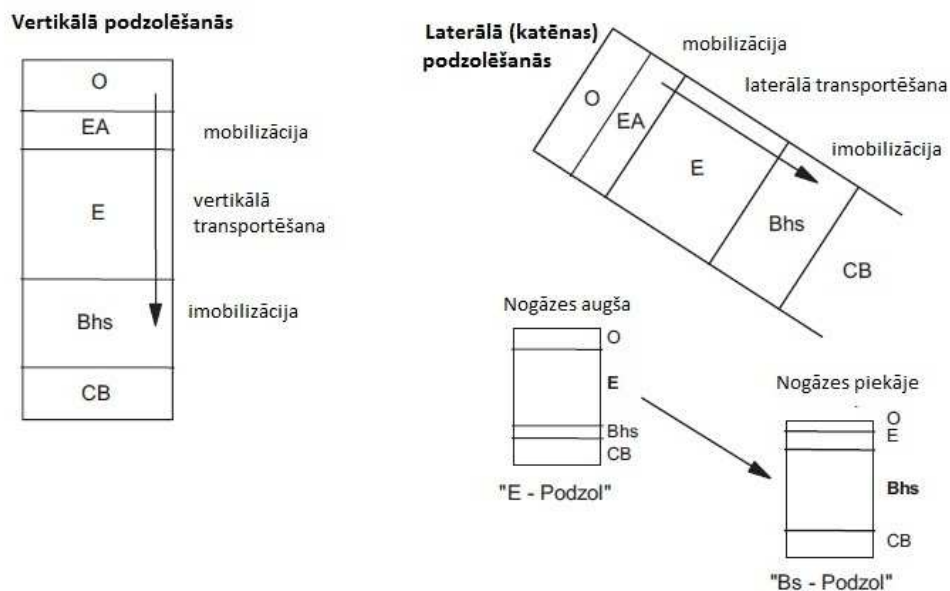


1.5.1.4.1. attēls. **Augsnes tipu, cilmieža, reljefa un augu valsts kopsakarība**  
(Brīvkalns, 1959)

(1 – velēngleja un zemā purva augsne, 2 – velēnu stipri podzolēta glejota augsne ar illuviālā humusa horizontu, 3 – stipri podzolēta augsne, 4 – velēnu karbonātu augsne)

Augsnes slāņa biezums uz pauguru virsotnēm ir plāns, bet nogāžu augšējās daļās tas ir pats mazākais. Aktīva augsnes erozija nogāžu augšējās daļās nosaka, ka augsnei ir neliels A horizonts un izteikta robeža ar Bt horizontu. Nogāzes vidusdaļā palielinās augsnes dziļums, lielāko biezumu sasniedzot nogāzes piekājē, kur ir novērojamas arī glejošanās pazīmes (Niinemets un Saarse, 2005).

Smilšakmens nogulumos veiktais pētījums (Sommer et al., 2001) parāda, ka nogāzes korē attīstās augsnes ar bieziem E horizontiem (virs 100cm) un plāniem B horizontiem (10 cm). Kritumā E horizonta biezums samazinās, turpretī B horizonta biezums pieaug. Tālākie katēnas skaitļi norāda uz plānākiem E horizontiem(10cm) un biežākiem Bhs horizontiem (maksimums 70 cm) nogāzes piekājē (1.5.1.4.2. att.). Pētījums arī parādīja, ka augsnes pH vērtība, Al, Fe un Mn vērtība, kā arī māla minerālu daudzums pieaug un laukšpatu erozija samazinās virzienā uz kritumu.



1.5.1.4.2. attēls. **Vertikālā un sānu podzolēšanās** (Sommer et al., 2001)

Sānu podzolēšanās ir tikai viens podzolēšanās procesa veids, kas noved pie atšķirīga augsnes profila ainavas mērogā. Visbiežāk tas notiek mitrā klimatā stāvās nogāzēs. Neatkarīgi lauku novērojumi pie ziemeļu vai mitriem tropu nosacījumiem parāda sānu podzolēšanos kā plaši izplatītu parādību (Sommer et al., 2001).

Korelācija starp reljefu un augsnes ķīmiskajām īpašībām ir labāk izteikta augsnes O un B horizontiem, parādot, ka organiskie slāņi ir pakļauti lielākai vides faktoru ietekmei. Tie ir horizonti, kas satur organiskās vielas, kuru pārnese ar virszemes noteci var būt visai nozīmīga, pie straujām reljefa izmaiņām. Taču augsnes mitruma un novietojuma reljefā savstarpējā saistība nav tik vienkārša, bet ir jāievēro vairāki citi faktori (Seibert et al., 2007). Piemēram, gruntsūdens līmenis nogāzēs var izmainīt sakarības starp augsnes mitrumu un to novietojumu katēnā. Fizikālie un ķīmiskie augšņu raksturojošie lielumi, it īpaši efektīvais dziļums, kas vaskulārajiem augiem ir apmēram līdz 20 cm un vairāk, ir būtisks faktors augu zemsedzes veidošanā. Tas saistāms ar glejošanās procesu attīstību un pastiprināšanos augsnes profilā (Sommer et al., 2001).

Norvēģijā pētījumu virzieni ir saistīti ar reljefa gradienta katēnas ietekmi uz veģetācijas savstarpējo likumsakarību noskaidrošanu. To labi atspoguļo pētījums par Norvēģijas dienvidu daļas ekosistēmu īpatnībām, kas parāda, ka pie vienādām apvidus ģeoloģiskajām īpašībām, veģetācijas zonas izteikti seko topogrāfiskā gradienta izmaiņām (Reimann et al., 2009).

Pētījumi kalnainos reģionos rāda diametrāli pretējas likumsakarības salīdzinājumā ar pētījumiem, kas veikti līdzenumu teritorijās. Pieaugot augstumam virs jūras līmeņa palielinās augsnes mitrums, gada vidējais nokrišņu daudzums, organiskās vielas saturs augsnē, brīvā

oglekļa un mineralizētā slāpekļa daudzums, augsnes pH reakcija un temperatūra (Griffiths et al., 2009).

Balstoties uz reljefa pētījumiem, var secināt, ka nesadalījušos nobiru apjoms līdz ar vertikālo augstumu būs lielāks, tomēr izteikta tendence nav novērojama. Fakts, ka nobiru daudzums nav tieši atkarīgs no augstuma liek domāt, ka to nosaka oglekļa kopējais daudzums augsnē un nobiru sastāvā. Nobiru daudzuma eksperimenti ASV Centrālajos Kaskādu kalnos rāda apgrieztas likumsakarības starp nobiru sadalīšanās tempu un augstumu virs jūras līmeņa (Griffiths et al., 2009).

#### **1.5.1.5. Augsnes cilmiezis**

Par augsnes cilmiezi sauc nesaistītus, fiziski un ķīmiski sadēdējušus minerālus jeb organiskus materiālus, no kuriem augsnes veidošanās procesā ir izveidojušies augsnes ģenētiski horizonti (A, E, B horizonti). Augsnes cilmiezis (C horizonts) ir augsnes veidošanās minerālais pamats, kas ietekmē augsnes ķīmiskās un fizikāli ķīmiskās īpašības, kā arī augsnes granulometrisko stāvu, kas savukārt nosaka augsne fizikālās īpašības (Ritter, 2006).

Ja cilmiezim ir zems šķīstošo bāzu saturs (Ca, Mg, K, Na u.c.), tad ūdens pārvietojoties caur augsni aizskalo apmaiņas katjonus un aizstāj tos ar hidrogēnjoniem, padarot augsni skābu. Augsnēs, kas veidojušās uz smilšakmeņiem, ir zems šķīstošo katjonu līmenis, turklāt smilšakmens granulometriskais sastāvs (rupja smilts) veicina bāzu izskalošanos. Piemēram, Igaunijas dienvidaustrumos brūnaugsnes un podzoli ir nabadzīgi ar bāzēm, jo to ir maz cilmieža sastāvā, bet nevis tāpēc, ka tie tiek izskalo ti no humusa horizonta. Tātad augsnēm uz šāda cilmieža ir savādākas ķīmiskās un fizikālās īpašības nekā uz morēnas nogulumiem sastopamajām augsnēm. Galvenais ir karbonātu neesamība un līdz ar to tām ir zemāka auglības pakāpe. Zemā augiem nepieciešamā barības elementu daudzuma dēļ tām piemīt mazākas buferespējas pret augsnes pH samazināšanos. Mežu ekosistēmās šādas augsnes īpašības veicina labvēlīgus apstākļus podzolēto augšņu tipu veidošanai (Täht, 2005).

Galvenās pseidopodzolaugšņu īpašības ir tās, ka tās veidojas uz divdaļīga cilmieža. Parasti morēnas nogulumus sedz vieglāka granulometriskā sastāva nogulumi, piemēram, smilšains māls ar mālainu smilti. Karbonāti tiek izskalo ti no eluviālajiem (šķīšanas un izskalošanās process) un iluviālajiem (ieskalošanās process) horizontiem. Velēnu podzolaugšnes veidojas galvenokārt uz glaciolimniskajiem smilšainiem nogulumiem un ir galvenokārt mālsmilts un smilšainās augsnes. Šīs augsnes bieži cieš no sausuma, tāpēc, ka tās mitrumu saņem no nokrišņiem un nav īpaši auglīgas. Podzolaugšnes veidojas uz eolajiem vai jūras smilšainiem nogulumiem (Sharpe et al., 1996).

Ja cilmiezis ir ļoti nabadzīgs, podzolēšanās var notikt arī ārpus tipiska auksta, mitra klimata reģioniem, piemēram, gar visu Austrumu piekrasti Amerikas Savienotajās Valstīs. Priežu meži, kas aug šādās skābās augsnēs, atgriež skābes atpakaļ augsnē, tādējādi veicinot podzolēšanās procesu (Gabler et al., 2009).

Aļaskā veiktais pētījums (Alexander et al., 1994 a) trīs dažādās augsnēs parādīja, ka:

- organisko vielu dēdēšana un izskalošanās nav pietiekoša, lai veidotos augsnē Podzols uz dunīta,
- brīvā Mn un apmaiņas Mg daudzumi ir pārāk mazi, lai veidotu Podzola augsni uz ultrabāziskas (ultramafic) morēnas, bet augsnes pH reakcija ir pārāk augsta, lai veidotos Spodosols,
- augsnes ar Podzola morfoloģiju un Spodosola ķīmisko uzbūvi bija attīstījušās uz sajauktas morēnas, kas saturēja ultrabāzisku materiālu.

Zinātnieki secināja, ka podzolu vai Spodosola attīstība var būt atkarīga no vides, kur Mg, Fe un Mn eluviācija no E horizonta ir ātrāka nekā ultrabāzisku materiālu atbrīvošanās no šiem elementiem dēdēšanas procesā (Alexander et al., 1994 b).

Teritorijās ar augstu izskalošanās rādītāju podzoli pilnīgi neattīstās uz ultrabāziska materiāla cilmieža. To parāda pētījuma rezultāti Skotijas Rūma salā, kur ikgadējais nokrišņu daudzums ir līdz 3300 mm. Viņi atklāja, ka podzolaugsnēm nav E horizonta, turklāt ir relatīvi augsta pH vērtība (>5,2) un augsts apmaiņas katjonu daudzums, īpaši Mg (Ragg un Ball, 1964).

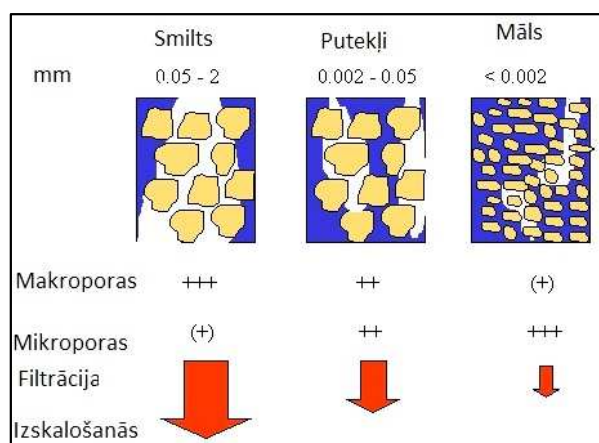
Japāņu pētnieku grupa atklāja podzoliem līdzīgu augsni Japānas ziemeļos, kura veidojas uz serpentīnīta tipa cilmieža, viņi secināja, ka notiek podzolēšanās process, bet augsnes pH vērtība ir augstāka (6,5) nekā tipiski podzolu augsnēs. Savukārt Itālijā veiktā pētījumā (Verger, 1995) tika salīdzināta augsnes attīstība uz serpentīnīta un bāziska (mafīc) tipa iežiem un izdarīti secinājumi, ka podzolu attīstība uz ultrabāziskiem cilmiežiem nav iespējama. Neskatoties uz to rietumu Itālijas Alpu dabas parkā Mont Avic tika atklāti augsnes horizonti subalpu augstumā uz kalna ziemeļu nogāzes, kuri morfoloģiski bija līdzīgi podzoliem. Pētījums parādīja, ka podzolēšanās var notikt arī uz serpentīnīta un bāziska cilmieža (D'Amico et al., 2008).

#### **1.5.1.6. Augsnes granulometriskais sastāvs**

Augsnes minerāli nosaka augsnes granulometrisko sastāvu, tas ir augsnes iedalījums atbilstoši minerālo daļiņu izmēriem. Tas ir būtisks augsnes īpašību noteicējs:

- Augšnes fizikālās un hidrofizikālās īpašības (sakārta, struktūra, ūdenscaurlaidība, ūdens pacelšanās spēja pa kapilāriem) (1.5.1.6.1. att.);
- Augšnes aerofizikālās īpašības (augšnes gaisietilpība un gaiscaurlaidība);
- Termofizikālās īpašības (augšnes siltumietilpība un siltumvadītspēja);
- Produktīvais ūdens daudzums;
- Augu barības vielu krājumi (Nikodemus u.c., 2009).

Augšņu īpašības precīzāk izsaka trīs komponentu klasifikācija – smilts (0,063 – 2,00 mm), putekļi (0,002 – 0,063 mm), māla (<0,002 mm). Lai noteiktu granulometriskā sastāva grupu, tiek ņemta vērā māla, smilts un putekļu procentuālais daudzums minerālaugsnē. Granulometriskā sastāva noteikšanai tiek izmantota granulometriskā sastāva nomogramma (Kārkliņš, 2008).



1.5.1.6.1. attēls. **Saistība starp augšnes frakciju izmēriem un augšnes īpašībām**  
(Soil texture, bez dat.)

Liels māla daļiņu daudzums var piesaistīt daudz augu barības elementu, kas rodas sadaloties un mineralizējoties nobirām, sadaloties iežiem un minerāliem, kā arī izsēžas uz augšnes no atmosfēras (Mežals, 1980; Tērauda, 2008). Daļiņu īpatnējais virsmas laukums iespējams ir viens no faktoriem, kas nosaka augšnes minerālo daļiņu spēju adsorbēt vielas uz daļiņu virsmas. Māla minerālo daļiņu lielais īpatnējais virsmas laukums nodrošina to, ka tās spēj piesaistīt un aizturēt daudz vairāk jonu salīdzinājumā ar smilts augsnēm (1.5.1.6.1. tab.).

1.5.1.6.1. tabula

**Daļiņu skaits 1 gramā augšnes un to īpatnējās virsmas atkarība no daļiņu izmēra**  
(Nikodemus u.c., 2009)

Augšni veidojošie ieži	Daļiņu izmēri (mm)	Daļiņu skaits gramā augšnes	Daļiņu īpatnējā virsmas (cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )
Māls	<0,002	90 260 853 000	8 000 000
Putekļi	0,002 – 0,063	5 776 000	454
Smilts	0,063 – 2000	722 000 – 90	227 – 11

Smiltij ir liela ūdens caurlaidība, bet maza mitruma un augu uzturvielu saistītspēja. Putekļiem ūdens caurlaidība ir maza, bet palielinās ūdens pacelšanas spēja pa kapilāriem, ūdens un barības elementu saistīšana, plastiskums, uzbriešana. Sevišķi stipri šīs īpašības izteiktas māliem (Skujāns un Mežals, 1964).

Latvijā veikts pētījums parāda, ka pētīto elementu vidējais saturs ir augstāks mālainās augsnēs salīdzinājumā ar smilšainajām. Sakārtojot elementus pēc šī rādītāja dilstošā secībā, iegūstam šādu rindu (iekavās norādīta vidējā satura attiecība mālainās un smilšainās augsnēs: Co (17:2) - Ni (15:9) - Mg (14:7) - Mn (14:1) - Fe (11:6) - Cr (10:2) - V (8:7) - Al (7:5) - Zn (7:4) - B (7:0) - K (6:8) - Cu (6:4) - Ga (6:1) - Tl (6:0) - Ca (5:2) - Sc (5:0) - As (4:1) - Ba (3:9) - La, Sr (3:3) - Bi, Mo (3:2) - Th (2:9) - U, P, Cd (2:7) - Ti, Ag (2:4) - Pb (2:2) - Sb, S (2:0) - Na, Hg (1:8) - Se (1:5) (Gilucis, 2007).

Al koncentrācija augsnē galvenokārt ir atkarīga no augsnes minerālā un granulometriskā sastāva. Smilšmāla augsnēs kopējais Al daudzums ir 6 – 7 % bet smilts augsnēs tikai 1,5 – 2 % no augsnes kopējās masas. Fe visvairāk ir māla augsnēs (vidēji 2,0 %), bet vismazāk – smilts augsnēs (aptuveni 0,2 %) (Nikodemus u.c., 2009).

Augsnes virskārtas (10 – 20 cm) fizikālo īpašību ietekmi uz koku vidējiem augstumiem var novērtēt ar lineārās regresijas analīzi. Augsnes virskārtas granulometriskais sastāvs ir izmantojams bērza augstuma pieaugumu prognozēšanai bijušajās lauksaimniecības augsnēs – smilts saturs izskaidro 31 % no kopējās izklīdes ( $R^2=0,312$ ), māla un putekļu frakciju saturs attiecīgi 27,5 % un 20 % ( $R^2=0,275$  un  $0,196$ ) (Augsnes īpašību ietekme..., 2006).

#### 1.5.1.7. Augsnes vecums

Augsnes veidošanās ir nepārtraukts process, to ietekmē ne vien vietas apstākļi, bet arī laiks. Akadēmiķis V. Viljamss izšķīra augsnes absolūto un relatīvo vecumu. Ar absolūto vecumu apzīmē laika periodu no augsnes veidošanās pirmsākumiem (kad sākas iežu pārveide) līdz mūsdienām. Bet relatīvo vecumu nosaka augsnes veidošanās vietas klimatiskie apstākļi, cilmiežu fizikālās un ķīmiskās īpašības (Kārklīšs u.c., 2009).

Sākumā augsne ir nepilnīgi izveidojusies – primitīva, tās īpašības maz atšķiras no cilmieža īpašībām. Kopēji iedarbojoties visiem augsnes veidotājiem faktoriem, mainās augsnes cilmiezis un izveidojas katram augsnes tipam raksturīgie ģenētiskie horizonti. Augsnes ģenētiskie horizonti izveidojas ilgā laika posmā, pie kam šis laiks ir atkarīgs no cilmieža īpašībām un citiem faktoriem (Brīvkalns, 1959).

Podzolu veidošanās ātrums pasaulē tiek daudz pētīts, turklāt tas ir izpētīts hronoloģiskā secībā. Zinātnieki pievērsuši lielu uzmanību, tam cik gadu ir nepieciešams, lai izveidotos

podzola horizonti, turklāt viņu vidū nepastāv vienota viedokļa, cik tad gadu ir nepieciešams, lai izveidotos podzolu augsnes. Acīmredzot nepieciešamais laiks ir atkarīgs arī no citiem augsnes veidošanās apstākļiem.

Minimālais laiks, kas vajadzīgs lai izveidotos plāns E horizonts meža zemēs Aļaskā (ASV) ir 75 gadi (Crocker un Dickson, 1957), bet cita pētījuma ziņojumā (Chandler, 1942) norādīts – lai izveidotos podzolu profils šādos vides apstākļos nepieciešams 500 gadu, bet biežāk 1000 gadu.

Fe pārvietošanās New South Wales (Austrālijā) tika konstatēta pēc 300 gadiem (Borges un Drover, 1953), bet Kalifornijā (ASV) pēc 205 gadiem (Dickson un Crocker, 1954).

Zinātniskajā publikācijā (Lundström et al., 2000 b) ir apkopoti pētījumu rezultāti par podzolu izveidošanās vecumu. Ļoti mitrā, relatīvi mērenā klimatā (ikgadējais nokrišņu daudzums 3200 mm un vidējā temperatūra 8,9 °C) uz skābām pludmales smiltīm Vankūveras salā, podzoli attīstās 350 gados. Cits pētījums sausākos un aukstākos apstākļos Oulu – Somijas centrālajā daļā, kur nokrišņi ir 400 – 700 mm un gaisa temperatūra ir 0 – 3,0 °C, parādīja podzola horizontu diferenciāciju pēc 330 – 1000 gadiem uz osiem un Botnijas līča piekrastē pēc aptuveni 1000 gadiem. Savukārt Somijas ziemeļrietumos uz granīta izcelsmes klintīm redzama podzolu horizontu dažādība 400 – 500 gadu laikā. Zviedrijā jaunākais podzols novērtēts ap 1000 gadu. Bet daudz lielāku laiku podzola horizontu izveidošanai parāda ASV un Kanādas zinātnieku veiktie pētījumi. Hudzona līcī, Ontārio, kur vidējā temperatūra ir 5,5 °C un vidējais nokrišņu daudzums 510 mm. Tur podzols uz kaļķainas pludmales grēdām attīstās 2300 gados, bet Mičiganā (5,2 – 6,2 °C) redzama horizontu diferenciācija attīstījusies 300 – 1000 gados, turklāt pilnīga podzola profila attīstība notikusi 3000 – 10000.

Somijā veikta pētījuma rezultāti parādīja, cik daudz laika nepieciešams, lai izveidotos morfoloģiskiem un ķīmiskiem kritērijiem atbilstošs podzola B horizonts. Morfoloģiskās izmaiņas augsnē, kas saistītas ar oglekli, Al un Fe ir redzamas jau pēc 230 gadiem, bet ķīmiski pierādījumi (elementu izskalošanās un ieskalošanās) parādās tikai 900 gadu vecā augsnē (Mokma et al., 2004).

Analizējot podzola profilu veidošanos hronoloģiskā secībā, zinātnieki ir atklājuši, ka podzola agrīnajā stadijā, pastāvoši ir tikai Bhs un Bs horizonti, kamēr Bh var veidoties virs Bhs horizonta tikai daudz attīstītākās augsnēs. Bh horizonti, kuros dominējošais ir Al, satur daudz aromātisko vielu daļu kā dziļākie B horizonti, kamēr alifātiskās daļas dominē Bhs un Bs horizontos (Skjemstad et al., 1992).

Augsnēs, kurās organisko vielu akumulācija ir līdzsvarota, vidējais <sup>14</sup>C organisko vielu vecums ir pielīdzināms tā vidējam uzturēšanās laikam (angļ. val. MRT). MRT ir trūdēšanas

koeficienta rādītājs: augsts MRT norāda uz lēnu trūdēšanas koeficientu. Lai gan ir pieņēmums, ka oglekļa aprite ziemeļu klimatos ir lēnāka nekā siltajos, <sup>14</sup>C datējumi, kas veikti B horizonta podzola organiskajās vielās, norāda, ka MRT vairāk atkarīgs no pamatieža nevis klimata zonas. Zviedrijas podzoliem uz barības vielām bagātās morēnas ir salīdzinoši zemes MRT, savukārt centrālajā Eiropā podzolēšanās noris galvenokārt nabadzīgajās ledāja smiltīs, tādēļ MRT ir daudz lielāks (Buurman un Jorgmans, 2005). Francijā veiktais pētījums parāda pārsteidzošu atšķirību starp barības vielām ļoti nabadzīgiem podzoliem, kas atrodas zem virsājiem un barības vielām bagātākiem podzoliem, kas atrodams meža augsnēs. Ātrāku atlieku trūdēšanu (mazāks MRT) apkārtņē parāda augsnes, kur ražība ir augstāka (Sariyildiz un Anderson, 2003).

### **1.5.2. Antropogēnie faktori**

Podzolēšanās procesu pētījumos cilvēku ietekme tiek maz pētīta, izņemot pēdējos gados pieaug pētījumu skaits, kas novērtē skābo nokrišņu ietekmi uz augsnes paskābināšanos un līdz ar to uz podzolēšanās procesa veicināšanu (De Schrijver et al., 2006; Boruvka et al., 2005; Jönsson et al., 2003).

Savukārt Latvijā pēdējā laikā tiek pievērsta uzmanība LIZ apmežošanai, kas veicina podzolēšanās procesa attīstību augsnē (Kasparinskis et al., 2010).

Cilvēku saimnieciskā darbība var ietekmēt podzolēšanās procesu gan tieši, gan netieši. Tiešā ietekme izpaužas caur augsnes apsaimniekošanas veidu (LIZ, meža zeme), apstrādāšanu (aršana, mēslošana, kaļķošana) kā arī teritoriālo plānošanu, bet netiešā – mainot citus augsnes veidošanās faktorus – klimatu (klimata pārmaiņas, skābie nokrišņi), veģetāciju (mežu izciršana, LIZ apmežošana), mainot augsnes mitruma režīmu (drenāža). Turklāt cilvēku darbība var būt gan procesu veicinoša, gan kavējoša.

#### **1.5.2.1. Lauksaimniecībā izmantojamo zemju apmežošana**

Lauksaimnieciskā darbība ievērojami izmaina augšņu ķīmiskās, fizikālās un bioloģiskās īpašības, pie kam pēc šo zemju apmežošanas vēl ilgi augsnes īpašības ir atšķirīgas no meža augsnēm. Somijā veiktie pētījumi apstiprina, ka apmežoto lauksaimniecības augšņu auglība ir augstāka kā meža zemēs un atšķirības 10 gadus pēc zemju apmežošanas joprojām ir ievērojamas (Wall un Hytönen, 2005).

Latvijā veikt pētījums (Dažādu kokaudžu attīstības ..., 2008) parāda, ka 10 gadu laikā pēc lauksaimniecībā neizmantotas zemes apmežošanas augsnes agroķīmiskie rādītāji ir

izmainījušies. Skujkoku (priede, egļe) stādījumos augsnes virsējā slānī nedaudz samazinājies trūdvielu saturs no 0,3-0,9 %, kā arī nedaudz samazinājies augiem izmantojamā fosfora un kālija daudzums, kalcija un magnija daudzums vairums gadījumos ir nedaudz pieaudzis. Augsnes reakcija ir kļuvusi skābāka par 0,1-0,3 vienībām. Savukārt mīksto lapu koku (bērzs, liepa, saldais ķirsis, melnalksnis) stādījumos augsnes virsējā kārtā palielinājies trūdvielu daudzums par 0,4-1,0 % un barības elementu daudzums par 0,2-1,8 mg/100 g augsnes, bet augsnes reakcija kļuvusi mazāk skāba.

Pētījums Zviedrijā atklāj, ka pat 40-80 gadus pēc zemju apmežošanas augsnes bijušajās lauksaimniecībā izmantotajās platībās pēc savām īpašībām ievērojami atšķiras no līdzīgām meža augsnēm (Falkengren – Grerup *et al.*, 2006).

Pētot augšņu morfoloģisko pazīmju izmaiņas Latvijā morēnu ainavā novēroja, ka aptuveni 200 gadu ilgā laika periodā pēc lauksaimniecības zemju apmežošanās, augsnes morfoloģijā ir novērojamas nelielas izmaiņas. Konstatēts, ka 200 gadu periodā morēnas nogulumos nav konstatējama *Albic* un *Spodic* horizontu izveidošanās (Kasparinskis *et al.*, 2010).

#### **1.5.2.2. Mežu apsaimniekošana**

Mežu apsaimniekošanas prakse ir būtisks podzolēšanās procesa faktors. Pētījums Beļģijā parāda, ka koku izciršana ik pēc 30 – 50 gadiem un zaru savākšana, veicina podzolēšanās procesa attīstību, jo notiek augsnes paskābināšanās. Zaru savākšana veicina bāzisko jonu zudumu, jo tie kopā ar skujām satur lielāku daudzumu bāzisko jonu nekā stumbrs (Schrijver *et al.*, 2006).

Lai nodrošinātu efektīvu meža atjaunošanu izcirstajos mežu apgabalos, tiek veikta augsnes uzaršana, kā rezultātā tiek izmainīts augsnes profils. Virspusē atrodas iluviālais (B) horizonts, bet dziļāk augsnes virsējie horizonti. Šādā veidā tiek pārtraukta podzolēšanās procesa attīstība un no jauna notiek Al un Fe lejupejošā kustība (Tanskanen un Ilvesniemi, 2004).

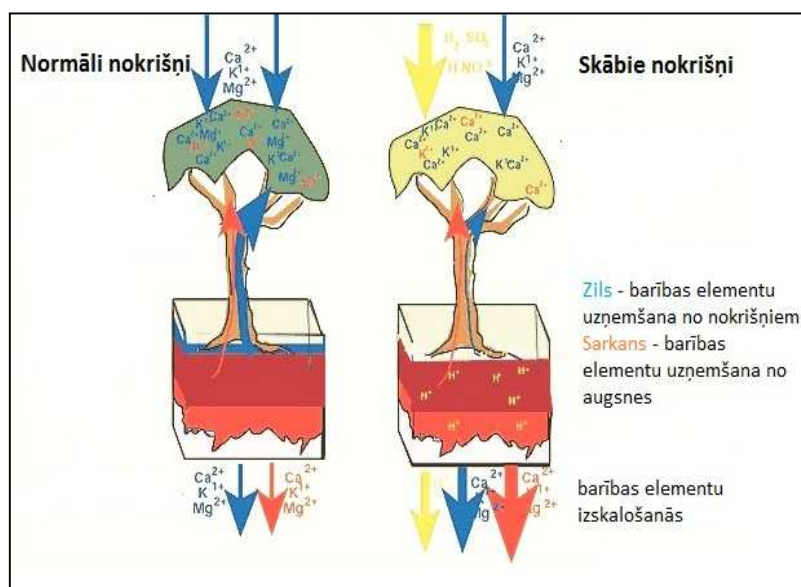
#### **1.5.2.3. Skābie nokrišņi**

Netiešais antropogēnais faktors, kas būtiski ietekmē podzolēšanās procesu ir skābie nokrišņi, kas veicina augsnes paskābināšanos (Goudie, 2001).

Augšņu, it īpaši meža zemju, paskābināšanās Eiropā un Ziemeļamerikā pēdējo divdesmit gadu laikā ir nozīmīgs fakts, to parāda lielais pētījumu ziņojumu skaits (De

Schrijver et al., 2006). Podzola augsnes, kas dabiski ir skābas un ar pazeminātu barības vielu daudzumu, ir īpaši jutīgas pret paskābināšanos, jo ir zema katjonu apmaiņas kapacitāte un zems bāzes minerālu saturs. Teritorijās ar skuju kokiem skābo nokrišņu efekts izpaužas spēcīgāk, jo ir pierādīts, ka skujkoki efektīvāk uzkrāj nokrišņu un atmosfēras nosēdumus, tādējādi palielinot skābo izsēšanos (Brown un Iles, 1991; De Schrijver et al., 2004).

Zviedrijas meži, sevišķi tās dienvidrietumu daļā, visvairāk cieš no skābajiem nokrišņiem. Uz 1 ha ar nokrišņiem nonāk ap 15 kg slāpekļa skābā nitrātjona veidā un ap 9 kg sēra skābā sulfātjona veidā. Rezultātā augsnes paskābināšanās apgrūtina barības elementu uzņemšanu kokiem un veicina tādu meža augšanai svarīgu elementu kā kalcijs, magnijs un kālijs izskalošanos (1.5.2.3.1. att.).



1.5.2.3.1. attēls. **Barības elementu uzņemšana un izskalošanās salīdzinājums normālos un skābos nokrišņos** (Kennedy, bez dat.)

Augsnes skābuma palielināšanos un barības elementu trūkumu uzskata par svarīgākajiem meža bojājumu iemesliem pēdējos gados. Lai novērstu barības elementu trūkumu, veic meža mēslošanu, piemēram, ar kāliju un magniju. Varētu būt nepieciešami arī tādi mikroelementi kā bors, varš un cinks (Jönsson et al., 2003).

#### 1.5.2.4. Augsnes kalķošana

Latvijā 20. gadsimta 70-tajos un 80-tajos gados ļoti strauji pieauga skābo augšņu kalķošanas apjomi. Gadā tika nokaļķoti 180 – 200 tūkstoši hektāru. Taču sākot ar 1990. gadu kalķošanas darbi strauji samazinājās – gadā nokaļķoja tikai 4 – 8 tūkstošus hektāru. Pateicoties milzīgajiem kalķošanas apjomiem, skābo augšņu īpatsvars samazinājās no 64 % līdz 16,6 %. Savukārt pēdējos 15 gados, kad augšņu kalķošanas apjoms vidēji sastāda tikai

3 – 5 % no agrāko gadu apjoma, skābo augšņu īpatsvars atkal ir palielinājies līdz 40 – 50 % no kopējās lauksaimniecībā izmantojamās zemes platības (Vigovskis, bez dat.).

Podzolaugšņu kaļķošana ir ļoti nozīmīgs augsnes ielabošanas pasākums, jo ar to samazinās podzolēšanās tempi un vienlaicīgi tiek atrisinātas trīs galvenās augsnes auglības problēmas:

- Neitralizēts augsnes skābums;
- Uzlabots augu un augsnes nodrošinājums ar kalciju un magniju;
- Būtiski uzlabotas augsnes agroķīmiskās, fizikālās un bioloģiskās īpašības (Zariņa, 2009).

Kaļķošana ļoti labvēlīgi ietekmē pārmērīgi smagu, mālainu, kā arī vieglu un smilšainu augšņu struktūru un īpašības. Māla augsnes kļūst ievērojami irdenākas un vieglāk strādājamas, bet smilts augšņu daļiņas vairāk saistās savā starpā un, pateicoties tam, vieglākās augsnes kļūst saistīgākas, ar labāku struktūru (Vigovskis, bez dat.).

### **1.6. Podzolēšanās procesa pētījumu metodes Pasaulē un Latvijā**

Izvērtējot pasaulē pielietotās pētījuma metodes podzolēšanās procesa novērtēšanai, var secināt, ka tiek pielietotas vairākas metodes: morfoloģiskās, ķīmiskās un datu analīze.

Par morfoloģiskām metodēm var uzskatīt E un B horizonta konstatēšanu augsnes profilā, horizontu krāsas atbilstību u.c. pazīmes atbilstoši augsnes noteikšanas kritērijiem (IUSS Working ..., 2007).

Podzolēšanās procesa pētījumos galvenokārt tiek noteikti trīs ķīmisko elementu – Al, Fe un Si – dažādās formas:

- aktīvie (amorfie, vāji polimerizētie) Al, Fe un Si savienojumi ( $Al_o$ ,  $Fe_o$ ,  $Si_o$ ),
- organiskajos savienojumos saistītie Fe un Al savienojumi ( $Al_p$ ,  $Fe_p$ ),
- „brīvā” Al un Fe savienojumi ( $Al_d$ ,  $Fe_d$ ) (Kristiansen, 2001; D'Amico et al., 2008; Tanskanen un Ilvesniemi, 2004; Mossin et al., 2002; Dalsgaard un Odgaard, 2001).

Ar skābo (pH3) oksalāta šķīdumu nosaka aktīvā (amorfā) Al, Fe un Si savienojumus (IUSS Working ..., 2007). Oksalāta ekstrahējamo Al, Fe un Si pašlaik uzskata par vienu no labākajiem podzolēšanās procesa rādītājiem. Šī analīzes metode ir akceptēta arī augsnes diagnosticēšanā dažādās augsnes klasifikācijās – Soil Taxonomy, FAO.

Organiskajos savienojumos saistītos Al un Fe nosaka ekstrakcijā ar pirofosfāta šķīdumu (Expert Committee ..., 1987). Pirofosfāts var izšķīdināt dažus vāji kristāliskus Fe oksīdus,

piemēram, smalkgraudainu getītu (D'Amico et al., 2008). Šī metode pašlaik tiek pielietota Kanādas augšņu noteikšanas sistēmā.

„Brīvo” Al un Fe savienojumus nosaka ekstrakcijā ar ditionīta – citrāta šķīdumu. Šajā šķīdumā izšķīst visi augsnes „brīvie” oksīdi, izņemot daži bioloģiski saistītie (D'Amico et al., 2008).

Rādītājs  $(1/2\text{Fe}_o + \text{Al}_o)\%$  dažādās augsnes klasifikācijas sistēmās tiek pieņemts, kā spodic horizonta noteikšanas kritērijs. Rādītājam jābūt 0,50 % vai vairāk un vismaz 2 reizes vairāk nekā virs tā esošajos horizontos (Kārklīšs, 2008).

Podzolēšanās procesa laikā  $\text{Fe}_p$  tiek mobilizēts vēlāk nekā  $\text{Al}_p$ , tāpēc  $\text{Fe}_p$  un  $\text{Al}_p$  attiecība ( $\text{Fe}_p : \text{Al}_p$ ) tiek izmantota, lai parādītu atšķirības starp podzolēšanās posmiem (Barrett, 1997).

$\text{Fe}_o$  un  $\text{Fe}_d$  attiecība ( $\text{Fe}_o : \text{Fe}_d$ ) tiek izmantota, lai norādītu „brīvo” Fe oksīdu kristalizācijas pakāpi. Podzola augsnē parasti attiecība ir lielāka augšējos B horizontos un samazinās virzienā uz leju (McKeague un Day, 1966).

Oglekļa un metāla molārā attiecība (C : Al un C : Fe) tiek izmantota, kā rādītājs metālorganisko kompleksu imobilizēšanai augsnes B horizontā (Petersen, 1976). Laboratorijas pētījumos piesātinājums ir noteikts pie molārās attiecības C : Al >17 (Petersen, 1976) un C : Fe 5 – 12 (McKeague et al., 1971; Petersen, 1976).

Augsnes paraugu analīzēs no Nīderlandes, Beļģijas un ASV podzoliem parāda, ka  $C_p : \text{Al}_p$  attiecība samazinās līdz ar augsnes dziļumu, bet  $C_p : \text{Fe}_p$  attiecība bija vairāk mainīga. Pētnieki secināja, ka Al labāk nekā Fe regulē organiskās vielas nogulsnešanos. Podzola B horizontu raksturo ar molāro  $C_p : \text{Al}_p$  attiecību mazāk kā 30 (Gleyic Podzol) vai 40 (Orthic / Humic Podzol) (Mokma un Buurman, 1982).

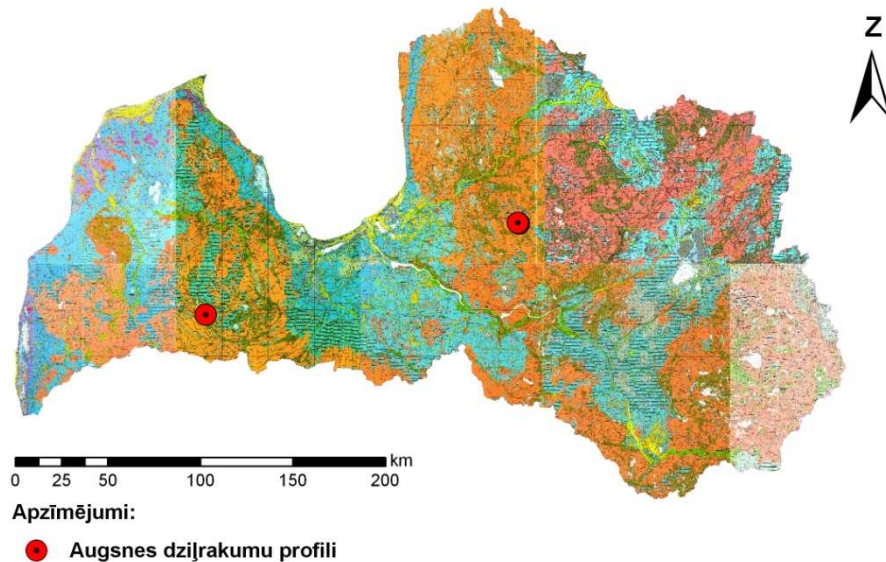
Podzolēšanās procesā metāla un oglekļa attiecībai (M : C) ir fundamentāla nozīme skābajās smiltis augsnēs. Zemākā M : C attiecība atrodama virsējos O, A un E horizontos, bet strauja M : C attiecība pieaug B horizontā (Jansen et al., 2003). Dānijas podzolos vidējās vērtības attiecībai O un E horizontos ir Al : C = 0.007 – 0.040 un Fe : C = 0.02 – 0.09, bet B horizontā Al : C = 0.20 – 0.80 un Fe : C = 0.26 – 1.40 (Petersen, 1976).

Podzolēšanās procesa attīstības ietekmējošo faktoru analizēšanā tiek izmantotas dažādas matemātiskās apstrādes metodes galvenokārt faktoru analīzes (Buurman et al., 2007).

## 2. PĒTĪJUMU MATERIĀLI UN METODEDES

### 2.1. Etalonteritoriju apraksts

Pētījuma veikšanai saistībā ar podzolēšanās procesa attīstību augsnē, tika izvēlētas divas morēnas nogulumu izplatības etalonteritorijas, kas atrodas Latvijas centrālajā daļā un dienvidrietumu daļā (attiecīgi: Zaubes pagastā un Zvārdes pagastā) (2.1.1. att.).



2.1.1. attēls. **Etalonteritoriju izvietojums** (autore sastādīts, izmantojot LVGD Kvartārģeoloģija) (1 – Zaube, 2 – Zvārde)

Pētījuma etalonteritorijas tika izvēlētas balstoties uz morēnas nogulumu izplatību, kā arī informāciju par meža un meža zemes vecumu.

Amatas novada Zaubes pagastā ierīkotā dziļrakumu profilu sērija (Nr. 1 – 9) atrodas Vidzemes augstienes augšņu apakšrajonā, kurā klimats ir mēreni vēss un mitrs. Gada vidējā temperatūra ir aptuveni  $+5,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  (jūlijā  $+17,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; janvārī no  $-6,0$  līdz  $-7,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), savukārt bezsala periods ilgst 130 dienas gadā. Teritorijai raksturīgs liels nokrišņu daudzums 800 – 850 mm gadā (Turlajs, 2009). Sniegs nokūst aptuveni mēnesi vēlāk nekā Latvijas zemieņu rajonos.

Saldus novada Zvārdes pagasta teritorija atrodas Austrumkursas augstienes un līdzenuma augšņu apakšrajonā. Teritorijā ierīkota dziļrakumu profilu sērija Nr. 10 – 13. Salīdzinot ar Zaubes teritoriju, Zvārdes etalonteritorijā klimats ir maigāks – mēreni vēss un vidēji mitrs. Gada vidējā temperatūra ir aptuveni  $+6,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  (jūlijā  $+16,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , janvārī no  $-5,0$  līdz  $-6,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), savukārt bezsala periods ir ilgāks, t.i. 140 - 150 dienas gadā. Salīdzinoši mazāks ir arī nokrišņu daudzums 650 – 700 mm gadā (Turlajs, 2009).

## 2.2. Izejas dati

Maģistra darbā ir izmantota informācija par nozīmīgākajiem pētījumiem Latvijā un pasaulē saistībā ar podzolēšanās procesa attīstību un to ietekmējošiem faktoriem, kas iegūta no zinātniskajām bibliotēkām, interneta resursiem, kā arī starptautiskajiem zinātniski recenzējamiem žurnāliem, kas pieejami zinātniskajās datubāzēs ScienceDirect, Springerlink un Elsevier.

Pētījums ir veikts, izmantojot LZP granta „Lauksaimniecībā izmantojamo zemju apmežošanas ainavekoloģisks vērtējums (09.1118)” ietvaros iegūtos datus, kas piefiksēti lauku darbu veidlapās, atbilstoši Latvijas un starptautiskajai FAO WRB augšņu klasifikācijai (IUSS Working..., 2007), laika periodā no 2009. gada jūlijam līdz augustam, aprakstot un veicot fotofiksāciju 13 augšņu dziļrakumu profiliem, kuru atrašanās vietas tika izvēlētas, izmantojot transektu metodi, atkarībā no dominējošajām koku sugām, novietojuma reljefā un aptuvenā koku un meža zemju vecuma.

No augšņu profilu diagnostiskajiem horizontiem tika ievākti augšņu paraugi (kopā 77), to turpmākajām fizikālajām (augšņu granulometriskais sastāvs) un ķīmiskajām (ekstrahējamā  $Al_0$  un  $Fe_0$ , organiskais ogleklis, slāpekļis, fosfors, apmaiņas katjoni – Ca, Mg, K, Na, augšņu  $pH_{KCl}$  reakcija) analīzēm, kas veiktas LU Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultātes un Bioloģijas fakultātes Augšņu laboratorijās.

## 2.3. Pētījumu metodes

Izmantojot literatūras avotus, tika apkopota informācija saistībā ar pētījumiem Latvijā un pasaulē, kas veikti par podzolēšanās procesu un to ietekmējošiem faktoriem.

Izmantojot lauku darbos iegūto informāciju par dziļrakumu profilu atrašanās vietu koordinātām, veikta pētījumu teritorijas vides apstākļu telpiskā analīze, izmantojot ArcMap 9.2. programmatūru.

### 2.3.1. Augšņu paraugu ķīmiskās analīzes

Pētījuma ietvaros laboratorijā tika veiktas paņemto paraugu ķīmiskās analīzes, lai noteiktu aktīvo jeb amorfo Fe un Al savienojumus ekstrakcijā ar amonija oksalātu (ICP Forest, 2006).

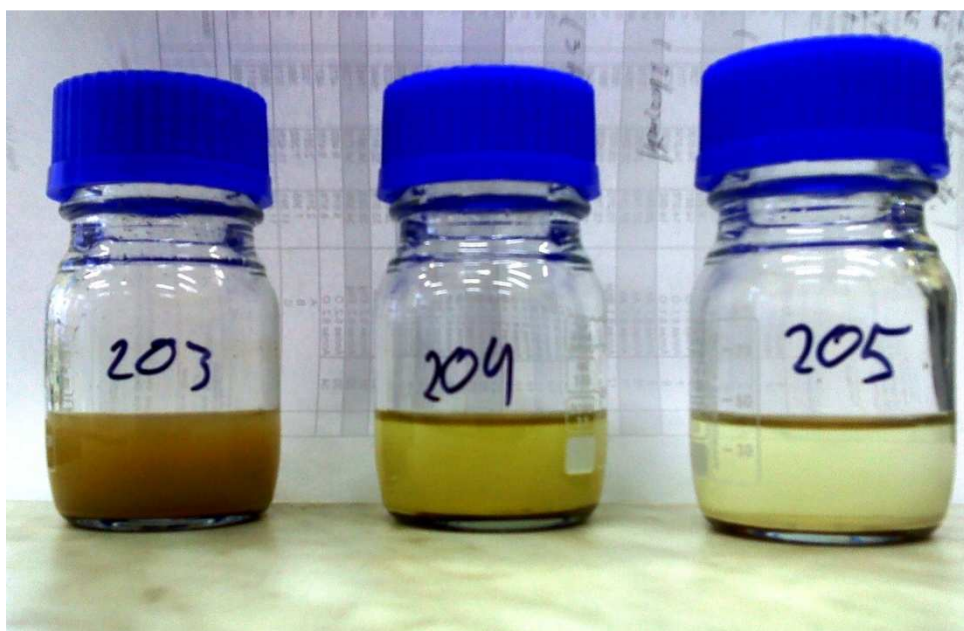
Augsnes paraugi no to ievākšanas brīža līdz mehāniskai sagatavošanai (8 mēnešus) tika uzglabāti skapī, lai izvairītos no gaismas ietekmes, un žāvēti istabas temperatūrā (no 20 līdz 25 °C) līdz tika iegūta gaissausa augsne.

Vispirms tika veikta augsnes paraugu mehāniskā sagatavošana: augsnes smalcināšana un sijāšana caur sietu ar acu diametru 2 mm. Izmantojot analītiskos svarus *Kern ALT 220* paraugi tika sasvērti pa 1 g (ar precizitāti 0,01 g) un pārnesti uz 100 ml stikla pudelēm, un aplieti ar 50 ml 0,2 M amonija oksalāta reaģenta šķīduma (16,2 g  $(\text{COONH}_4)_2\text{H}_2\text{O}$  un 10,8 g  $(\text{COOH})_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$  tika izšķīdināti vienā litrā destilēta ūdens un iestādīts pH 3, izmantojot skābeņskābes vai amonija oksalāta šķīdumus 0,2 M) (ICP Forest, 2006).

Sagatavotās paraugu pudeles tika ievietotas kartona kastēs, lai izvairītos no gaismas ietekmes un maisīti 4 stundas izmantojot orbitālo maisītāju *Multi PSU-20*.

Pēc standartmetodes paraugi (2.3.1. att.) būtu jācentrifugē un pēc tam tiem jāpievieno flokulants Superfloc, kas palīdzētu atbrīvoties no suspendētajām daļiņām, taču šāds reaģents Latvijā nebija pieejams, tādēļ šis analīžu apstrādes etaps tika aizstāts ar paraugu filtrēšanu caur 0,45 μm filtru (šķirces neilona filtrs *Cole-Parmer*). Metodes modificēšanas ietekme tika pārbaudīta izmantojot augsnes standartparaugu ar zināmu Al un Fe saturu, iegūtie rezultāti apliecināja, ka šādas izmaiņas metodes rezultātu neietekmē.

Al<sub>0</sub> un Fe<sub>0</sub> saturs ekstraktā tika noteikts izmantojot atomabsorbcijas spektrofotometru *PerkinElmer AAnalyst 200*.



2.3.1. attēls. Sagatavotie augsnes paraugi pēc 4 stundu maisīšanas

Rezultātu ticamības nodrošināšanai katra horizonta paraugi tika sagatavoti trīs atkārtojumos. Ķīmiskajām analīzēm tika sagatavoti 231 augsnes paraugi, katrā jaunā sērijā tika analizēts viens tukšais paraugs (kopā 9) un kontroles paraugs (izmantojot augsnes standartparaugu Sample A).

### 2.3.2. Datu apstrāde

Pētījumā izmantoto lauku darbu dati, kā arī laboratorijas analīžu rezultāti tika apkopoti un izveidota datu bāze, izmantojot Microsoft Excel 2007 datorprogrammu. Datu bāze satur šādu informāciju: parauga horizonta apzīmējums, horizonta dziļums un biezums, Al<sub>o</sub>, Fe<sub>o</sub> un org. C daudzums, augsnes granulometriskais sastāvs procentos, augsnes profila meža zemes vecums, kā arī meža vecums, dominējošās koka sugas profila apkārtnē, profila novietojums reljefā, augsnes tips pēc Latvijas klasifikācijas un pēc FAO klasifikācijas.

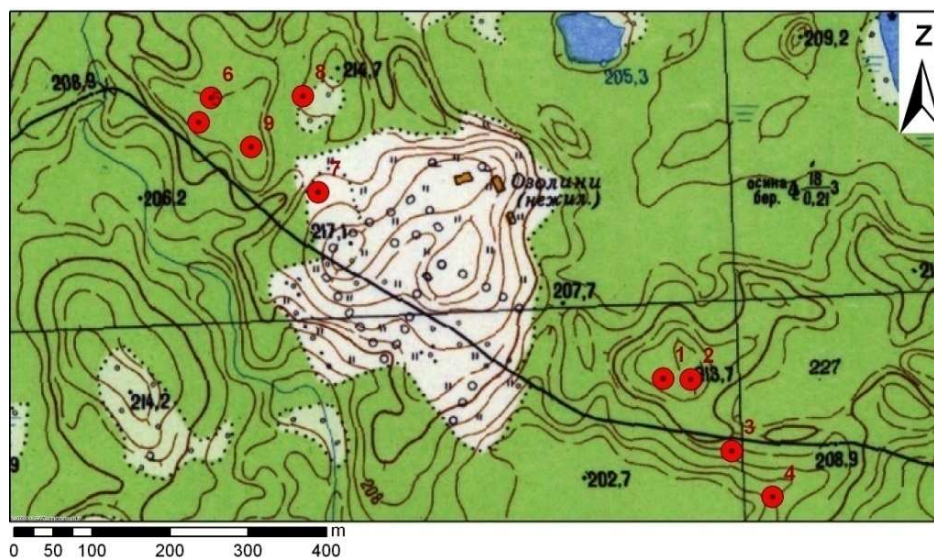
Tālākai 77 augsnes paraugu datu statistiskajai apstrādei, tika veikta principālā komponentu analīze, izmantojot *PC ORD 5.10* datorprogramma un viena faktora dispersijas analīze, izmantojot *SPSS PASW Statistics 18* datorprogrammu.

Datu statistikai tika veikta datu kodēšana sekojošiem podzolēšanās procesa ietekmējošiem faktoriem – horizonta kods, veģetācijas tips, meža zemes vecums, meža vecums, novietojums reljefā, augsnes tips pēc Latvijas klasifikācijas, augsnes tips pēc FAO klasifikācijas (1. pielik.), bet pārējiem rādītājiem (Al<sub>o</sub>, Fe<sub>o</sub>, C<sub>org</sub> daudzums, augsnes granulometriskais sastāvs, egles, bērza, apses un baltalkšņa daudzums) tika atstātas to faktiskās vērtības. Viena faktora dispersijas analīzes veikšanai tika izveidots kods augsnes granulometriskā sastāva grupām (1. pielik. 8. tab.).

### 3. REZULTĀTI UN DISKUSIJA

#### 3.1. Augšņu dziļrakumu profilu raksturojums

Veicot etalonteritoriju vietas vides apstākļu telpisko analīzi izmantojot datorprogrammu ArcMap 9.2., tika konstatēts, ka Zaubes augsnes dziļrakumu profili Nr. 1, 2, 5, 6 un 9 ierīkoti paugura virsotnēs, bet profili Nr. 3, 4, 7, 8 – nogāzes vidusdaļā (3.1.1. att.).

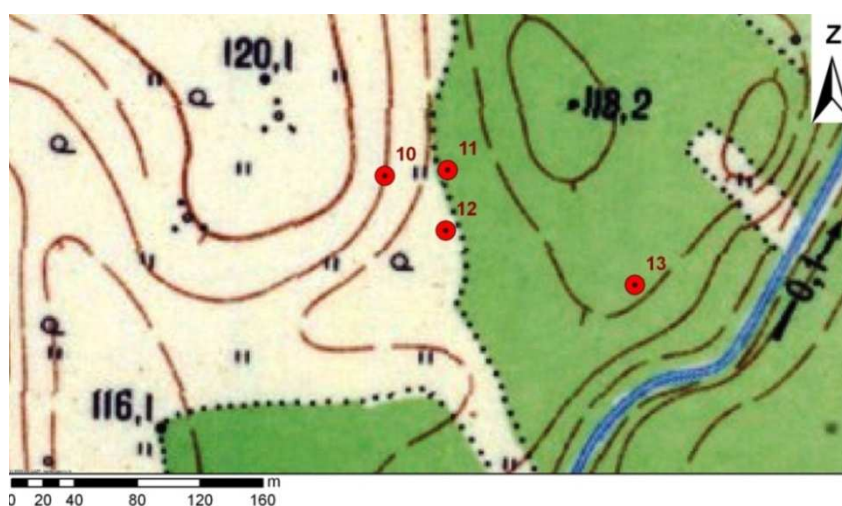


Apzīmējumi:

- Augsnes dziļrakumu profili

3.1.1. attēls. Zaubes dziļrakumu profilu izvietojums reljefā  
(autore sastādīts, izmantojot TOPO 50K PSRS)

Zvārdes dziļrakumu profili Nr. 10, 11, 12 izvietoti starppauguru ieplakā, bet profils Nr. 13 – paugura nogāzē (3.1.2. att.).

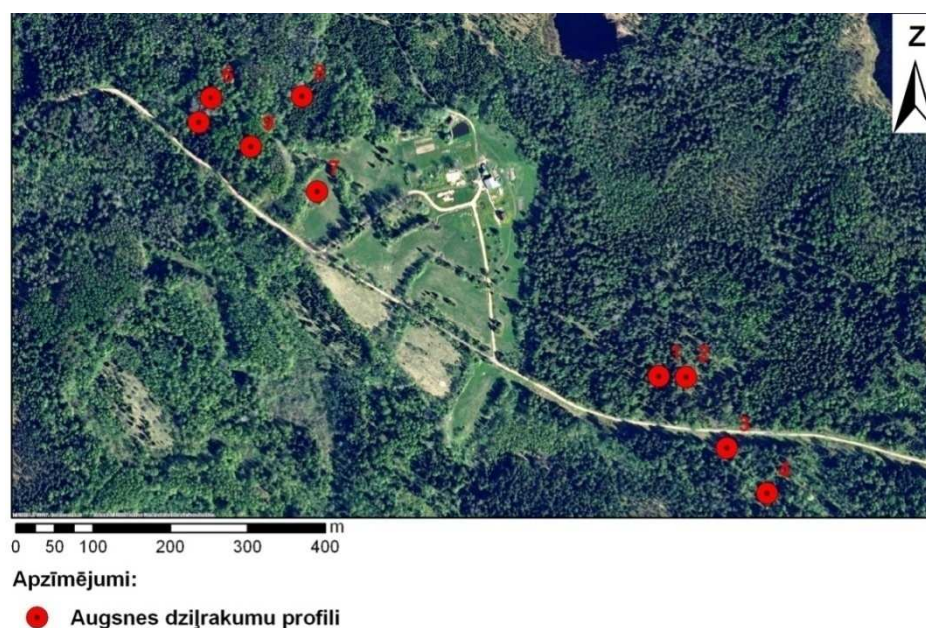


Apzīmējumi:

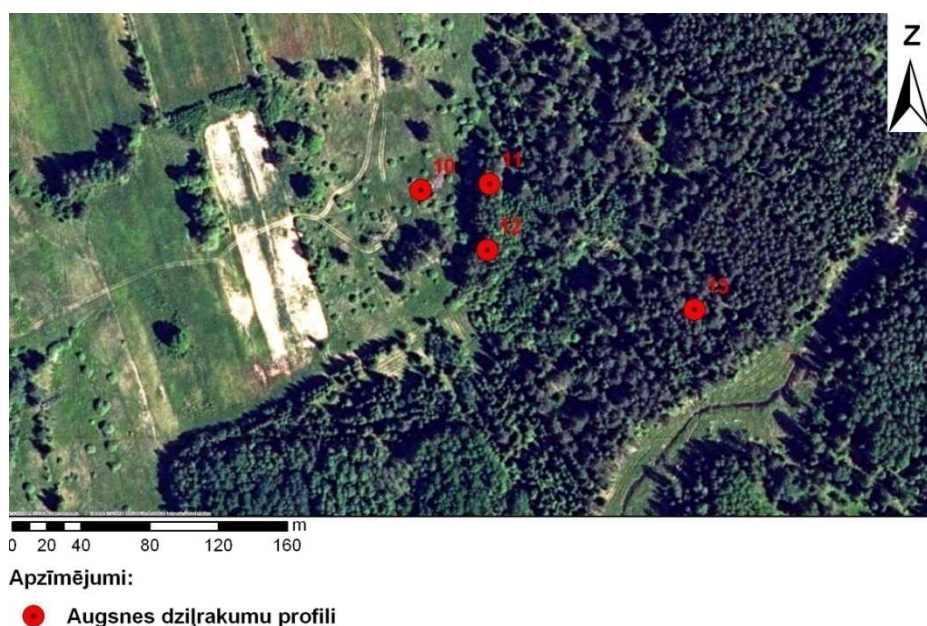
- Augsnes dziļrakumu profili

3.1.2. attēls. Zvārdes dziļrakumu profilu izvietojums reljefā  
(autore sastādīts, izmantojot TOPO 50K PSRS)

Otrs noteicošais faktors augsnes dziļrakumu profilu ierīkošanai bija zemes lietojuma veids (mežs, pļava) un pieejamā informācija par tā vecumu (3.1.3. un 3.1.4. att.).



3.1.3. attēls. **Zaubes dziļrakumu profilu izvietojums atkarībā no zemes lietojuma veida** (autore sastādīts, izmantojot ORTOFOTO 3. LĢIA)

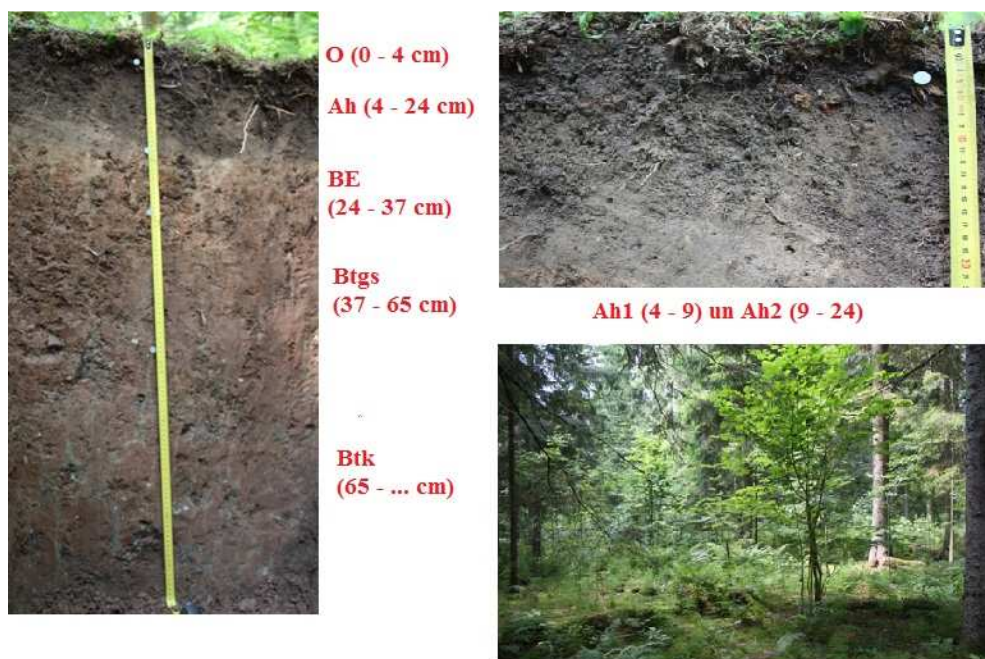


3.1.4. attēls. **Zvārdes dziļrakumu profilu izvietojums atkarībā no zemes lietojuma veida** (autore sastādīts, izmantojot ORTOFOTO 3. LĢIA)

Pēc lauku darbu aprakstu veidlapām un foto uzņēmumiem Zaubes apkārtnes etalonteritorijā tika konstatētas augsnes, kas atbilst pushidromorfo augšņu klasei, (dziļrakumu Nr. 1, 2, 3, 4, 7) un automorfo augšņu klasei (dziļrakumu profili Nr. 5, 6, 8, 9).

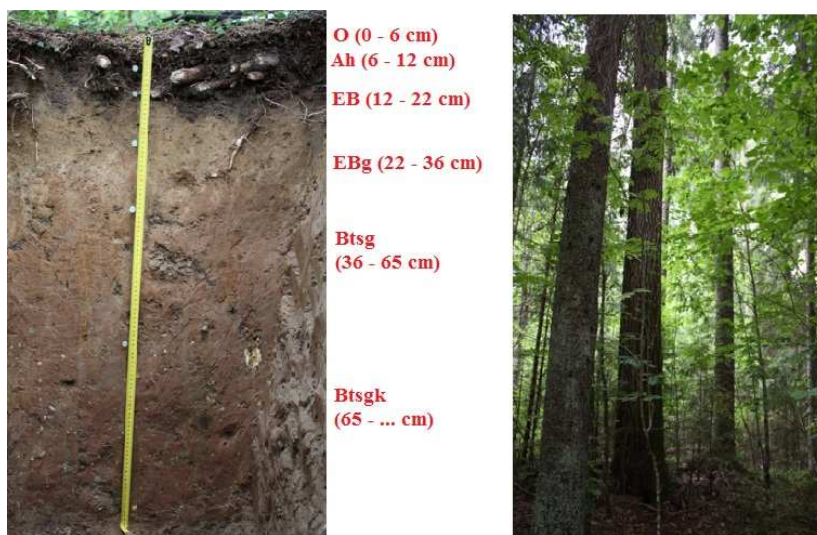
Zaubes etalonteritorijas augsnes ir veidojušās uz morēnas nogulumu pauguriem.

Augsnes dziļrakuma profils Nr. 1 atrodas meža zemē, kuras vecums ir ap 80 gadu, bet koku vecums 60 gadu. Meža sastāvā dominē egles un nedaudz bērzi (8E2B). Profila virsējos horizontos (Ah) granulometriskais sastāvs ir vieglāks (smaga mālsmilts) salīdzinot ar apakšējiem horizontiem – BE un B (no viegla līdz putekļainam smilšmālam). Profilā nav konstatēts E horizonts, bet ir samērā biezs (28 cm) māla un dzelzs akumulācijas horizonts Btgs ar glejošanās pazīmēm, kuras parādās 37 cm dziļumā (3.1.5. att.).



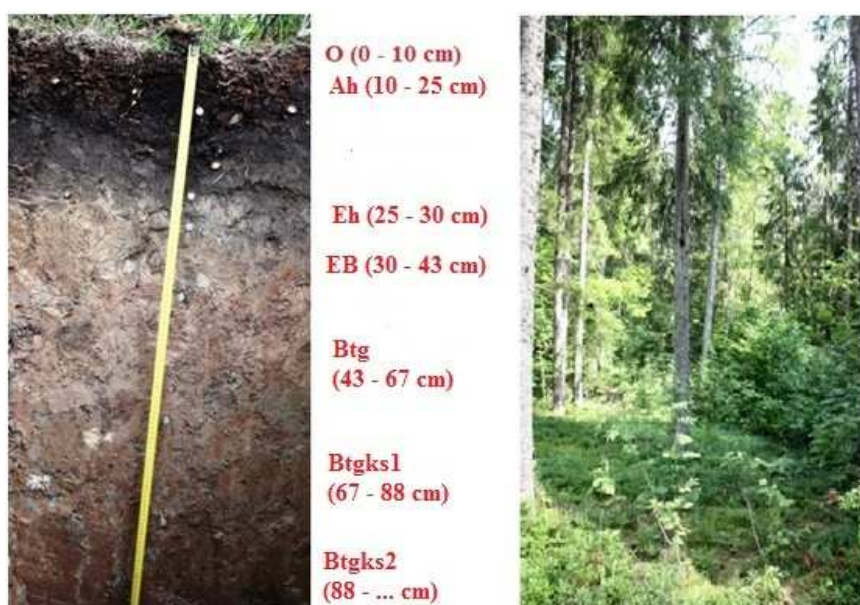
3.1.5. attēls. **Augsnes dziļrakumu profils Nr. 1** (Kasparinskis, 2009)

Profils Nr. 2 atrodas meža zemē, kuras vecums ir ap 150 gadu, bet mežā augošo koku – pārsvarā egļu (9E1B), vecums ir ap 100 gadu. Profila apakšējie augsnes horizonti (EBg, Btsg, Btsgk) ir smagāka (smilšmāls) granulometriskā sastāva nekā augšējie horizonti (Ah) (smaga mālsmilts). Virsējā trūdvielu akumulācijas horizonta biezums ir diezgan mazs (6 cm). Profilā konstatēts podzolēšanās profils EBg un ieskalšanās horizonts Btsg, kur vērojama māla un dzelzs akumulācija, kā arī glejošanās pazīmes jau 22 cm dziļumā. Augsnes profilā norisinās intensīvi podzolēšanās un glejošanās procesi, kurus varētu ietekmēt nokrišņu infiltrēšanās un smaga granulometriskā sastāva cilmiezis (3.1.6. att.).



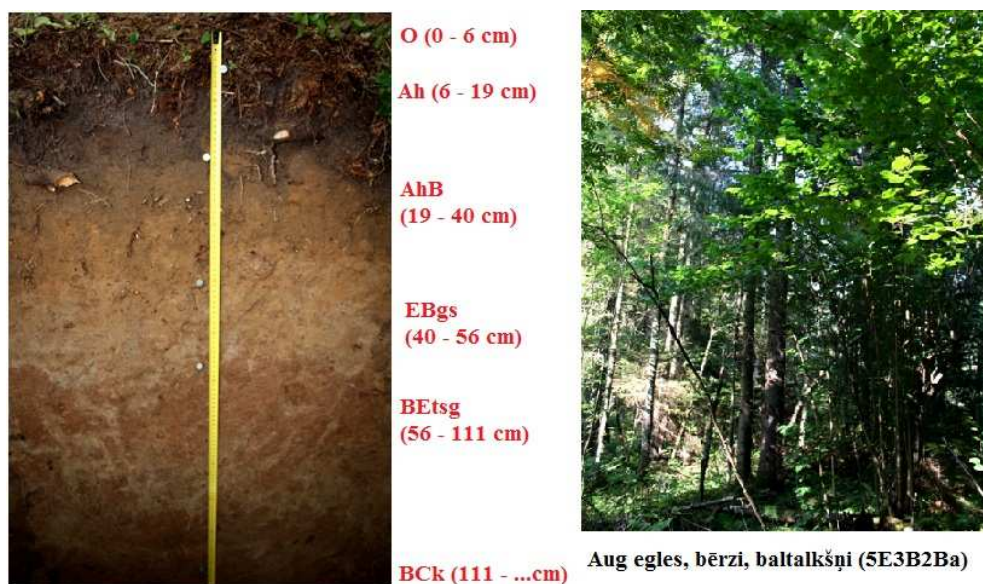
3.1.6. attēls. **Augsnes dziļrakumu profils Nr. 2** (Kasparinskis, 2009)

Profils Nr. 3 ir izvietots 150 gadus vecā meža augsnē, kur augošo koku vecums ir 100 gadu. Dominējošā koka suga ir egle (9E1B). Smagāks (smilšmāls) augsnes granulometriskais sastāvs konstatēts augsnes profila dziļākajos horizontos (B), bet virsējos (Ah, EB, Eh) nedaudz vieglāks (mālsmilts). Profilā konstatēts E horizonts, turklāt virsējā tā daļā notiek organisko vielu akumulācija. Ieskalošanās horizontā (Btg) vērojama māla akumulācija un glejošanās pazīmes (3.1.7. att.).



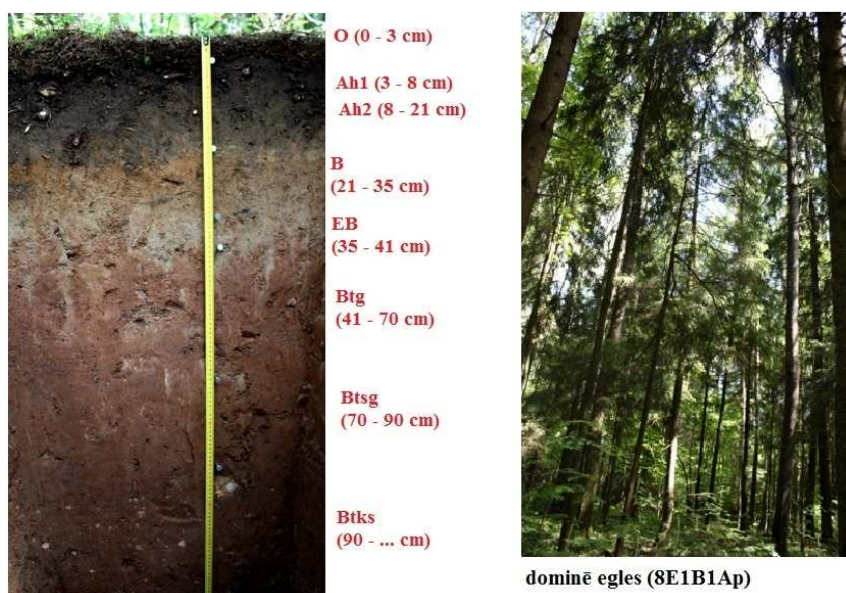
3.1.7. attēls. **Augsnes dziļrakumu profils Nr. 3** (Kasparinskis, 2009)

Profils Nr. 4 izvietots jaukta skuju/lapu koku mežā (5E3B2Ba + Ap). Meža zemes vecums ir 70 gadu, bet koku vecums – 60 gadu. Augsnes granulometriskais sastāvs visā profilā ir nemainīgs – mālsmilts. Profilā ir samērā biezs (40 cm) trūdvielu akumulācijas horizonts (Ah), kas norāda, ka teritorija agrāk bijusi izmantota kā lauksaimniecības zeme. Profilā ir diezgan biezs B horizonts, kurā vērojama māla, dzelzs savienojumu iluviāla akumulācija, kā arī glejošanās pazīmes (3.1.8. att.).



3.1.8. attēls. **Augsnes dziļrakumu profils Nr. 4** (Kasparinskis, 2009)

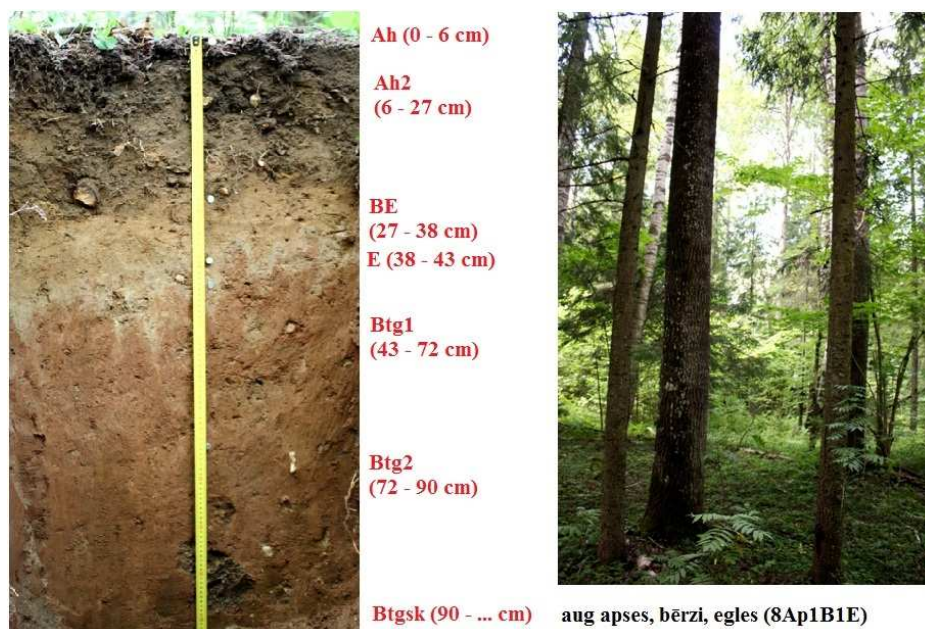
Profils Nr. 5 atrodas meža zemē, kur dominē egles (8E1B1Ap). Meža zemes vecums ir ap 200 gadu, savukārt augošo koku vecums ap 80 gadu. Augsnes granulometriskais sastāvs ir smagāks (smilšmāls) dziļākos horizontos (sākot ar Btg horizontu) salīdzinot ar virsējiem horizontiem, kur ir mālsmilts. Profilā izskalošanās horizonts EB ir izveidojies starp B horizontiem. Glejošanās process parādās 40 cm dziļumā. Izskalošanās procesus nosaka sliktā koku nobiru sadaīšanās augsnes virskārtā, jo dominē skuju koki, kā rezultātā radušos fulvoskābju ietekmē dzelzs oksīdi un māla daļiņas ir kļuvušas kustīgas. Šajā augsnē ir izteikts izskalošanās E horizonts gaišā krāsā (3.1.9. att.).



3.1.9. attēls. **Augsnes dziļrakumu profils Nr. 5** (Kasparinskis, 2009)

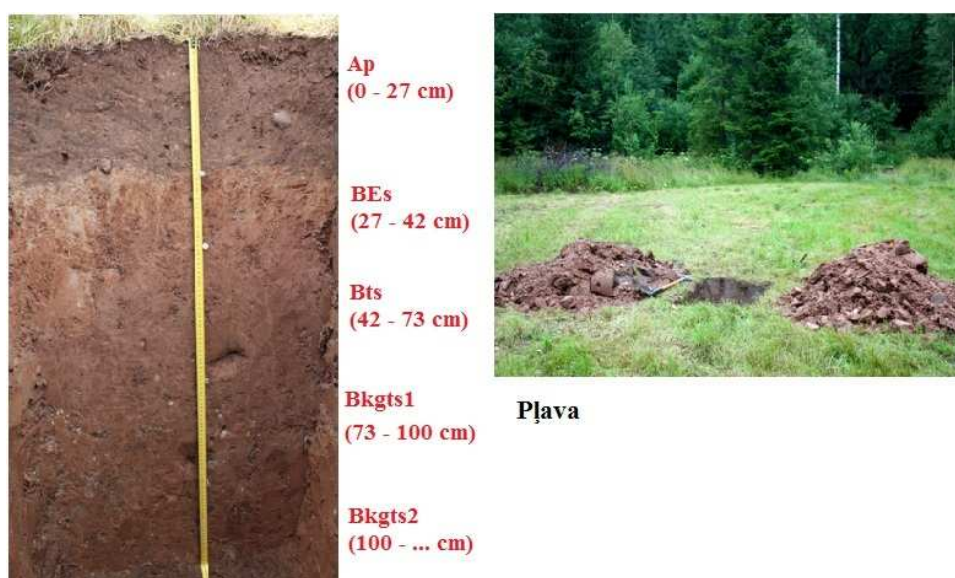
Profils Nr. 6 atrodas paugura virsotnē, kur dominē apšu vēris (8Ap1B1E). Meža zemes vecums ir 200 gadu, bet augošo koku vecums ir 80 gadu. Augsnes dziļākie horizonti (sākot ar

Btg) ir smagāka (smilšmāls) granulometriskā sastāva salīdzinot ar virsējiem horizonti (mālsmilts). Profilam ir izteikts E horizonts, kā arī B horizonts ar māla akumulāciju un glejošanās pazīmēm, bet dzelzs savienojumu ieskalošanās konstatēta zemākajā B3 horizontā. Augsnes veidošanos šajā profilā stipri ietekmē podzolēšanās process, kuru veicina vieglāka granulometriskā sastāva augsne profila virspusē un tas, ka teritorija aptuveni 200 gadus ir meža zeme (3.1.10. att.).



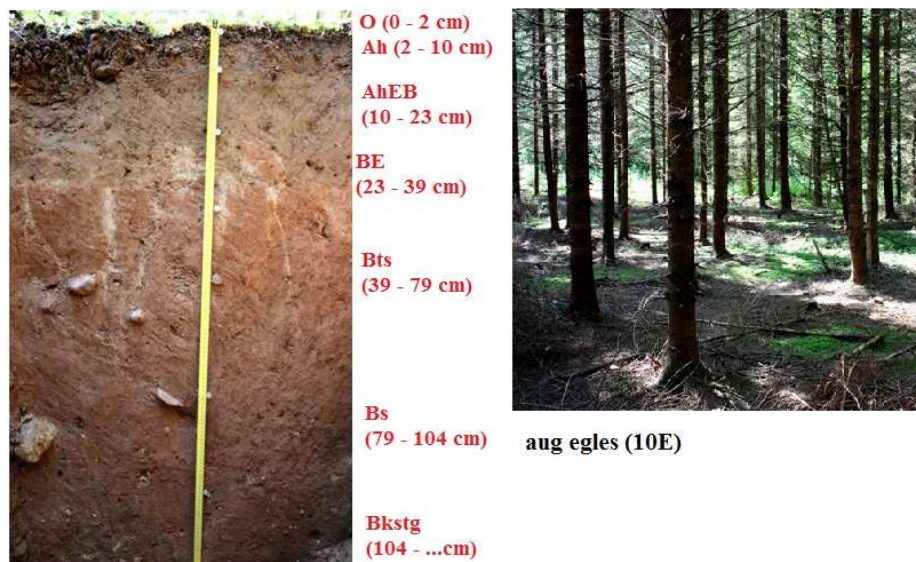
3.1.10. attēls. Augsnes dziļrakumu profils Nr. 6 (Kasparinskis, 2009)

Augsnes profils Nr. 7 atrodas zemē, kura pirms 20 gadiem ir bijusi aramzeme, bet tagad – pļava. Trūdvielu akumulācijas horizonta (Ap) samērā vieglais (mālsmilts) granulometriskais sastāvs ietekmē to, ka zem tā izveidojies B horizonts ar dzelzs savienojumu ieskalošanos un vel dziļāk konstatēta māla akumulēšanās. Profilā nav konstatēts E horizonts (3.1.11. att.).



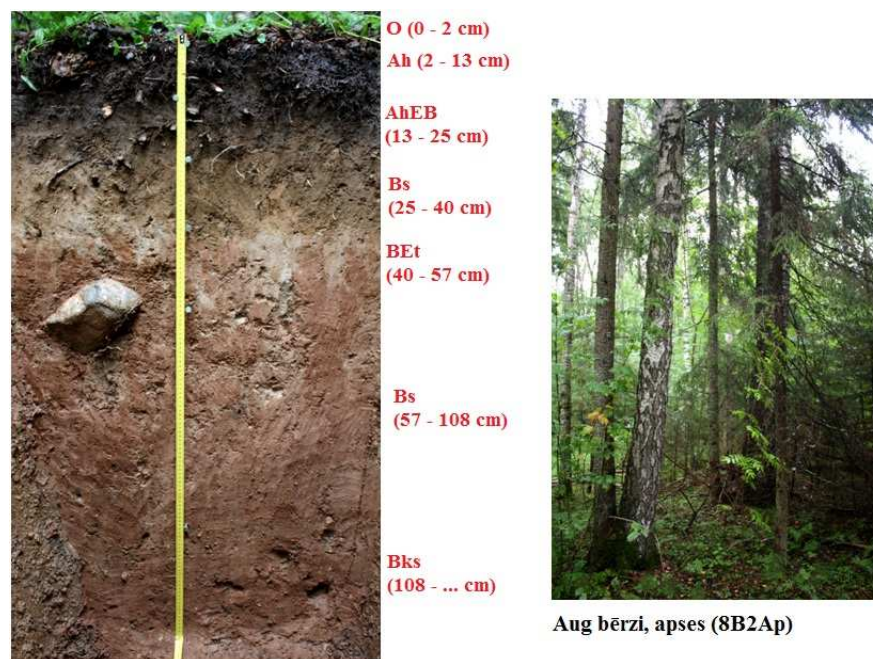
3.1.11. attēls. Augsnes dziļrakumu profils Nr. 7 (Kasparinskis, 2009)

Profilā Nr. 8 pirms aptuveni 25 gadiem ir veikta egļu mežu stādīšana uz lauksaimniecībā izmantojamas zemes. Augsnes granulometriskais sastāvs profilā ir mainīgs, ko arī parāda māla akumulācija divos horizontos. Profilā nav konstatēts E horizonts, bet ir B horizonts ar dzelzs savienojumu akumulāciju, kas norāda uz podzolēšanās procesu augsnē (3.1.12. att.).



3.1.12. attēls. **Augsnes dziļrakumu profils Nr. 8** (Kasparinskis, 2009)

Augsnes profils Nr. 9 atrodas vietā, kur aug bērzi un apses (8B2Ap), kuru vecums ir ap 60 gadu, kā arī meža zemes vecums ir aptuveni tāds pats. Augsnes granulometriskais sastāvs profilā ir mainīgs – gan smilšmāls, gan mālsmilts. Māla akumulācija vērojama no 40 līdz 57 cm dziļumam. Savukārt dzelzs savienojumu akumulēšanās notiek no 25 līdz 40 cm dziļumam un sākot no 57 līdz profila apakšai. Profilā nav konstatēta augsnes glejošanās (3.1.13. att.).

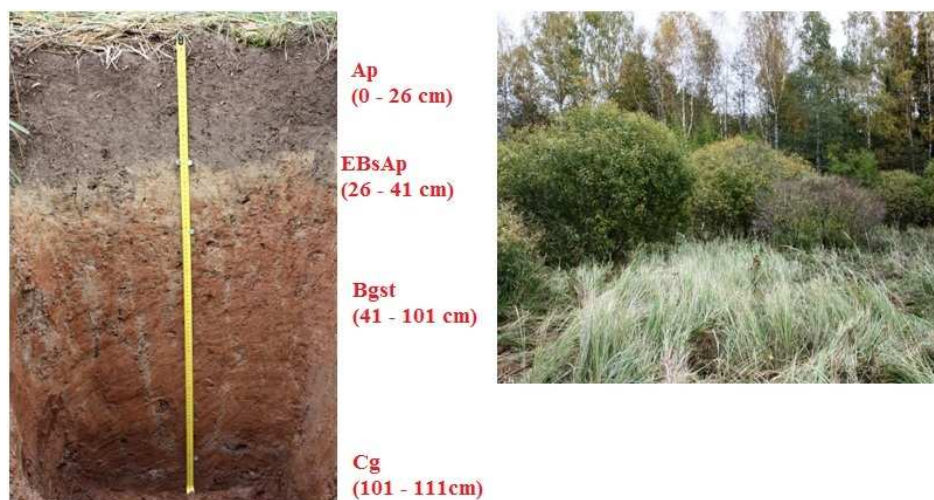


3.1.13. attēls. **Augsnes dziļrakumu profils Nr. 9** (Kasparinskis, 2009)

Etalonteritorijā Zvārdes apkārtnē (dziļrakumu profili Nr.: 10, 11, 12, 13) tika konstatētas augsnes, kas atbilst galvenokārt pushidromorfo augšņu klasei, ko nosaka galvenokārt augsnes glejošanās pazīmes.

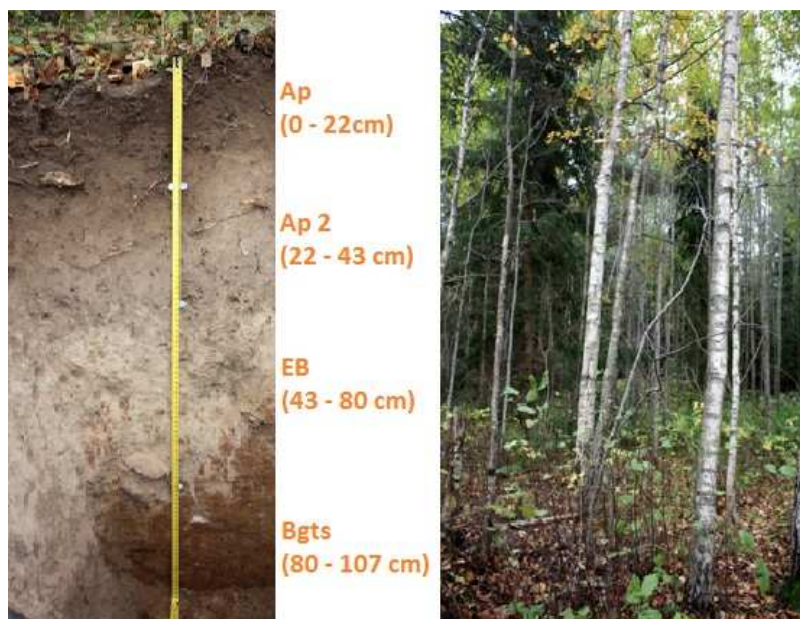
Zvārdes apkārtnē augsnes ir veidojušās uz morēnas nogulumiem, savukārt 12. profila augsne ir veidojusies uz glaciofluviālajiem nogulumiem.

Augsnes dziļrakuma profils Nr. 10 atrodas neapsaimniekotā lauksaimniecības zemē – pļavā, kur konstatēta ainavekoloģiskās sukcesijas sākotnējā attīstības stadija (aizaugšana ar krūmiem – aptuveni 8 gadi). Augsnes virsējais horizonts (Ap) ir relatīvi biezs, ko nosaka trūdvielu akumulācijas process. Šajā profilā nav novērots izteikts E horizonts (3.1.14. att.)



3.1.14. attēls. **Augsnes dziļrakumu profils Nr. 10** (Kasparinskis, 2009)

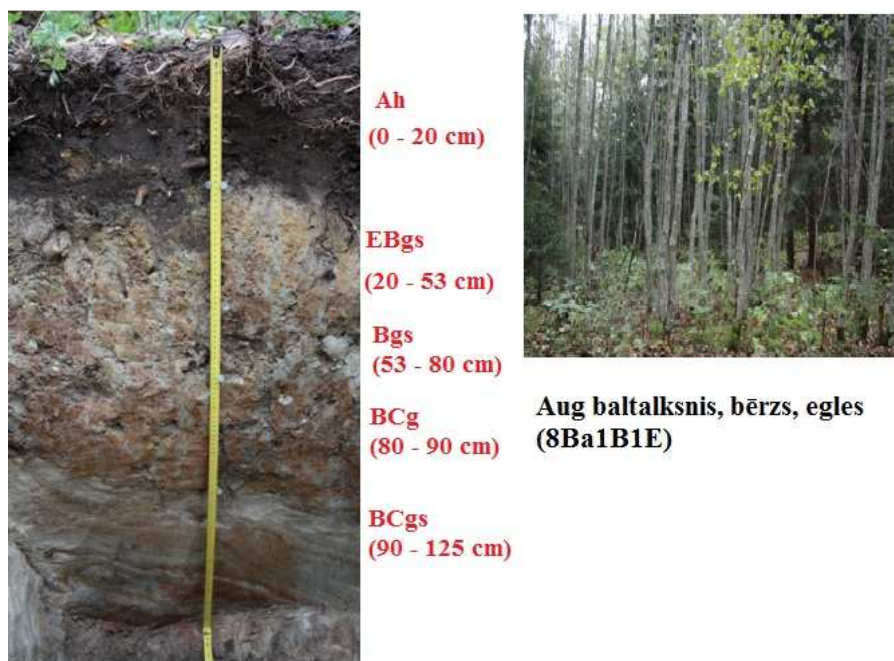
Augsnes dziļrakuma profila Nr. 11. granulometriskais sastāvs augsnes organisko vielu horizontos (Ap) ir smaga mālsmilts, bet dziļākajos horizontos smags smilšmāls. Profils atrodas bijušajā lauksaimniecības zemē, kur aptuveni 20 gadus nenotiek lauksaimnieciskā darbība. Teritorijā dominē bērzi ar egļu un baltalkšņu mistrojumu (7B1E3Ba). Augsnes virsējais horizonts (Ap) un ieskalšanās horizonts (EB) ir gandrīz vienādā biezumā. Profilā dominē podzolēšanās pazīmes, kā arī māla daļiņu ieskalšanās B horizontā (3.1.15. att.).



LIZ pirms 20 gadiem, tagad aug bērzi, egles, baltalkšņi (7B1E3Ba)

3.1.15. attēls. **Augsnes dziļrakumu profils Nr. 11** (Kasparinskis, 2009)

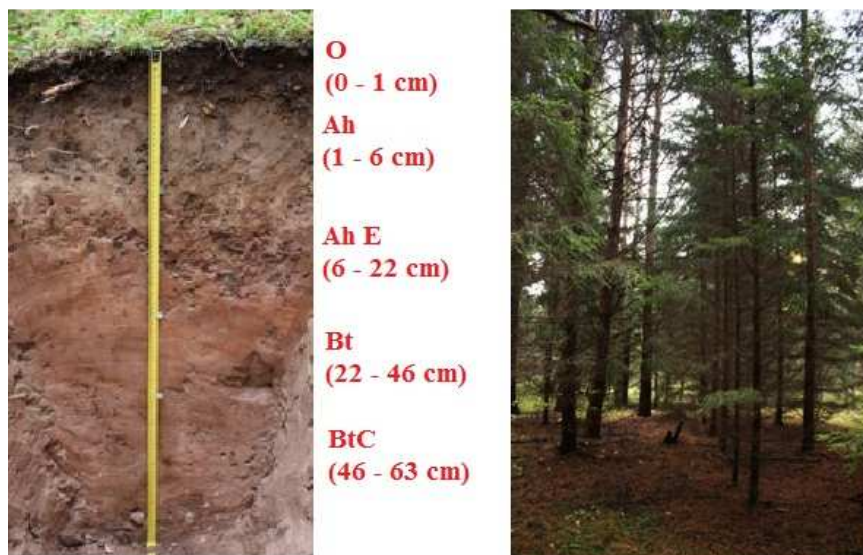
Visa pētījuma ietvaros augsnes profils Nr. 12 ir vienīgais, kura augsne ir veidojusies uz glaciofluviālajiem nogulumiem. Augsnes granulometriskais sastāvs profilā ir mainīgs, augšējos horizontos smagāks (smilšmāls), savukārt apakšējos horizontos (BC) vieglāks (mālsmilts). Profilā dominē lapu koki (8Ba1B1E). Profila minerālajos horizontos konstatētas gruntsūdeņu glejošanās pazīmes jau 20 cm dziļumā, līdz ar to noteicošais augsnes process šajā profilā ir glejošanās, kuru ietekmē novietojums reljefā, jo rakums atrodas pauguru ieplakā, kā arī augsnes cilmiezis (3.1.16. att.).



**Aug baltalksnis, bērzs, egles (8Ba1B1E)**

3.1.16. attēls. **Augsnes dziļrakumu profils Nr. 12** (Kasparinskis, 2009)

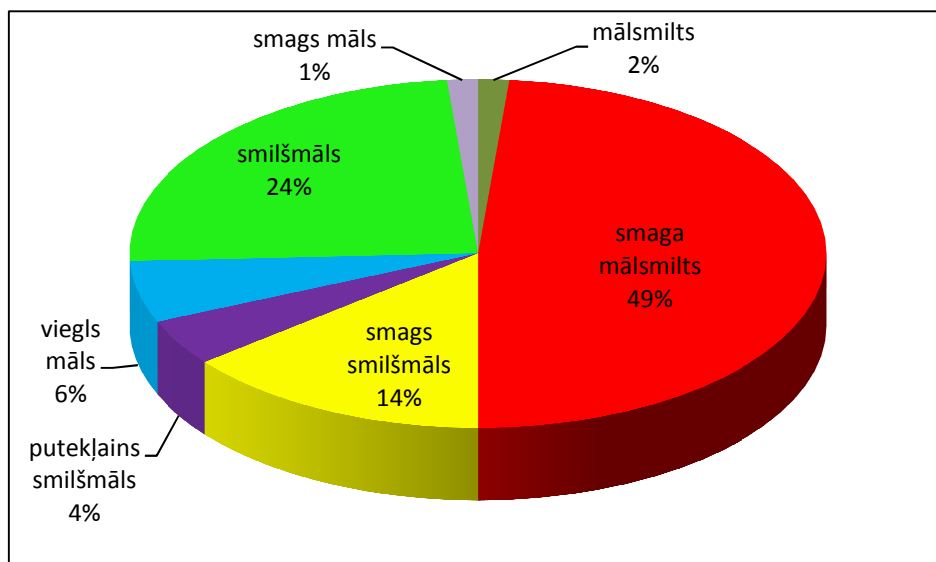
Dziļrakuma profila Nr. 13 atrodas meža zemē ar dominējošo koka sugu – eglī. Meža zemes vecums, kā arī koku vecums ir ap 70 gadu. Augsnes granulometriskais sastāvs Ah horizontā ir vieglāks - smaga mālsmilts, salīdzinot ar dziļākiem horizontiem. Māla akumulācija konstatēta Bt horizontā, kura granulometriskais sastāvs ir smags māls. Mazais trūdvielu horizonta biezums un māla akumulācija B horizontā norāda uz lesivēšanās procesu augsnē (3.1.17. att.).



3.1.17. attēls. Augsnes dziļrakumu profils Nr. 13 (Kasparinskis, 2009)

### 3.2. Augsnes granulometriskais sastāvs

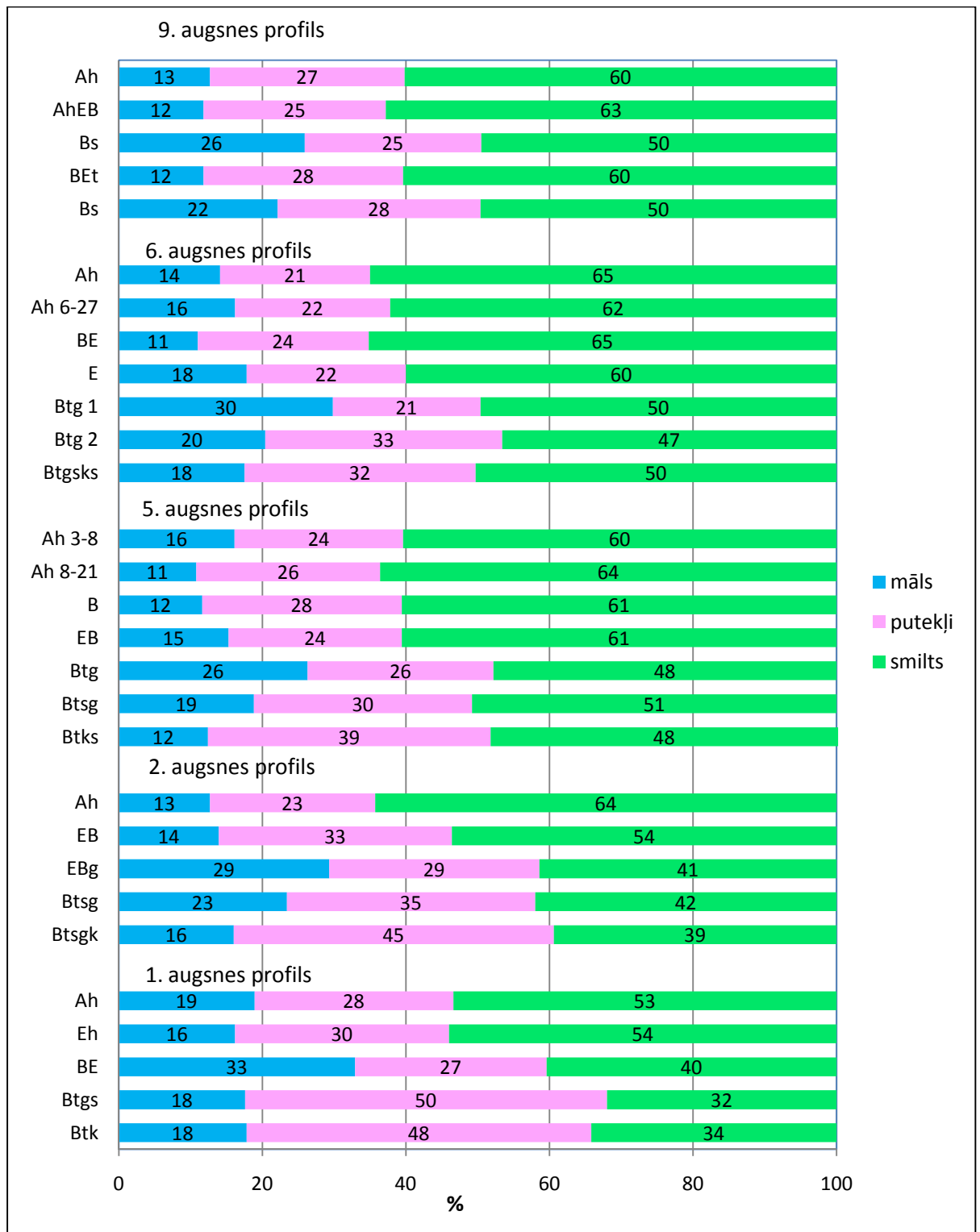
Tika konstatēts, ka pētījuma augsnes profilu horizontus galvenokārt veido smaga mālsmilts, smilšmāls un smags smilšmāls (3.2.1. att.). Visos augsnes profilos A horizontus veido smaga mālsmilts, E horizontus veido smaga mālsmilts vai smags smilšmāls, B horizontus – smilšmāls vai smags smilšmāls, bet C horizontus putekļains smilšmāls.



3.2.1. attēls. **Granulometriskais sastāvs augsnes dziļrakumu profilos**  
(sastādījusi autore, izmantojot LZP granta (2009) datus)

Augsnes sastāvā dominē smilts daļiņas, to procentuālais daudzums mainās no 35 – 70 %, bet vidēji 53%. Putekļu daudzums vidēji ir 30 %, bet māla daļiņu daudzums vidēji ir 20 %. Kopumā augsnes granulometriskais sastāvs vērtējams kā smags.

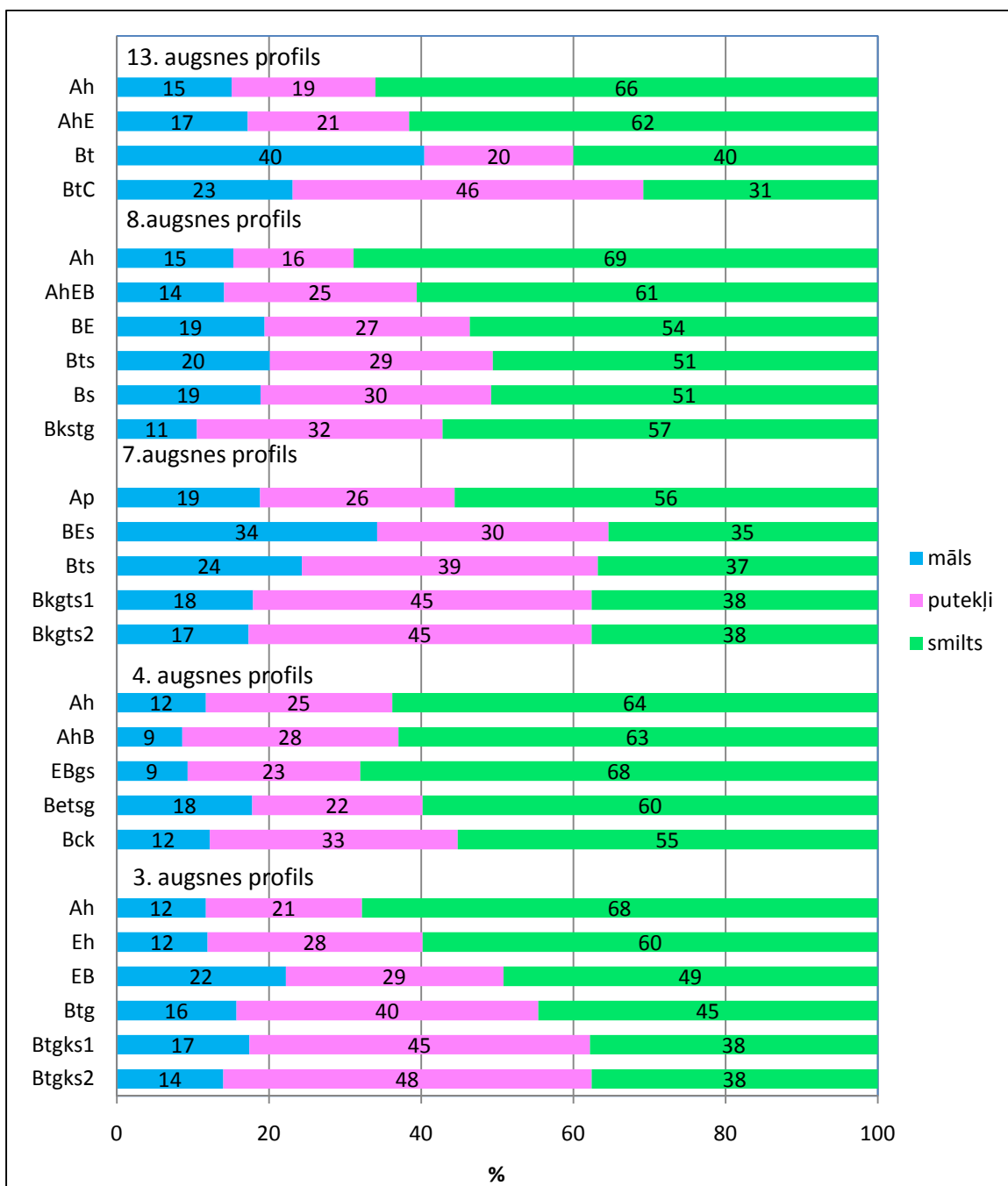
Profilos, kuri izvietoti pauguru virsotnēs (Nr. 1 2, 5, 6, 9), vērojama kopēja tendence – māla daļiņu izskalošanās un uzkrāšanās Bt horizontā. Māla procentuālais daudzums pieaug vidēji 2 reizes. Savukārt smilts daudzums samazinās dziļākajos horizontos – zemākais smilšu saturs vērojams horizontos, kur notiek māla daļiņu uzkrāšanās. Savukārt zem horizonta, kur uzkrājas māla daļiņas, vērojams putekļu daļiņu daudzuma pieaugums (3.2.2. att.).



3.2.2. attēls. **Augsnes granulometriskais sastāvs pauguru virsotnes profilos**  
(sastādījusi autore, izmantojot LZP granta (2009) datus)

Augsnes profilos Nr. 3, 4, 7, 8, 13, kas izvietoti pauguru nogāzes vidusdaļā, smilts saturs samazinās virzienā uz leju. Profilos Nr. 13, 8, 7, 4 konstatēta māla daļiņu akumulēšanās Bt horizontā, bet profilā Nr. 3 akumulēšanās notiek apakšējā E horizontā. Putekļu daudzuma palielināšanās vērojama zem māla daļiņu akumulācijas horizonta. Augsnes profils Nr. 7 ir

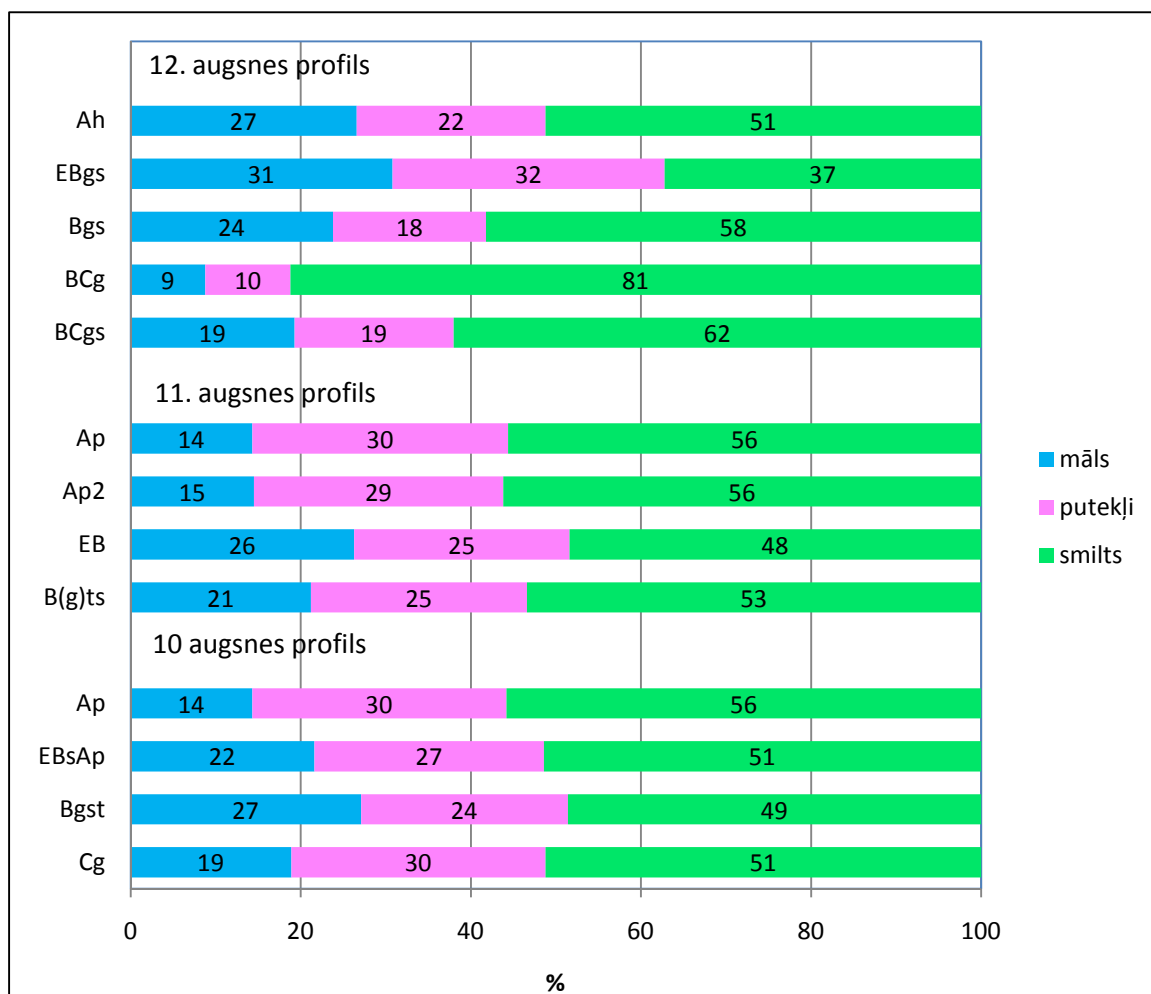
LIZ, šajā profilā vērojams smilts daudzuma nemainīgs saturs (38 %) zem Ap horizonta (3.2.3. att.).



3.2.3. attēls. **Augsnes granulometriskais sastāvs pauguru nogāzes vidusdaļas profilos**  
(sastādījusi autore, izmantojot LZP granta (2009) datus)

Trīs dziļrakumu profilos (Nr. 10, 11, 12), kuri izvietoti pauguru ieplakā, smilts daudzuma sadalījums pa horizontiem ir atšķirīgs no tā kāds vērojams paugura virsotnē un vidusdaļā. Nav izteikta smilts daudzuma samazināšanās augsnē virzienā uz leju, bet vērojams smilts procentuālais daudzums līdzīgs visos horizontos (vid. 53 %), tikai neliels samazinājums profilos, kur notiek māla daļiņu pieaugums. Augsnes profils Nr. 12 ir pilnīgi atšķirīgs no visiem pārējiem profiliem pētījuma teritorijā. Lielākais māla daudzums konstatēts

EB horizontā – uzreiz pēc Ah horizonta, tad seko māla daudzuma samazināšanās. Šajā augsnes profilā konstatēta vienīgā pseidoglejotā augsne, kas veidojusies uz glaciofluviāliem nogulumiem, visā pētījuma teritorijā, kas izskaidrot atšķirīgo augsnes granulometrisku sastāvu pa horizontiem (3.2.4. att.).



3.2.4. attēls. **Augsnes granulometriskais sastāvs pauguru ieplakas profilos** (sastādījusi autore, izmantojot LZP granta (2009) datus)

Atbilstoši katēnas koncepcijai māla daļiņu daudzums pieaug virzienā uz paugura nogāzes piekāji, ko ir novērojuši zinātnieki Vācijā (Sommer et al., 2001). Arī pētījumā šāda likumsakarība tika novērota, lai gan māla daudzuma izmaiņas ir nelielas: paugura virsotnē – 18 %, nogāzes vidusdaļā – 18 %, bet pauguru ieplakā 21 %. Salīdzinot ar Vācijas zinātnieku rezultātiem pieaugumam vajadzēja būt vismaz 3 reizes. Reljefa ietekme nav tik izteikta, jo relatīvais pauguru augstums, salīdzinot ar Vācijas pētījumu teritoriju, ir stipri mazāks.

Māla un putekļu daļiņu pārvietošanās dziļāk augsnē un uzkrāšanās Bt horizontā var norādīt uz podzolēšanās procesa. Māla migrāciju dziļāk augsnes profilos arī citi zinātnieki izskaidro kā podzolēšanās procesa blakus parādību un ir novērojuši vairākos pētījumos saistībā ar podzolu izpēti (Wang un McKeague, 1982; Arocena et al., 1992; Schaetzl, 1992; 1996).

Citos podzolēšanās procesa pētījumos, kur konstatēta podzolu attīstība, vidējais māla daļiņu procentuālais daudzums augsnes profilā svārstās 1 – 3 % (Reintam et al., 2001; Kristiansen, 2001), kas salīdzinot ar šī pētījuma rezultātiem (9 – 34 %) ir ievērojami mazāks.

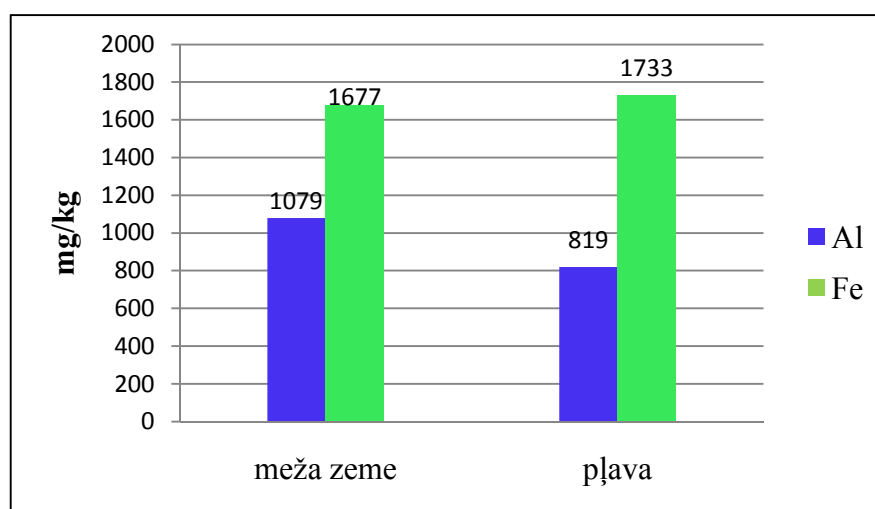
Arī putekļu daļiņu daudzums augsnēs, kur vērojams podzolēšanās process ir ievērojami mazāks, piemēram, *Arenosol* augsnē 8 līdz 13 %, bet *Haplic Podzol* augsnē 9 līdz 22 % (Kristiansen, 2001), savukārt šī pētījuma augsnes profilos konstatēts no 16 līdz 48 %.

Savukārt Itālijā veiktais pētījums (Egli et al., 2008) parāda, ka Podzola augsnēs māla daļiņas var būt 4 – 25 %, putekļu daļiņas 24 – 57 % un smilts daudzums 35 – 80 %, kas ir līdzīgāks ar šī pētījuma augšņu granulometrisko sastāvu.

Citu zinātnieku pētījumi parāda, ka podzolēšanās process var norisināties diezgan atšķirīga granulometriskā sastāva augsnēs.

### 3.3. Ekstrahējamā Al<sub>0</sub> un Fe<sub>0</sub> saturs augsnē

Pētījuma rezultāti rāda, ka morēnas nogulumu augsnēs visa profila griezumā vidējais ekstrahējamā Al<sub>0</sub> (turpmāk tekstā Al) daudzums ir 1031 mg/kg, bet ekstrahējamā Fe<sub>0</sub> (turpmāk tekstā Fe) 1687 mg/kg. Lauksaimniecībā izmantojamā zemē (profili Nr.7, 10, 11) Al ir 819 mg/kg, bet Fe 1733 mg/kg. Meža zemēs Al daudzums ir lielāks – 1079 mg/kg, bet Fe daudzums mazāks – 1677 mg/kg (3.3.1. att.).



3.3.1. attēls. Al un Fe sadalījums pa veģetācijas tipiem

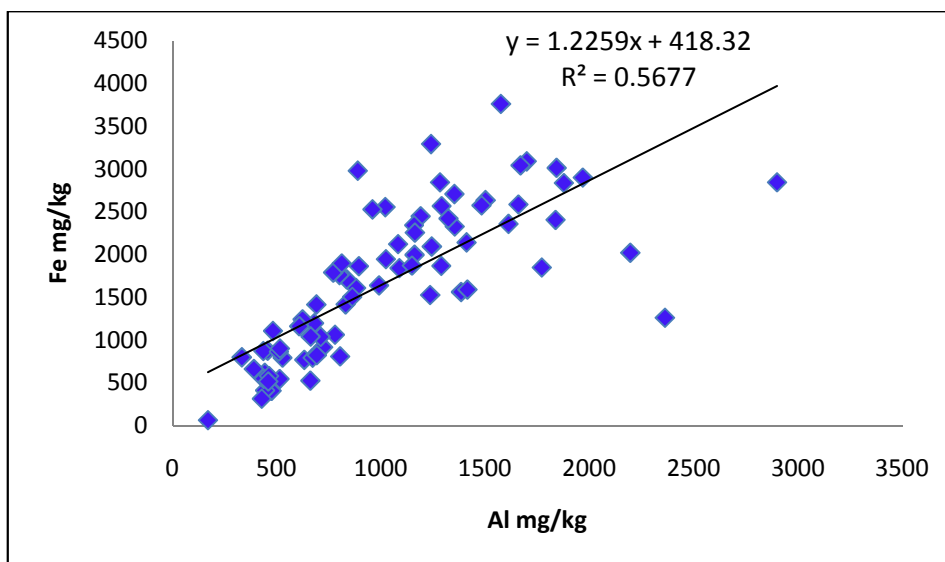
Ķīmisko analīžu rezultāti parāda, ka visos paraugos Fe daudzums ir vidēji 2 reizes vairāk par Al daudzumu. Tas norāda uz to, ka Al augsnē tiek mobilizēts ātrāk nekā Fe.

O horizontā Fe : Al attiecība mainās no 1,2 līdz 2,3. Mazākā attiecība ir augsnes profilā Nr. 3, bet lielākā ir augsnes profilā Nr. 9. Ah horizontā attiecība mainās no 0,9 līdz 2,1. Augsnes profilā Nr. 13 ir lielākā attiecība starp abiem elementiem. Ap horizontā attiecība ir 1,9 līdz 2,7. E horizontā attiecības svārstās no 0,5 līdz 2,4, turklāt šī maksimālā (profils Nr.12)

un minimālā vērtība (profils Nr. 4) ir starp viena veida horizonta apakštipu – EBgs. B horizontā elementu attiecība svārstās vel lielākā intervālā no 0,7 līdz 3,4, bet vidēji 1,5. Mazākā attiecība ir augsnes profilā Nr.3, bet lielākā augsnes profilā Nr. 12. BE horizontā attiecība ir no 1,1 līdz 2,5. BC horizontā attiecības intervāls ir 0,4 līdz 2,4, turklāt tas vērojams viena dziļrakuma profila ietvaros (Nr. 12). Horizontos O, Ap un BE dzelzs daudzums ir lielāks par Al daudzumu, bet pārējos horizontos ir iespējams arī Al daudzuma pārsvars pār Fe daudzumu.

Citu zinātnieku pētījumos (Mossin et al., 2002; Kristiansen, 2001) ir novērots, ka Al daudzums ir lielāks par Fe daudzumu zem iluviālā B horizonta, bet tas netiek konstatēts visos pētītajos podzola augsnes profilos. Šāda likumsakarība ir novērota arī šī pētījuma augsnes profilos Nr. 1, 2, 3 un 4.

Pēc lineārās regresijas analīzes rezultātiem, ir konstatēta cieša ( $R = 0,75$ ) korelācija starp Al un Fe saturu. Līdz ar to var secināt, ka palielinoties Fe daudzumam palielinās arī Al daudzums augsnē (3.3.2. att.).

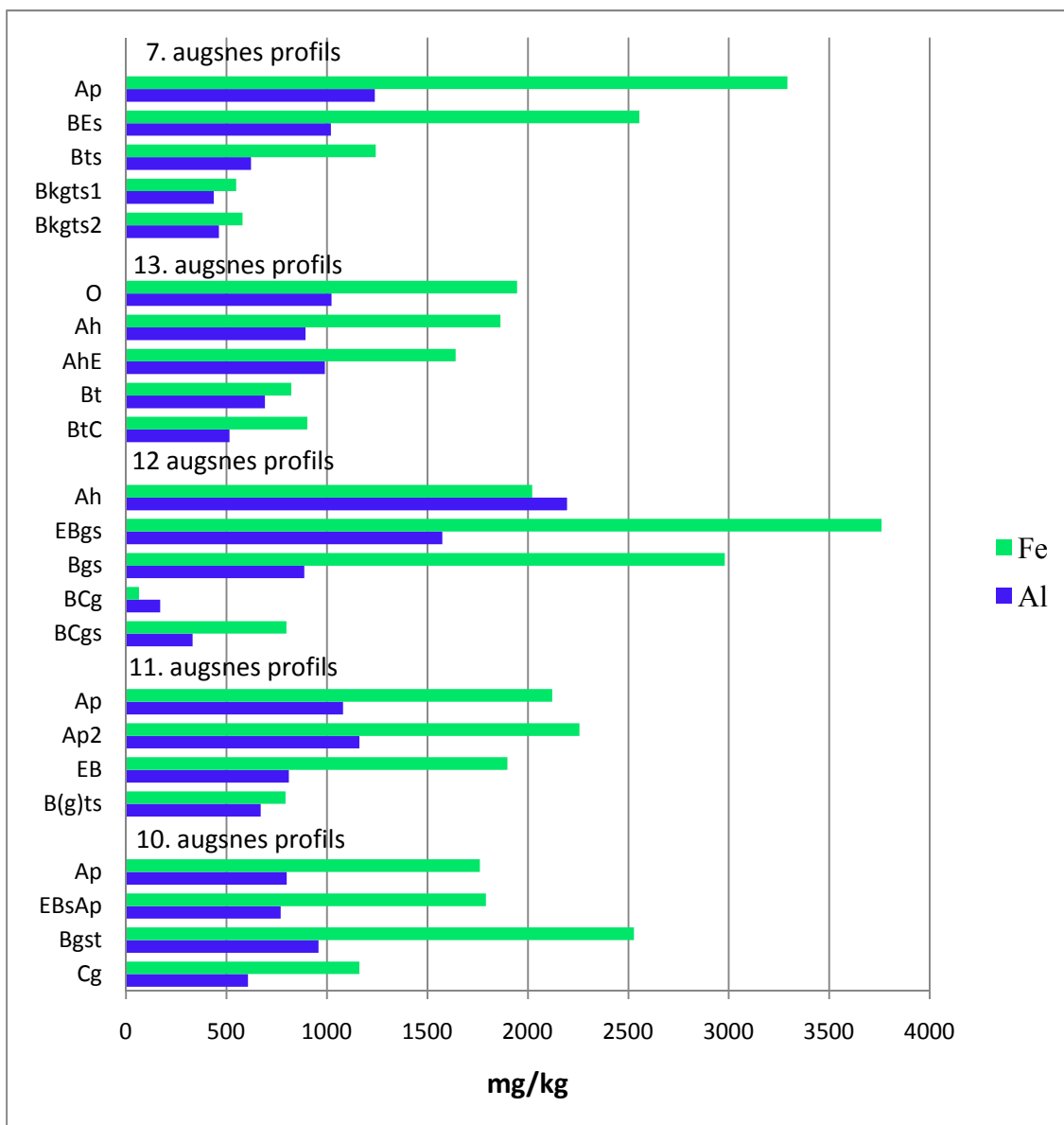


3.3.2. attēls. Korelācija starp Al un Fe daudzumu augsnē

Citos zinātniskajos pētījumos konstatētās podzolēšanās procesa pazīmes, kad elementi tiek izskaloti no augsnes E horizonta un ieskaloti zemāk, veidojot B horizontu (Jansen et al., 2003; Mossin et al., 2002; Kristiansen, 2001; Reintam et al., 2001; Mokma et al., 2004), vērojama tikai augsnes dziļrakuma profilā Nr. 10. Pārējos Zvārdes augsnes profilos (Nr. 11, 12, 13) Al un Fe daudzums samazinās virzienā no augsnes virsējiem horizontiem uz leju (3.3.3. att.).

Starp augsnes profiliem īpaši izceļas profils Nr. 12, kurā vērojama strauja Al un Fe samazināšanās BCg profilā. Šajā horizontā konstatēts arī lielāks smilts daudzums (81 %) un relatīvi neliels māla daudzums (9 %). Pēc augsnes profila datiem konstatēts, ka ir augsts

gruntsūdens, līdz ar to tas var ietekmēt Al, Fe un māla daudzumu, paceļot tos augstākos horizontos, kā rezultātā samazinās to daudzums augsnes profila apakšējos horizontos (3.3.3. att.).

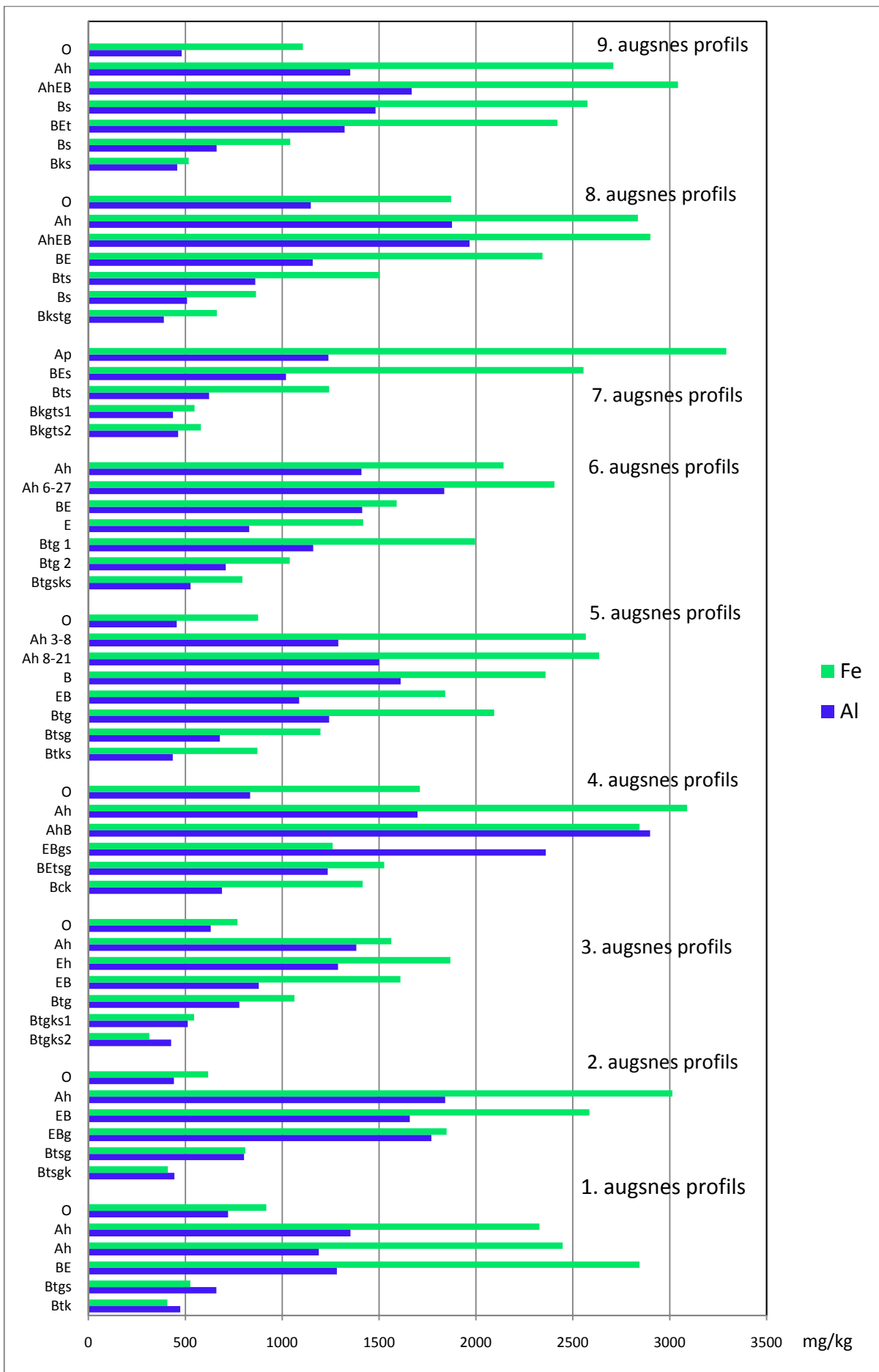


3.3.3. attēls. Al un Fe daudzums Zvārdes profilos un Zaubes pļavas profilā

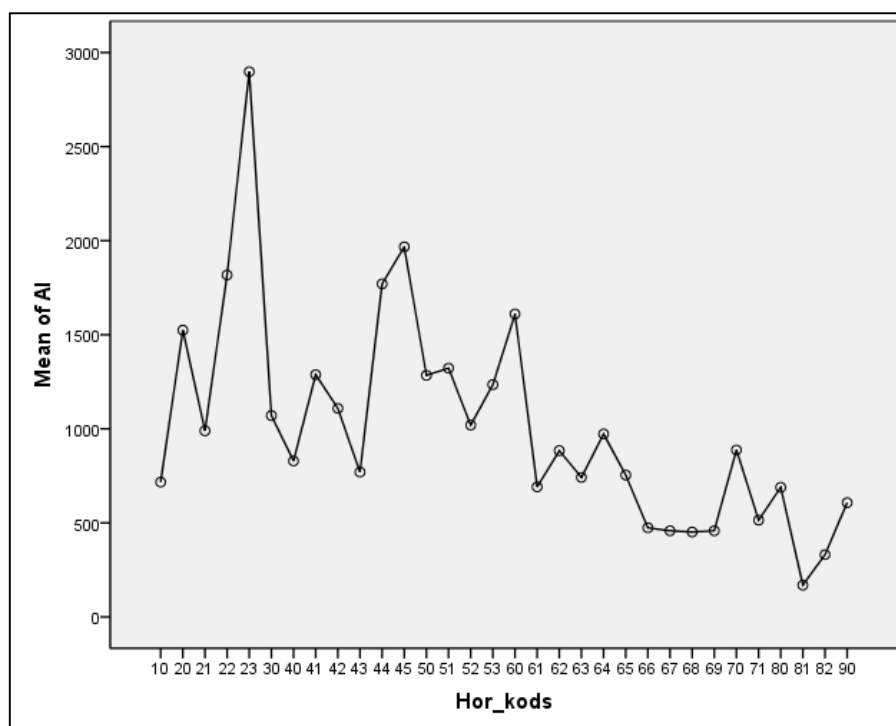
Zaubes augsnes profilos Nr. 8 un 9 lielākais Al un Fe daudzums konstatēts AhEB horizontā, profilā Nr. 7 – Ap horizontā, profilos Nr. 6, 4, 2 – Ah horizontā, savukārt profilā Nr. 5 Al daudzums vairāk ir B horizontā, bet Fe – Ah horizontā, profilā Nr. 3 Al vairāk ir Ah horizontā, bet Fe – Eh horizontā. Profilā Nr. 1 Al vairāk ir Ah horizontā, bet Fe – BE horizontā. Augsnes virsējos horizontos konstatētas lielākai Al un Fe daudzums, bet samazinās pa augsnes profilu uz leju (3.3.4. att.).

Podzolēšanās procesa pazīmes – Al un Fe daudzuma samazināšanās E horizontā, bet pieaugums B horizontā, vērojamas tikai profilos Nr. 5 un 6. Elementu sastāva relatīvās

izmaiņas var būt pat 50 – 95 % (Lundström et al., 2000 a), bet šajā pētījumā izmaiņas ir mazākas: profilā Nr. 5 Al un Fe izmaiņas ir par 13 %, bet profilā Nr. 6 par 29 %. Pārsvarā visos profilos novērota kopēja likumsakarība – Al un Fe koncentrēšanās virsējos organisko vielu akumulācijas horizontos (3.3.3. un 3.3.4. att.), kas nav konstatēts citos podzolēšanās procesa pētījumos.



3.3.4. attēls. Al un Fe daudzums Zaubes augsnes profilos



3.3.5. attēls. **Viena faktora dispersiju analīzes rezultāti. Ekstrahējamā Al mainība atkarībā no horizonta augšnes profilos**  
(horizonta koda skaidrojumu sk. 1. pielik. 1. tab.)

Veicot viena faktora dispersiju analīzi, izmantojot *PASW SPS Statistics 18.0* programmu, salīdzinot horizonta apzīmējuma – kā faktora ietekmi uz pārējiem mainīgajiem (gran. sastāvs; Al; Fe;  $C_{org}$ ; egle; bērzs; apse; baltalksnis; veģetācijas tips; meža zemes vecums, meža vecums; novietojums reljefā; augsnes tips pēc Latvijas klasifikācijas; augsnes tips pēc FAO klasifikācijas). Pēc ANOVA tabulas (2.pielik.) redzams, ka  $p < 0,05$ , kas nozīmē, ka būtiskas atšķirības starp grupām pastāv šādiem rādītājiem (Al; Fe; baltalksnis; meža vecums;  $C_{org}$ ; granulometriskais sastāvs).

Pēc Al vidējām vērtībām pa visiem augšņu profiliem konstatēts, ka augstākās Al vērtības (aptuveni 2900 mg/kg) ir horizontā ar kodu 23 (AhB), bet zemākās (aptuveni 250 mg/kg) horizontā ar kodu 81 (BCg). Al daudzumam visos profilos var novērot divas likumsakarības:

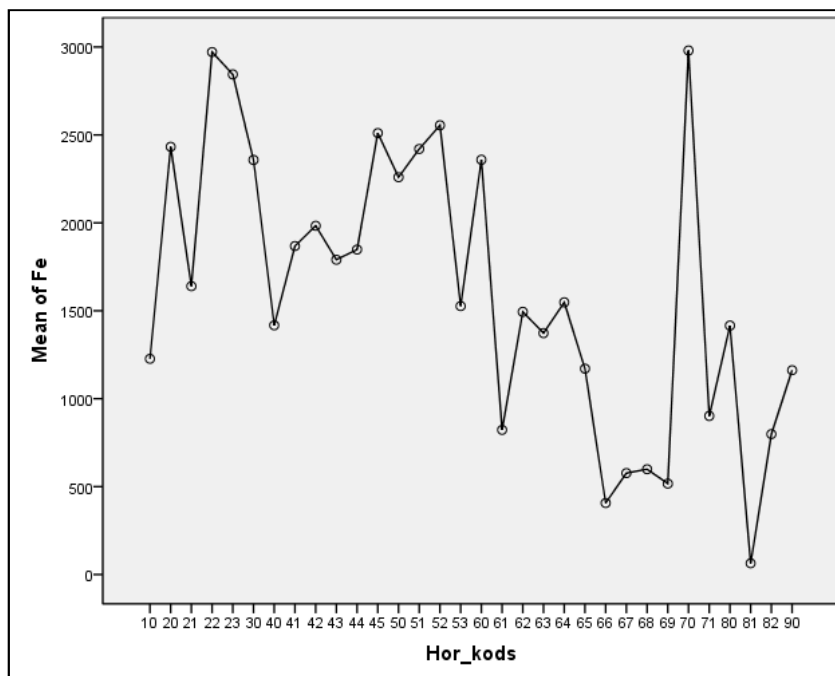
1. Daudzums samazinās pa augsnes profilu uz leju.
2. Veido periodiskumu pa horizontiem.

Rezultātu līknē (3.3.5. att.) var izdalīt Al daudzumam posmus pa kodiem 10 – 21 (maz), 22 – 23 (palielinās), 30 – 43 (samazinās), 43 – 60 (palielinās), 61 – 65 (samazinās), 66 – 69 (samazinās zem virsējo horizontu zemākajām vērtībām), 69 – 80 (pieaug). Tātad attiecīgi horizontos O, Ah, AhE (maz), AhEB, AhB (palielinās), Ap, E, Eh, EB, EBsAp (samazinās), EBg, EBgs, BE, BEt, BEs, BEtgs, B (palielinās), Bt, Bs, Bts, Btg, Btgs (samazinās), Btk,

Btk, Bks (samazinās zem virsējo horizontu zemākajām vērtībām), horizontos BtC, BCK (pieaug), BCg, BCgs (samazinās), bet cilmiezī atkal pieaug.

No iepriekš veiktā grafika skaidrojuma var izdarīt secinājumus, ka trūdvielu akumulācijas horizontos ar izskalošanās horizonta pazīmēm Al daudzums samazinās, bet trūdvielu akumulācijas horizontos ar ieskalošanās horizonta pazīmēm Al daudzums pieaug. Tas norāda uz to, ka podzolēšanās procesa morfoloģiskās pazīmes trūdvielu akumulācijas horizontos apliecina arī ķīmiskās analīzes. Nākošais posms rāda, ka E horizontā, kur nav vērojamas glejošanās pazīmes Al daudzums samazinās, bet E horizontā ar glejošanās pazīmēm un BE horizontā Al daudzums palielinās. Ieskalošanās B horizontā, kur konstatēta māla daļiņu akumulēšanās novēro Al daudzuma samazināšanos. Konstatējot B horizontā māla akumulāciju, karbonātu klātbūtni un glejošanās pazīmes novēro Al daudzuma samazināšanos zem virsējo horizontu zemākajām vērtībām. Galvenais secinājums ir, ka māla daļiņu klātbūtne un glejošanās pazīmes horizontā samazina Al daudzumu. Šādu likumsakarību var novērot arī Čehijā veikta pētījuma rezultātos (Bonifacio, 2006).

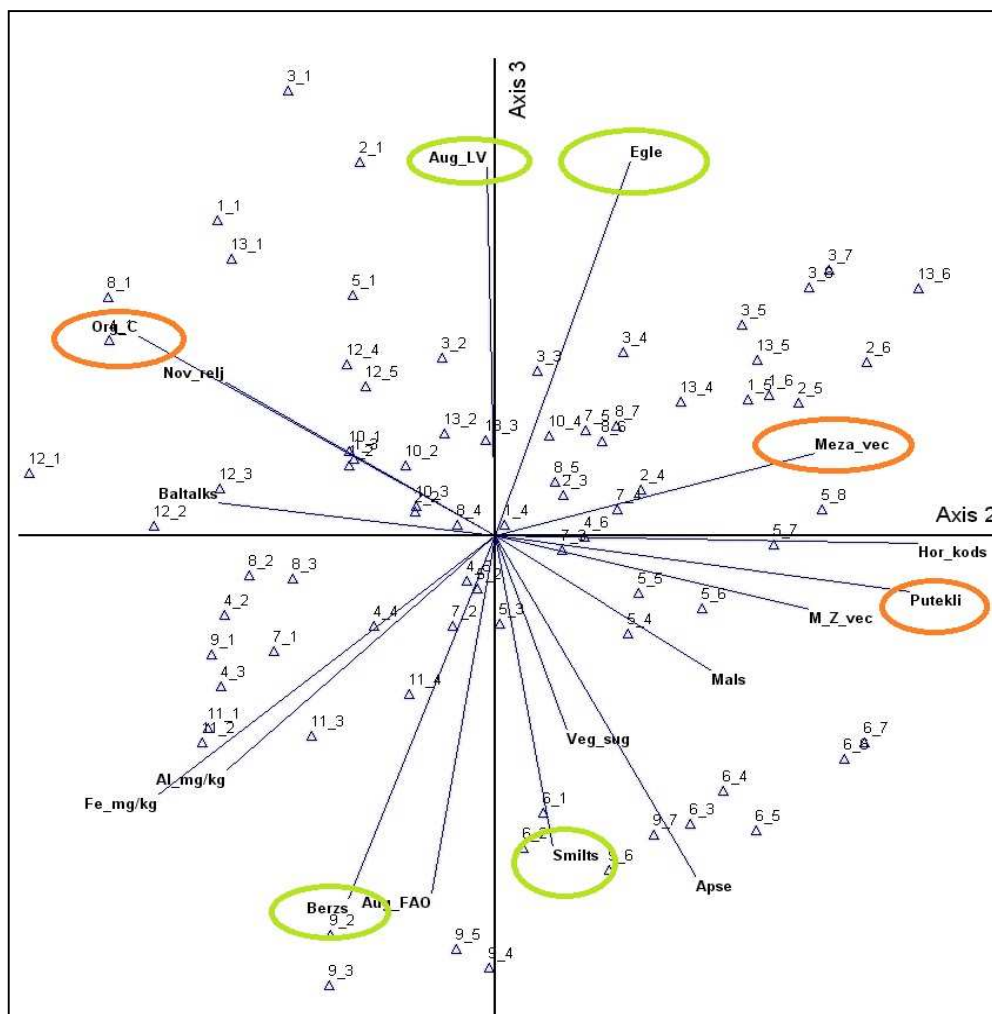
Viena faktora dispersijas analīzes rezultātu līkne (3.3.6. att.) ar horizonta apzīmējuma ietekmi uz Fe daudzumu augsnē rāda līdzīgu tendenci kā ar Al, bet interesanti, ka Fe maksimālās vērtības (aptuveni 3000 mg/kg) konstatētas ne tikai horizontos AhEB, AhB, kā tas ir arī Al, bet arī Bgs horizontā.



3.3.6. attēls. Viena faktora dispersiju analīzes rezultāti. Ekstrahējamā Fe mainība atkarībā no horizonta augsnes profilos (horizonta koda skaidrojumu sk. 1.pielik. 1. tab.)



Savukārt otrā ass izskaidro relatīvi mazāk (17,11%) no kopējās paraugu izkliedes, kur tika konstatēta ciešākā korelācija ar putekļu daudzumu ( $r = 0,66$ ) un meža vecumu ( $r = 0,51$ ), bet apgriezta sakarība ar organisko vielu daudzumu ( $r = - 0,57$ ) (3.4.1.2. att.).



3.4.1.2. attēls. Principiālā komponentu analīze. Faktoru nozīmīgums 2. un 3. asī

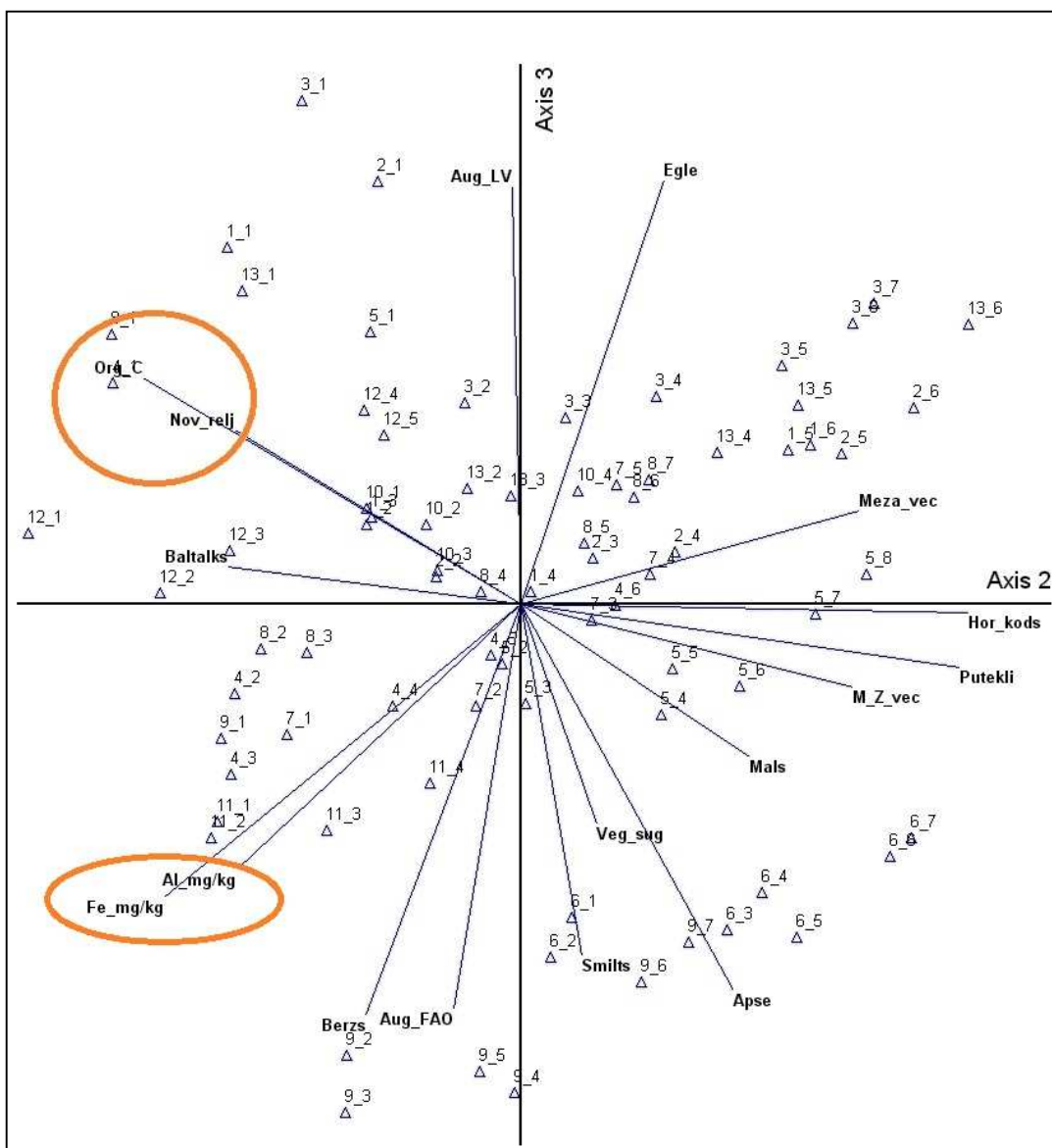
Trešā ass ir maznozīmīga, bet izskaidro gandrīz tik pat cik otrā ass (16,63%), tāpēc tiek ņemta vērā. Trešā ass parāda, ka ciešākā sakarība ir ar egli ( $r = 0,63$ ) un augšņu tipu pēc Latvijas klasifikācijas ( $r = 0,62$ ), bet apgriezti cieša sakarība ar bērzu ( $r = - 0,61$ ) un smilts daudzumu ( $r = - 0,52$ ).

### 3.4.2. Faktoru kopas

Pēc principiālās komponentu analīzes rezultātiem var izdalīt vairākas faktoru kopas, kurās apvienojas atsevišķi podzolēšanās procesu ietekmējošie faktori.

Al un Fe veido vienotu faktoru kopu, kas ietekmē podzolēšanās procesa attīstību augsnē. To parāda principiālās komponentu analīzes rezultāti, kur redzams, ka abi šie rādītāji

uz asīm izvietojas cieši blakus (3.4.2.1. att.), ko var izskaidrot ar abu šo elementu migrāciju augsnē.



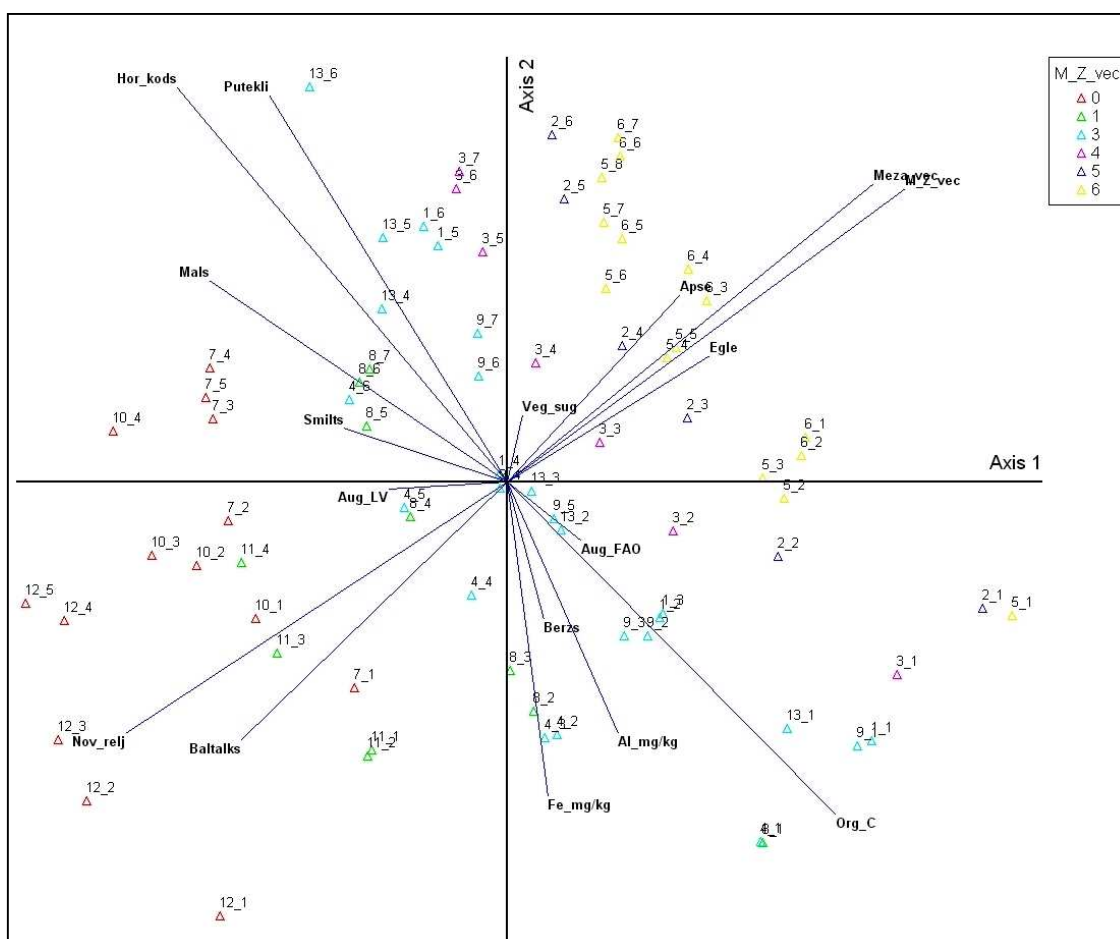
3.4.2.1. attēls. Principiālā komponentu analīze. Faktoru kopas

Podzolēšanās procesa pētījumos Al un Fe tiek aplūkoti kopā. Tiek noteikts to daudzums augsnes horizontos. Podzolēšanās attīstības teorijas arī pamatojas uz abu šo elementu organisko nogulsnešanos un lejupejošo kustību. Kopā Al un Fe daudzums tiek izmantotas arī, lai pēc FAO WRB 2006 noteiktu *Spodic* horizontu.

Otra faktoru kopa, kuru var izdalīt, ir organiskais ogleklis un novietojums reljefā (3.4.2.1. att.). Abiem šiem faktoriem ir cieša savstarpēja sakarība, kas ir novērota arī Zviedrijas mežu augsnēs (Seibert et al., 2007).

### 3.4.3. Meža zemes vecums

Kā parāda principiālās komponentu analīzes rezultāti, tad podzolēšanās procesu visvairāk ietekmē meža zemes vecums. Konstatēts, ka meža zemes vecumam pastāv cieša sakarība ar pirmo asi ( $r = 0,77$ ), līdz ar to var secināt, ka podzolēšanās procesa attīstība augsnē ir tieši proporcionāla ar meža zemes vecumu. Pieaugot meža zemes vecumam intensīvāk notiek podzolēšanās process augsnē.

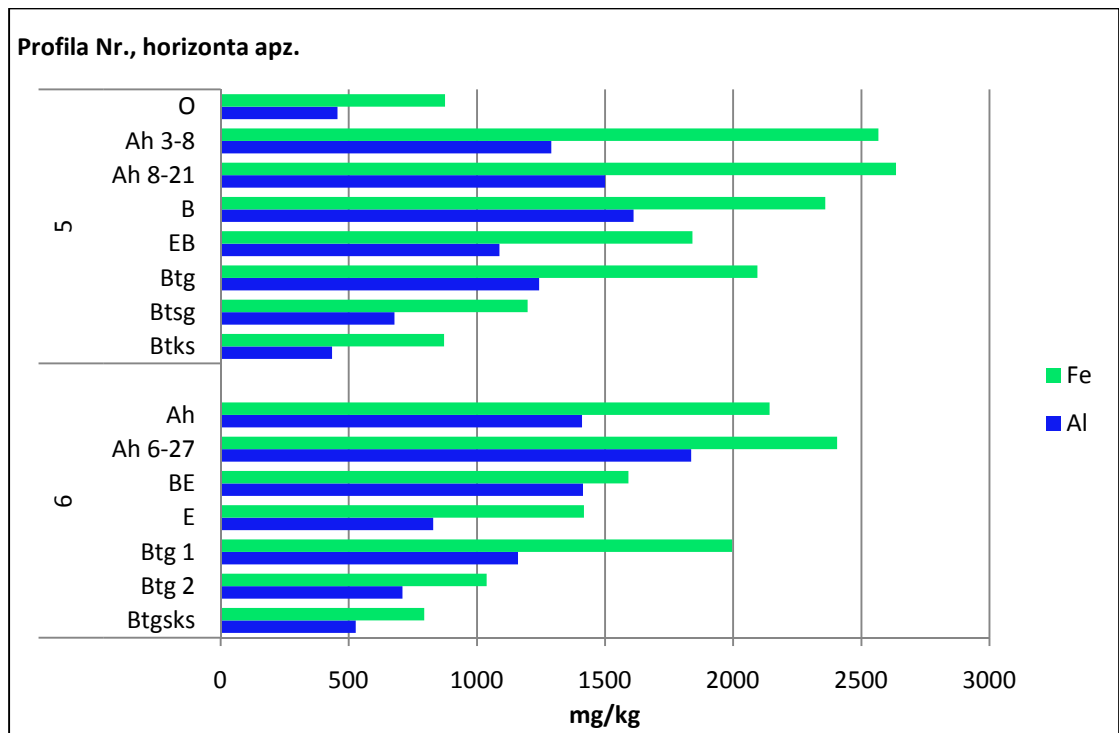


3.4.3.1. attēls. Principiālo komponentu analīze. Augsnes paraugu izvietojums atkarībā no meža zemes vecuma

(0 – pļava, 1 – līdz 30 gadi, 3 - 60 līdz 90 gadiem, 4 – 91 līdz 120 gadiem, 5 – 121 līdz 150 gadiem, 6 – virs 150 gadiem)

Novērots, ka pirmās ass kreisajā pusē izvietoti augsnes paraugi, kuriem meža zemes vecums ir mazs vai vispār nav meža veģetācijas, ass vidusdaļā grupējas paraugi ar meža zemes vecumu no 60 līdz 120 gadiem, bet ass labajā pusē izvietojas augsnes profili ar meža zemes vecumu virs 120 gadiem (3.4.3.1. att.).

Sagrūpjot augsnes profilus pieaugošā secībā pēc meža zemes vecuma (4., 5. pielik.) var novērot, ka podzolēšanās procesa ķīmiskās pazīmes (Al un Fe samazināšanās E horizontā un palielināšanās B horizontā) izpaužas profilos Nr. 5 un 6, kuros meža zemes vecums ir virs 200 gadiem (3.4.3.2.att.).



3.4.3.2. attēls. Al un Fe daudzuma izmaiņas profilos ar meža zemes vecumu aptuveni 200 gadi

Pārējos augsnes profilos vērojamas podzolēšanās procesa morfoloģiskās pazīmes (E un B horizontu formēšanās), bet augsnes ķīmiskās analīzes nenorāda uz šī procesa attīstību.

Somijā veiktais pētījums (Mokma et al., 2004) pierādīja, ka podzolēšanās procesa morfoloģiskās pazīmes augsnē vērojams jau 230 gadus vecā smilts augsnē, bet izteiktas ķīmiskās pazīmes tikai pie 900 gadiem. Savukārt *Spodic* horizonta ķīmisko kritēriju ( $Al + \frac{1}{2} Fe \geq 0,5 \%$ ) sāk novērot pie 8300 gadiem. Konstatēts arī tas, ka B horizonta biezumam ir cieša sakarība ar augsnes vecumu. Arī citi zinātnieki norāda laika faktora ietekmi uz podzolēšanās procesu (Lundström et al., 2000 a, b).

#### 3.4.4. Novietojums reljefā

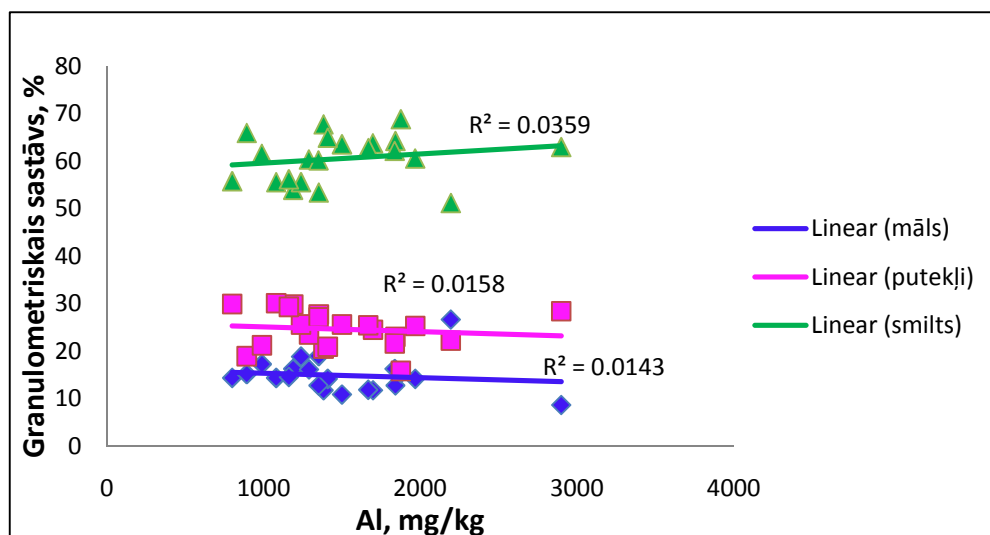
Otrs nozīmīgākais faktors pēc PCA rezultātiem ir profila novietojums reljefā. Konstatēta cieša proporcionāli apgriezta sakarība ar pirmo asi ( $r = -0,74$ ). Profili ar novietojumu pauguru ieplakā (Nr. 10, 11, 12) izvietojušies pirmās ass kreisajā pusē, ass vidusdaļā izvietojušies profili ar novietojumu nogāzes vidusdaļā (Nr. 3, 4, 7, 8, 13) bet labajā pusē profili, kas atrodas pauguru virsotnēs (Nr. 1, 2, 5, 6, 9) (3.4.4.1. att.).



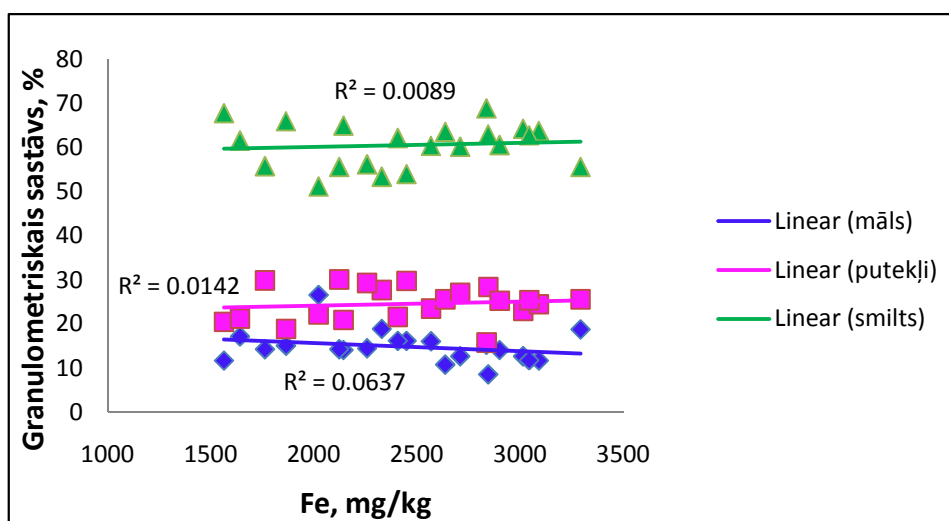
### 3.4.5. Augšnes granulometriskā sastāva ietekme uz Al un Fe daudzumu augsnē

Lai noteiktu kā augsnes granulometriskais sastāvs ietekmē Al un Fe daudzumu, tika veikta lineārās regresijas analīze starp šiem rādītājiem.

Lineārās regresijas rezultāti ( $R = 0,12$  līdz  $0,19$ ) rāda, ka augsnes A horizontā granulometriskā sastāva ietekme uz Al daudzumu ir nebūtiska (3.4.5.1. att.).



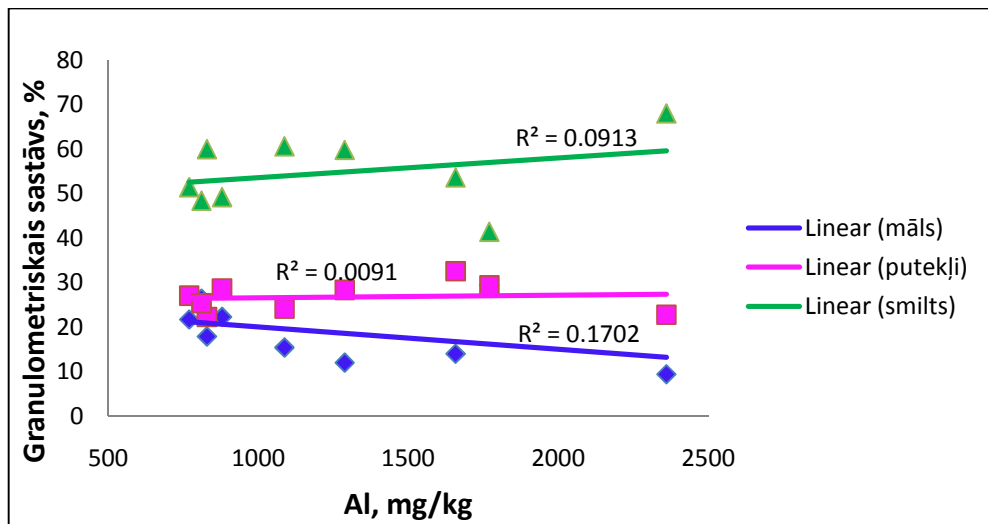
3.4.5.1. attēls. Granulometriskā sastāva lineārā sakarība ar Al daudzumu A horizontā



3.4.5.2. attēls. Granulometriskā sastāva lineārā sakarība ar Fe daudzumu A horizontā

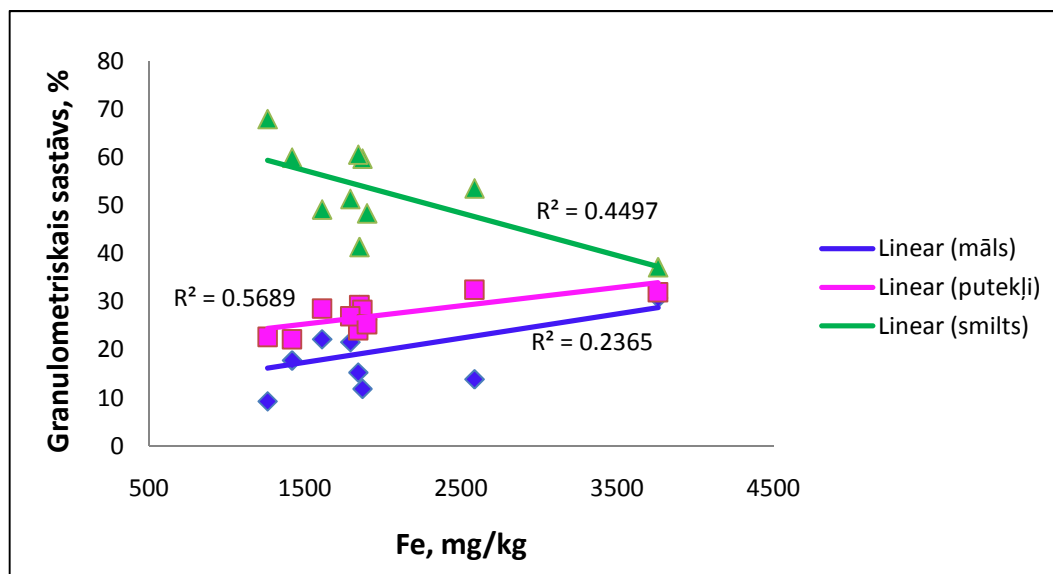
Arī ar Fe daudzumu A horizontā korelācija ir nebūtiska  $R = 0,09$  (smilts) un  $0,25$  (māls) (3.4.5.2. att.). Tas parāda to, ka elementu daudzumu A horizontā ietekmē kāds cits faktors, nevis augsnes granulometriskais sastāvs.

Augsnes profīlu E horizontos palielinās granulometriskā sastāva korelācijas ciešums ar Al daudzumu salīdzinot ar A horizontu, bet sakarība uzskatāma par vāju, ko parāda koeficients  $R = -0,41$  (māls),  $0,09$  (putekļi) un  $0,30$  (smilts) (3.4.5.3. att.).



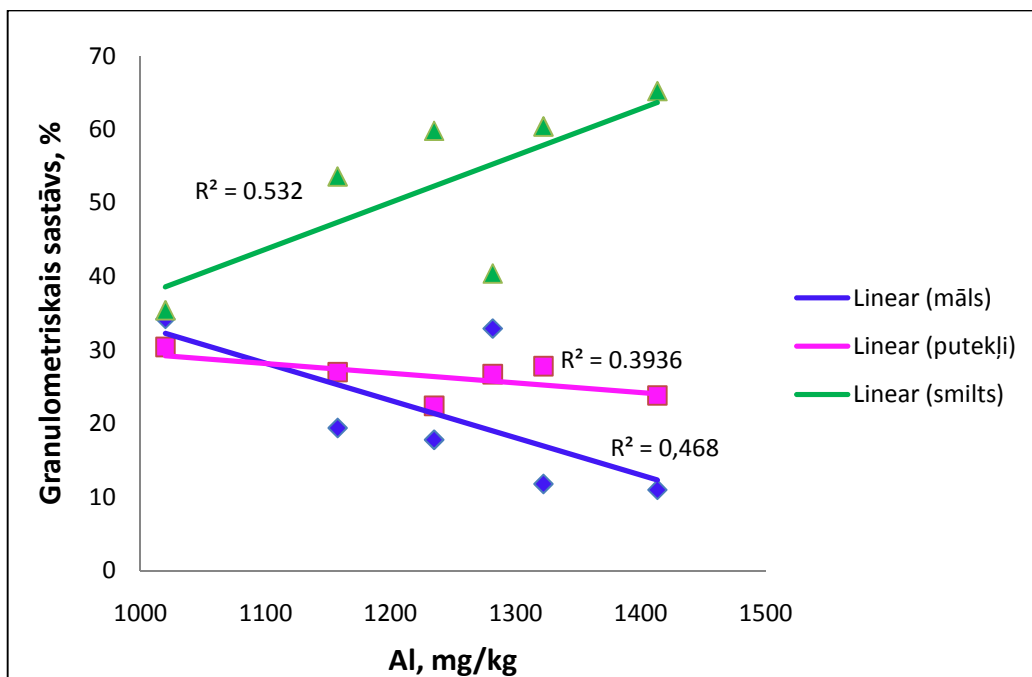
3.4.5.3. att. Granulometriskā sastāva lineārā sakarība ar Al daudzumu E horizontā

Savukārt Fe daudzumam ar granulometrisku sastāvu augsnes E horizontā parādās vidēji cieša sakarība. Aprēķinātais koeficients  $R = 0,49$  (māls) un  $-0,67$  (smilts), bet ar putekļu daļiņu daudzumu pat cieša sakarība  $R = 0,75$  (3.4.5.4. att.).



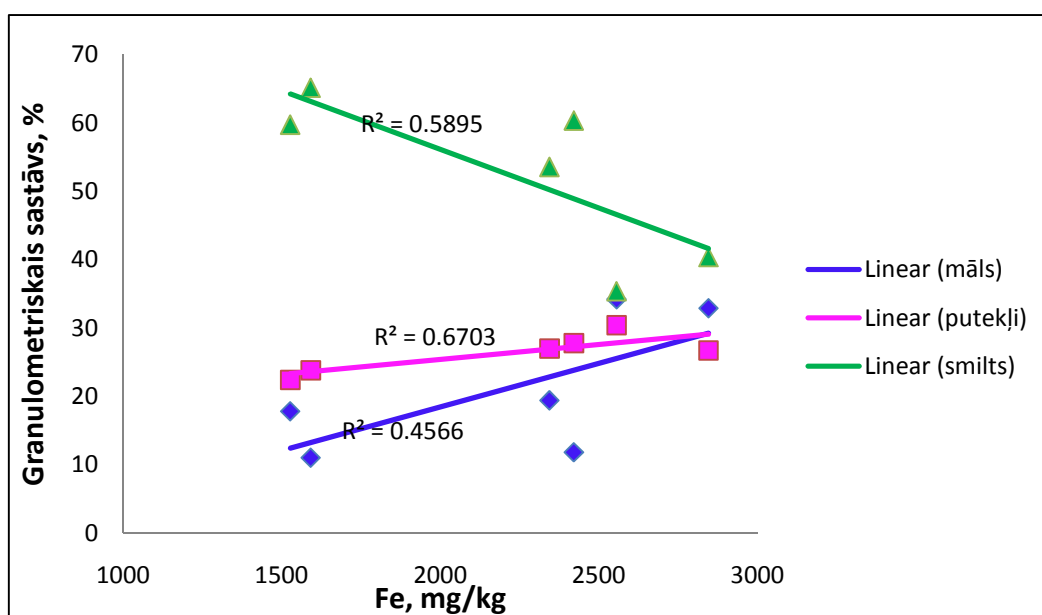
3.4.5.4. attēls. Granulometriskā sastāva lineārā sakarība ar Fe daudzumu E horizontā

Augsnes profilu BE horizontos sakarība starp augsnes granulometrisku sastāvu un Al daudzumu ir cieša, aprēķinātais  $R = -0,80$  (māls),  $-0,63$  (putekļi) un  $0,73$  (smilts). BE horizontā Al daudzumu visvairāk ietekmē māla daļiņu daudzums augsnē. Palielinoties māla un putekļu daudzumam samazinās Al daudzums horizontā, bet ar smilts daudzumu vērojama pretēja sakarība – palielinoties smilts procentuālajam daudzumam palielinās Al daudzums BE horizontā (3.4.5.5. att.).



3.4.5.5. attēls. Granulometriskā sastāva lineārā sakarība ar Al daudzumu BE horizontā

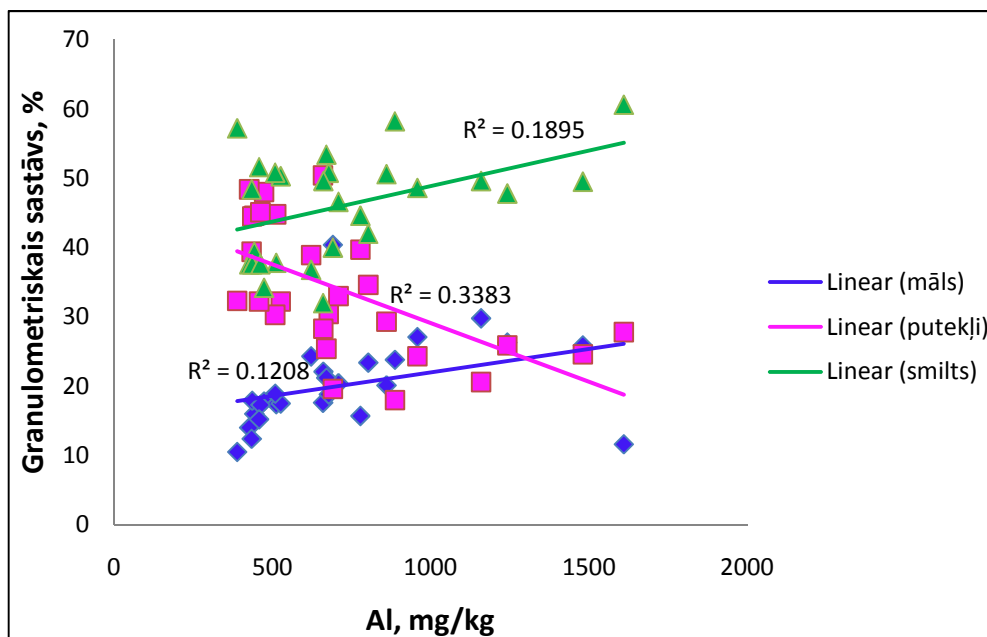
Fe daudzumam BE horizontā sakarība ar māla, putekļu un smilts procentuālo daudzumu ir cieša. Ar putekļu daļiņu daudzumu ir visciešākā sakarība (aprēķinātais  $R = 0,82$ ), bet ar smilts daudzumu horizontā vērojama apgriezta sakarība (aprēķinātais  $R = - 0,77$ ) (3.4.5.6. att.).



3.4.5.6. attēls. Granulometriskā sastāva lineārā sakarība ar Fe daudzumu BE horizontā

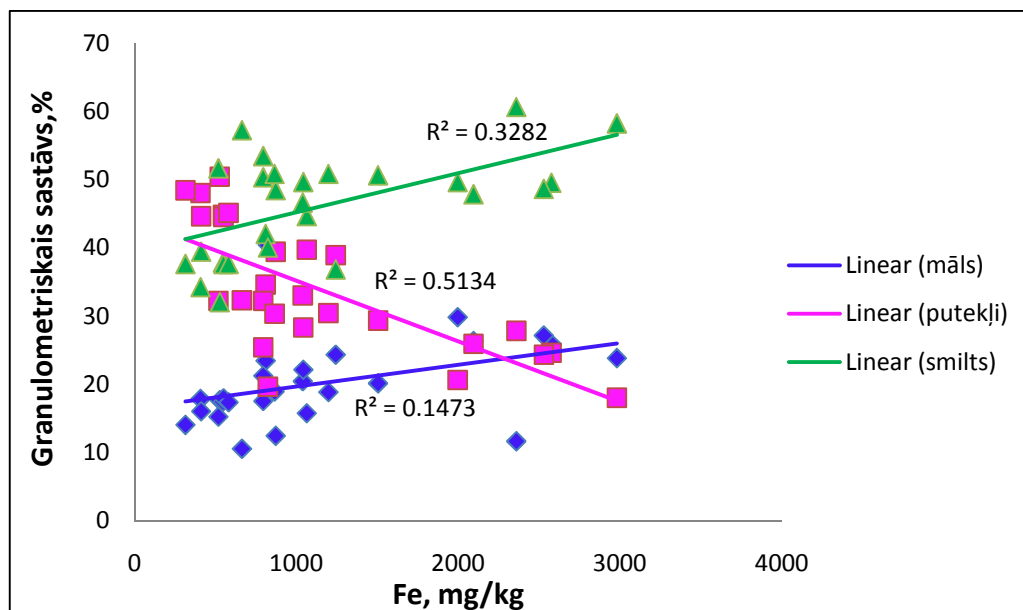
Māla daudzumam BE horizontā ir ciešāka sakarība ar Al nekā ar Fe daudzumu, attiecīgi  $R = - 0,80$  un  $R = 0,68$ . Turklāt māls katru no elementiem ietekmē atšķirīgi – palielinoties māla daudzumam samazinās Al, bet palielinās Fe daudzums.

B horizontā sakarības ciešums starp abiem rādītājiem samazinās. Ar māla daudzumu sakarība ir vāja (aprēķinātais  $R = 0,35$ ), bet ar putekļu un smilts daudzumu ir vidēji cieša, attiecīgi aprēķinātais  $R = - 0,58$  un  $0,43$  (3.4.5.7. att.).



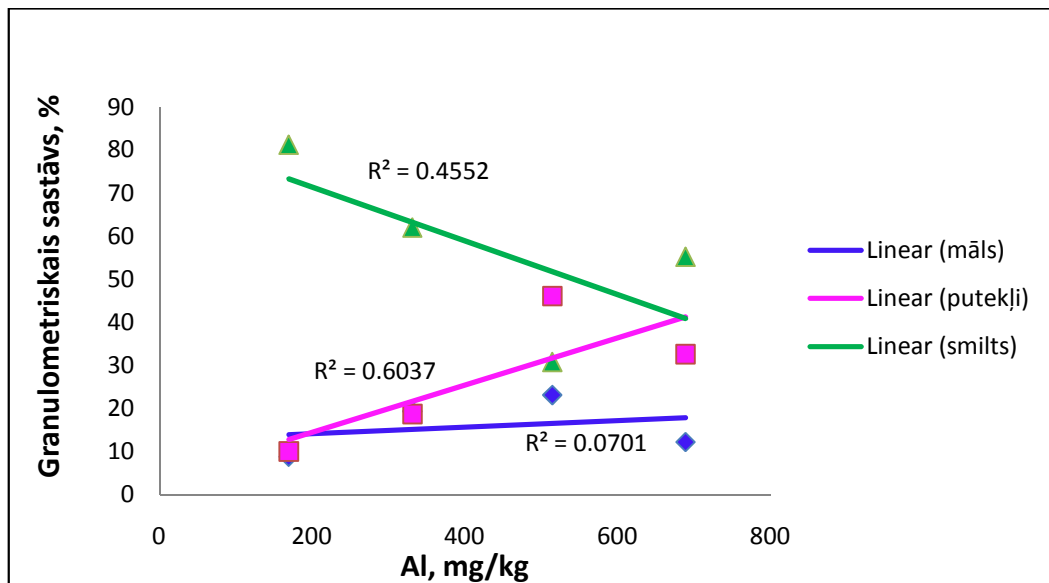
3.4.5.7. attēls. Granulometriskā sastāva lineārā sakarība ar Al daudzumu B horizontā

Granulometriskais sastāvs B horizontā ietekmē Fe daudzumu līdzīgi kā Al. Cieša sakarība ir ar putekļu daudzumu ( $R = - 0,72$ ) un smilts daudzumu ( $R = 0,57$ ), bet ar māla daudzumu korelācija ir vāja ( $R = 0,38$ ). B horizontā Al un Fe daudzums palielinās palielinoties māla un smilts daudzumam, bet samazinās palielinoties putekļu daudzumam (3.4.5.8. att.).



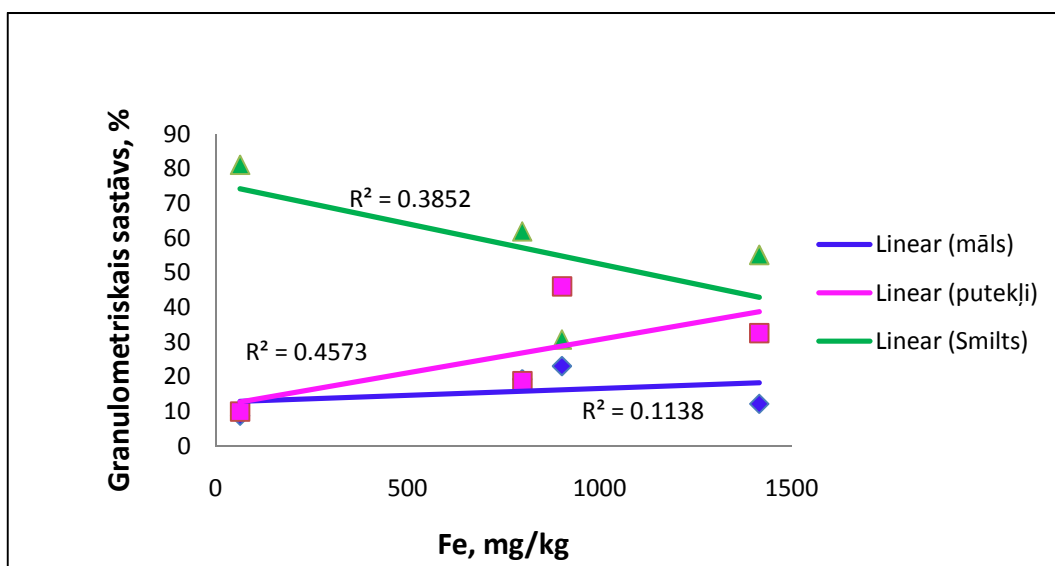
3.4.5.8. attēls. Granulometriskā sastāva lineārā sakarība ar Fe daudzumu B horizontā

BC horizontā novērtēt sakarības ciešumu ir grūti, jo horizontu skaits ir mazs (4 paraugi). Lai gan sakarības tendence ir līdzīga kā B horizontā visciešākā ar putekļu daļiņu un smilts daudzumu, bet vājāka sakarība ar māla daudzumu. Al daudzums palielinās pieaugot putekļu daudzumam ( $R = 0,78$ ), bet samazinās pieaugot smilts daudzumam ( $R = - 0,67$ ), sakarība ar māla daudzumu ir vāja ( $R = 0,26$ ) (3.4.5.9. att.).



3.4.5.9. attēls. Granulometriskā sastāva lineārā sakarība ar Al daudzumu BC horizontā

Ar Fe daudzumu sakarības attiecība ir līdzīga kā Al, bet nedaudz palielinās ciešums ar māla daudzumu ( $R = 0,34$ ) savukārt ar putekļu ( $R = 0,68$ ) un smilts ( $R = 0,62$ ) daudzumu sakarība ir vidēji cieša (3.4.5.10. att.)

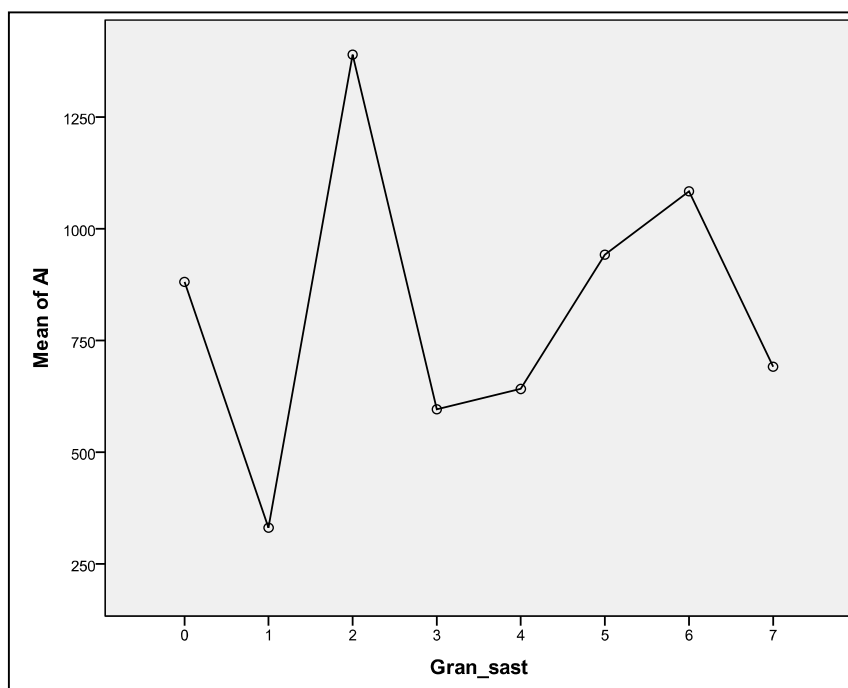


3.4.5.10. attēls. Granulometriskā sastāva lineārā sakarība ar Fe daudzumu BC horizontā

Principiālā komponentu analīze parāda, ka augsnes granulometriskā sastāva (māls, putekļi, smilts procentuālais sadalījums) ietekme uz podzolēšanās procesa attīstību ir vidēji

cieša. Konstatēts, ka māla daudzumam pastāv apgriezti proporcionāla sakarība ar pirmo asi ( $r = -0,58$ ). Putekļiem ar otro asi ( $r = 0,66$ ), bet smiltij ar trešo asi ( $r = -0,52$ ) (3.pielik.).

Veicot viena faktora dispersiju analīzi, izmantojot *PASW SPSS Statistics 18.0* programmu, salīdzinot granulometriskā sastāva – kā faktora ietekmi uz pārējiem mainīgajiem (horizonta kods; Al; Fe;  $C_{org}$ ; egle; bērzs; apse; baltalksnis; veģētācijas tips; meža zemes vecums, meža vecums; novietojums reljefā; augsnes tips pēc Latvijas klasifikācijas; augsnes tips pēc FAO klasifikācijas). Pēc ANOVA tabulas (6. pielik.) redzams, ka  $p < 0.05$ , kas nozīmē, ka būtiskas atšķirības starp grupām pastāv šādiem rādītājiem (horizonta kods; Al; Fe; baltalksnis;  $C_{org}$ ).



3.4.5.10. attēls. **Vienafaktora dispersijas analīzes rezultāti. Al mainība atkarībā no granulometriskā sastāva grupām augsnes horizontos** (0- nedzīvās zemsegas horizonts, 1- mālsmilts, 2 – smaga mālsmilts, 3 – smilšmāls, 4 – putekļains smilšmāls, 5 – smags smilšmāls, 6 – viegls māls, 7 – smags māls)

Pēc Al vidējām vērtībām pa visiem parauglaukumiem, konstatēts, ka nedzīvās zemsegas horizontā Al vidējās vērtības ir aptuveni 800 mg/kg, savukārt mālsmilts horizontos samazinās līdz 300 mg/kg, kas ir likumsakarīgi, jo podzolēšanās procesa rezultātā Al migrē dziļākajos augsnes horizontos. Iegūtie rezultāti sakrīt ar pētījumiem smilts augsnēs

Konstatēts, ka smagas mālsmilts horizontos vērtības pārsniedz 1300 mg/kg, kas liecina, ka līdz ar smagāku augsnes granulometrisko sastāvu pieaug arī Al saturs.

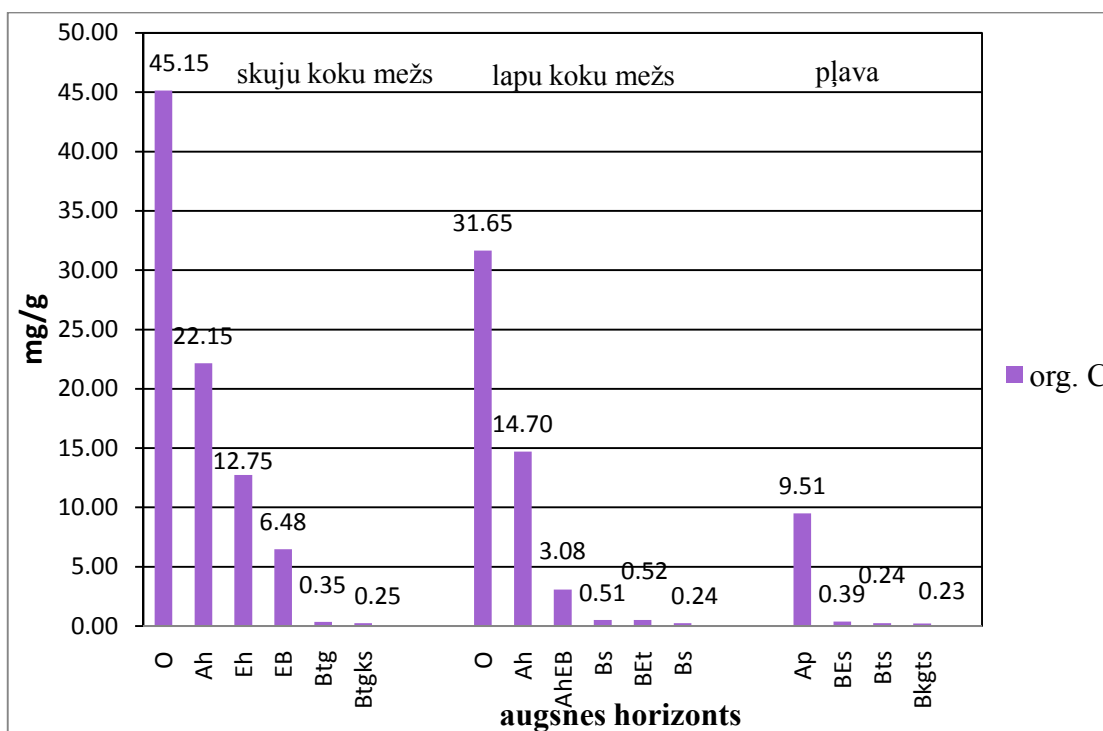
Interesanti, ka smilšmāla un putekļaina smilšmāla augsnēs Al vidējais saturs ir aptuveni 600 mg/kg, savukārt pieaugot māla daļiņu daudzumam tas palielinās līdz 1100 mg/kg.

Smaga māla augsnēs likumsakarīgi, ka Al saturs samazinās, jo podzolēšanās process nav konstatējams dziļākajos augsnes horizontos.

### 3.4.6. Organiskās vielas

Principiālā komponentu analīze parāda, ka organiskā oglekļa ( $C_{org}$ ) ietekme uz podzolēšanās procesu ir vidēji cieša, ko parāda sakarība ar pirmo asi ( $r = 0,64$ ), bet ar otro asi apgriezti proporcionāla sakarība ( $r = - 0,57$ ) (3. pielik.).

Visos šī pētījuma augsnes profilos novērojama līdzīga  $C_{org}$  dinamika. Lielākās koncentrācijas vērojamas augsnes virsējos horizontos un samazinās līdz ar profila dziļumu. Salīdzinot organiskā oglekļa daudzumu pa veģetācijas tipiem, var secināt, ka profilos, kur dominē skuju koki, ir lielāks  $C_{org}$  daudzums nekā lapu koku vai pļavas augsnes profilos (3.4.6.1. att.). Augsnes B horizontā vērojama krasa organiskā oglekļa samazināšanās salīdzinot ar virsējiem horizontiem. Savukārt B horizontā  $C_{org}$  ir līdzīgs visos veģetācijas tipos.



3.4.6.1. attēls. **Organiskā oglekļa daudzums augsnes horizontos dažādos veģetācijas tipos** (sastādījusi autore, izmantojot LZP granta (2009) datus)

Organisko vielu akumulācija gan augšējos, gan apakšējos augsnes horizontos ir atkarīga no nobiru daudzuma un trūdēšanas līdzsvara. Pēc iegūtajiem datiem var redzēt, ka pētījuma teritorijā notiek intensīva organisko vielu uzkrāšanās augsnes virskārtā, bet nenotiek organisko vielu transportēšanās veidojot E horizontu un uzkrāšanās B horizontā, kas ir podzolēšanās procesa raksturojoša pazīme.

Līdzīgu organiskā oglekļa izplatību augsnes profilos, kāda novērota šajā pētījumā, ir novērojuši zinātnieki Dānijas *Hyperdystric Arenosol* augsnēs, savukārt *Haplic Podzol* augsnē

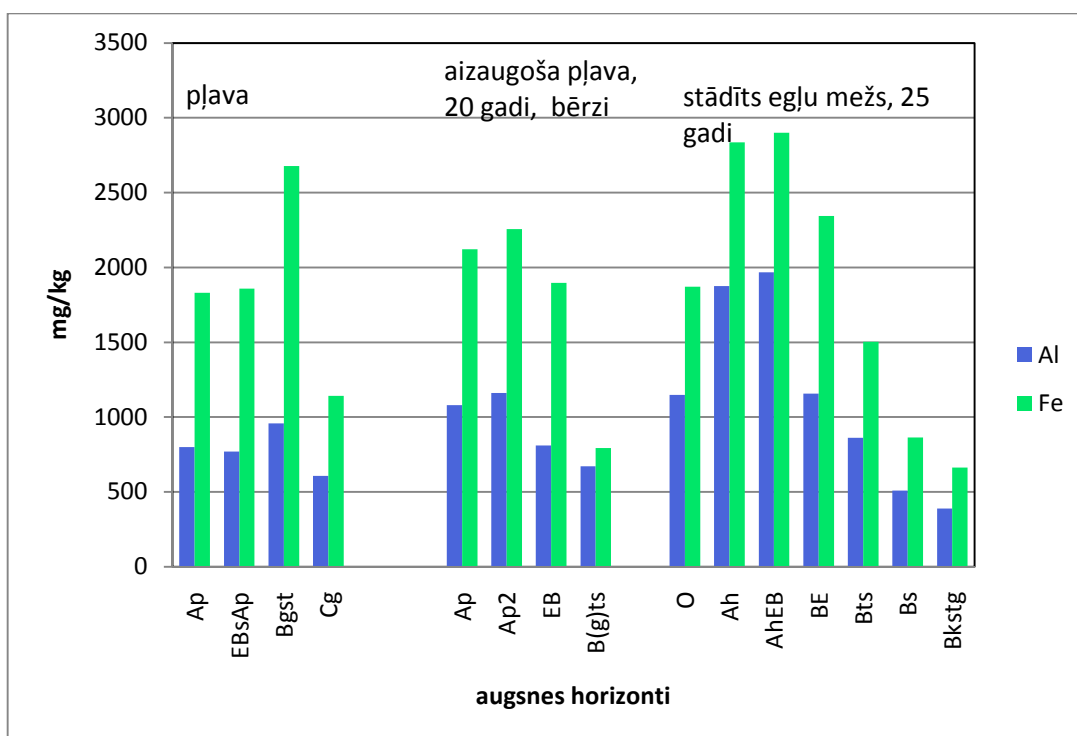
parādās  $C_{org}$  izskalošanās no E horizonta un uzkrāšanās B horizontā, bet augsnes virsējos horizontos konstatēts vislielākais organiskā oglekļa daudzums (Kristiansen, 2001).

### 3.4.7. Koku sugas

Pētījuma teritorijās tika konstatētas četras koku sugas: egles, bērzs, apse un baltalksnis. Augsnes profilos Nr. 8 un 13 aug tikai egles, profilā Nr. 9 tikai lapu koki – bērzs un apse, profilos Nr. 1, 2, 3, 5 dominē skuju koki, bet ir arī lapu koki, profilā Nr. 4 ir jaukts skuju/lapu koku mežs, bet profilā Nr. 6 dominē lapu koki. Izteikta pļavas veģetācija ir tikai augsnes profilā Nr.7 un 10, bet profili Nr. 11 un 12 klasificējami kā aizaugoša pļava.

Principiālā komponentu analīze parāda, ka koku sugām vidēji cieša sakarība ir vērojama ar trešo asi: eglei ( $r = 0,63$ ), bērzam ( $r = - 0,61$ ), apsei ( $r = - 0,57$ ), bet baltalksnim ar pirmo asi ( $r = - 0,52$ ) (3. pielik.). Kā parāda rezultāti, tad podzolēšanās process norisinās skujkoku mežos, kur izplatītas egles, bet lapu koku mežos, kā arī pļavās šis process būtiski samazinās.

Principā visi podzolēšanās procesa pētījumu rezultāti (Mokma et al., 2004; Lundström et al., 2000 a, b; u.c.) liecina, ka procesu vairāk veicina skuju koki nekā lapu koki. Tas saistīts ar to, ka skuju koku nobiras sadalās lēnāk un to veidojošās organiskās skābes ir spēcīgākas salīdzinot ar lapu koku nobirām, turklāt lapu koku nobirās ir vairāk barības vielas, kas neitralizē augsnes pH (Binkley, 1994).



3.4.7.1. attēls. Al un Fe daudzums horizontos atkarībā no veģetācijas veida (profili Nr.10, 11, 8)

Lauksaimniecībā izmantojamo zemi neapstrādājot, mainās tur esošā veģetācija – sāk augt koki un krūmi. Bet kā rāda augsnes ķīmiskās analīzes (3.4.7.1. att.), tad Al un Fe daudzuma izmaiņas ir salīdzinoši mazas. Savukārt apstādot LIZ ar egļu mežu, jau pēc 25 gadiem Al un Fe daudzums ir ievērojami lielāks, turklāt parādās horizontu daudzveidība augsnes profilā (3.4.7.1. att.). Pētījuma rezultāti sakrīt ar citu Latvijā veikta pētījuma (Kāposts, 2006) secinājumiem, ka augšņu īpašības pēc LIZ apmežošanas ar bērzu tik ātri neizmainās un ilgi nelīdzinās meža zemei.

## SECINĀJUMI

1. Podzolēšanās procesa rezultātā no augsnes virsējiem horizontiem uz apakšējiem tiek ieskaloti augiem nepieciešamie elementi, tāpēc, lai novērtētu podzolēšanās procesa attīstību augsnē, pasaulē tiek pētīta Al un Fe savienojumu migrācija pa augsnes horizontiem.
2. Podzolēšanās procesa attīstību un ātrumu ietekmē daudzi dabiskie faktori, piemēram, veģetācija, ģeoloģiskie nogulumi, augsnes granulometriskais sastāvs, novietojums reljefā, kā arī antropogēnie faktori – zemes lietojuma veids, meliorācija un nosusināšana, savukārt iepriekš minēto faktoru ietekme ir atkarīga no laika.
3. Pēc galveno komponentu analīzes rezultātiem, var secināt, ka podzolēšanās procesa attīstību morēnas nogulumos visbūtiskāk ietekmē veģetācija, t.i. - meža zemes un meža vecums, novietojums reljefā, organiskā oglekļa un māla saturs augsnē.
4. Pēc augsnes profilu morfoloģiskajām pazīmēm un iegūto rezultātu statistiskās analīzes var konstatēt, ka podzolēšanās procesa attīstībai uz morēnas nogulumiem ir nepieciešams laiks. Augsnēs, kuru meža zemes vecums ir līdz 200 gadiem, profilos ir vērojamas podzolēšanās procesa morfoloģiskās pazīmes, tomēr netiek sasniegts *Spodic* horizonta kritērijs, savukārt augsnēs ar lielāku meža zemes vecumu – ķīmisko analīžu rezultāti parāda ekstrahējamā Al un Fe izskalošanos no virsējiem horizontiem dziļāk.
5. Pēc viena faktora dispersijas analīzes rezultātiem var konstatēt, ka ekstrahējamā Al<sub>o</sub> un Fe<sub>o</sub> migrāciju augsnes profilā nosaka horizonta granulometriskais sastāvs, karbonātu saturs un virsējo ūdeņu glejošanās procesa attīstība.
6. Morēnas nogulumos podzolēšanās procesa attīstību kavē relatīvi augstais māla un putekļu saturs augsnē, kā arī iespējams, fakts, ka morēnas nogulumi ir raksturojami ar relatīvi augstu piesātinājumu ar bāzēm, kā arī apmaiņas katjoniem – Ca, Mg, K, Na, kas kopumā aizkavē podzolēšanās procesu.

## **PATEICĪBA**

Darba autore izsaka lielu pateicību visiem, kas palīdzējuši šī pētījuma īstenošanā. Lielākā pateicība tiek izteikta maģistra darba konsultantam LU Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultātes vides zinātņu maģistram, doktorantam Raimondam Kasparinskim, par palīdzību un sniegtajiem padomiem maģistra darba izstrādes gaitā un datu statistiskajā apstrādē. Īpaša pateicība tiek izteikta maģistra darba vadītājai ķīmijas doktorei Lindai Eglītei par palīdzību augšņu paraugu sagatavošanā un sniegtajiem padomiem darba izstrādes gaitā.

## LITERATŪRAS SARAKSTS

- Alexander, E. B., Graham, R. C., Ping, C.L. 1994a. Cemented ultramafic till beneath a podzol in southeast Alaska. *Soil Science*. 157 (1), 53–58.
- Alexander, E. B., Ping, C. L., Krosse, P. 1994b. Podzolization in ultramafic materials in southeast Alaska. *Soil Science*. 157 (1), 46–52.
- Arocena, J. M., Pawluk, S., Dudas, M. J. 1992. Genesis of selected sandy soils in Alberta, Canada as revealed by microfabric, leachate- and soil composition. *Geoderma*. 54, 65–90.
- Barrett, L. R. 1997. Podzolization under forest and stump prairie vegetation in northern Michigan. *Geoderma*. 78, 37–58.
- Binkley, D. 1994. The influence of tree species on forest soils: Processes and Patterns. In: Mead, D. J., Cornforth, I. S. (Eds.). *Proceedings of tree species and soil workshop. Agronomy Society of New Zealand Special Publication # 10*. Lincoln Univ. Press, Canterbury, NZ, 1996, 1 - 33.
- Birkeland, P. W. 1984. *Soils and Geomorphology*. Oxford University Press, New York, 275.
- Blume, H. P., Schneider, D., Bölter, M. 1996. Organic matter accumulation in and podzolization of Antarctic soils. *Z. Pflanzenernähr. und Bodenkd.*, 159, 411–412.
- Bonifacio, E., Santoni, T., S., Celi, L., Zanini, E. 2006. Spodosol–Histosol evolution in the Krkonoše National Park (CZ). *Geoderma*. 131, 237–25.
- Boruvka, L., Mladkova, L., Drabek, O. 2005. Factors controlling spatial distribution of soil acidification and Al forms in forest soils. *Journal of Inorganic Biochemistry*. 99, 1796–1806.
- Brīvkalns, K. 1959. *Latvijas PSR augsnes*. Rīga. LVI.
- Brown, A. H. F., Iles, M. A. 1991. Water chemistry profiles under four tree species at Gisburn, NW England. *Forestry*. 64, 169– 87.
- Burges, A., Drover, D. P. 1953. The rate of Podzol development in sands of the Woy Woy district, *N.S.W. Aust. J. Bot.* 1, 83– 94.
- Buurman, P., Jongmans, A. G. 2005. Podzolisation and soil organic matter dynamics. *Geoderma*. 125, 71–83.
- Buurman, P., Schellekens, J., Fritze, H., Nierop, K.G.J. 2007. Selective depletion of organic matter in mottled podzol horizon. *Soil Biology & Biochemistry*. 39, 607–621.
- Carr`e, F., Girard, M. C. 2002. Quantitative mapping of soil types based on regression kriging of taxonomic distances with landform and land cover attributes. *Geoderma*. 110 (3-4), 241-263.
- Chandler Jr., R. F. 1942. The time required for Podzol profile formation as evidenced by the Mendenhall glacial deposits near Juneau, Alaska. *Soil Science Society of America*. 7, 454 – 459.
- Courchesne, F., Hendershot, W. H. 1997. La gé'ne'se des podzols. *Ge'ographie Physique et Quaternaire*. 51, 235– 250.
- Crocker, R. L., Dickson, B. A. 1957. Soil development on the recessional moraines of the Herbert and Mendenhall glaciers, southeastern Alaska. *Journal of Ecology*. 45, 169–185.
- Dalsgaard, K., Odgaard, B. V. 2001. Dating sequences of buried horizons of podzols developed in wind-blown sand at Ulfborg, Western Jutland. *Quaternary International*. 78, 53 – 60.
- D'Amico, M., Julitta, F., Previtali, F., Cantelli, D. 2008. Podzolization over ophiolitic materials in the western Alps (Natural Park of Mont Avic, Aosta Valley, Italy). *Geoderma*. 146, 129–137.

Daugaviete, M. 2008. *Dažādu kokaudžu attīstības procesu izpēte lauksaimniecībā neizmantojamo zemju apmežojumos. 2004.-2008.g. Zinātniskā LZP projekta 04.1123 kopsavilkums.*

De Coninck, F. 1980. Major mechanisms in formation of spodic horizons. *Geoderma*. 24, 101–128.

De Schrijver, A., Mertens, J., Geudens, G., Staelens, J., Campforts, E., Luysaert, S., De Temmerman, L., De Keersmaeker, L., De Neve, S., Verheyen, K. 2006. Acidification of forested podzols in North Belgium during the period 1950–2000. *Science of the Total Environment*. 361, 189–195.

De Schrijver, A., Nachtergale, L., Staelens, J., Luysaert, S., De Keersmaeker, L. 2004. Comparison of throughfall and soil solution chemistry between a high-density Corsican pine stand and a naturally regenerated silver birch stand. *Environ Pollut*. 131(1), 93–105.

Dickson, B. A., Crocker, R. L. 1954. A chronosequence of soils and vegetation near Mount Shasta, California: III. Some properties of the mineral soils. *Journal of Soil Science*. 5, 173–191.

Egli, M., Mirabella, A., Sartori, G. 2008. The role of climate and vegetation in weathering and clay mineral formation in late Quaternary soils of the Swiss and Italian Alps. *Geomorphology*. 102, 307–324.

Expert Committee on Soil Science, 1987. *Agriculture Canada Research Branch, 1987. The Canadian System of Soil Classification*. 2nd edition. Publ. no. 1646, Ottawa.

Falkengren-Grerup, U., Ten Brink, D.-J., Brunet, J. 2006. Land use effects on soil N, P, C and pH persist over 40–80 years of forest growth on agricultural soils. *Forest Ecology and Management*. 225, 74–81.

Fox, T.R., Comerford, N. B. 1992. Influence of oxalate loading on phosphorous and aluminium solubility in Spodosols. *Soil Science Society of America Journal*. 56, 290–294.

Franzmeier, D. P., Whiteside, E. P., Mortland, M. M. 1963. A chronosequence of podzols in northern Michigan: III. Mineralogy, micromorphology, and net changes occurring during soil formation. *Quarterly Bulletin-Michigan State University, Agricultural Experiment Station*. 46, 37–57.

Gabler, R. E., Petersen, J. F., Trapasso, L. M., Sack, D. 2009. *Physical Geography*. Belmont, CA, Brooks/Cole-Cengage, 335.

Gilucis, A. 2007. *Mikro- un makroelementu satūra un izplatības likumsakarības Latvijas augšņu virsējos horizontos*. Promocijas daba kopsavilkums, Rīga, LU, 15–18.

Griffiths, R. P., Madritch, M. D., Swanson, A. K., 2009. The effects of topography on forest soil characteristics in the Oregon Cascade Mountains (USA), Implications for the effects of climate change on soil properties, *Forest Ecology and Management*. 257, 1–7.

IUSS Working Group WRB, 2007. World Reference Base for Soil Resources 2006, first update 2007. *World Soil Resources Reports* No. 103. FAO, Rome.

Jansen, B., Klaas, N. G. J., Verstraten, J. M. 2003. Mobility of Fe(II), Fe(III) and Al in acidic forest soils mediated by dissolved organic matter: influence of solution pH and metal/organic carbon ratios. *Geoderma*. 113, 323–340.

Jauhiainen, E., 1973. Age and degree of podzolization of sand soils on the coastal plain of northwest Finland. *Societas Scientiarum Fennica*. 68, 1–32.

Jönsson, U., Rosengren, U., Thelin, G., Nihlga, B. 2003. Acidification-induced chemical changes in coniferous forest soils in southern Sweden 1988–1999. *Environmental Pollution*. 123, 75–83.

Kabala, C. 2006. Diagnostic Spodic horizons in Podzols of the Sudety Mountains. *Polish Journal of soil science*. 39 (2).

Kasparinskis, R., Nikodemus, O., Tabors, G., Liepiņš, I. 2010. Podzolēšanās procesa attīstība Latvijas mežu augsnēs. *Latvijas Universitātes 68. zinātniskā konference Ģeogrāfija, Ģeoloģija, Vides zinātne. Referātu tēzes*. Rīga, LU Akadēmiskais apgāds, 113–114.

Kawadias, V. A., Alifragis, D., Tsiotsis, A., Brofas, G., Stamatelos, G., 2001. Litterfall, litter accumulation and litter decomposition rates in four forest ecosystems in northern Greece. *For. Ecol. Manage.* 144, 113-127.

Kāposts, V. 2006. *Augsnes īpašību ietekme uz bērza stādījumu augšanas rādītājiem bijušo lauksaimniecības zemju platībās*. Salaspils, Valsts mežzinātnes institūts „Silava”.

Kārklīņš, A. 2008. *Augsnes diagnostika un apraksts*. Jelgava, LLU.

Kārklīņš, A., Gemste, I., Mežals, H., Nikodemus, O., Skujāns, R. 2009. *Latvijas augsņu noteicējs*. Jelgava, Latvijas Lauksaimniecības universitāte.

Kristiansen, M. S. 2001. Present-day soil distribution explained by prehistoric land-use: Podzol–Arenosol variation in an ancient woodland in Denmark. *Geoderma*. 103, 273–289.

Lundström, U. S., van Breemen, N., Bain, D. C., van Hees, P. A. W., Giesler, R., Gustafsson, J. P., Ilvesniemi, H., Karlton, E., Melkerud, P.-A., Olsson, M., Riise, G., Wahlberg, O., Bergelin, A., Bishop, K., Finlay, R., Jongmans, A. G., Magnusson, T., Mannerkoski, H., Nordgren, A. Nyberg, L., Starr, M., Tau Strand, L. 2000 b. Advances in understanding the podzolization process resulting from a multidisciplinary study of three coniferous forest soils in the Nordic Countries. *Geoderma*. 94 (2 - 4), 335 - 353.

Lundström, U. S., van Breemen, N., Jongmans, A. G. 1995. Evidence for microbial decomposition of organic acids during podzolisation. *European Journal of Soil Science*. 46, 489–496.

Lundström, U.S., van Breemen, N., Bain, D. C. 2000 a. The podzolization process. A review. *Geoderma*. 94, 91–107.

McKeague, J. A., Brydon, J. E., Miles, N. M. 1971. Differentiation of forms of extractable iron and aluminum in soils. *Soil Science Society of America, Proceedings*. 35, 33–38.

McKeague, J. A., Day, J. H. 1966. Dithionite- and oxalate-extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soils. *Can. J. Soil Sci.* 46, 13–22.

McKeague, J.A., Wang, C. 1980. Micromorphology and energy dispersive analysis of Ortstein horizons of Podzolic soils from New Brunswick and Nova Scotia, Canada. *Canadian Journal of Soil Science*. 60, 9– 21.

McTierman, K.B., Couteaux, M.M., Berg, B., Berg, M.P., Calvo de Anta, R., Gallardo, A., Kratz, W., Piussi, P., Remacle, J., Virzo De Santo, A. 2003. Changes in chemical composition of *Pinus sylvestris* needle litter during decomposition along a European coniferous forest climatic transect. *Soil Biology and Biochemistry*. 35 (6), 801–812.

Mežals, G. 1980. *Meža augsnes zinātne*. Rīga, Zvaigzne.

Mokma, D. L., Yli-Halla, M., Lindqvist, K. 2004. Podzol formation in sandy soils of Finland. *Geoderma*. 120, 259–272.

Mokma, D. L., Buurman, P. 1982. *Podzols and Podzolisation in Temperate Regions*. ISM Monograph 1, International Soil Museum. Wageningen. 1–126.

Mossin, L., Mortensen, M., Nørnberg, P. 2002. Imogolite related to podzolization processes in Danish podzols. *Geoderma*. 109, 103– 116.

Muir, A. 1961. The podzol and podzolic soils. *Adv. Agronomy*. 13, 1–56.

Niinemets, E., Saarse, L. 2005. Holocene forest dynamics and human impact in southeastern Estonia. *Vegetation History and Archaeobotany*. 16 (1), 1 – 13.

Nikodemus, O., Kārklīņš, A., Kļaviņš, M., Melecis, V. 2009. *Augsnes ilgtspējīga izmantošana un aizsardzība*. Rīga, LU Akadēmiskais apgāds.

Palo, A. 2005. *Relationships between landscape factors and vegetation site types: case study from Saare country*. Disertationes Geographicae Universtatis Tartunesis. Estonia.

Perala, D. A., Alban, D. H. 1982. Biomass, nutrient distribution and litterfall in *Populus*, *Pinus*, *Picea* stands on two different soils in Minnesota. *Plant and Soil*. 64, 177 - 192.

Petersen, L., 1976. *Podzols and Podzolization*. Copenhagen, DSR Forlag.

Ponomareva, V. V. 1957. To the method for the study of soil humus after I. V. Tyurin's scheme. *Pochvovedenie (Soviet Soil Sci.)*. 8, 66 - 71.

- Prescott, C. E. 2002. The influence of the forest canopy on nutrient cycling. *Tree Physiology*. 22, 1193 - 1200.
- Ragg, J. M., Ball, D. F. 1964. Soils of the ultrabasic rocks of the Island of Rhum. *J. Soil Sci.* 15 (1), 124–133.
- Reimann C., Englmaier P., Flem B., Gough L., Lamonthe P., Nordgulen O., Smith D. 2009. Geochemical gradients in soil O-horizon samples from southern Norway: Natural or antropogenic? *Applied Geochemistry*. 24, 62–76.
- Reintam, L., Raukas, A., Kleesment, A., Moora, T., Kährik, R. 2001. Podzolization in aeolian sands, underlain gleysol formation, during nine millennia in southwestern Estonia. *Proc. Estonian Acad. Sci. Geol.* 50 (4), 254 – 281.
- Samimi, C., Wagenseil, H. [S.a.] *Podzols in the Chimanimani Mountains (Zimbabwe)*. Institute for Geography University of Erlangen-Nuremberg, Erlangen.
- Sariyildiz, T., Anderson, J. M.. 2003. Interactions between litter quality, decomposition and soil fertility: a laboratory study. *Soil Biology & Biochemistry*. 35, 391–399.
- Sauer, D., Sponagel, H., Sommer, M., Giani, L., Jahn, R., Stahr., K. 2007. Podzol: Soil of the Year 2007. A review on its genesis, occurrence, and functions. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 170 (5), 581 – 597.
- Schaetzl, R. J. 1992. Texture, mineralogy, and lamellae development in sandy soils in Michigan. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56, 1538–1545.
- Schaetzl, R.J., 1996. Spodosol–Alfisol intergrades: bisequal soils in NE Michigan, USA. *Geoderma*. 74, 23–47.
- Schwartz, D., Guillet, B., Villemin, G., Toutain, F., 1986. Les alios humiques des podzols tropicaux du Congo: constituants, microet ultrastructure. *Pe'dologie*. 36, 179– 198.
- Seibert, J., Stendahl, J., Sorensen, R. 2007. Topographical influences on soil properties in boreal forests, *Geoderma*. 141, 139–148.
- Sharpe, D. R., Dyke, L. D., Hinton, M. J., Pullan, S. E., Russell, H. A. J., Brennd, T. A., Barnett, P. J., Pugin, A. 1996. Groundwater prospects in the Oak Ridges Moraine area, southern Ontario: application of regional geological models. *Geological Survey of Canada*. 181-190.
- Skjemstad, J. O., Waters, A. G., Hanna, J. V., Oades, J.M., 1992. Genesis of podzols on coastal dunes in southern Queensland: IV. Nature of the organic fraction as seen by <sup>13</sup>C nuclear magnetic resonance spectroscopy. *Australian Journal of Soil Research* 30, 667– 681.
- Skujāns, R., Mežals, G. 1964. *Augšņu pētīšana. Rīga*, Latvijas Valsts izd.
- Sommer, M., Halm, D., Geisinger, C., Andruschkewitsch, I., Zarei, M., Stahr, K. 2001. Lateral podzolization in a sandstone catchment. *Geoderma*. 103, 231–247.
- Staaf, H., Berg, B. 1981. Accumulation and release of plant nutrients in decomposing Scots pine needle litter. Long - term decomposition in a Scots pine forest II. *Can. J. Bot.* 60, 1561 - 1568.
- Suominen, K., Kitunen, V., Smolander, A. 2003. Characteristics of dissolved organic matter and phenolic compounds in forest soils under silver birch (*Betula pendula*), Norway spruce (*Picea abies*) and Scots pine (*Pinus sylvestris*). *European Journal of Soil Science*. 54 (2), 287– 293.
- Täht, K., 2005. Migration of microelememts in main types if Southeast Estonian soil. *Lietuvos mokslø akadēmija. Ekologija*. 3, 11 - 16
- Tanskanen, N., Ilvesniemi, H. 2004. The amount of secondary Al in two ploughed podzolic forest soils. *Geoderma*. 119, 249–260.
- Tērauda, E. 2008. *Ķīmisko vielu plūsmas Latvijas priežu mežu ekosistēmā*. Promocijas darbs. Rīga, LU Akadēmiskais apgāds.
- Titeux, H., Delvaux, B. 2009. Experimental study of DOC, nutrients an metals release from forest floors developed ander beech (*Fagus sylvatica* L.) an a Combisol and a Podzol. *Geoderma*. 148 (3-4), 291 – 298.

- Turlajs, J. (red.). 2009. *Latvijas ģeogrāfijas atlants*. 5. iesp. Rīga, Karšu izdevniecība Jāņa sēta, 13. lpp.
- Tyler, G. 2004. Vertical distribution of major, minor, and rare elements in a Haplic Podzol. *Geoderma*. 119, 277–290
- Ugolini, F. C., Dahlgren, R. A. 1987. The mechanism of podzolization as revealed through soil solution studies, In: Righi, D., Chauvel, A. (eds.): *Podzols and Podzolization*. Paris. AFES and INRA, 195.–203.
- Verger, J.P., 1995. Vegetation and Soils in the Valle d'Aosta (Italy). The vegetation of Ultramafic (Serpentine) Soils. Proc. 1st Int. Conf. *Serpentine Ecology*. University of California, Davis, 175–195
- Wall, A., Hytönen, J. 2005. Soil fertility of afforested arable land compared to continuously forest sites. *Plant and Soil*. 275, 247-260.
- Wang, C., McKeague, J. A. 1982. Illuviated clay in sandy podzolic soils of New Brunswick. *Can. J. Soil Sci.* 62, 79–89.
- Wilson, P. 2001. Rate and nature of podzolisation in aeolian sands in the Falkland Islands, South Atlantic. *Geoderma*. 101, 77–86
- Zīverts, A. 1995. Ievads hidroloģijā. Jelgava, LLU.

### Kartogrāfiskie materiāli

- LVGD Kvartārģeoloģija. *Valsts Ģeoloģijas Dienesta Kvartāra nogulumu karšu mozaīka mērogā 1:200 000*. LU ĢZZF WMS. Sk. 04.05.2010. Pieejams <http://kartes.geo.lu.lv>.
- TOPO 50K PSRS. *Bijušās PSRS armijas ģenerālštāba 42.gada sistēmas topogrāfisko karšu mozaīka mērogā 1:50 000*. LU ĢZZF WMS. Sk. 04.05.2010. Pieejams <http://kartes.geo.lu.lv>.
- ORTOFOTO 3. LĢIA *Latvijas 3. Etapa ortofoto karšu mozaīka*. LU ĢZZF WMS. Sk. 04.05.2010. Pieejams <http://kartes.geo.lu.lv>.

### Elektroniskie resursi

- Goudie, A. 2001. *The Human impact on the natural environment*. 2nd edn. Great Britain, 175 – 178 Sk. 10.05.2010.  
Pieejams [http://books.google.lv/books?id=r8IDMj3XTgC&pg=PA175&lpg=PA175&dq=podzolization+development&source=bl&ots=rkieTmowYG&sig=f92mp\\_Eg8\\_2rijwIQNJSVGlwj\\_kQ&hl=lv&ei=AITmS8ibJscOOWHneYG&sa=X&oi=book\\_result&ct=result&resnum=9&ved=0CEgQ6AEwCA#v=onepage&q=podzolization%20development&f=false](http://books.google.lv/books?id=r8IDMj3XTgC&pg=PA175&lpg=PA175&dq=podzolization+development&source=bl&ots=rkieTmowYG&sig=f92mp_Eg8_2rijwIQNJSVGlwj_kQ&hl=lv&ei=AITmS8ibJscOOWHneYG&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=9&ved=0CEgQ6AEwCA#v=onepage&q=podzolization%20development&f=false)  
Atsauce tekstā (Goudie, 2001).
- ICP Forests, 2006. *Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Part IIIa Sampling and Analysis of Soil*. Sk. 01.03.2010.  
Pieejams [http://www.icp-forests.org/pdf/Chapt\\_3a\\_2006%282%29.pdf](http://www.icp-forests.org/pdf/Chapt_3a_2006%282%29.pdf)  
Atsauce tekstā (ICP Forests, 2006).
- Jenny, H., 1941. *Factors of soil formation. A System of Quantitative Pedology*. New York, McGraw Hill. Sk. 03.04.2010.  
Pieejams <http://202.200.144.17/sykc/hjx/content/ckzl/6/2.pdf>  
Atsauce tekstā (Jenny, 1941).
- Kennedy, M. [Bez dat.]. *Acid Deposition*. The Habitable planet. Sk. 22.05.2010.  
Pieejams [http://www.learner.org/courses/envsci/visual/img\\_med/acid\\_rain.jpg](http://www.learner.org/courses/envsci/visual/img_med/acid_rain.jpg)  
Atsauce tekstā (Kennedy, bez dat.).

- Ritter, M. E. 2006. *The Physical Environment: an Introduction to Physical Geography*. Sk. 15.04.2010.  
Pieejams [http://www.uwsp.edu/geo/faculty/ritter/geog101/textbook/title\\_page.html](http://www.uwsp.edu/geo/faculty/ritter/geog101/textbook/title_page.html)  
Atsauce tekstā (Ritter, 2006).
- Soil texture* [Bez dat.] Cartage. Sk. 26.05.2010.  
Pieejams <http://www.cartage.org.lb/en/themes/sciences/earthscience/geology/Soils/SoilMorphology/SoilMorphology/SoilTexture/SoilTexture.htm>  
Atsauce tekstā (Soil texture, bez dat.).
- Vigovskis, J. [Bez dat.] *Skābās augsnes gaida kalķošanu*. SIA Saulkalne S. Sk. 15.05.2010. Pieejams <http://www.saulkalne.lv/index.php/lv/eksperti/ekspertu/augsnes/>  
Atsauce tekstā (Vigovskis, bez dat.).
- Zariņa, L. 2009. *Augsnes skābums*. Latvijas avīze. Sk. 15.05.2010. Pieejams <http://www.priekuliselekcija.lv/zp/augsnes%20skabums.pdf>  
Atsauce tekstā (Zariņa, 2009).
- World soil resources reports*. 2001. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Lecture notes on the major soils of the world. Sk. 05.03.2010. Pieejams <http://www.fao.org/DOCREP/003/Y1899E/y1899e12.htm#TopOfPage>  
Atsauce tekstā (World soil ..., 2001).

### **Nepublicētie materiāli**

- Kasparinskis, R. 2009. Augšņu dziļrakumu profilu foto uzņēmumi.  
LZP grants. 2009. Lauksaimniecībā izmantojamo zemju apmežošanas ainavekoloģisks vērtējums (09.1118).
- Samauska, A. 2008. Augāja, un augsnes gradientanalīze hemiboreālajā egļu mežā Vidzemes augstienē. LU Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte Vides zinātnes nodaļa. Bakalaura darbs.

## **Pielikums**

## 1. Pielikums. Podzolēšanās procesu ietekmējošo faktoru kodi

1. tabula

**Augšņu horizonta apzīmējums (izstrādājusi autore)**

Kods	Horizonta apz
10	O
20	Ah
21	AhE
22	AhEB
23	AhB
30	Ap
40	E
41	Eh
42	EB
43	EBsAp
44	EBg
45	EBgs
50	BE
51	BEt
52	BEs
53	BEtgs
60	B
61	Bt
62	Bs
63	Bts
64	Btg
65	Btgs
66	Btk
67	Btks
68	Btgks
69	Bks
70	Bgs
71	BtC
80	BCk
81	BCg
82	BCgs
90	Cg
91	Cgk

**Veģetācijas tips** (izstrādājusi autore)

Kods	Tips
0	aizaugusi pļava
1	skuju koks
2	lapu koks
3	pļava

**Meža zemes vecums** (izstrādājusi autore)

Kods	Gadi
1	<30
2	31-60
3	61-90
4	91-120
5	121-150
6	>151

**Meža vecums** (izstrādājusi autore)

Kods	Gadi
1	≤25
2	60
3	70
4	80
5	100

**Novietojums reljefā** (izstrādājusi autore)

Kods	Novietojums
1	Virsošne
2	Nogāzes vidusdaļa
3	Ieplaka

**Augšņu tipi pēc Latvijas klasifikācijas** (izstrādājusi autore)

Kods	Augsnes tips
2	Velēnu podzolaugsne
8	Pseudoglejotā augsne
12	Velēnpodzolētā virsēji glejotā augsne
14	Velēnpodzolētā glejaugsne

**Augšņu tipi pēc FAO klasifikācijas (Kasparinskis et al., 2010)**

<b>Kods</b>	<b>Augsnes tips</b>
5	Stagnosols
7	Albeluvisols
8	Luvisols
10	Arenosols

**Granulometriskā sastāva grupas (izstrādājusi autore)**

<b>Kods</b>	<b>Apakšgrupa</b>
1	mālsmilts
2	smaga mālsmilts
3	smilšmāls
4	putekļains smilšmāls
5	smags smilšmāls
6	viegls māls
7	smags māls

**2. Pielikums. Vienfaktoru dispersijas analīzes rezultāti. Horizonta apzīmējums kā faktora nozīme uz podzolēšanās procesu augsnē**

**ANOVA**

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Al	Between Groups	1,770E7	31	570900,535	6,814	<b>,000</b>
	Within Groups	3770187,080	45	83781,935		
	Total	2,147E7	76			
Fe	Between Groups	4,111E7	31	1326137,953	3,796	<b>,000</b>
	Within Groups	1,572E7	45	349364,995		
	Total	5,683E7	76			
Berzs	Between Groups	188,928	31	6,094	,961	,540
	Within Groups	285,436	45	6,343		
	Total	474,364	76			
Apse	Between Groups	140,381	31	4,528	,770	,776
	Within Groups	264,606	45	5,880		
	Total	404,987	76			
Baltalksn	Between Groups	221,239	31	7,137	3,491	<b>,000</b>
	Within Groups	92,008	45	2,045		
	Total	313,247	76			
Veg_tips	Between Groups	20,830	31	,672	,933	,574
	Within Groups	32,391	45	,720		
	Total	53,221	76			
M_Z_vec	Between Groups	171,492	31	5,532	1,513	,101
	Within Groups	164,508	45	3,656		
	Total	336,000	76			
Meza_vec	Between Groups	127,468	31	4,112	1,752	<b>,042</b>
	Within Groups	105,623	45	2,347		
	Total	233,091	76			
Nov_relj	Between Groups	20,792	31	,671	1,474	,116
	Within Groups	20,481	45	,455		
	Total	41,273	76			
Augsne_LV	Between Groups	640,031	31	20,646	,751	,797
	Within Groups	1236,956	45	27,488		
	Total	1876,987	76			
Augsne_FAO	Between Groups	77,782	31	2,509	1,158	,321
	Within Groups	97,465	45	2,166		
	Total	175,247	76			
Org_C	Between Groups	11265,993	31	363,419	9,335	<b>,000</b>
	Within Groups	1751,835	45	38,930		
	Total	13017,828	76			
Gran_sast	Between Groups	175,780	31	5,670	6,538	<b>,000</b>
	Within Groups	39,026	45	,867		
	Total	214,805	76			
Egle	Between Groups	531,526	31	17,146	1,019	,469
	Within Groups	757,175	45	16,826		
	Total	1288,701	76			

### 3. Pielikums. PC ORD programmas principālo komponentu analīzes rezultāti

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

PC-ORD, 5.10

14 May 2010, 13:34

Randomization test not requested.

Cross-products matrix contains CORRELATION COEFFICIENTS among Faktori

VARIANCE EXTRACTED, FIRST 10 AXES

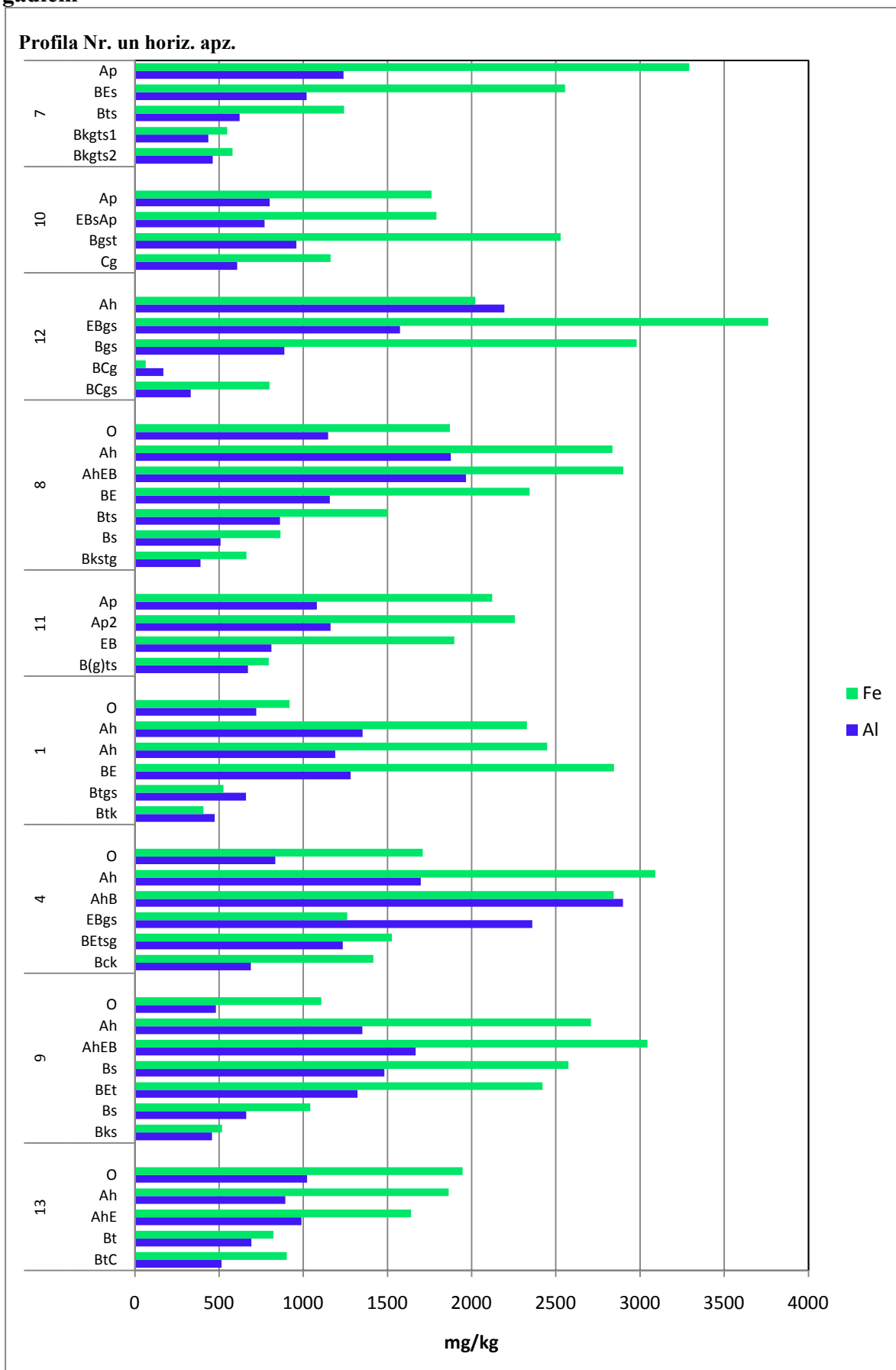
AXIS	Eigenvalue	Broken-stick		
		% of Variance	Cum.% of Var.	Eigenvalue
1	3.756	<b>22.094</b>	22.094	3.440
2	2.908	<b>17.106</b>	39.200	2.440
3	2.827	<b>16.631</b>	55.831	1.940
4	1.952	11.483	67.314	1.606
5	1.468	8.634	75.948	1.356
6	1.266	7.450	83.398	1.156
7	0.651	3.831	87.229	0.990
8	0.620	3.645	90.874	0.847
9	0.326	1.915	92.789	0.722
10	0.303	1.782	94.572	0.611

FIRST 6 EIGENVECTORS, scaled to unit length.

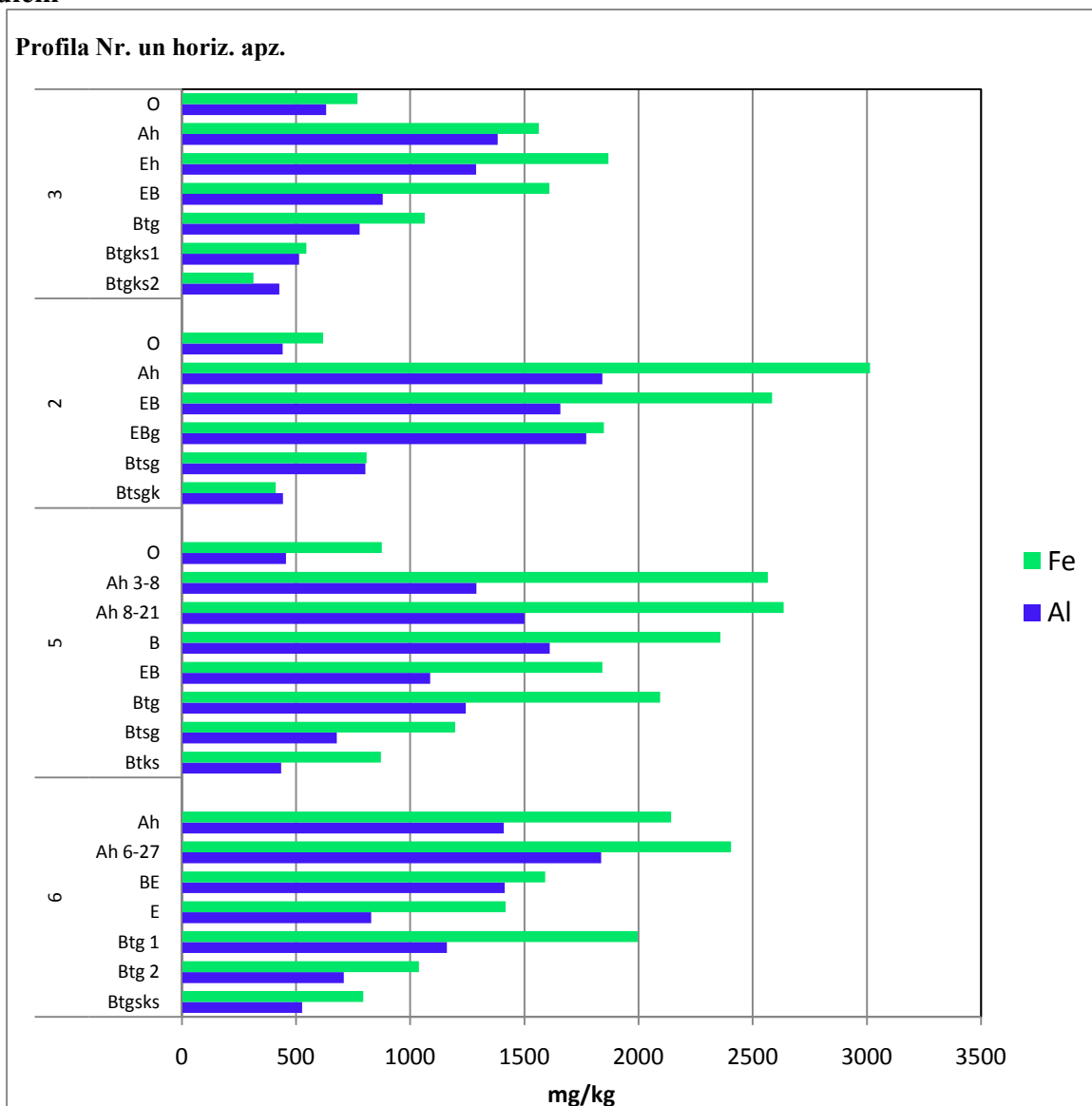
These can be used as coordinates in a distance-based biplot, where the distances among objects approximate their Euclidean distances.

Faktori	Eigenvector					
	1	2	3	4	5	6
Hor_kods	-0.6386	<b>0.6711</b>	-0.0136	-0.1374	-0.1116	-0.0618
Org_C	<b>0.6353</b>	<b>-0.5666</b>	0.3344	-0.1307	0.0655	-0.0642
Al_mg/kg	0.2138	-0.4275	-0.3936	0.6706	0.0582	0.1808
Fe_mg/kg	0.0788	<b>-0.5358</b>	-0.4331	0.5782	0.1341	0.1589
Mals	<b>-0.5771</b>	0.3426	-0.2265	0.3082	0.0319	0.1238
Putekli	-0.4604	<b>0.6577</b>	-0.0929	0.1282	0.0387	0.3451
Smilts	-0.3167	0.0913	<b>-0.5208</b>	0.5592	-0.1565	-0.0133
Egle	0.3915	0.2146	<b>0.6275</b>	0.3072	-0.2204	0.3845
Berzs	0.0708	-0.2335	<b>-0.6093</b>	-0.4772	-0.2448	0.3100
Apse	0.3346	0.3189	<b>-0.5725</b>	0.0036	0.0524	-0.6047
Baltalks	<b>-0.5165</b>	-0.4404	0.0551	0.1109	-0.4666	-0.3625
Veg_tips	0.0300	0.1144	-0.3246	-0.0986	0.8851	-0.1221
M_Z_vec	<b>0.7697</b>	0.4987	-0.1228	0.1848	-0.1597	-0.1134
Meza_vec	<b>0.7075</b>	<b>0.5066</b>	0.1378	0.2336	-0.1728	-0.0046
Nov_relj	<b>-0.7370</b>	-0.4285	0.2567	0.0086	-0.0460	-0.1125
Aug_LV	-0.2299	-0.0124	<b>0.6169</b>	0.1590	0.4777	0.1816
Aug_FAO	0.1433	-0.1011	-0.5999	-0.4998	-0.0671	0.5016

**4. Pielikums. Al un Fe daudzums augsnes profilos ar meža zemes vecumu līdz 100 gadiem**



**5. Pielikums. Al un Fe daudzums augsnes profilos ar meža zemes vecumu virs 100 gadiem**



**6. Pielikums. Vienfaktoru dispersijas analīzes rezultāti. Granulometriskā sastāva kā faktora nozīme uz podzolēšanās procesu augsnē**

**ANOVA**

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	p – vērt.
Hor_kods	Between Groups	27744,274	7	3963,468	24,268	<b>,000</b>
	Within Groups	11268,999	69	163,319		
	Total	39013,273	76			
Al	Between Groups	8527980,530	7	1218282,933	6,496	<b>,000</b>
	Within Groups	1,294E7	69	187538,017		
	Total	2,147E7	76			
Fe	Between Groups	2,414E7	7	3447925,402	7,276	<b>,000</b>
	Within Groups	3,270E7	69	473858,312		
	Total	5,683E7	76			
Egle	Between Groups	176,991	7	25,284	1,569	,159
	Within Groups	1111,710	69	16,112		
	Total	1288,701	76			
Berzs	Between Groups	61,674	7	8,811	1,473	,191
	Within Groups	412,690	69	5,981		
	Total	474,364	76			
Apse	Between Groups	13,871	7	1,982	,350	,928
	Within Groups	391,116	69	5,668		
	Total	404,987	76			
Baltalksn	Between Groups	87,283	7	12,469	3,808	<b>,001</b>
	Within Groups	225,964	69	3,275		
	Total	313,247	76			
Veg_sug	Between Groups	4,239	7	,606	,853	,548
	Within Groups	48,982	69	,710		
	Total	53,221	76			
M_Z_vec	Between Groups	25,441	7	3,634	,807	,584
	Within Groups	310,559	69	4,501		
	Total	336,000	76			
Meza_vec	Between Groups	19,420	7	2,774	,896	,515
	Within Groups	213,671	69	3,097		
	Total	233,091	76			
Nov_relj	Between Groups	3,643	7	,520	,954	,471
	Within Groups	37,629	69	,545		
	Total	41,273	76			
Augsne_LV	Between Groups	166,702	7	23,815	,961	,467
	Within Groups	1710,285	69	24,787		
	Total	1876,987	76			
Augsne_FAO	Between Groups	16,171	7	2,310	1,002	,437
	Within Groups	159,075	69	2,305		
	Total	175,247	76			
Org_C	Between Groups	8901,757	7	1271,680	21,318	<b>,000</b>
	Within Groups	4116,070	69	59,653		
	Total	13017,828	76			

### 7. Pielikums. Augšnes profilu raksturojošie parametri

Augšnes profila Nr.	Horizonta apz.	dziļums (cm)	Org. C mg/g (k)	Ekstrahējamais Al <sub>0</sub> (mg/kg)				Ekstarhējamais Fe <sub>0</sub> (mg/kg)				Granulometriskais sastāvs (%)			Dominējošās koku sugas				Meža zemes vecums	Meža vecums	Novietojums reljefā	Augšnes tips LV	Augšnes tips FAO	Nogulumu
				1	2	3	vid.	1	2	3	vid.	māls	putekļi	smilts	Egle	Bērzs	Apse	Balt.alk.						
1_1	O	0	44,97	726	711	726	721	972	879	902	918	0	0	0	8	2	0	0	80	60	virsojne	velēnpodzolētā virsēji glejotā	Albeluvisols	morēna
1_2	Ah	4	36,71	1324	1379	1354	1352	2269	2378	2337	2328	19	28	53	8	2	0	0						
1_3	Ah	9	36,71	1219	1168	1180	1189	2408	2550	2386	2448	16	30	54	8	2	0	0						
1_4	BE	24	12,87	1272	1336	1237	1282	2627	3001	2906	2845	33	27	40	8	2	0	0						
1_5	Btgs	37	3,71	655	681	645	660	540	505	532	526	18	50	32	8	2	0	0						
1_6	Btk	65	0,24	444	523	454	474	372	440	408	407	18	48	34	8	2	0	0						
2_1	O	0	44,16	473	421	431	442	654	580	620	618	0	0	0	9	1	0	0	150	100	virsojne	velēnpodzolētā virsēji glejotā	Albeluvisols	morēna
2_2	Ah	6	21,74	1601	2163	1759	1841	2553	3708	2780	3014	13	23	64	9	1	0	0						
2_3	EB	12	10,63	1625	1646	1703	1658	2649	2470	2637	2585	14	33	54	9	1	0	0						
2_4	EBg	22	5,10	1743	1739	1829	1770	1803	1850	1892	1848	29	29	41	9	1	0	0						
2_5	Btsg	36	2,90	785	839	785	803	787	799	842	809	23	35	42	9	1	0	0						
2_6	Btsgk	65	0,36	483	447	399	443	406	413	412	410	16	45	39	9	1	0	0						
3_1	O	0	45,15	626	675	593	631	733	808	766	769	0	0	0	9	1	0	0	120	100	nogāzes vidusdaļa	velēnpodzolētā virsēji glejotā	Stagnosols	morēna
3_2	Ah	10	22,15	1366	1380	1403	1383	1531	1589	1568	1563	12	21	68	9	1	0	0						
3_3	Eh	25	12,75	1222	1365	1277	1288	1700	1946	1958	1868	12	28	60	9	1	0	0						
3_4	EB	30	6,48	896	879	863	879	1597	1601	1630	1609	22	29	49	9	1	0	0						
3_5	Btg	43	0,35	804	767	764	778	1020	1069	1101	1063	16	40	45	9	1	0	0						
3_6	Btgks1	67	0,25	487	503	548	513	492	581	563	545	17	45	38	9	1	0	0						
3_7	Btgks2	88	0,25	382	453	446	427	287	345	309	314	14	48	38	9	1	0	0						

4_1	O	0	38,35	835	786	883	835	1703	1563	1864	1710	0	0	0	5	3	0	2	70	60	nogāzes vidusdaļa	velēnpodzolētā virsēji gļejojā	Luvisols	morēna
4_2	Ah	6	21,92	1661	1689	1744	1698	2967	3029	3274	3090	12	25	64	5	3	0	2						
4_3	AhB	19	8,49	2986	2842	2866	2898	2892	2824	2817	2844	9	28	63	5	3	0	2						
4_4	EBgs	40	1,27	2399	2367	2316	2361	1309	1252	1221	1261	9	23	68	5	3	0	2						
4_5	Betsg	56	0,65	1283	1242	1179	1235	1643	1483	1453	1526	18	22	60	5	3	0	2						
4_6	Bck	111	0,24	692	704	671	689	1413	1429	1405	1416	12	33	55	5	3	0	2						
5_1	O	0	43,89	459	443	464	455	950	837	839	875	0	0	0	8	1	1	0	200	80	virsošne	Velēnu podzolaugšne	Albeluvisols	morēna
5_2	Ah 3-8	3	23,19	1295	1256	1318	1290	2582	2541	2577	2567	16	24	60	8	1	1	0						
5_3	Ah 8-21	8	9,27	1474	1518	1509	1500	2596	2645	2667	2636	11	26	64	8	1	1	0						
5_4	B	21	0,51	1694	1599	1539	1611	2395	2289	2392	2359	12	28	61	8	1	1	0						
5_5	EB	35	0,87	1135	999	1128	1087	2018	1651	1854	1841	15	24	61	8	1	1	0						
5_6	Btg	41	0,54	1195	1288	1245	1243	2024	2238	2020	2094	26	26	48	8	1	1	0						
5_7	Btsg	70	0,26	710	683	642	678	1215	1174	1202	1197	19	30	51	8	1	1	0						
5_8	Btks	90	0,22	465	457	383	435	898	889	827	871	12	39	48	8	1	1	0						
6_1	Ah	1	18,85	1469	1323	1437	1410	2193	2082	2151	2142	14	21	65	1	1	8	0	200	80	virsošne	Velēnu podzolaugšne	Albeluvisols	morēna
6_2	Ah 6-27	6	16,15	1831	1959	1719	1836	2362	2471	2383	2405	16	22	62	1	1	8	0						
6_3	BE	27	1,02	1412	1394	1434	1413	1625	1590	1557	1591	11	24	65	1	1	8	0						
6_4	E	38	0,78	878	817	792	829	1436	1466	1350	1417	18	22	60	1	1	8	0						
6_5	Btg 1	43	0,41	1134	1179	1167	1160	2004	2053	1932	1996	30	21	50	1	1	8	0						
6_6	Btg 2	72	0,29	691	733	703	709	1034	1061	1020	1038	20	33	47	1	1	8	0						
6_7	Btgsk	90	0,24	518	526	536	527	778	799	805	794	18	32	50	1	1	8	0						
7_1	Ap	0	9,51	1222	1245	1249	1239	3229	3412	3235	3292	19	26	56	0	0	0	0	pļava	nogāzes vidusdaļa	velēnpodzolētā virsēji gļejojā	Luvisols	morēna	
7_2	BEs	27	0,39	1157	789	1114	1020	2867	1886	2912	2555	34	30	35	0	0	0	0						
7_3	Bts	42	0,24	590	642	636	623	1252	1253	1221	1242	24	39	37	0	0	0	0						
7_4	Bkgts1	73	0,23	467	421	421	436	556	544	545	548	18	45	38	0	0	0	0						
7_5	Bkgts2	100	0,23	449	468	471	463	580	611	549	580	17	45	38	0	0	0	0						

8_1	O	0	34,37	1200	1130	1112	1147	1903	1827	1884	1871	0	0	0	10	0	0	0	25g stādīts uz LIZ	nogāzes vidusdaļa	Velēnu podzolaugsne	Albeluvisols	morēna	
8_2	Ah	2	11,35	1873	1905	1849	1876	2871	2782	2855	2836	15	16	69	10	0	0	0						
8_3	AhEB	10	6,29	1914	2036	1951	1967	2782	2989	2928	2900	14	25	61	10	0	0	0						
8_4	BE	23	1,99	1186	1069	1218	1158	2401	2186	2444	2344	19	27	54	10	0	0	0						
8_5	Bts	39	0,28	843	878	862	861	1489	1527	1496	1504	20	29	51	10	0	0	0						
8_6	Bs	79	0,24	498	520	509	509	875	865	853	864	19	30	51	10	0	0	0						
8_7	Bkstg	104	0,22	410	394	363	389	691	636	661	663	11	32	57	10	0	0	0						
9_1	O	0	31,65	299	586	557	481	671	1325	1323	1106	0	0	0	0	8	2	0	60	60	virsošne	Velēnu podzolaugsne	Arenosols	morēna
9_2	Ah	2	14,70	1323	1361	1368	1351	2573	2819	2733	2708	13	27	60	0	8	2	0						
9_3	AhEB	13	3,08	1587	1738	1679	1668	2922	3146	3061	3043	12	25	63	0	8	2	0						
9_4	Bs	25	0,51	1513	1469	1462	1481	2534	2563	2630	2576	26	25	50	0	8	2	0						
9_5	BEt	40	0,52	1304	1348	1315	1322	2496	2447	2318	2420	12	28	60	0	8	2	0						
9_6	Bs	57	0,24	683	643	658	661	1036	1032	1058	1042	22	28	50	0	8	2	0						
9_7	Bks	108		411	466	498	458	487	511	552	517	15	32	52	0	8	2	0						
10_1	Ap	0	7,41	796	802	804	801	1632	1821	1831	1761	14	30	56	0	0	0	0	pļava	ieleja	Velēnpodzolētā glejaugsne	Stagnosols	morēna	
10_2	EBsAp	26	1,33	751	753	806	770	1761	1751	1859	1790	22	27	51	0	0	0	0						
10_3	Bgst	41	0,39	942	957	976	958	2382	2526	2677	2528	27	24	49	0	0	0	0						
10_4	Cg	101	0,25	605	610	607	607	1204	1141	1141	1162	19	30	51	0	0	0	0						
11_1	Ap	0	13,79	1078	1069	1095	1081	2121	2117	2126	2121	14	30	56	1	7	0	2	20	20	ieleja	Velēnu podzolaugsne	Arenosols	morēna
11_2	Ap2	22	11,51	1171	1142	1172	1162	2195	2235	2339	2256	15	29	56	1	7	0	2						
11_3	EB	43	1,69	812	826	795	811	1831	1967	1894	1897	26	25	48	1	7	0	2						
11_4	B(g)ts	80	0,29	667	664	682	671	788	811	784	794	21	25	53	1	7	0	2						
12_1	Ah	0	23,67	2202	2252	2130	2195	2007	2057	1999	2021	27	22	51	1	1	0	8	20	20	ieleja	pseidoglejotā	Stagnosols	glaciofluviāli
12_2	EBgs	20	2,68	1556	1568	1599	1574	3586	3732	3964	3761	31	32	37	1	1	0	8						
12_3	Bgs	53	0,66	919	900	843	887	3022	2939	2980	2980	24	18	58	1	1	0	8						
12_4	BCg	80	0,49	169	174	165	169	77	61	54	64	9	10	81	1	1	0	8						
12_5	BCgs	90	0,38	346	335	313	331	865	778	753	799	19	19	62	1	1	0	8						

13_1	O	0	19,30	1037	1015	1015	1022	1986	1855	1999	1947	0	0	0	10	0	0	0	70	70	nogāzes vidusdaļa	velēnpodzolētā viršēji glejotā	Luvisols	morēna
13_2	Ah	1	7,27	934	892	853	893	1988	1856	1745	1863	15	19	66	10	0	0	0						
13_3	AhE	6	0,71	960	1011	997	989	1556	1715	1648	1640	17	21	62	10	0	0	0						
13_4	Bt	22	0,26	715	670	689	691	831	827	810	823	40	20	40	10	0	0	0						
13_5	BtC	46	0,27	513	510	521	515	889	915	902	902	23	46	31	10	0	0	0						

Maģistra darbs „Podzolēšanās procesa attīstība morēnas pauguru mežu augsnēs” izstrādāts  
LU Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultātē.

Ar savu parakstu apliecinu, ka pētījums veikts patstāvīgi, izmantoti tikai tajā norādītie informācijas avoti un iesniegtā darba elektroniskā kopija atbilst izdrukai.

Autors: Agita Freimane

\_\_\_\_\_  
paraksts datums

Rekomendēju darbu aizstāvēšanai

Zinātniskais vadītājs: Linda Eglīte Dr. chem

\_\_\_\_\_  
paraksts datums

Recenzents:

Darbs iesniegts( ) nodaļas lietvedībā

Nodaļas lietvede .....

\_\_\_\_\_  
paraksts datums

Noslēguma darba aizstāvēšanas rezultāti:

Maģistra darbs aizstāvēts ( ) akadēmisko studiju gala

pārbaudījumu komisijas sēdē

..... protokola nr. .... vērtējums .....

gads, datums, mēnesis

Sekretārs:

\_\_\_\_\_  
paraksts datums