

LATVIJAS UNIVERSITĀTE  
ĢEOGRĀFIJAS UN ZEMES ZINĀTŅU FAKULTĀTE  
ĢEOLOĢIJAS NODAĻA

**MĀLU MINERĀLU ĢENĒZE AUGSNĒS UZ MORĒNAS CILMIEŽIEM  
SPINDUĻU MEŽĀ**

**BAKALĀURA DARBS**

Autore: **Ginta Vasiļevska**

Stud. apl. gv10026

Darba vadītāja: Ilze Vircava, Dr. ģeol., docente

RĪGA 2013

## **Anotācija**

Bakalaura darbā veikta mālu frakciju iegūšana pieciem dažāda vecuma meža augšņu profiliem ar morēnas cilmiezi. Trim augšņu profiliem ar lielāku vecuma atšķirību (25, 100, 200 gadu) veikta mālu minerālu identifikācija.

Bakalaura darba mērķis ir noskaidrot mālu minerālu izplatību augsnēs uz morēnas cilmiežiem Spinduļu mežā. Mālu minerālu identifikācijai un paraugu puskvantitatīvā sastāva noteikšanai izmantota rentgenstaru pulverdirfrakcijas metode (XRD). Mālu frakciju sadalījuma noteikšanai pielietota granulometriskā sastāva analīze, izmantojot rentgenstaru absorbcijas granulometru.

Bakalaura darba pētījumi apstiprina podzolēšanās procesa ietekmi uz mālu minerālu izplatību un mainību meža augšņu profilos, māla minerālu autigēnu ģenēzi augšņu veidošanās procesu ietekmē.

Bakalaura darbs izklāstīts 41 lpp. – to veido 7 nodaļas, ievads, secinājumi, literatūras saraksts, 16 attēli, 2 tabulas.

***Atslēgas vārdi:*** mālu minerāli, XRD, morēna, cilmiezis, meža augsnes.

## **Annotation**

In this bachelor paper clay fraction was separated from samples of five different age forest soil profiles which were based on till parent material. Clay minerals were identified in sediment samples of three soil profiles with larger age difference (25, 100, 200 years).

The aim of study is to clarify distribution of clay minerals in soils based on till bedrock in Spinduli forest.

X-ray powder diffraction and semi-quantitative analysis were used for clay mineral identification and quantification. Grain size analysis using X-ray particle size analyzer where applied to consider clay fraction distribution.

Bachelor thesis research confirms podzolic process impact on the clay mineral distribution and variability of forest soil profile clay mineralogy. Also it confirms soil formation process connection with clay mineral autigen genesis.

The bachelor paper contains of 41 pages, 7 chapters, introduction, conclusions, bibliography, and 16 figures, 2 tables.

**Keywords:** clay minerals, X-ray powder diffraction, till, parent material, forest soil.

## SATURA RĀDĪTĀJS

IEVADS .....	5
1.MORĒNU IZPLATĪBA UN SASTĀVA ĪPATNĪBAS LATVIJAS ZIEMEĻAUSTRUMU DAĻĀ .....	7
2.MORĒNAS NOGULUMI KĀ AUGŠŅU CILMIEZIS .....	9
2.1. Morēnas nogulumi .....	9
2.2. Podzolaugšnes uz morēnas cilmieža .....	11
3. MĀLU MINERĀLU VEIDOŠANĀS MEHĀNISMI AUGSNĒ .....	13
3.1. Mālu minerāli augsnē .....	13
3.2. Mālu minerāli meža augsnēs .....	14
3.3. Mālu minerālu adsorbcijas īpašības.....	14
4. MĀLU MINERĀLU GRUPAS AUGSNĒ .....	16
5. MĀLU MINERĀLI AUGŠŅU VEIDOŠANĀS PROCESOS .....	21
6.MATERIĀLI UN METODEDES.....	22
6.1. Pētījumu vietas – Vidzemes augstienes Piebalgas pauguraines ģeoloģiski ģeomorfoloģiskais raksturojums .....	22
6.2. Meža augšņu profilu raksturojums .....	23
6.3. Granulometriskā sastāva analīze .....	26
6.4. Mālu frakciju iegūšana un paraugu sagatavošana XRD analīzei .....	27
6.5. Rentgenstaru pulverdifrakcijas analīze.....	28
6.6. Māla minerālu identifikācija pēc XRD datiem.....	29
6.7. Puskvantitatīvā analīze pēc XRD datiem .....	30
7.REZULTĀTI .....	31
7.1. Granulometriskā sastāva analīzes rezultāti.....	31
7.3. Puskvantitatīvās analīzes rezultāti .....	32
8. DISKUSIJA .....	33
SECINĀJUMI .....	38

## IEVADS

Latvijas teritoriju klāj bieža kvartāra nogulumu sega, kura, galvenokārt sastāv no morēnu nogulumiem, kuri izveidojušies četros apledojumos un trijos tiem atbilstošos starpleduslaikmetos. Vislielākā nozīme zemes virskārtas un reljefa veidošanās procesos ir bijusi pēdējam Latvijas (Vislas) apledojumam (Bamberg, 1996). Morēnas sastāv no ledāja nogulsnētiem, nešķirotiem nogulumiem – akmeņainas mālsmilts, smilšmāla vai māla, atsevišķās vietās grants vai smilts nogulumiem. Morēnas nogulumi ir izplatītākais augšņu cilmiezis Latvijā (Kārklīš *et al.*, 2009).

Augsnes, kuras veidojušās uz morēnas cilmiežiem, satur mālu minerālus, kuri morēnu sastāvā ir ar alotigēnu izcelsmi vai veidojušies kā autigēnie mālu minerāli no dēdēšanas produktiem, galvenokārt hidratācijas, oksidēšanās un reducēšanās procesos. Mālu minerāli veidojas kā sekundārie alumosilikāti un ferosilikāti no  $\text{SiO}_2$  koloīdajām formām, alumīnija un dzelzs oksīdu hidrātiem, kas atbrīvojas primāro silikātu un primāro alumosilikātu dēdēšanas procesos (Nikodemus *et al.*, 2008).

Meža augsnēs dominējošais māla minerāls visbiežāk ir vermikulīts. Vermikulīta izcelsme augsnē bieži saistīta ar izmaiņām, kas notiek vizlu, illīta vai hlorīta grupas minerāliem transformējoties skābos augsnes apstākļos (Meunier, Velde 2004).

Nozīmīgi ir arī citi mālu minerāli. Augsnē vāji kristalizēts kaolinīts eksponē lielu īpatnējo virsmas laukumu, kas veicina organisko vielu absorbēšanu. Smektīts mikroagregātu ietvaros absorbē un veic organisko vielu stabilizāciju (Caner *et al.*, 2010).

Bakalaura darba izstrādei izmantots augsnes profilu materiāls no Raimonda Kasparinska pētījumiem promocijas darba izstrādei (Kasparinskis, 2012) un autore lauka darbos iegūtais augsnes cilmiežu materiāls Vidzemes augstienes Piebalgas paugurainē, administratīvi Amatas novada Zaubes pagasta Annās, īpašumā „Ozoliņi”. Meža augšņu vecums noteikts, pamatojoties uz pētījumu par Spinduļu meža vēsturi (Lūkins, Nikodemus, 2011).

Bakalaura darba **mērķis** ir noskaidrot mālu minerālu izplatību augsnēs uz morēnas cilmiežiem Spinduļu mežā. Bakalaura darba mērķa sasniegšanai izvēlētas pētniecības **metodes**: rentgenstaru pulverdifrakcijas analīze, puskvantitatīvā analīze un granulometriskā sastāva analīze.

Bakalaura darba mērķa sasniegšanai izvirzīti sekojoši **uzdevumi**:

1. Apkopot zinātnisko literatūru par mālu minerāliem morēnu augšņu cilmiežos, mālu minerālu grupām augsnēs, augšņu veidošanās procesiem, sastāvu un īpašībām.
2. Pielietojot pētniecības metodes, noskaidrot:
  - 2.1. mālu minerālu sastopamību, daudzveidību un mainību pētītajās meža augsnēs uz morēnas cilmieža;

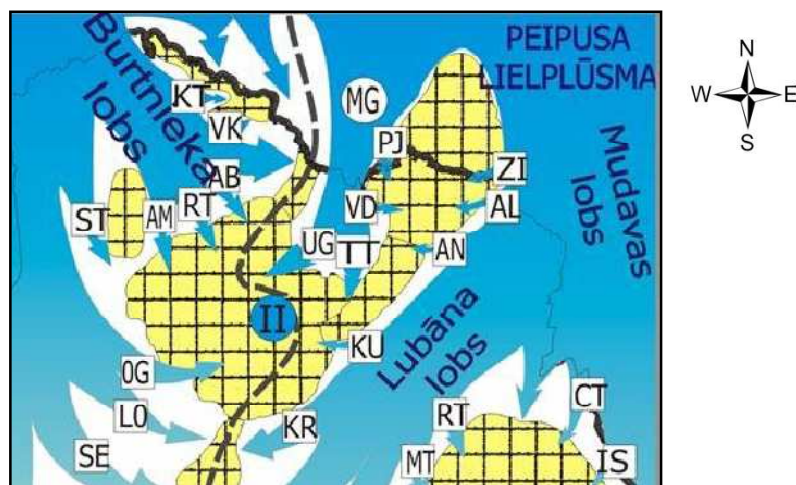
Pielietojot rentgenstaru pulverdifrakcijas analīzi, veikta mālu minerālu identifikācija trīs meža augšņu profilos ar lielāku vecuma atšķirību (25, 100, 200 gadu). Morēnas cilmiežu minerālā sastāva noteikšanai pielietota puskvantitatīvā analīze, izmantojot datorprogrammu Crystallographica Search–Match. Mālu frakciju sadalījuma noskaidrošanai pielietota granulometriskā sastāva analīze, izmantojot rentgenstaru absorbcijas granulometru SediGraph III 512. Bakalaura darbs izstrādāts laika posmā no 2012. gada septembra līdz 2013. gada maijam.

# 1. MORĒNU IZPLATĪBA UN SASTĀVA ĪPATNĪBAS LATVIJAS ZIEMEĻAUSTRUMU DAĻĀ

Latvijas teritoriju sedz bieža kvartāra nogulumu sega, un tā, galvenokārt sastāv no morēnu nogulumiem, kuru veidošanās notikusi Pleistocēna četru apledoju un trīs starpleduslaikmetu rezultātā. Vislielākā nozīme zemes virskārtas un reljefa veidošanās procesos ir bijusi pēdējam Vislas (Latvijas) apledojumam, kura nogulumi sastopami gandrīz visā Latvijas teritorijā. Reljefs veidojies glaciofluviālo, glaciolimnisko, glaciālo un pēcleduslaikmeta faktoru ietekmē (Bamberg, 1996; Markots, Zelčs, 2004).

Morēnas nogulumus veido dažāda granulometriskā sastāva nešķiroti nogumumi: smilšmāls, mālsmits, puteklains māls, kuros relatīvi lielu daļu aizņem eratiskā materiāla piejaukums, kas veido augsnes skeletu (Nikodemus *et al.*, 2008).

Morēnas nogulumu reģionālās atšķirības nosaka dažādo ledus lobu uzvirzīšanās ceļi (Bamberg, 1996; Markots, Zelčs, 2004). Latvijas ZA daļā uzvirzījies Vēlā Vislas (Latvijas) apledojuma Burtņieka ledus lobs, Straupes, Amatas, Raunas, Abulas, Valkas mēles (1.1. attēls). Bakalaura darbā pētāmo teritoriju DR Vidzemē aptver Burtņieka ledusloba Amatas mēle.



1.1. attēls. Ledāja lobu un mēļu struktūra Vēlā Vislas apledojuma laikā Latvijas ZA (pārveidots pēc Markots, Zelčs, 2004)

Apzīmējumi: **1 = Ledus lobi:** BL = Burtņieka (Ziemeļvidzemes); MG = Vidusgaujas; LL = Lubāna; ML = Mudavas (Veļikajas). **2 = Ledus mēles:** SE = Sēlijas; LO = Lobes; OG = Augšogres; ST = Straupes; AM = Amatas; RT = Raunas; AB = Abula; VK = Valkas; KT = Kārķu; UG = Augšgaujas; TT = Tirzas; VD = Vaidavas, PJ = Pērļupītes; ZI = Ziemeru; AL = Alūksnes; AN = Annas; KU = Kūjas; KR = Krustpils; MT = Maltas; RT = Rēzeknes; CT = Cirma; IS = Istras. **3 = Galvenās ledusaplūdes zonas:** II = Rīgas–Peipusa.

Raksturīgākās granulometriskā sastāva reģionālās izmaiņas morēnas sastāvā var notikt, mainoties smalko frakciju savstarpējai attiecībai, jo rupji sadrumstalotais materiāls morēnā ir nelielā daudzumā (Danilans,1973).

Latvijas teritorijā pēc granulometriskā sastāva īpatnībām izceļas reģions, kas aptver Latvijas ziemeļu daļu. Šajā teritorijā subkvartāro virsmu veido vāji cementēti devona smilšakmeņi. Ar to skaidrojams augstais smilts frakciju saturs, parasti vairāk kā 40%. Mālainā frakcija visbiežāk sastāda mazāk nekā 20%, un ir minimāla, salīdzinot ar pārējo Latvijas teritoriju (Danilans,1973). Mālainās frakcijas izmaiņas morēnas nogulumos nosaka ledāja kušanas ūdeņu darbība, kā arī augsnes veidošanās procesi, piemēram, lesivēšanās, kuras rezultātā no virsējā slāņa tiek izskalotas mālu daļiņas (Nikodemus *et al.*, 2008). Šī litoreģiona granulometriskajā sastāvā vērojams kristālisko iežu eratiskā materiāla pieaugums. Granulometriskā sastāva izmaiņas, kuras nosaka vietējo iežu atlūzu iesaistīšanos morēnā (ledāja akumulatīvā darbība) no subkvartārās virsmas, vai citas granulometriskā sastāva atšķirības ir galvenokārt vietēja rakstura, un to robežas ir izsekojamas (Danilans,1973).

Bakalaura darbā veiktie pētījumi aptver teritoriju Vidzemes augstienes DR, Amatas novada Zaubes pagasta Annās, īpašumā „Ozoliņi”. Šajā reģionā jaunākos kvartāra nogulumus veido Latvijas leduslaikmeta morēnas nogulumi, kas sasniedz 15–25 m biezumu, vietām 30 m. Tos galvenokārt veido smilšmāla un mālsmilts nogulumi, sastopami grants, oļu, laukakmeņu piejaukumi. Morēnas sastāvs ir neviendabīgs, raksturīga sarkanbrūna krāsa. Pēc granulometriskā sastāva morēnas sastāvs kopumā atbilst šim litoreģionam. Smilts frakcija veido 39,6%, aleirītu 33,3%, mālu 27,1%. Karbonātu saturs morēnā sasniedz 18,6% (Ulgis *et al.*, 1981).

## 2.MORĒNAS NOGULUMI KĀ AUGŠŅU CILMIEZIS

### 2.1. Morēnas nogulumi

Kvartāra nogulumi ir visjaunākie un atrodas pašā zemes virspusē, tādējādi uz tiem veidojušās augsnes. Augšņu īpašības ir atkarīgas no to cilmiežiem, tāpēc dažādo kvartāra nogulumu rakstura maiņas ir viens no galvenajiem faktoriem, kas ietekmē augšņu izplatību Latvijā (Danilans, 1961). Augsnes cilmiežis jeb augsnes minerālais pamatmateriāls ir irdeno ģeoloģisko nogulumu virsējā kārtā, kas pakļauta bioloģisko, klimatisko un citu augsnes veidotāju faktoru iedarbībai (Brīvkalns, 1959).

Izplatītākais Latvijas augšņu cilmiežis ir glacigēnie nogulumi – ledāja nogulsnēti, nešķiroti nogulumi (akmeņaina mālsmilts, smilšmāls vai māls, atsevišķās vietās grants vai smilts nogulumi) – morēnas nogulumi (Kārklīš *et al.*, 2009).

Morēnas nogulumi izveidojušies četros apledojumos un trijos tiem atbilstošos starpleduslaikmetos. Zemes virskārtas un reljefa veidošanā galvenā nozīme bijusi pēdējam Latvijas jeb Vislas apledojumam. Kvartārās segas biežumu ietekmē pirmskvartāra virsmas reljefs. Vidzemes centrālajā augstienē tās biežums sasniedz 140 m. (Bamberg, 1996).

Latvijā kvartāra periodā ledājs ir periodiski gan uzvirzījies, gan atkāpies, veidojot morēnas. Pēc sastāva izšķir māla, smilšmāla, mālsmilts, retāk – smilts morēnas. Raksturīgākā ir pēdējā apledojuma Latvijas svītas augšējā morēna, rūsganā vai sarkani brūnā krāsā, satur apmēram 25% karbonātu (Bamberg, 1993).

Morēnas nogulumiem nav rūpnieciskas nozīmes, taču tie veido augšņu cilmiežus ~58% no Latvijas teritorijas. Morēnas nogulumus raksturo liela granulometriskā sastāva nevienmērība, kuru noteica dažādo ledāja lobu uzvirzīšanās ceļi. Ledāju vairākkārtējās uzvirzīšanās un atkāpšanās dēļ, tikai noārdīti un pārgulsnēti iepriekšējo apledojumu nogulumi, tādējādi kvartāra segas nogulumi ir labi sajaukti un samaisīti. Sastopams liels eratiskā materiāla piejaukums, ko veido pirmskvartāra iežu materiāls (Kuršs, Stinkule, 1972). Pētot morēnas nogulumu virskārtu, secināts, ka tā 40–80 cm biežumā parasti satur mazāk mālu frakciju, bet vairāk putekļu un smilšu frakciju. Šīs, galvenokārt granulometriskā, bet arī mineraloģiskā un ķīmiskā sastāva izmaiņas, skaidrojamas ar ilgstošiem pēcdeduslaikmeta augsnes veidošanās procesiem, galvenokārt ar podzolēšanos (Bamberg, 1996). Pieņemot, ka augsnes cilmieži veido nogulumu virsējā kārtā, kurā gan pēcdeduslaikmetā, gan pašlaik norisinās augsnes veidošanās procesi, var secināt, ka cilmieža biežums reti kad pārsniedz 2 m (Bamberg, 1996).

Pēc granulometriskā sastāva relatīvi lielas platības Latvijā aizņem viegli un vidēji, retāk – smagi smilšmāli. Uz morēnu smilšmāla cilmieža ir izplatītas normāla profila augsnes, kur ūdens erozijas procesi norit izteikti vāji un augsnes attīstību būtiski neietekmē (Stablovs,

1974). Morēnas smilšmālā mālu daļiņas ir 20–40%. Smilts frakcijas saturu smilšmālā palielina saberztā devona smilšakmens piejaukums, bet māla daļiņu daudzumu – glaciolimniskā māla piejaukums. Bez devona māla morēnā ticis iejaukts arī ledāja kušanas ūdeņu pārskalotais materiāls. Šādu nesašķirota un sašķirota materiāla sajaukumu skaidro ar ledāja oscilāciju, t.i. ledāja vairākkārtēju atkāpšanos un uzvirzīšanos (Brīvkalns, 1959). Morēnu smilšmāls Latvijas teritorijā parasti satur 10–20% karbonātu. Apmēram 75% no karbonātiem ir kalcijs karbonāti un 25% – kalcijs–magnijs karbonāti. Karbonātus saturošo iežu atlūzas nonākušas ledājā un pēc tam morēnas nogulumos, ledājam virzoties pāri Zemes virspusē tuvu esošajiem dolomīta un kaļķakmens nogulumiežiem, tajā skaitā Igaunijas teritorijā. Karbonāti lielākoties sastāv no silūra dolomitizēta kaļķakmens, sastopams arī augšdevona dolomīts un perma kaļķakmens (Brīvkalns, 1959). Morēnā nonākušie karbonātieži tikuši saberzti, daļa sadrupināta dažāda lieluma drupu graudos. Magmatiskie un metamorfie ieži (granīts, gneiss u.c.), kas Latvijā nonākuši no Fenoskandijas pamatklintāja, morēnas smilšmālā vidēji veido apmēram 10% no to masas. Smilšmālu krāsa Latvijas teritorijā visbiežāk ir sarkanīgi brūna, retāk – dzeltenīgi brūna. Jāatzīmē, ka smilšmāli var būt arī atšķirīgas ģenēzes nogulumu. Glacigēno nogulumu pētījumos jāņem vērā, ka smilšmāla granulometriskais sastāvs un karbonātu daudzums bieži vien ir manīgs pat nelielā platībā. Smilšmālā nereti sastop arī smilts un grants lēcas un starpslāņus. Morēnu smilšmāla sastāvā ir dažādi minerāli, piemēram, ragmānis, vizlas, laukšpati, piroksēni u.c., kas satur augu attīstībai nepieciešamos ķīmiskos elementus, it īpaši, magniju, kāliju, kalciju. Tāpēc morēnu smilšmāls uzskatāms par ķīmiskā ziņā bagātu augsnes cilmiezi. Lielā māla daļiņu daudzuma dēļ, smilšmālam ir samērā liela mitrums, gāzu un augiem nepieciešamo elementu saistītspēja (Brīvkalns, 1959).

Tumšāka krāsa, t.i., sarkani brūna, galvenokārt ir smilšmāliem ar lielāku devona sarkanā smilšakmens vai mālu piejaukumu (vieglie smilšmāli ar mazāku karbonātu daudzumu), bet gaišāka – smilšmāliem ar lielāku karbonātu daudzumu (Kārkliņš *et al.*, 2009). Sarkani brūnas krāsas vieglie smilšmāli ar mazāku karbonātu daudzumu raksturīgi Ziemeļvidzemes reģionam, kurš aptver bakalaura darba autore lauka pētījumu vietu.

Sastopams arī salikts (divdaļīgs) cilmiezis, kas sastāv no smilts un māla, mālsmilts vai smilšmāla morēnas, Latvijas teritorijā šāds cilmiezis ir diezgan izplatīts, sevišķi vietās ar paugurainu reljefu. Smilšmāla morēnas pārsedzošās smilts kārtas biezums ir visai mainīgs, vietām tikai dažu centimetru, vietām vairāku metru biezumā (Kārkliņš *et al.*, 2009).

Viens no morēnas nogulumu veidiem ir akmeņaina mālsmilts. Mālainā smiltī māla (0,02 mm) frakcija veido 10–20%. Rupjāko daļiņu sastāvā ir smilts, nereti – grants, kā arī lielāks vai mazāks augsnes skeleta daudzums (oļi, dažāda lieluma akmeņi). Karbonātu parasti šajā

cilmiezī nav vai tie aizņem procentuāli nelielu daļu (5–10%) (Kārkliņš *et al.*, 2009). Minētā cilmieža veidošanās varēja notikt dažādi: ledāja kušanas ūdeņiem pārskalojot morēnu smilšmālu un to pārveidojot smilšainākā materiālā, kā arī ledājam vietām atstājot lokālu morēnu ar mazāku māla daļiņu un karbonātu daudzumu (Kārkliņš *et al.*, 2009). Akmeņaina mālsmilts parasti sastopama virs morēnu smilšmāla un kopā ar to veido divdaļīgu jeb saliktu augsnes cilmiezi. Uz šāda cilmieža reljefa paaugstinājumos parasti izveidojušās dziļi podzolētas augsnes (Brīvkalns, 1959).

## **2.2. Podzolaugnes uz morēnas cilmieža**

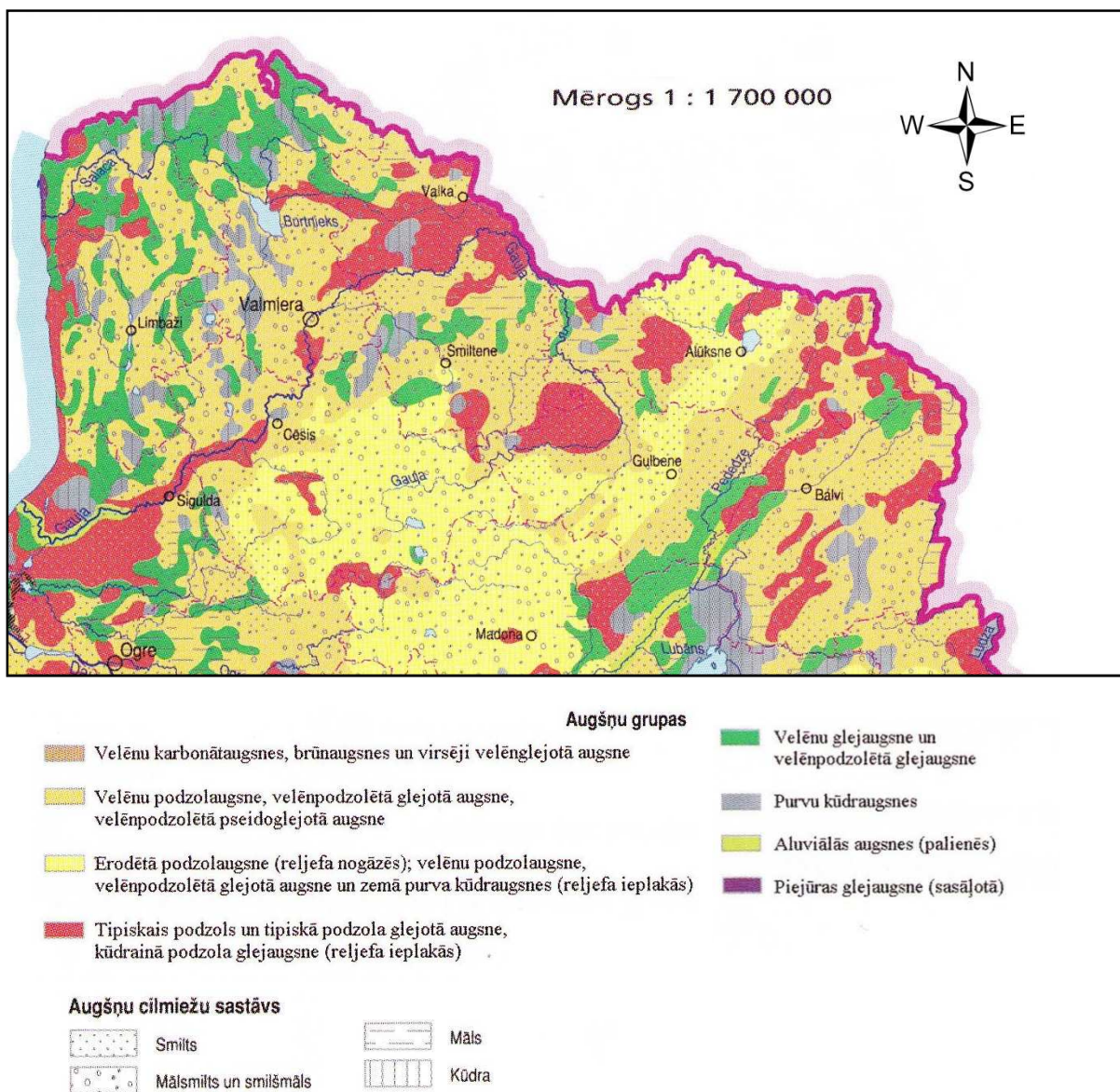
Morēnu pauguraiņu apvidiem raksturīga īpašība, kad augsnes cilmiezis virsējā daļā ir smilšaināks nekā dziļāk esošajos slāņos, t.i., zem dažāda biezuma mālainas smilts kārtām ar akmeņiem atrodas akmeņainais morēnu smilšmāls. Reljefa paaugstinājumos uz šāda cilmieža parasti izveidojušās stipri podzolētas augsnes (velēnu podzolaugnes) (Kārkliņš *et al.*, 2009).

Podzolaugnes bieži veidojas uz mazkarbonātiskiem vai bezkarbonātiskiem mālsmilts, smilšmāla vai māla augsnes cilmiežiem. Podzolaugnes veidojas galvenokārt divu pretēju velēnošanās vai podzolēšanāsprocesu ietekmē. Iespējama arī glejošanās norise, kas morfoloģiski izpaužas kā atsevišķi gleja plankumi (Kārkliņš *et al.*, 2009).

Podzolaugnes ir augsnes ar trūdvielu akumulācijas un podzolēšanās pazīmēm. Augsnes veidošanās procesos uz morēnas cilmieža stipri izmainās augsnes profilu granulometriskais sastāvs (Bamberg, 1996). Podzolēšanās procesā jeb podzola veidošanās procesā organisko skābju ietekmē notiek primāro un sekundāro minerālu sairšana un to noārdīšanās produktu izskalošanās no augsnes virsējiem horizontiem (Mežals, 1970). Tie nokļūst augsnes dziļākajos slāņos vai arī pavisam no tās izskalojas. Mālu frakcija A un E horizontos var samazināties 3-5 reizes, bet putekļu un smilts frakcija palielinās par 30% (Bamberg, 1996). Podzolēšanās procesu veicina samērā vēss un mitrs klimats, bāzisko elementu trūkums augsnē un to vāja aprīte. Sevišķi liela ietekme ir caurskalošanās tipa ūdens režīmam un kalcija katjonu trūkumam augsnē (Bamberg *et al.*, 1970).

Podzolaugšņu agroķīmiskās īpašības lielā mērā ir atkarīgas no cilmiežu granulometriskā sastāva un ģenēzes, kā arī no augsnes podzolēšanās pakāpes. Podzolaugsnēm, kas veidojušās uz bezkarbonātiskiem, viegla granulometriskā sastāva cilmiežiem, parasti visā profilā ir skāba reakcija, zema piesātinājuma pakāpe ar bāzēm, vāji izteikta mikrobioloģiskā un slietu darbība un maz augu barības vielu (Mežals, 1970). Turpretim uz karbonātiskiem cilmiežiem veidoto, kā arī iekultivēto podzolaugšņu reakcija ir tuvu neitrālai. Arī trūdvielu un augu barības elementu saturs atkarībā no cilmiežu granulometriskā sastāva, izskalošanās pakāpes un iekultivēšanas pasākumu intensitātes lauksaimniecībā izmantojamās platībās variē plašās robežās (Mežals 1970; Kārkliņš *et al.*, 2009).

Velēnu podzolaugšnes ir plaši izplatītas visā Latvijas teritorijā reljefa pacēlumos un dabiski labi drenētos līdzenumos, visvairāk – tīrumos un mežos, retāk – pļavās un ganībās. Podzolaugšnes sevišķi ir izplatītas Burtņieku līdzenumā, Viduslatvijas nolaidenumā un Vidzemes augstienē (2.2.1. attēls)(Kārklīš *et al.*, 2009).



2.2.1.attēls. Augšņu izplatība Latvijas ZA daļā (pārveidots pēc Nikodemus *et al.*, 2008).

Podzolaugšnes plaši izplatītas tīrumos un mežos uz dažādiem cilmiežiem. Mežos šīs augsnes sastopamas sila, lāna, mētrāja, vēra un damakšņa augšanas apstākļu tipā uz smilšmāla un mālsmilts cilmiežiem. Organisko vielu (humusa) saturs parasti ir 1,5–4,0%, taču ne vairāk par 10% (Kārklīš *et al.*, 2009).

Bakalaura darbā pētīti pieci dažāda vecuma velēnu podzolaugšņu meža augšņu profili ar morēnas cilmieži., kuri veidoti vēri.

### 3. MĀLU MINERĀLU VEIDOŠANĀS MEHĀNISMI AUGSNĒ

#### 3.1. Mālu minerāli augsnē

Augsnes var raksturot kā kompleksas sistēmas, kas satur minerālu, organiskās vielas un ūdens komponentus. Mālu minerāli augsnē ir aktīvākais minerālais komponents, ko nosaka to lielais īpatnējās virsmas laukums un strukturālās uzbūves īpatnības. Lielākā daļa augšņu satur tikai dažus procentus organiskās vielas un lielu daudzumu māla (Dixon, 1998).

Visizplatītākie sekundārie minerāli ir mālu minerāli, kas ir dažāda mineraloģiskā sastāva mālu galvenās masas pamatā. Augsnē sekundārie minerāli veidojas galvenokārt no dēdēšanas produktiem, kas veidojas hidratācijas, oksidēšanās un reducēšanās procesos. Tām ir galvenā nozīme augsnes ķīmisko, fizikālo, hidrofizikālo un citu īpašību veidošanā (Nikodemus *et al.*, 2008).

Mālu minerālu veidošanās visbiežāk vērojama uz ķīmiskā ziņā bagātiem augsnes cilmiežiem. Mālu minerāli veidojas kā sekundārie alumosilikāti un ferosilikāti no  $\text{SiO}_2$  koloīdajām formām, alumīnija un dzelzs oksīdu hidrātiem, kas atbrīvojas primāro silikātu un primāro alumosilikātu dēdēšanas procesos. Tie var veidoties arī transformējoties citiem mālu minerāliem, piemēram, vermikulīts, kas galvenokārt veidojas transformējoties illīta un hlorīta grupas mālu minerāliem. Mālu minerālus pieskaita pie alumosilikātiem, kuru struktūrā alumīnijs izomorfi aizvieto silīciju (Nikodemus *et al.*, 2008). Galvenie mālu minerālu komponenti ir silīcija dioksīds  $\text{SiO}_2$ , alumīnija oksīds  $\text{Al}_2\text{O}_3$  un ūdens, kā arī metālisko elementu joni. Māliežos un ar māliem bagātos nogulumos bez mālu minerāliem var būt sastopami arī citu minerālu piemaisījumi – kvarcs, karbonātu minerāli, laukšpati, vizlas u.c. (Kuršs, Stinkule, 1972).

Mālu minerāli sastāv no smalkiem (galvenokārt  $<2 \mu\text{m}$ ) minerālu graudiem, kuru formuir iespējams noteikt ar elektronmikroskopijas palīdzību. Mālu minerālu pētījumos par augšējo māla daļiņu robežu tiek pieņemta  $2 \mu\text{m}$  ( $0,002 \text{ mm}$ ) izmēra robeža (Murray, 2007). Mālu minerāli ir tik smalki, ka liela to daļa augsnē ir sastopami koloidālā stāvoklī ( $< 0,1 \mu\text{m}$ ). Koloidāls stāvoklis ir īpaši raksturīgs sīkdispersām daļiņām un veido starpstāvokli starp izšķīdušu vielu un vielu cietā stāvoklī. Mālu minerālu koloīdu izveidi sekmē virsmas lādiņš. Koloidālais stāvoklis ietekmē augsnes plastiskumu, struktūru, izkalšanu un sarukšanu, kā arī augsnes materiālu dispersiju (Nikodemus *et al.*, 2008).

Mālu minerāli ir nozīmīgi dažādu augšņu īpašību veidošanā, piemēram, to sastāvā esošais dzelzs oksīds piešķir augsnei sarkanbrūnu krāsu, kas raksturīga Latvijā sastopamajām augsnēm. Nozīmīga agroķīmiskā īpašība ir mālu minerālu spēja savā struktūrā saistīt ūdens molekulas. Illīta grupas minerāli ir nozīmīgi augsnes agroķīmisko īpašību veidošanā, jo satur kāliju. Dēdēšanas procesu rezultātā, K joni nokļūst augsnes šķīdumā un kļūst pieejami

augiem. Augsnes zinātnē sevišķi svarīgas ir mālu minerālu adsorbcijas īpašības (3.3. apakšnodaļa) (Dixon, 1998).

### 3.2. Mālu minerāli meža augsnēs

Meža augsnēs dominējošais māla minerāls visbiežāk ir vermikulīts. Vermikulīta izcelsme augsnē bieži saistīta ar izmaiņām, kas notiek vizlu, illīta vai hlorīta grupas minerāliem transformējoties skābos augsnes apstākļos. Augsnē vermikulīts veidojas, vairumā gadījumu, kālijam ekstrahējoties no vizlu grupas minerāliem. Tas iespējams izmainoties slāņu lādiņiem minerālu struktūrā. Vermikulītam piemīt augsts starpslāņu lādiņš – aptuveni 0,7–0,8 uz  $O_{10}(OH)_2$ . Vermikulīts augsnē ir spēcīgs amonija jonu akceptors, ko pierāda laboratorijas pētījumi. Kālija iesaistīšana sekmē slāņu sabrukšanu, izslēdzot amoniju. Tiek pieņemts, ka nobriedušās meža augsnēs vermikulīts tiek aizvietots ar smektītu (Meunier, Velde, 2004).

### 3.3. Mālu minerālu adsorbcijas īpašības

Mālu minerālu kristāliskās uzbūves īpatnības piešķir tiem specifiskas, tikai mālu minerāliem raksturīgas, īpašības. Raksturīgākā ir jonu adsorbcijas un apmaiņas spēja, kā rezultātā uz mālu minerālu virsmām tiek saistīti joni, kurus mālu minerāli spēj apmainīt pret citiem, nonākot šķīdumā ar atšķirīgu ķīmisko sastāvu. Mālu adsorbcijas spēju plaši izmanto pārtikas rūpniecībā, naftas produktu attīrīšanā u.c. Uz mālu minerālu virsmām var tikt adsorbēti gan katjoni, gan anjoni, bet raksturīgāka ir katjonu adsorbcija, kurai ir lielāka nozīme augsnes īpašību veidošanā. Katjoni tiek adsorbēti mālu minerālu struktūrās, vietās, kur radušies nelīdzsvaroti elektriskie lādiņi. adsorbciju sekmē mālu minerālu dispersivitāte,  $Si^{4+}$  un  $Al^{3+}$  aizvietošanās reakcijas tetraedros (Kuršs, Stinkule, 1972). Mālu minerālu spēja adsorbēt katjonus, mazina to izskalošanos no augsnes, kam ir nozīme augsnes auglības saglabāšanā (Dixon, 1998).

Katjonu apmaiņas kapacitāte ( $KAK^{18}$ ) ir maksimālais augsnē saistītais katjonu daudzums, ko noteiktos apstākļos augsnes cietā fāze var apmainīt pret šķīdumā esošajiem katjoniem. Māla augsnēm  $KAK$  ir daudz augstāka nekā smilti saturošām augsnēm. Arī atsevišķām koloīdu grupām ir atšķirīga katjonu apmaiņas kapacitāte. Augsnē esošajiem organiskajiem koloīdiem, salīdzinājumā ar minerālajiem, tā ir daudz lielāka. Piemēram, organiskajām vielām katjonu apmaiņas kapacitāte ir aptuveni intervālā no 150 līdz 750  $cmol(+) kg^{(-1)}$ , bet māla minerālam montmorilonītam tā ir 80–150  $cmol(+) kg^{(-1)}$ , kaolinītam 2–15  $cmol(+) kg^{(-1)}$ , illītam 10–40  $cmol(+) kg^{(-1)}$  (Nikodemus *et al.*, 2008).

Visaugstākā katjonu apmaiņas kapacitāte augsnē piemīt smektīta un vermikulīta grupas minerāliem. No mālu minerāliem visvairāk katjonus adsorbē smektīta grupas minerāli, jo tiem ir augsta dispersijas pakāpe (1 g šo minerālu virsmas aizņem 100–500  $m^2$  lielu laukumu) un īpatnēja kristālrežģa uzbūve (liela starpplakņu telpa un brīvi elektriskie lādiņi). Šo īpašību dēļ,

smektīta grupas mālu minerāli ir ķīmiski un fizikāli aktīvākie minerāli augsnē. (Nikodemus *et al.*, 2008; Dixon, 1998).

KAK ir viens no nozīmīgākajiem rādītājiem, kas raksturo augsnes veidošanās procesus (ķīmisko elementu mobilitāti, augu atlieku mineralizāciju, organisko vielu veidošanos u.c.), augu barošanās režīmu (barības elementu saistīšanas spēju, to iespējamo uzņemšanu augos), kā arī dažādas augsnes īpašības (augsnas buferspēju, fizikāli ķīmiskās īpašības u.c. rādītājus). Tai ir liela nozīme vides aizsardzībā un ekoloģijā, jo augsnēs ar lielu KAK gruntsūdeņi ir labāk pasargāti no vides piesārņojuma, un līdz ar to ir iespējams drošāk lietot mēslošanas līdzekļus un pesticīdus. Ja ir augsts KAK, augsne spēj pretoties arī tās paskābināšanai (Nikodemus *et al.*, 2008).

Mālu minerāliem piemīt spēja adsorbēt arī anjonus. Domājams, ka daļa anjonu adsorbējas mālu minerālu daļiņu malās, bet daļa aizvieto hidroksilgrupas oktaedriskajā tīklā. Dažu anjonu, piemēram, fosfāta, arsenāta, borāta jonu, uzbūve un izmēri ir līdzīgi tetraedriem, ko veido silīcijs un skābeklis. Tas sekmē šo anjonu saistīšanos oktaedriskajā tīklā, iekļaujoties mālu minerālu struktūrā, kā, piemēram, fosfāta jons viegli iekļaujas kaolinīta kristālrežģī. Šī reakcija ir svarīga no augsnes zinātnes aspekta, jo, pielietojot fosfātus saturošu mēslojumu, augsnēs, kurās sastopams kaolinīts, mazinās tā efektivitāte. Borāta jona spēja iekļauties illīta grupas minerālu struktūrā, ļauj izmantot bora saturu mālos kā sedimentācijas vides sāļuma indikatoru (Kuršs, Stinkule, 1972). Vermikulīts augsnē spēj saistīt K, NH<sub>4</sub>, Cs, Rb jonus. Līdzīgs viedoklis pausts arī par smektīta grupas mālu minerāliem. Radioaktīvā Cs fiksācija ir svarīga vides zinātnē, saistībā ar augsnes piesārņojuma samazināšanu (Dixon, 1998).

Uz mālu minerālu virsmām, nenolīdzsvarotu elektrisko lādiņu rašanās dēļ, notiek arī polāru organisko vielu adsorbēšana. Reakcijas starp mālu minerāliem un organiskajām vielām svārstās no vienkāršu organiskas izcelsmes katjonu apmaiņas līdz maz pētītām reakcijām starp mālu minerālu virsmām un organiskajiem koloīdiem (Dixon, 1998). Organisko vielu molekulās elektroni netiek sadalīti simetriski, tādēļ rodas it kā pozitīvo un negatīvo lādiņu nobīde, kas piešķir molekulām polāras īpašības. Molekulas tiek pievilktas uz mālu minerālu virsmām ar to pusi, kas nes virsmai pretēju lādiņu (Kuršs, Stinkule, 1972). Augstās dispersitātes pakāpes dēļ visaugstākā adsorbēšanas spēja ir montmorilonītam un vermikulītam. Augsnē vāji kristalizēts kaolinīts eksponē lielu īpatnējo virsmas laukumu, kas atļauj organisko vielu absorbēšanu. Smektīts, papildus organisko vielu absorbēšanai, veic organisko vielu stabilizāciju mikroagregātu ietvaros (Caner *et al.*, 2010), tādēļ to izmanto organisko komponentu adsorbēšanai (Dixon, 1998).

Līdzīgā veidā mālu minerāli adsorbē arī polārās ūdens molekulas, kas iespiežas starplakņu telpā starp elementārslāņiem. Visvairāk ūdens molekulu spēj saistīt vermikulīta

un smektīta mālu minerālu grupu minerāli, kas nodrošina tos saturošo mālu augsto plasticitāti (Kuršs, Stinkule, 1972).

#### 4. MĀLU MINERĀLU GRUPAS AUGSNĒ

Māli ir izplatītākie nogulumieži pasaulē, tomēr, mālu pētījumi daļiņu niecīgo izmēru dēļ ir apgrūtināti, tāpēc priekšstati par mālaino iežu sastāvu, īpašībām un veidošanos nav viennozīmīgi (Kuršs, Stinkule, 1972). Mālu minerālu struktūras pamatā ir oktaedriskie un tetraedriskie slāņi. Oktaedru centrā atrodas alumīnija, magnija vai dzelzs jons, bet virsotnes veido 6 hidroksilgrupas vai skābekļa atomi. Alumīnija jonam ar pozitīvu lādiņu  $3^+$ , iesaistoties oktaedrisko slāņu struktūrā, lai balansētu kopējo lādiņu, tiek aizpildītas tikai divas trešdaļas iespējamo pozīciju. Šādu minerālu, kam aizpildītas divas trešdaļas pozīciju, sauc par dioktaedrisku. Ja oktaedrisko slāņu struktūrā iesaistīts magnija jons ar pozitīvu lādiņu  $2^+$ , tiek aizpildītas visas trīs pozīcijas, lai līdzsvarotu struktūras kopējo lādiņu. Šādu minerālu sauc par trioktaedrisku (Murray, 2007). Tetraedrus veido 4 skābekļa atomi vai hidroksilgrupas, to centrā novietots silīcija atoms. Tetraedri ir izvietoti heksagonālā tīklā un veido oktaedrisko slāni (Kehew, 1988). Mālu minerāliem izdalīti četri galvenie tipi, kas atšķiras ar tetraedisko un oktaedrisko slāņu skaitu (Kuršs, Stinkule, 1972). Tetraedriskie un oktaedriskie slāņi ir savstarpēji saistīti ar virsotņu skābekļa atomiem vai hidroksilgrupām. Slāņu novietojums un sakārtojums nosaka galvenās atšķirības māla minerālu fizikālajās un ķīmiskajās īpašībās (Murray, 2007). No māla minerāliem izplatītākie ir vermikulīta, smektīta, kaolinīta un illīta grupas minerāli. Katrai grupai ir specifiskas īpašības, atšķirīga vielu absorbcijas kapacitāte un kristāliskā struktūra (Nikodemus *et al.*, 2008).

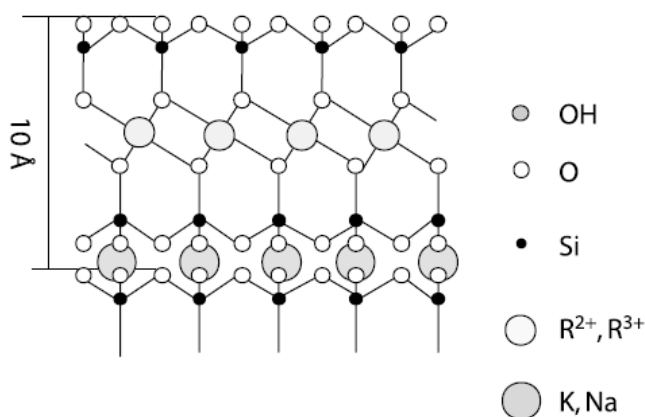
**Smektīta**(OH)<sub>4</sub>Si<sub>8</sub>Al<sub>14</sub>O<sub>20</sub>·NH<sub>2</sub>O grupai pieskaita nontronītu, beidelītu, saponītu, montmorilonītu, hektorītu un citus mālu minerālus, kuriem ir trīs slāņu kristāliska režģa uzbūve, ko nosaka divi silīcijskābes tetraedruslāņi un to starpā ieslēgtais oktaedru slānis. Staplakņu telpā izvietojas ūdens molekulas un katjoni (Murray, 2007). Smektīta grupas tetraedru un oktaedru minerālos joni var tikt izomorfi aizvietoti, un tas nosaka minerāla ķīmiskā sastāva mainību. Katjoni Ca<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup> šajā gadījumā spēj stāties apmaiņas reakcijās, izspiežot citus katjonus no cietās fāzes virsmas. Jo mazāki ir minerāla daļiņu izmēri un lielāka to īpatnējā virsma, jo intensīvāk noris apmaiņas reakcijas. Šiem katjoniem mālu minerālu kristāliskajā režģī nav noteikti fiksētas pozīcijas un tie nepiedalās kristāliskā režģa uzbūves veidošanā. Tie ir adsorbētā stāvoklī un kompensē kristāliskā režģa negatīvo lādiņu, kas var rasties, ja tajā augstākas valences katjoni izomorfi tiek aizvietoti ar zemākas valences katjoniem, piemēram, Al<sup>3+</sup> ar Mg<sup>2+</sup>, Si<sup>4+</sup> ar Al<sup>3+</sup> (Sedmalis, Šperberga, 2005). No māla minerāliem viena no augstākajām katjonu apmaiņas kapacitātēm ir raksturīga tieši smektīta grupas minerāliem (Nikodemus *et al.*, 2008; Murray, 2007). Ca–montmorilonīta bazālais

starpplakņu attālums ir 14,2 Å, Na–montmorilonīta 12,2 Å (Murray, 2007). Montmorilonītam raksturīgi aizvietojumi galvenokārt oktaedriskajā tīklā, kurā blakus oktaedriem ar alumīnija joniem to centros, ir sastopami arī oktaedri ar dzelzs un magnija joniem to centros. Ir iespējami arī aizvietojumi tetraedriskajā tīklā, kur alumīnijs var aizstāt silīciju (Kuršs, Stinkule, 1972).

Smektīta grupas minerāliem starp elementārslāņu paketēm saites ir vājas. To nosaka relatīvi lielais ūdens molekulu daudzums, kas atrodas starp tiem. Tāpēc minētās grupas minerāliem ūdens saistīšanas spēja var sasniegt 30% no sākotnējās masas un tie var stipri uzbriest (Nikodemus *et al.*, 2008).

Smektīta grupas mālu minerālu daļiņas ir niecīgos izmēros, tādēļ tās bieži ir grūti analizēt ar rentgenstaru pulverdifrakcijas analīzi (XRD) (Murray, 2007).

**Illīta** grupas sekundārie mālu minerāli drupu iežos un augsnē parasti veidojas no vizlām un laukšpatiem. Šī grupa apvieno minerālus ar trīs slāņu struktūru un lielu skaitu izomorfo aizvietojumu, līdz ar to minerāliem ir mainīgs ķīmiskais sastāvs. Līdzīgi kā smektīta grupas minerāliem, arī illīta grupas minerāliem piemīt ļoti augsta katjonu apmaiņas kapacitāte. Atšķirībā no smektītiem saites starp slāņiem ir ciešas, ūdens molekulas tajās neiekļūst, un līdz ar to illīta grupas minerāli ir gandrīz neuzbriestoši (4.1. attēls) (Nikodemus *et al.*, 2008). Struktūru veido divi tetraedru slāņi, starp kuriem novietots oktaedru slānis (Kuršs, Stinkule, 1972). Illīts atšķiras no labi kristalizētā muskovīta ar to, ka tā tetraedros  $Al^{3+}$  mazāk aizvieto  $Si^{4+}$ . Muskovītā viena ceturtdaļa  $Si^{4+}$  ir aizvietota ar  $Al^{3+}$ , bet illītā tiek aizvietota tikai viena sestā daļa. Arī oktaedros  $Al^{3+}$  var būt aizvietots ar  $Mg^{2+}$  un  $Fe^{2+}$ . Bazālais starpplakņu attālums ir 10 Å (Murray, 2007). Silīcija aizvietošana ar alumīniju rada pozitīvā lādiņa trūkumu, ko kompensē kālija vai nātrija joni, kas novietojas tetraedriskā tīkla tukšumos (Kuršs, Stinkule, 1972).



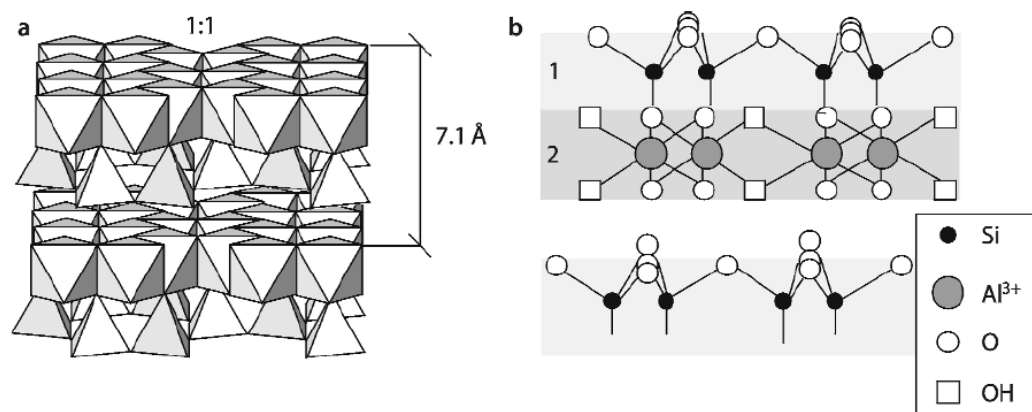
4.1.attēls. Illīta struktūra (Meunier, Velde, 2005)

**Vermikulīta** mālu minerālu grupa. Vermikulīts pēc īpašībām ir līdzīgs smektītam, bet ķīmiskā sastāva ziņā būtiski no tā atšķiras (Nikodemus *et al.*, 2008). Vermikulīts veidojas galvenokārt hidrotermālā procesā no biotīta un flogopīta, kā arī biotīta sadēdēšanas procesā (Sedmalis, Šperberga, 2005).

Līdzīgi illīta mālu minerālu grupai, vermiculīta tetraedriskajā slānī alumīnija jonus aizvieto silīcija joni. Apmaiņas katjoni – magnijs, retāk kalcijš, litijs vai bārijs, līdzsvaro lādiņu iztrūkumu. Apmaiņas pozīcijās šie joni ir vairāk vai mazāk hidratizēti, tie atgādina hidroksīdu molekulas. Atsevišķi elementārslāņi vermiculīta struktūrā tiek samērā vāji saistīti, tādēļ tas ir tuvāks montmorilonītam nekā illītam (Kuršs, Stinkule, 1972). Vermiculīta grupas minerāliem piemīt augsts negatīvo lādiņu īpatsvars, tos visbiežāk sastop lielākajās mālu (piemēram, < 2µm) un aleirīta frakcijās (Dixon, 1998). Vermiculīta bazālie atstarojumi ar visaugstāko intensitāti novērojami rentgenogrammās pie 13,4; 3,54; 2,37 Å (Sedmalis, Šperberga, 2005).

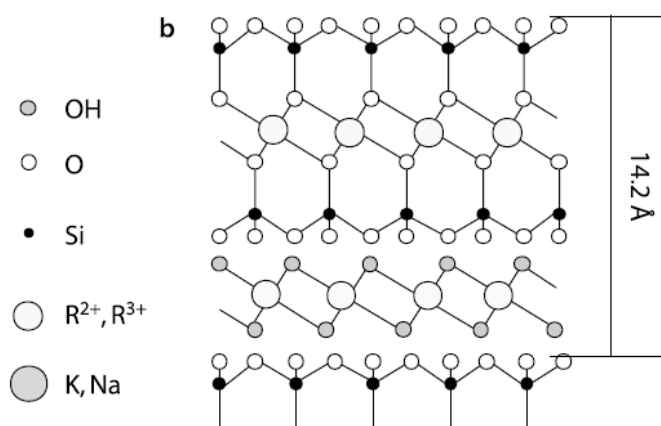
Pie **kaolinīta** grupas minerāliem pieskaita kaolinītu  $Al_2(Si_2O_5)(OH)_4$ , haluazītu, dikītu, nakrītu un citus mālu minerālus, kas sastāv no viena silīcijskābes oksīdu tetraedru un viena alumīnija oksīdu oktaedru slāņa (4.2. attēls). Kaolinīts kristalizējas monoklīnā singonijā, tā veidošanās notiek galvenokārt eksogēno procesu rezultātā, sadēdot dažādiem alumosilikātiem skābā vidē (Sedmalis, Šperberga, 2005). Šīs grupas minerāliem attālumi starp slāņiem ir stabili un tie veido stipras saites, jo atsevišķie elementārslāņi saskaras un starp tiem veidojas samērā stipra ūdeņraža saite. Tāpēc ūdens molekulu iekļūšana starpslāņu telpā ir apgrūtināta, līdz ar to kaolinīta māli neuzbriest un ir mazplastiski. Tikai divas trešdaļas apmaiņas pozīciju ir aizpildītas ar alumīnija atomu (Murray, 2007).

Salīdzinājumā ar illīta un smektīta grupas minerāliem kaolinīta grupas minerāliem adsorbcijas kapacitāte ir zema (Nikodemus *et al.*, 2008), (Kuršs, Stinkule, 1972). Lādiņi kaolinīta struktūrā ir balansēti. Viena elementārslāņa biezums ir 7,13 Å (Murray, 2007). No kaolinīta citi šīs grupas mālu minerāli atšķiras ar savstarpēju oktaedrisko un tetraedrisko slāņu nobīdi, kas vājina saiti starp tiem un pieļauj ūdens molekulu novietošanos starpslāņu telpā (Kuršs, Stinkule, 1972; Murray, 2007). Karsējot kaolinītu, 500–600°C novērojams endotermisks efekts. Tas saistīts ar ūdens izdalīšanos (OH grupas) un minerāla kristāliskā režģa sabrukšanu jeb amorfizāciju. Kaolinīta spēcīgi bazālie atstarojumi ir novērojami rentgenogrammās pie 7,14; 3,57; 1,487 Å (Sedmalis, Šperberga, 2005).



4.2.attēls. **Kaolinīta struktūra a telpisks attēls; b projekcija plaknē** (Meunier, Velde, 2005)

**Hlorīta**  $(\text{OH})_4(\text{SiAl})_8(\text{Mg-Fe})_6\text{O}_{20}$  grupas māla minerāli. Hlorīta veidošanās saistīta ar zemu temperatūru hidrotermālajiem procesiem, kas vienlaikus saistīts ar metamorfisma procesiem. Hlorīti sastopami arī magmatiskos iežos, nogulumiežos, t.i., mālos, slānekļu veidā metamorfos iežos (Sedmalis, Šperberga, 2005). Mālu minerālu hlorīti atšķiras no labi kristalizētiem hlorītiem ar nejašu elementārslāņu sakārtojumu un hidratāciju. Hlorīts ir 2:1 elementārslāņu minerāls, ar brusīta starpslāņiem  $(\text{Mg}(\text{OH})_2)$  (4.3.attēls). Hlorītam raksturīga ievērojama jonu aizvietošanās, visbiežāk  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  un  $\text{Fe}^{3+}$ . Hlorīta bazālais starpplakņu attālums ir 14,2 Å. Rentgenogrammās pie 14 Å ir iespējams identificēt spēcīgu hlorīta bazālo atstarojumu, kas nepalielinās etilēnglikolēta parauga rentgenogrammā, kā arī nesamazinās līdz 10 Å pie 400 °C karsēta parauga rentgenogrammā, kā tas notiek ar vermikulītu vai smektītu, kuru spēcīgi bazālie atstarojumi mēdz pārklāties, jo arī šiem minerāliem tie ir izvietoti pie 14 Å (sk. iepriekš) (Murray, 2007). Karsējot hlorītu 480–700°C temperatūrā, novērojams endotermisks efekts, kas saistīts ar konstitūcijas ūdens izdalīšanos un minerāla kristālrežģa sabrukšanu (Sedmalis, Šperberga, 2005).



4.3.attēls. **Hlorīta struktūra** (Meunier, Velde, 2005)

Sastopami arī mālu minerāli ar jaukta tipa kristālrežģi, ko veido dažādu minerālu elementārslāņi, kas vairāk vai mazāk sistemātiski atkārtojas (Kuršs, Stinkule, 1972).

Jauktslāņu māla minerāli atrodami slānekļos, glaciolimniskajos mālos, augsnēs un citos ar māliem bagātos iežos. Parasti māla minerālu saturs šajos iežos ir jaukta sastāva. Piemēram, slānekļi satur illītu, hlorītu un jauktslāņu illītu–smektītu vai illītu–hlorītu. Izplatītākie jauktslāņu māla minerāli parasti satur divus komponentus – illītu un smektītu. To elementārslāņi ir nejauši sakārtoti, bet var būt arī regulāri sakārtoti. Regulāri sakārtots illīts-smektīts tiek saukts par rektorītu (Murray, 2007).

## 5. MĀLU MINERĀLI AUGŠŅU VEIDOŠANĀS PROCESOS

Augsnes veidošanās ir pakāpenisks, ilgstošs un ļoti sarežģīts process. Tā gaitā noris vielu un enerģijas pārvietošanās un pārvērtības, kas izpaužas dažādos savstarpēji saistītos pretēja rakstura procesos, kuru rezultātā veidojas augsne ar specifiskām fizikālajām un ķīmiskajām īpašībām (Nikodemus *et al.*, 2008).

Augsnes minerāli nosaka augsnes granulometrisko sastāvu, tas ir, augsnes iedalījumu atbilstoši minerālo daļiņu izmēriem. Granulometriskais sastāvs ir ļoti svarīgs un būtisks augsnes auglības un produktivitātes rādītājs. Tas arī nosaka dažādu veģetācijas tipu teritoriālo izplatību. Piemēram, Latvijā uz smilts augsnēm, kuras veido galvenokārt kvarcs un laukšpats, aug priežu meži, kas nav prasīgi barības vielu ziņā; savukārt uz morēnas smilšmāla vai māla nogulumiem, kuros dominē sekundārie mālu minerāli ar lielu īpatnējo virsmu, lielu adsorbcijas kapacitāti un atšķirīgu ūdens-gaisa īpašību un fizikāli mehānisko īpašību kompleksu, aug egļu un platlapju meži (Nikodemus *et al.*, 2008).

Augsnēs, kurās dominē mālu daļiņas, ir palielināta mitruma ietilpība, augsta adsorbcijas spēja, laba koagulācija, palēnināta ūdens infiltrācija. Mitras mālu saturošas augsnes ir ļoti lipīgas, stipri uzbriest, bet žūstot stipri saraujas, sacietē un saplaisā. Māla augsnēs vielu migrācija notiek lēnāk, un tāpēc arī augsnes profils veidojas lēnāk (Nikodemus *et al.*, 2008).

Mālu minerālu veidošanās noris galvenokārt kristālisko (magmatisko un metamorfo) iežu dēdēšanas procesa rezultātā, taču tie var veidoties arī no citiem mālu minerāliem. Viena vai otra minerālu kompleksa rašanos nosaka dēdēšanai pakļauto iežu vai nogulumu raksturs, attiecīgā rajona tektoniskie un klimatiskie apstākļi, kas ietekmē vides temperatūru un raksturu, iežu noārdīšanas ātrumu un ūdens cirkulācijas intensitāti (Kuršs, Stinkule, 1972).

Ļoti dažādos vides un klimatiskajos apstākļos rodas illīta grupas minerāli, sevišķi labvēlīga ir vāji sārmaina vai neitrāla vide, kas aizkavē dažu jonu, piemēram, kālija, izskalošanu. Illītu var uzskatīt par pārejas produktu starp kristālisko iežu minerāliem, galvenokārt, laukšpatiem un vizlām un kaolinīta grupas minerāliem (Kuršs, Stinkule, 1972).

Sārmainā vidē ar augstu magnija vai dzelzs jonu koncentrāciju var veidoties vermikulīts un hlorīts. Šie minerāli rodas galvenokārt no iežiem ar augstu biotīta saturu. Savukārt kaolinīta veidošanās iespējama no visdažādākā sastāva kristāliskajiem iežiem skābā vidē, kas veicina sārnu un sārmzemju elementu jonu izskalošanu (Kuršs, Stinkule, 1972). Tādējādi kaolinīta veidošanās iespējama augsnēs ar skābu pH reakciju (Caner *et al.*, 2010).

## 6.MATERIĀLI UN METODEDES

### 6.1. Pētījumu vietas – Vidzemes augstienes Piebalgas pauguraines ģeoloģiski ģeomorfoloģiskais raksturojums

Vidzemes augstiene R daļā ietver Augšogres pazeminājumu, Mežoles un Piebalgas pauguraini. Piebalgas pauguraine posmā starp Nītauri, Skujeni un Bānūžu ezeru saplūst ar Mežoles pauguraini, bet dienvidos robežojas ar Augšogres pazeminājumu. Robežas starp minētajiem dabas apvidiem ir nosacītas, balstītas galvenokārt uz mūsdienu reljefa formu morfoloģiju (Brangulis *et al.*, 2000).

Piebalgas pauguraines kvartāra nogulumu segas pamatā sastopami Lētīžas leduslaikmeta veidojumi, kurus pārstāv sarkanbrūna, ļoti blīva, viendabīga monolīta morēnas mālsmilts, kurai raksturīgs palielināts grants frakcijas saturs. Tā aizpilda pazeminājumus devona iežu virsmā, kā arī izveido atsevišķus izciļņus Piebalgas pauguraines pamatā, kuros morēnas biezums sasniedz 20 m. Ģeoloģisko griezumū turpina Kurzemes leduslaikmeta nogulumu komplekss. Tā sastāvā dominē blīvs pelēks vai brūnganpelēks viendabīgs morēnas smilšmāls, retāk mālsmilts. No Lētīžas leduslaikmeta nogulumiem, morēna atšķiras ar mazāku blīvumu, tumšāku krāsu, lielāku māla daļiņu saturu. Nogulumu biezums svārstās no 10 līdz 20–25 m, Piebalgas pauguraines hipsometriski visaugstākajās vietās sasniedz 30 un vairāk metrus. Starp Lētīžas, Kurzemes un augstāk iegulošo Latvijas morēnu sastopami starpmorēnu nogulumi – dažādgraudaina smilts ar grants un oļu piemaisījumu, aleirītiska smilts, māli, smilšaini aleirīti (Brangulis *et al.*, 2000).

Kvartāra segas augšdaļu, kā arī mūsdienu reljefa formas un augsnes cilmiežus veido Latvijas leduslaikmeta nogulumi. Bakalaura darbā veiktie pētījumi aptver teritoriju Vidzemes augstienes DR, Amatas novada Zaubes pagasta Annās, īpašumā „Ozoliņi”. Šajā reģionā Latvijas leduslaikmeta morēnas nogulumi sasniedz 15–25 m biezumu, vietām 30 m. Tos galvenokārt veido sarkanīgi brūni morēnas smilšmāla un mālsmilts nogulumi. Morēna ir vidēji blīva, ļoti nevienmabīga, glaciotektoniski deformēta ar biežām smilšainu un mālainu nogulumu starpkārtām un ieslēgumiem. Sastopami grants, oļu, laukakmeņu piejaukumi. Pētītajā teritorijā morēnu smilts frakciju veido 39,6%, aleirītu 33,3%, bet mālu 27,1%, savukārt karbonātu saturs sasniedz 18,6% (Ulgis *et al.*, 1981).

Dažādo reljefa formu veidošanos un nogulumu uzkrāšanās īpatnības Vidzemes augstienē lielā mērā noteica ledāja plūsmas mijiedarbība ar ledāja gultni. Reģionāli šāds raksturojums var tikt attiecināts arī uz Piebalgas pauguraines reljefu un nogulumiem.

Subkvartārajā virsmā senāko nogulumu plašie pacēlumi veicināja ledāja plūsmu diferenciaciju, mainīja to virzienu un dinamisko stāvokli. Šo iemeslu dēļ ledājā pieauga spiediena gradienti, it sevišķi horizontālā virzienā. Nozīmīgs bija ledāja gultnes izciļņu

bremzējošais iespaids, kas veicināja ledāja apakšējo slāņu piesātināšanos ar morēnas materiālu, to plastiskuma samazināšanos ledāja atkāpšanās fāzē. Ledāja spiediena rezultātā šie slāņi tika atrauti no kopējās plūsmas un deformēti dažādā dinamiskā stāvoklī esošo plūsmu saskares vietās, kā arī gultnes paaugstinājumos. Piebalgas pauguraines teritorijā šie apstākļi veicināja pastiprinātu nogulumu materiāla uzkrāšanos (Brangulis *et al.*, 2000).

Piebalgas paugurainē dominē vidējpauguru un lielpauguru reljefs, kurus atdala dažāda lieluma un konfigurācijas ieplakas un pazeminājumi. Bakalaura darba pētījumus aptverošā teritorija – Spinduļu meži atrodas no 200 līdz 227 m vjl. Teritorijas reljefu saposmo dažādu formu morēnpauguri, plakanvirsas mālpauguri, kēmu pauguri. Lēzenos pazeminājumus aizņem glaciģēnie nogulumi un purvu nogulumi (Lūkins, Nikodemus, 2011).

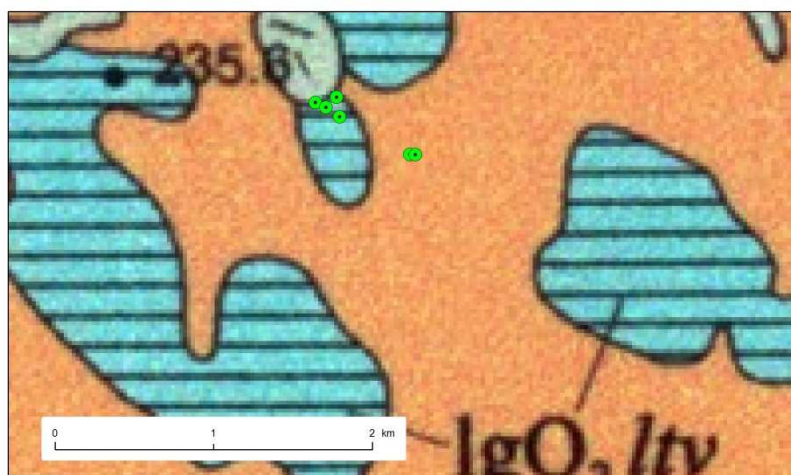
## 6.2. Meža augšņu profilu raksturojums

Bakalaura darba pētnieciskās daļas izstrādei izmantots augsnes profilu materiāls no Raimonda Kasparinska pētījumiem promocijas darba izstrādei. Augšņu profili veidoti un paraugi no augšņu ģenētiskajiem horizontiem iegūti 2009. gada pētījumos Vidzemes augstienes Piebalgas paugurainē, Spinduļu mežos. Administratīvi Amatas novada Zaubes pagasta Annās, īpašumā „Ozoliņi” (585894E; 322017N) (6.2.1. attēls).



6.2.1.attēls. **Pētījumu vietas atrašanās Latvijas kartē** (izstrādājusi autore, izmantojot LU ĢZZF WMS sistēmas rastra pamatni)

Bakalaura darba pētnieciskās daļas izstrādei izvēlēti pieci profili dažāda vecuma meža augsnēm, kuras veidojušās uz morēnas cilmieža, kā arī augsnes profils, kas ierīkots ekstensīvās ganībās (6.2.3.attēls) (Kasparinskis, 2012).



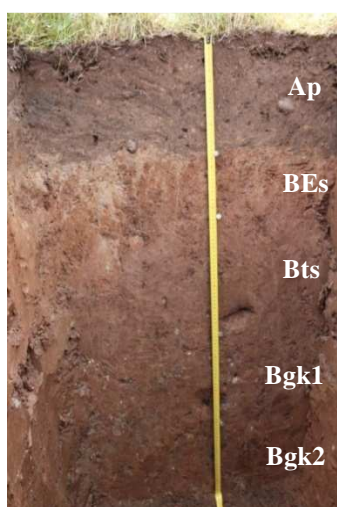
## APZĪMĒJUMI

HOLOCĒNS		AUGŠPLEISTOCĒNS Latvijas svīta	
bQ <sub>4</sub>	Purvu nogulumi. Kūdra	aQ <sub>4</sub> , ltv	Aluviālie nogulumi. Smilts, grants, oļājs
aQ <sub>4</sub>	Aluviālie nogulumi. Smilts, grants, oļājs, aleirīts	lgQ <sub>3</sub> , ltv	Limnoglaciālie nogulumi. Smilts, aleirīts, māls
		gQ <sub>3</sub> , ltv	Glaciģēnie nogulumu. Morēnas mālsmilts un smilšmāls

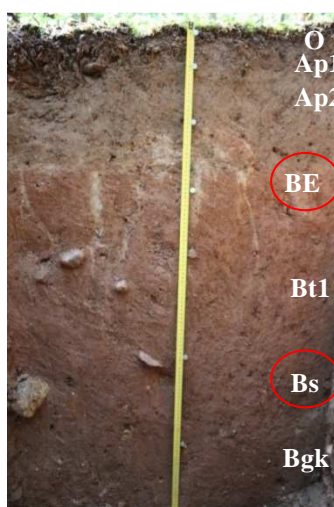
6.2.2.attēls. Pētīto meža augšņu profilu izvietojums Kvartārģeoloģiskajā kartē (Juškevics, Skrebels, 2002)

Var secināt, ka trūkst precīzas informācijas par kvartāra nogulumu izplatību lauka pētījumu vietā, jo visiem augsnes profiliem konstatēts morēnas cilmiezis, kas daļēji nesakrīt ar kvartārģeoloģijas kartes sniegto informāciju (6.2.2. attēls). Visi meža parauglaukumi tika ierīkoti vērī (*Oxalidos*) 25–100 gadus vecās mežaudzēs, kas veidojušās pakāpeniski apmežojoties bijušajām lauksaimniecības zemēm. Augsnes paraugi ievākti no katra augsnes horizonta trīs atkārtojumos, paraugus apvienojot izveidots viens vidējots paraugs (Kasparinskis, 2012). Meža zemju vecums noteikts, pamatojoties uz pētījumu par Spinduļu meža vēsturi (Lūkins, Nikodemus, 2011). Papildus augsnes profilu materiālam, 2012. gada 4. oktobrī veikti lauka darbi, kuros, vadoties pēc norādītajām koordinātēm (Kasparinskis, 2012), apsekoti izvēlētie parauglaukumi, un ar rokas urbi noņemti augšņu cilmiežu paraugi no pieciem augšņu profiliem. Kopumā lauka darbos noņemti 15 cilmiežu paraugi, tālākiem pētījumiem izvēlēti paraugi, kas no cilmieža noņemti visdziļāk–aptver intervālu 180–200 cm, kā arī vidēja dziļuma cilmiežu paraugi(intervālā 150–180 cm) (6.2.1. tabula). Katram augsnes profilam paraugu noņemšanas dziļums nedaudz atšķiras, piemēram, 2. augsnes profilam, cilmieža paraugs iegūts 160–170 cm dziļumā, ņemot vērā urbšanai nelabvēlīgos apstākļus (liels laukakmeņu un oļu piejaukums morēnā). Līdzīgu apstākļu dēļ, cilmieža paraugu

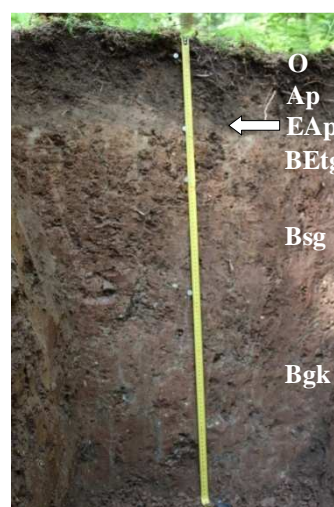
nevarēja iegūt no parauglaukuma ekstensīvajās ganībās (6.2.3. attēls), tādēļ tālākos pētījumos izmantoti tikai meža augšņu profili. Augsnes paraugi no 2009. gada pētījumiem uzglabāti Latvijas Universitātes Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultātes Augsnes laboratorijā. No 2009. gadā iegūtā augšņu profilu materiāla (Kasparinskis, 2012) bakalaura darba pētījumiem izvēlēti 18 paraugi no augšņu B jeb iluviālajiem (ieskalošanās) horizontiem (6.2.1. tabula), kuru raksturīgākie augsnes procesi ir silikātu minerālu dēdēšana jeb pārmālošanās, augsnes koloīdu ieskalošanās (lesivēšanās), ieskaloto vielu (māla, dzelzs, organisko vielu) uzkrāšanās (Nikodemus *et al.*, 2008). Ar sarkanu aplīti apvilkti horizonti, no kuriem izvēlēti paraugi XRD analīzei, attēlā nav izdalīti visi horizonti (6.2.3. attēls).



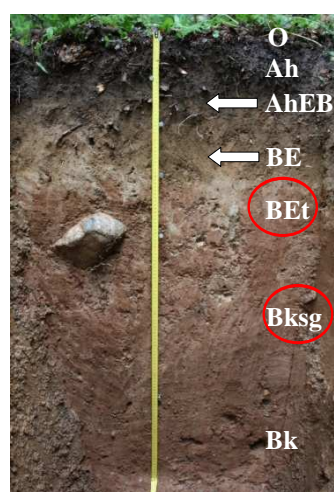
**Augsnes profils Nr.1**  
Velēnu podzolaugsne  
Pļava



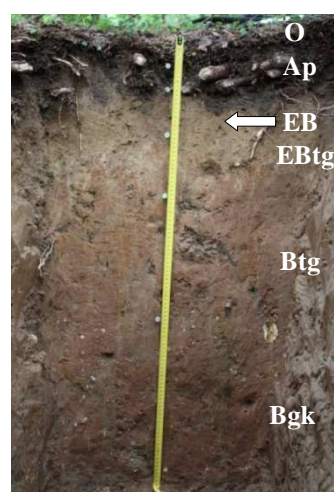
**Augsnes profils Nr.2**  
Velēnu podzolaugsne  
Vēris  
Kokaudzes vecums 25 gadi  
Meža zemes vecums 25 gadi



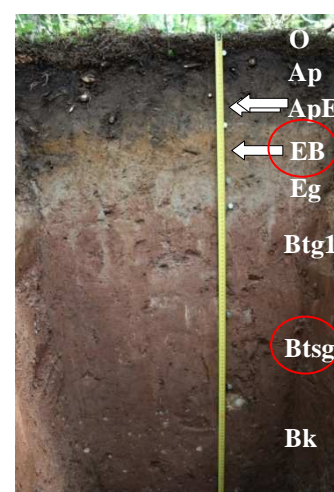
**Augsnes profils Nr. 3**  
Velēnpodzolēta virsēji glejota  
Vēris  
Kokaudzes vecums 60 gadi  
Meža zemes vecums 70 gadi



**Augsnes profils Nr. 4**  
Velēnu podzolaugsne  
Vēris  
Kokaudzes vecums 100 gadi  
Meža zemes vecums 100 gadi



**Augsnes profils Nr. 5**  
Velēnpodzolēta virsēji glejota  
Vēris  
Kokaudzes vecums 100 gadi  
Meža zemes vecums 150 gadi



**Augsnes profils Nr. 6**  
Velēnu podzolaugsne  
Vēris  
Kokaudzes vecums 80 gadi  
Meža zemes vecums 200 gadi

6.2.3.attēls. Augšņu profili un to raksturojums (pārveidots pēc Kasparinskis, 2012)

**Meža augšņu profilu raksturojums un paraugu identifikācija** (izstrādājusi autore pēc Kasparinskis, 2012)

Augsnes profila nr.	2	3	4	5	6
Meža zemes vecums (gadi)	25	70	100	150	200
Kokaudzes vecums (gadi)	25	60	100	100	80
Augsnes horizonts/paraugs	BE Bts Bs Bkstg	BE Btgs Btk	BEt Bs Bksg	EBg Btsg Btsgk	B EB Btg Btsg Btks
Cilmieža parauga dziļums no zemes virsmas cm	150–160; 160–170	150–170; 185–200	160–180; 180–190	140–150; 180–200	150–160; 185–200

Tabulā ar sarkanu krāsu atzīmēti paraugi, kuriem veikta rentgenstaru pulverdifrakcijas un granulometriskā sastāva analīze.

Apzīmējumi:

Pamathorizonti:

E – eluviālais (izskalošanās horizonts)  
EB; BE – pārejas horizonti starp E un B horizontiem  
B – iluviālais (ieskalošanās horizonts)

Pamathorizontu apakšiedalījumu simboli:

g – glejošanās pazīmes  
k – karbonātu sekundāra akumulācija  
s – trīsvērtīgo elementu oksīdu iluviāla akumulācija  
t – māla iluviāla akumulācija

### 6.3. Granulometriskā sastāva analīze

Granulometriskais sastāvs un frakciju sadalījums ir nozīmīgi sedimentoloģijas un ainavas attīstības pētījumos. Klasiskās standarta metodes granulometriskā sastāva noteikšanai, galvenokārt, balstās uz sijāšanu liela izmēra frakcijām un sedimentācijas ātrumu maza izmēra frakcijām (Goosens, 2007).

Pētījumā granulometriskā sastāva analīze veikta, izmantojot SediGraph III 512. Iekārtas darbības pamatprincips ir balstīts uz Stoksa likumu:  $D^2 = \frac{18\eta v}{(\rho - \rho_0)g}$ , kur  $D$  – sfērisko daļiņu

diametrs,  $v$  – sedimentācijas ātrums,  $\rho$  – daļiņas blīvums,  $\eta$  – šķidruma viskozitāte,  $\rho_0$  – šķidruma blīvums,  $g$  – gravitācijas konstante. Ar SediGraph III 512 iespējams analizēt daļiņas no 300–0,1  $\mu\text{m}$  (MIC, 2010).

Daļiņām piemīt īpatnējā masa, tādēļ tās, grimstot suspensijā, gravitācijas spēka ietekmē sasniedz zināmu līdzsvara ātrumu ( $v$ ). Daļiņu izmērs ietekmē to grimšanas ātrumu. Stoksa likums attiecināms uz sfēriskām daļiņām, tomēr šādas formas daļiņas sastopamas ļoti reti. Analizējot neregulāras formas daļiņas, tās raksturo ar tāda paša materiāla sfēru, kurai piemīt tāds pats izgulsnēšanās ātrums. Šādas neregulāras daļiņas raksturo ar Stoksa diametru jeb ESD (ekvivalents sfērisks diametrs). Suspendētu daļiņu izgulsnēšanās ātrumu nosaka, izmērot šķīdumā palikušo daļiņu koncentrāciju kā funkciju no laika. Koncentrācijas mērījumus SediGraph III 512 veic ar smalku rentgenstaru kūli, nosakot, cik liela daļa starojuma tiek absorbēta suspensijā, salīdzinot to ar absorbciju tīrā šķīdumā. Absorbcija tiek izteikta kā funkcija no cietās fāzes masas koncentrācijas suspensijā noteiktā dziļumā (MIC, 2010). Analīzes rezultātā tiek iegūta līkne, kas attēlo granulometriskā sastāva frakciju sadalījumu masas procentos (Goosens, 2007).

Rentgenstaru absorbcijas granulometrs SediGraph III 512 un tā paraugu sagatavošanas aprīkojums uzstādīts Latvijas Universitātes Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultātes Iežu pētījumu laboratorijā 2012. gada septembrī.

Granulometriskā sastāva analīze ar SediGraph III 512 izvēlēta kā novitāte māla frakciju pētījumos Latvijā, jo līdz šim granulometriskā sastāva noteikšanā plaši izmantota pipetes (Blāķe, 2009) un hidrometra metode (Dūda–Čača, 2011). Paraugu granulometriskā sastāva pētījumi ir nozīmīgi rentgenstaru pulverdifrakcijas (XRD) analīzei, lai noskaidrotu māla daļiņu sadalījumu paraugā. Laika posmā no 2012. gada oktobra līdz 2013. gada martam, veicot granulometriskās analīzes aprobāciju, analizēti 26 paraugi no augšņu profiliem un to cilmiežiem (6.2.1. tabula). Bakalaura darbā izmantoti dati par granulometrisko sastāvu tiem paraugiem, kuriem veikta arī XRD analīze (6.2.1. tabula). Augšņu un to cilmiežu paraugi sagatavoti analīzei, suspendējot 5 g saberzta parauga, kas izsijāts caur 2mm sietu, 80 ml 4% nātrija heksametafosfāta ( $\text{NaPO}_3$ )<sub>6</sub> ūdens šķīdumā, kas kalpo kā dispersijas reaģents, lai novērstu māla daļiņu koagulāciju. Suspensijas sagatavotas vismaz 24 h pirms veiktās analīzes. Analīzes amplitūda 100–0,2  $\mu\text{m}$ , analizējamā materiāla blīvums 2,6  $\text{g cm}^3$ , dispersijas reaģents 4% ( $\text{NaPO}_3$ )<sub>6</sub> ūdens šķīdums. Par iekārtas darbību un analīzes metodiku konsultēja Mg. geol. Konrāds Popovs.

#### **6.4. Mālu frakciju iegūšana un paraugu sagatavošana XRD analīzei**

Mālu frakciju iegūšanai izvēlēti pieejamie paraugi no pieciem dažāda vecuma meža augšņu profiliem, kā arī to lauka darbos iegūtie morēnas cilmiežu paraugi (6.2.1. tabula). Frakcija < 2  $\mu\text{m}$  iegūta no pieciem pētītajiem augsnes profiliem, kopumā 28 paraugiem. < 2  $\mu\text{m}$  frakcija izvēlēta, jo tā reprezentatīvi pārstāv māla minerālus, kas sastopami iežos, kā arī granulometriski atbilst frakcijai, kas tiek atzīta kā mālu frakcija. Frakcija < 2  $\mu\text{m}$  ir labāk

piemērota mālu minerālu struktūru pētījumiem, piemēram, kaolinītam un hlorītam. Iegūstot mālu frakciju, svarīgi sekot līdzi paraugu sedimentācijas gaitai, lai nenotiktu suspendētā materiāla koagulācija (Srodon, 2006). Māla frakcija iegūta Rīgas Tehniskās universitātes Būvniecības fakultātes Inženierģeoloģijas laboratorijā.

#### **Frakcijas < 2 μm iegūšanas darba gaita:**

1. Nosver 25 g gaissausa parauga uz svariem ar precizitāti 0,001 g;
2. Paraugu pārnes 1000 ml vārglāzē;
3. Izmantojot mērkolbu, vārglāzē iepilda 1000 ml destilēta ūdens;
4. Ar ūdensizturīgu flomāsteru uz vārglāzes atzīmē ūdens virsmas līmeni;
5. Paraugu labi uzduļķo ar stikla nūjiņu, iegūstot viendabīgu suspensiju;
6. Ar flomāsteru atzīmē 5 cm no suspensijas virsmas;
7. Parauga suspensijai pievieno 25 ml dispersijas reaģenta –  $(\text{NaPO}_3)_6$  4% ūdens šķīduma, suspensiju uzduļķo (Reeuwijk, 2002) ;
8. Pēc Stoksa formulas atkarībā no nepieciešamās frakcijas aprēķina dekantēšanas laiku:  $v = 2ga^2(d_1 - d_2) / 9\mu$  ( $v$  – daļiņu grimšanas ātrums (m/s);  $g$  – gravitācijas spēka konstante;  $a$  – lodes rādiuss (cm);  $d_1$  – daļiņu blīvums ( $\text{g/cm}^3$ );  $d_2$  – ūdens jeb šķīduma vidējais sedimentācijas blīvums ( $\text{g/cm}^3$ );  $\mu$  – blīvums ( $\text{g/cm}^3$ ));
9. Uz dekantēšanai nepieciešamo laiku, (3 h 52 min) atstāj suspensiju istabas temperatūrā;
10. Pēc noteiktā laika (3 h 52 min) suspensijā ievieto gumijas caurulīti ar stikla uzgali, caur to uzmanīgi, nesaduļķojot suspensiju, līdz iepriekš atzīmētajiem 5 cm, tīrā vārglāzē tiek dekantēta suspensija, kas satur daļiņas < 2 μm;
11. Suspensiju vienmērīgi pilda Petri trauciņos, kurus atstāj žāvēties;
12. Suspensijai izžūstot, paraugs tiek nokasīts un pārņemts iepriekš sagatavotā paraugmaisiņā.

### **6.5. Rentgenstaru pulverdifrakcijas analīze**

Dažādas ģenēzes nogulumiežos un nogulumos galvenokārt ir sastopams tāds ģeoloģiskais materiāls, kas sastāv no minerāliem. Mālu minerāliem piemīt liela strukturāla daudzveidība, tādēļ tos ir grūti identificēt un novērtēt kvantitatīvi (Srodon, 2006). Lai raksturotu mālus un tos saturošos minerālus, tiek izmantotas daudzas analītiskās metodes. Viena no šīm metodēm, rentgenstaru pulverdifrakcija (XRD), ir metode, ko izmanto, lai identificētu minerālus (USGS information, 1997), veiktu to strukturālos pētījumus kā arī kvantitatīvi aprēķinātu to daudzumu.

Rentgenstari ir elektromagnētisks starojums, līdzīgi gaismas stariem, bet ar daudz īsāku viļņa garumu. XRD analīzē to avots ir rentgenstaru lampas, kuru producētos rentgenstarus

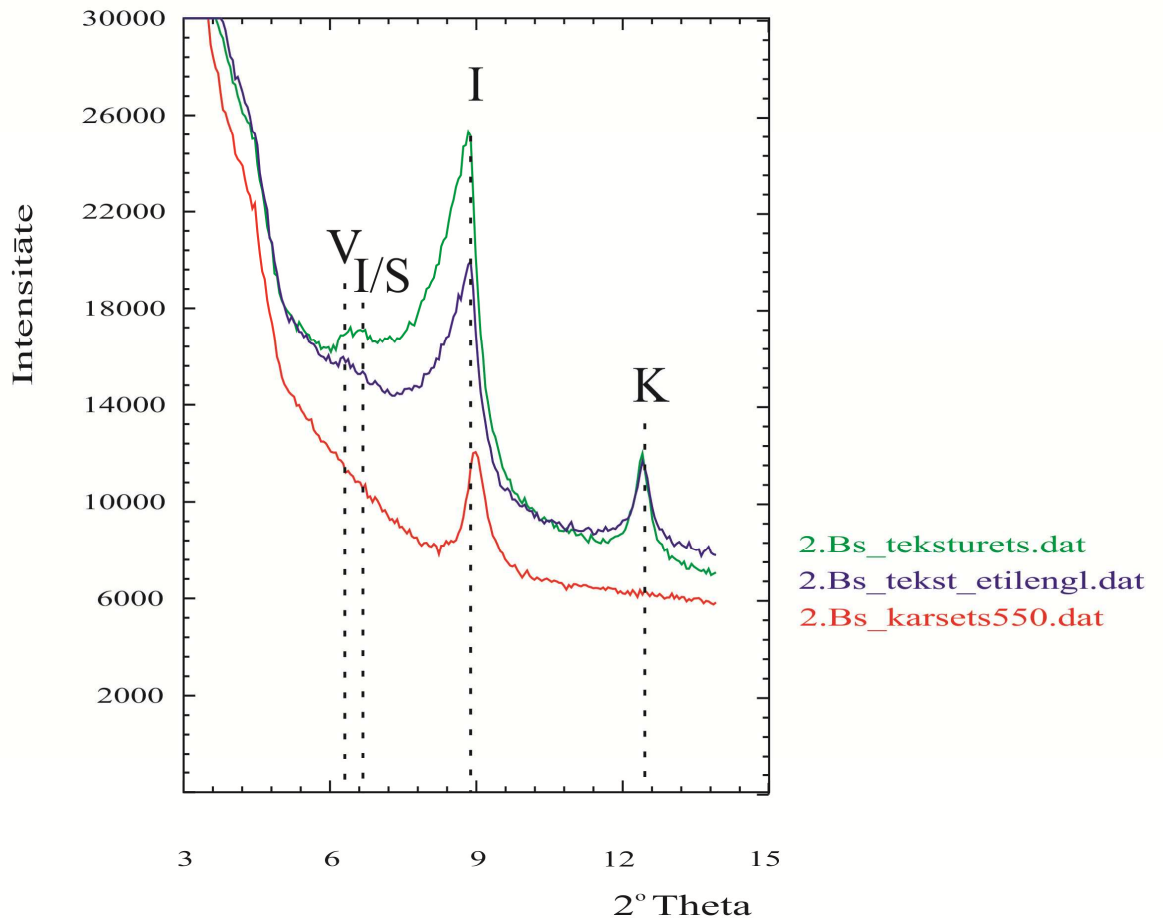
izmanto XRD analīzē. Saskaroties ar kristāliskām vielām, noteiktā virzienā no atomu plaknēm notiek rentgenstaru difrakcija. Saistība, kādā notiek rentgenstaru difrakcija, tiek aprakstīta ar Brega (Brag) vienādojumu. Saskaņā ar to, katrai kristāliskai vielai ir sava tai raksturīga atomu struktūra, tādēļ rentgenstaru difrakcija no atomu plaknēm notiek ar katrai vielai unikālā veidā. Apstarojot kristāliskas vielas, detektors uztver rentgenstaru signālus, tos apstrādā elektroniski, pārvēršot signālu impulsos. Pielietojot Brega (Brag) vienādojumu, ir iespējams izmērīt attālumus starp atomu plaknēm, ko satur apstarotais paraugs. Pareizi interpretējot XRD rezultātus, ir iespējams identificēt apstaroto materiālu, tādēļ reprezentatīvu rezultātu iegūšanai, ļoti svarīga pareiza paraugu sagatavošana analīzes veikšanai. XRD kalpo par ātru un efektīvu metodi minerālu identifikācijai (USGS information, 1997). XRD metodi māla minerālu identifikācijai sāka pielietot ASV, 1920. gadā (Murray, 2007).

Bakalaura darba pētnieciskajā daļā XRD analīzei no kopējā paraugu skaita, mālu minerālu identifikācijai izvēlēti deviņi paraugi no trīs dažāda vecuma meža augšņu profiliem, ņemot vērā analīzes metodes specifiku un paraugu sagatavošanai nepieciešamo laiku (6.2. tabula). Paralēli rentgenogrammas uzņemtas arī visu augšņu profilu nefrakcionētu cilmiežu paraugiem, lai noteiktu to vispārēju minerālo sastāvu, kopumā pieciem paraugiem. Lai veiktu XRD analīzi, izmantots Bruker D8 Discover difraktometrs ar rotējošu paraugu turētāju. LynxEye detektors un vara rentgenstaru lampa ( $\text{CuK}\alpha$  starojums). Uzņemšanas parametri: soļa garums  $0,05^\circ 2\theta$ , ekspozīcijas laiks 2 sekundes. Neteksturēto nefrakcionēto paraugu rentgenogrammas uzņemtas intervālā  $2,5\text{--}70^\circ 2\theta$ , bet teksturēto paraugu rentgenogrammas no  $2,5\text{--}30^\circ 2\theta$ . Teksturēti paraugi piesūcināti ar etilēnglikolu, pēc rentgenogrammu uzņemšanas karsēti 2 stundas  $550^\circ\text{C}$  un rentgenogrammas uzņemtas atkārtoti. Rentgenogrammas uzņemtas Latvijas Universitātes Ķīmijas fakultātes Fizikālās ķīmijas katedrā. Par paraugu sagatavošanas metodiku un difraktometra darbības principiem konsultēja Mg. geol. Daiga Pipira.

## 6.6. Māla minerālu identifikācija pēc XRD datiem

Māla minerālu identifikāciju veic pēc rentgenstaru pulverdifrakcijas analīzē (XRD) iegūtajām rentgenogrammām. Visas no viena parauga iegūtas teksturētas, etilēnglikolētas un  $550^\circ\text{C}$  karsēta parauga rentgenogrammas tiek vizualizētas, izmantojot Winplotr 2006 programmu, vienā attēlā (6.6.1. attēls). Novērtēti fāžu maksimumi rentgenogrammās līdz  $15^\circ 2\theta (2\theta)$ . Katram maksimumam noteikta  $2\theta$  vērtība un programmā Mud Master, kas darbojas MS Excel vidē pēc Brega (Brag) vienādojuma  $n\lambda = 2d \cdot \sin\theta$ , pārvēsta angstrēmos (Å).

Pēc iegūtajām vērtībām, izmantojot māla minerālu identifikācijas diagrammas (USGS flow diagram, 2001) vai tabulas, identificēti māla minerāli.



6.6.1.attēls. Mālu minerālu identifikācijas piemērs pēc teksturētām rentgenogrammām2. augsnes profila Bs horizontam

Apzīmējumi:

I – illīts; I/S–illīts–smektitis; K–kaolinīts, V–vermikulīts

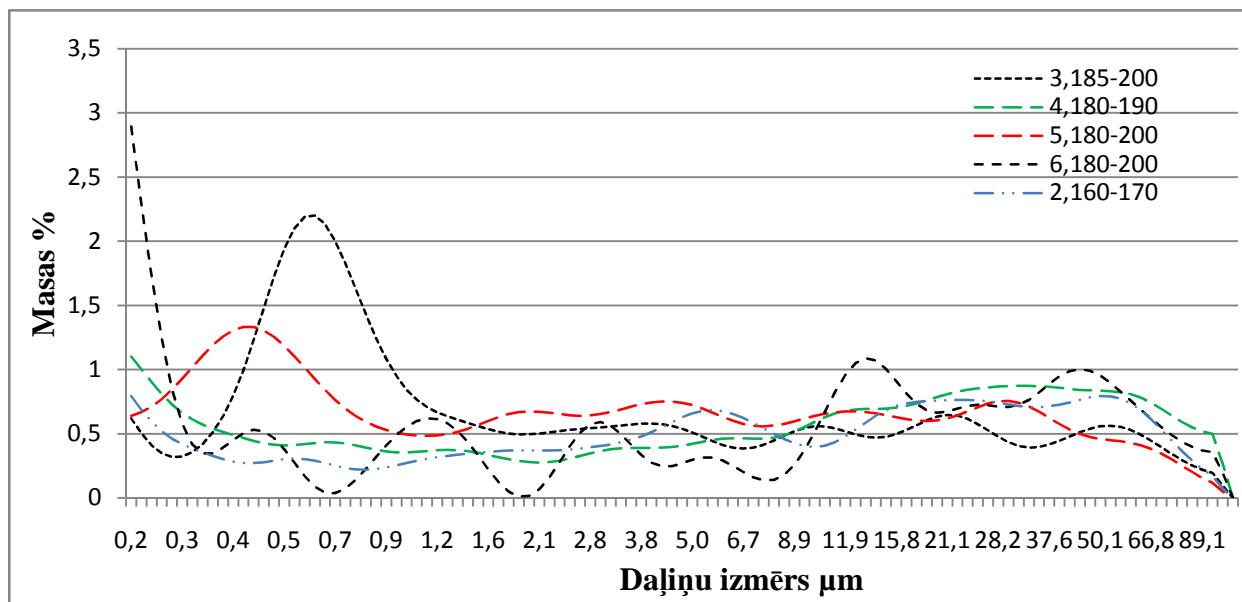
## 6.7. Puskvantitatīvā analīze pēc XRD datiem

Meža augšņu cilmiežu paraugiem veikta puskvantitatīvā analīze, lai noskaidrotu to aptuveno minerālo sastāvu. Programmā Crystallographica Search–Match analizētas nefrakcionētiem morēnas cilmiežiem uzņemtās neteksturētās rentgenogrammas, kuras uzņemtas ar parametriem soļa garums  $0,05^\circ 2\theta$ , ekspozīcijas laiks 2 sekundes, intervālā  $2,5–70^\circ 2\theta$ . Veikta minerālo fāzu identifikācija, noteikts to aptuvenais saturs procentos. Aprēķināts vidējais fāzu saturs morēnas cilmiežī (7.3.1. attēls).

## 7.REZULTĀTI

### 7.1. Granulometriskā sastāva analīzes rezultāti

Meža augšņu morēnas cilmiežiem pielietota granulometriskā analīze, izmantojot Sedigraph III 512. Analīze veikta 0,2–100µm intervālā, lai noskaidrotu smalko frakciju sadalījumu.



7.1.1.attēls.0,2–100 µm frakciju sadalījums morēnas cilmiežu paraugos

Vidējais māla frakcijas < 2µm daudzums cilmiežu paraugos ir 25%. Lielāko daļiņu īpatsvaru paraugos sastāda daļiņas 0,3–1 µm, vidēji 14%. Vislielāko īpatsvaru –29% daļiņas 0,3–1 µm sasniedz 3.185–200 cilmieža paraugā. Savukārt paraugā 4.180–190, vērojams māla frakcijas iztrūkums, jo daļiņas < 2µm sasniedz tikai 18%. Frakcija 0,2–0,3 µm maksimumu – 10% sasniedz paraugā 6.180–190.

### 7.2. Rentgenstaru pulverdifrakcijas (XRD) analīzes rezultāti

Mālu minerālu identifikācija (6.6. apakšnodaļa) < 2 µm frakcijai, izmantojot XRD metodē iegūtās rentgenogrammas, veikta deviņiem paraugiem no dažāda vecuma augšņu profiliem (25, 100, 200 gadu). Analizētajos profilos identificēti sekojoši mālu minerāli: illīts, illīts/illīts–smektīts, illīts/smektitis, vermikulīts, kaolinīts. Visos paraugos konstatēts illīts un arī kaolinīts vai tā identifikācijas pazīmes (7.2.1. tabula). Vermikulīts konstatēts augšņu ģenētiskajos horizontos, bet nav konstatēts cilmiezī. Jaunākajās meža augsnēs vermikulīta pirmais bazālais atstarojums (~14,2 Å) novērots ar zemāku intensitāti, kas norāda uz vermikulīta daudzuma pakāpenisku pieaugumu un augsnes procesu pakāpenisku attīstību laikā.

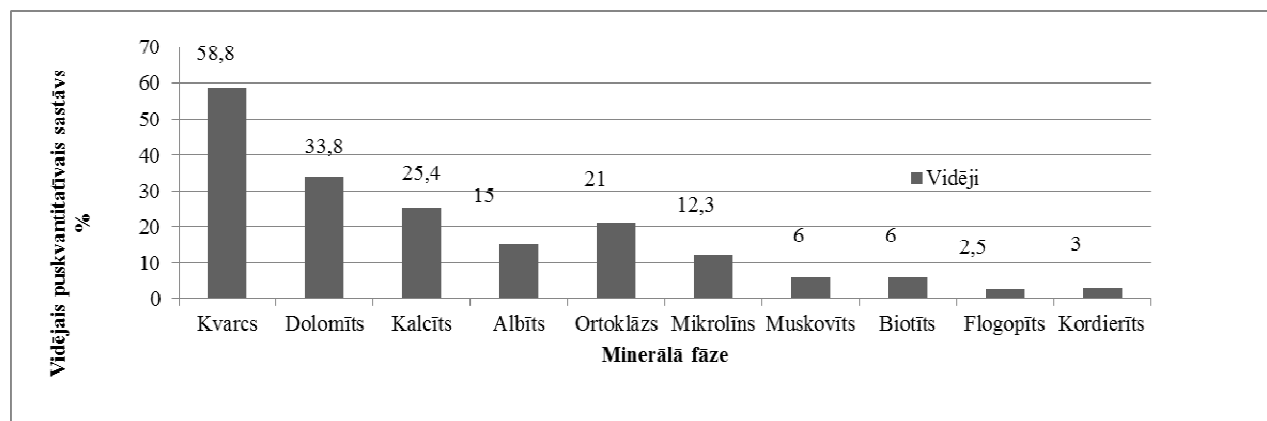
**Mālu minerālu sastopamība augšņu profilos(izstrādājusi autore)**

Paraugs	2.BE	2.Bs	2.160–170	4.BEt	4.Bksg	4.180–190	6.EB	6.Btsg	6.185–200
Dziļums no zemes virsmas cm	23–39	74–104	160–170	40–57	108–120	180–190	35–41	70–90	185–200
Illīts	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Illīts/illīts–smektīts	x			x	x		x	x	x
Illīts–Smektīts	x			x	x		x		
Vermikulīts	x			x	x		x	x	
Kaolinīts	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Ar zilu krāsu tabulā apzīmētas diagnosticētas minerālu pazīmes.

**7.3. Puskvantitatīvās analīzes rezultāti**

Morēnas cilmieža minerālā sastāva noskaidrošanai pielietota puskvantitatīvā analīze, izmantojot datorprogrammu Crystallographica Search–Match (Crystallographica, [S.a.]).

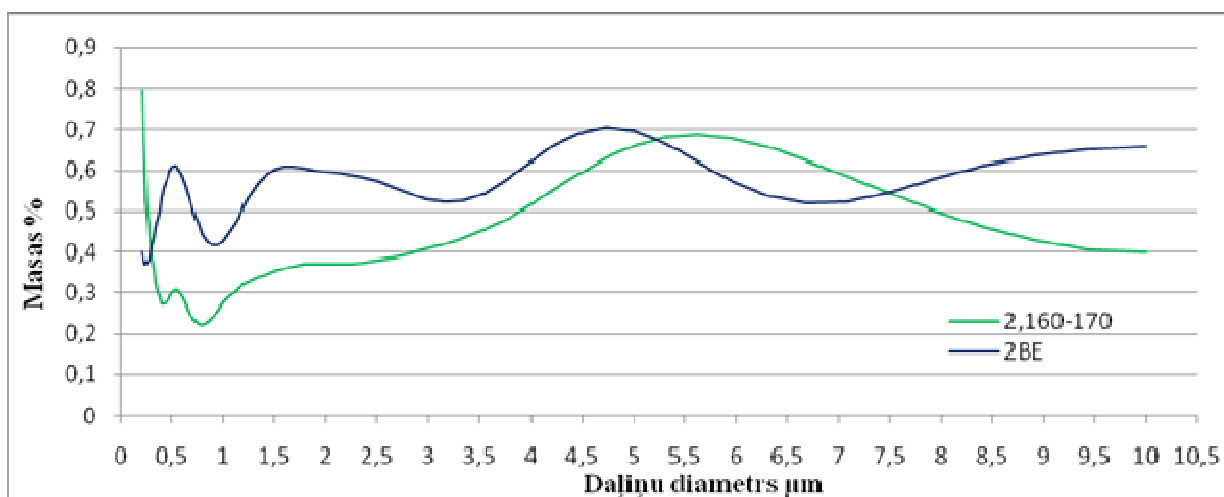
**7.3.1.attēls. Morēnas cilmiežu minerālais raksturojums pēc puskvantitatīvās analīzes datiem**

Morēnas cilmiezī dominējošais minerāls ir kvarcs (vidēji 58,8%) (7.3.1. attēls), kam seko karbonātu klases minerāli –dolomīts (33,8%) un kalcīts (25,4%). Morēnas cilmiezī plaši satopami silikātu klases minerāli – laukšpatu grupas minerāli (albīts, ortoklāzs, mikrolīns), vizlu grupas minerāli (muskovīts, biotīts, flogopīts, kordierīts).

## 8. DISKUSIJA

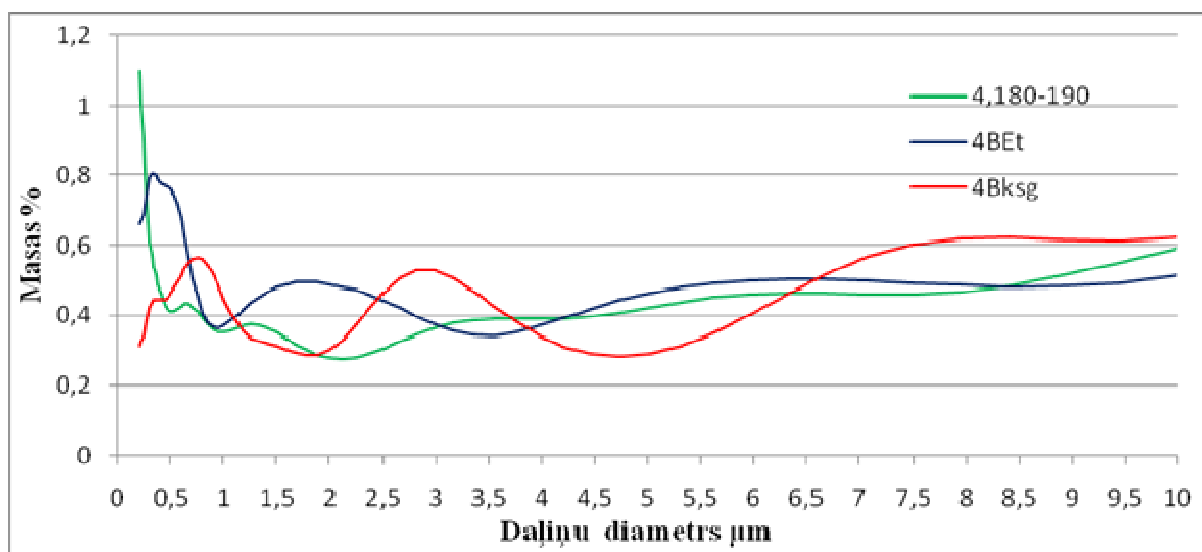
Lauka un laboratorijas pētījumi, kā arī literatūras studijas apstiprina mālu minerālu nozīmi augšņu veidošanās procesos uz morēnas cilmieža. Pētījumi apstiprina podzolēšanās procesa ietekmi uz mālu minerālu veidošanos un mālu daļiņu migrāciju augsnes profilā. Veicot, rentgenstaru pulverdifrakcijas analīzes rezultātu interpretāciju, var secināt, ka mālu minerālu izplatība analizētajos meža augšņu profilos nav viendabīga. Meža augsnēs ir izplatīts māla minerāls vermikulīts, kurš identificēts pētītajos augšņu profilos. Tā izcelsme skaidrojama ar izmaiņām, kas notiek vizlu, illīta grupas minerāliem. transformējoties skābos augsnes apstākļos (Meunier, Velde, 2004). Veicot puskvantitatīvo analīzi, pierādīta vizlu grupas minerālu sastopamība morēnas cilmiezī, kā arī rentgenstaru pulverdifrakcijas rezultātos identificēti illīta grupas mālu minerāli. Pētītie augsnes profili ierīkoti vērī, tādējādi skuju koku veģetācija pastiprinājusi augsnes skābos apstākļus, veicinājusi podzolēšanās procesu. Vermikulīta veidošanos augsnes apstākļos, apstiprina tā iztrūkums cilmiezī.

Paraugu granulometriskā sastāva analīzes rezultāti rāda nevienlīdzīgu mālu frakciju daudzuma sadalījumu starp augšņu pamathorizontiem un morēnas cilmiezi. Frakcija 0,2–10µm izvēlēta, lai attēlotu iespējamo daļiņu iztrūkumu BE horizontā, tomēr mālu frakcija < 2µm BE horizontā 25 gadus vecā meža augsnē (8.1. attēls) sastāda 20%. Tas liecina, par podzolēšanās procesa attīstības sākumu, tādēļ, ņemot vērā augsnes vecumu, E horizonts augsnes profilā pilnībā vēl nav izveidojies, bet mālu daļiņas podzolēšanās un lesivēšanās procesa ietekmē augsnes profilā migrē virzienā uz leju. Morēnas cilmiezī vērojams mālu daļiņu iztrūkums, tā sastāda 13%, kas liecina par morēnas granulometriskā sastāva nevienmērību .



8.1.attēls. 0,2–10µm frakciju sadalījums morēnas cilmiezī un BE horizontā 25 gadus vecā meža augsnē

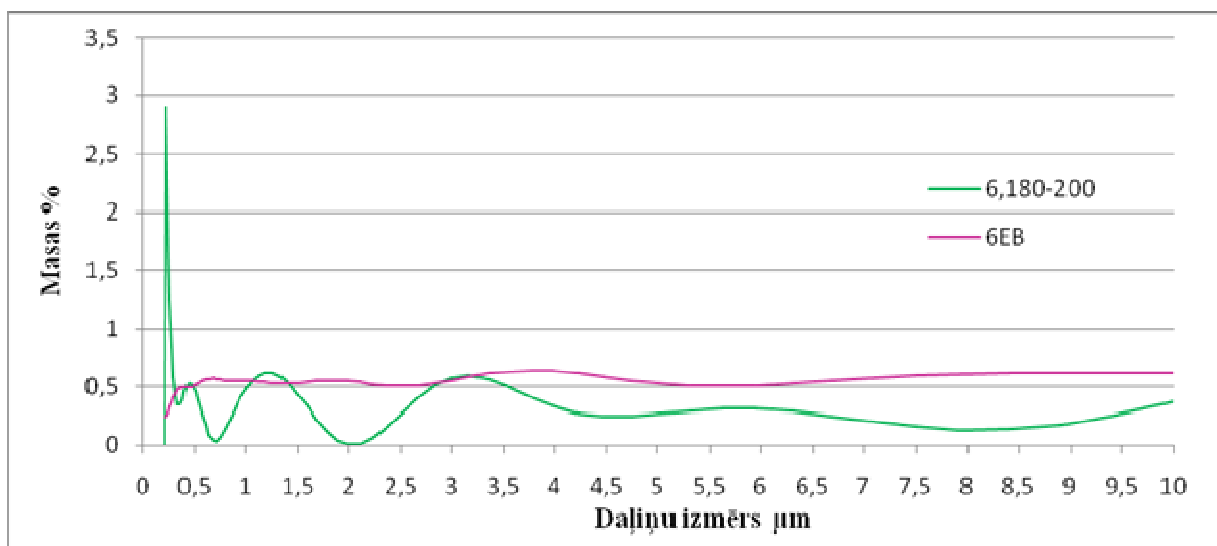
BE horizonts – pārejas horizonts, iluviālais jeb ieskalošanās horizonts, kam raksturīga māla daļiņu, organisko vielu, Fe savienojumu akumulācija, ar eluviālā jeb izskalošanās horizonta pazīmēm (no B horizonta atšķiras ar rupjāku granulometrisko sastāvu) (Nikodemus *et al.*, 2008).



8.2. attēls. 0,2–10µm frakciju sadalījums morēnas cilmiezī un BEt, Bksg horizontā 100 gadus vecā augsnē

BEt horizonts ir pārejas horizonts, iluviālais jeb ieskalošanās horizonts, kam raksturīga māla daļiņu, organisko vielu, Fe savienojumu akumulācija, ar eluviālā jeb izskalošanās horizonta pazīmēm. Indekss *t*, liecina, ka horizontam raksturīga māla daļiņu akumulācija (Nikodemus *et al.*, 2008). Mālu frakcija < 2µm šajā horizontā ir 23%, salīdzinoši augstāka nekā Bksg horizontā – 16%, kas liecina par mālu daļiņu akumulāciju šajā horizontā podzolēšanās procesa ietekmē (8.2. attēls).

Bksg horizonts – iluviālais jeb ieskalošanās ar *K*-karbonātu sekundāras akumulācijas, *s* – trīsvērtīgo elementu oksīdu iluviāla akumulācijas, *g* – glejošanās pazīmēm. Sastopams daļiņu iztrūkums 1,2–2 µm, kas liecina par podzolēšanās procesa pakāpenisku attīstību, kura rezultātā mālu daļiņas vēl nav ieskalojušās un akumulējušās zemāk esošajos horizontos. Māla frakcija morēnas cilmiezī paraugā 4.180–190. ir 19%, salīdzinoši augstāka nekā Bksg horizontā un zemāka nekā BEt horizontā.

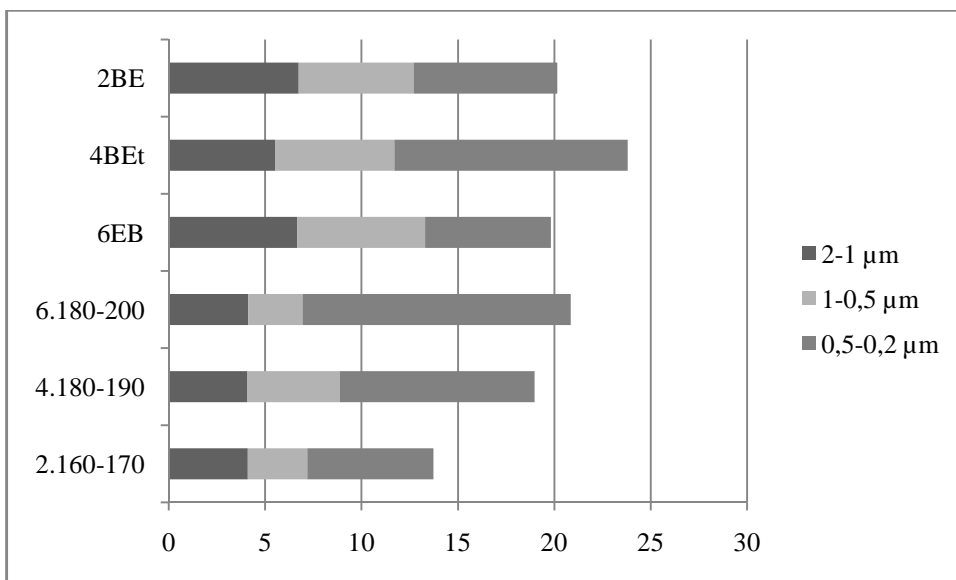


**8.3.attēls. 0,2–10μm frakciju sadalījums morēnas cilmiezī un EB horizontā 200 gadus vecā augsnē**

EB horizonts – pārejas horizonts, eluviālais jeb izskalošanās horizonts ar iluviālā jeb ieskalošanās horizonta pazīmēm (Nikodemus *et al.*, 2008). Mālu frakcijas < 2μm saturs 20%, ļoti vienmērīgs, nav dominējošā daļiņu izmēra. EB horizonta frakciju sadalījums liecina par daļiņu vienmērīgu izskalošanos, ilgstoša podzolēšanās procesa iedarbībā, kas saistāms ar augsnes vecumu – 200 gadiem.

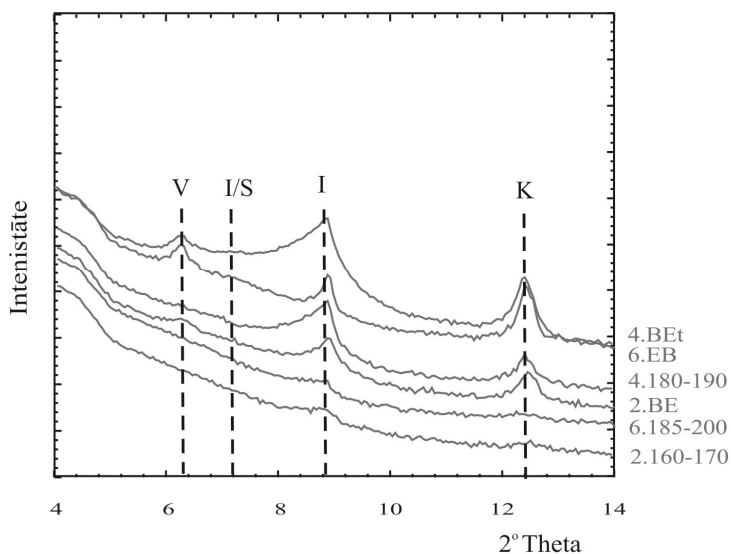
Morēnas cilmieža paraugā 6.180–200 mālu frakcijas saturs ir 20%, dominējošais daļiņu izmērs 0,7–2μm. Izceļas 0,2–0,4 μm frakcija, kuras saturs ir 12%.

Rentgenstaru pulverdifrakcijas analīze pētījumu gaitā atzīta par piemērotu metodi mālu minerālu pētījumiem, tomēr augstvērtīgu un droši interpretējamu mālaino nogulumu rentgenstaru pulverdifrakcijas datu ieguve ir atkarīga no vairākiem faktoriem (6.4. apakšnodaļa) – precīzas mālu frakcijas iegūšanas, paraugu sagatavošanas, XRD uzņemšanas parametru izvēles un interpretācijas. Tomēr iegūtie rezultāti liecina, ka iegūto rentgenogrammu datu izšķirtspēju var ietekmēt arī mālu frakciju sadalījums paraugā (8.4. attēls).



8.4.attēls. Mālu frakcijas granulometriskā sastāva neviendabīgums paraugos no morēnas cilmieža (6.180–200, 4.180–190, 2.160–170) un augsnes profilu horizontiem (2BE, 4BEt, 6EB)

Iegūtie rezultāti liecina, ka paraugos, kuros smalkā mālu frakcija (0,5–0,2μm) sastāda 50% vai vairāk no frakcijas < 2 μm, paraugu izšķirtspēja ar izmantotajiem XRD parametriem samazinās (8.2. attēls). To ietekmē mālu minerālu zemā kristalizācijas pakāpe, dominējošo kristalītu izmēri, kas ir zem < 1 μm (Reynolds, 1997). Līdz ar to analizējot mālu frakcijas, izmantojot XRD metodi, ir svarīgi ne tikai paraugus precīzi sagatavot, bet arī ņemt vērā paraugu granulometrisku sastāvu precīzai XRD parametru izvēlei. Iegūtie rezultāti liecina, ka mālu frakcija 0,5–0,2 μm virs 50% galvenokārt ir novērojama cilmiežu paraugos, kas ir vērtējams kā viens no faktoriem, kuri noteica šo paraugu rentgendifrakcijas ainu zemo kvalitāti.



8.5.attēls. Izšķirtspējas salīdzinājums augšņu ģenētiskajos horizontu un cilmiežu rentgenogrammās

Apzīmējumi: V–vermikulīts, I/S–illīts–smektīts, I–illīts, K–kaolinīts

Mālu frakcija (0,5–0,2 $\mu$ m) 4. augsnes profila BEt horizontā un cilmieža paraugā ir <50% (8.1. attēls), tāpēc šiem paraugiem rentgenogrammās vērojama laba izšķirtspēja.

Sīkdisperso (< 0,5  $\mu$ m) mālu dominante morēnas cilmiežu paraugos, domājams, skaidrojama ar illīta mālu minerālu grupas augsto saturu (Murray, 2007), tomēr šādam apgalvojumam ir nepieciešami papildus pētījumi, veicot paraugu kvantitatīvo analīzi (8.5. attēls).

## SECINĀJUMI

Pētījums par māla minerālu ģenēzi augsnēs uz morēnas cilmiežiem Spinduļu mežā ļāva iegūt vairākus secinājumus:

1. Interpretējot rentgenstaru pulverdifrakcijas rezultātus, var secināt, ka mālu minerālu izplatība pētītajos augsnes profilos nav viendabīga.
2. Velēnpodzolētās augsnēs dominējošais podzolēšanās process ietekmē mālu minerālu izplatību un mainību meža augšņu profilos.
3. Vermikulīta daudzuma samazinājums 25 gadus vecā meža augsnē un tā pakāpenisks pieaugums vecākās meža augsnēs norāda uz augsnes procesu secīgu attīstību laikā.
4. Vermikulīta izcelsme augšņu profilos ir autigēna un skaidrojama ar dēdēšanas un minerālu transformācijas procesu norisi augsnēs, ko arī apstiprina tā iztrūkums morēnas cilmiezī.
5. Granulometriskā sastāva analīze, jo īpaši smalkajām mālu frakcijām, ir svarīga mālu minerālu pētījumos. Granulometriskā sastāva rezultātu interpretācija sekmē pareizu XRD uzņemšanas parametru izvēli un augstvērtīgu rentgenstaru pulverdifrakcijas datu iegūvi arī paraugiem ar smalko mālu frakciju dominanti.

## PATEICĪBAS

Darba autore izsaka lielu pateicību un atbalstu pētījuma veikšanā un izstrādē darba vadītājai Dr. ģeol., Ilzei Vircavai, ģimenei un draugiem par atbalstu darba izstrādes laikā. Paldies Raimondam Kasparinskim un Imantam Kukuļam par palīdzību apzināt pētījumā izmantoto augšņu profilu materiālu. Autore izsaka pateicību Mārtiņam Lūkinam par atbalstu lauka darbu veikšanā „Ozoliņu” teritorijā. Paldies Latvijas Universitātes Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultātes mācībspēkiem par konsultācijām darba tapšanas gaitā.

## IZMANTOTĀ LITERATŪRA UN AVOTI

### Publicētā

1. Bambergs, K. 1993. *Ģeoloģija un hidroģeoloģija*. Rīga, Zvaigzne.
2. Bambergs, K. 1996. *Izplatītākais Latvijas augšņu cilmiežis – morēna*. Latvijas Lauksaimniecības universitātes Raksti Nr.3.
3. Brangulis, A., J., Juškevičs, V., Kondratjeva, S., Gavena, I., Pomerancva, R. 2000. *Latvijas ģeoloģiskā karte. Mērogs 1:200000. 43. lapa-Rīga, 53. lapa-Ainaži. Paskaidrojuma teksts un kartes*. Rīga, Vides aizsardzības un reģionālās attīstības ministrija, Valsts ģeoloģijas dienests.
4. Caner, L., Hubert, F., Moni, C., Chenu, C. 2010. *Impact of clay mineralogy on stabilisation of organic matter in the clay fraction of a Neo-Luvisol and a Cambisol*. Université de Poitiers. Poitiers cedex, France.
5. Danilans, I. 1961. *Kvartāra periods un tā nogulumu Latvijā*. Rīga, Latvijas Valsts izdevniecība.
6. Danilans, I. 1973. *Četvertichnye otlozheniya Latvii*. Zinatne, Rīga.
7. Dixon, J., B. 1998. Roles of clay and oxide minerals in Soils. In: Parker, A., Rae, J., E. (eds.) *Environmental interactions of clays*. United Kingdom, Springer, 37-53.
8. Goosens, D. 2007. *Techniques to measure grain-size distributions of loamy sediments: a comparative study of ten instruments for wet analysis*. *Sedimentology. The journal of the International Association of Sedimentologists*. Volume 55, (1), 65-96.
9. Kasparinskis, R. 2012. *Latvijas meža augšņu daudzveidība un to ietekmējošie faktori*. Rīga, LU Akadēmiskais apgāds.
10. Kārklīšs, A., Gemste, I., Mežals, H., Nikodemus, O., Skujāns, R. 2009. *Latvijas augšņu noteicējs*. (A. Kārklīša redakcija). Jelgava, Latvijas Lauksaimniecības universitāte.
11. Kārklīšs, A. 2008. *Augsnes diagnostika un apraksts*. Jelgava, Latvijas Lauksaimniecības universitāte.
12. Kehew, A, E. 1988. *General geology for engineers*. New Jersey, Prentice Hall.
13. Kuršs, V., Stinkule, A. 1972. *Māli Latvijas zemes dzīlēs un rūpniecībā*. Rīga, Liesma.
14. Lūkins M., Nikodemus O. 2011. *Meža masīva struktūras maiņa 20. gs. pauguraines ainavā Vidzemē*. Latvijas Universitātes raksti, 762. sējums.
15. Meunier, A., Velde, B. 2004. *Illite*. Springer-Verlag, Berlin.
16. Meunier, A. 2005. *Clays*. Springer-Verlag, Berlin.
17. Mežals, G. Meža augsnes. Grām.: Brambergs, K., Freivalds, V., Mežals, G., Skujāns, R. 1970. *Augsnes zinātne un Latvijas PSR Augsnes*. Rīga, Zvaigzne, 407.-415.
18. MIC. 2010. *SediGraph III 5120. Operator's Manual. VI.04*. Norcross, GA, Micrometrics Instrument Corporation.
19. Murray, H., H. 2007. *Applied clay mineralogy*. Bloomington, Elsevier, *Developments in Clay Science*.
20. Nikodemus, O., Kārklīšs, A., Kļaviņš, M., Melecis, V. 2008. *Augsnes ilgtspējīga izmantošana un aizsardzība*. Rīga, LU Akadēmiskais apgāds.
21. Reeuwijk, L., P. 2002. *Procedures for soil analysis*. Wageningen, International Soil Reference and Information Centre.
22. Sedmalis U., Šperberga, I. 2005. *Mineraloģija*. Rīga, RTU izdevniecība.
23. Srodon, J., 2006. Identification and quantitative analysis of clay minerals. In: Bergaya, F., Theng, B., K., G., Lagaly, G. (eds.) *Handbook of clay science*. United Kingdom, Elsevier, 765-788.
24. Stablovs, R. 1974. *Augsnes erozija Latvijas PSR*. Rīga, Zinātne.
25. Zelčs., V., Markots, A. 2004. Deglaciation history of Latvia. In: Ehlers, J., Gibbard, P. (eds) *Quaternary Glaciations – Extend and Chronology*.

## **Nepublicētā**

1. Blāķe, D., 2009. Devona nogulumiežu slāņkopas uzbūves īpatnības un slāņojumadeformācijas Liepas māla atradnē: bakalaura darbs. Rīga, LU Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte, Latvijas Universitāte
2. Dūda–Čača, U., 2011. Kaudzīšu noslīdeņa ģeoloģiskā uzbūve Siguldā: bakalaura darbs. Rīga, LU Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte, Latvijas Universitāte

## **Interneta resursi**

1. USGS information handout. 1997. X-Ray Powder Diffraction Sk. 20.01.2013. Pieejams <http://pubs.usgs.gov/info/diffraction/html/index.html> Atsauce tekstā (USGS information, 1997).
2. USGS. 2001. A Laboratory Manual for X-Ray Powder Diffraction. Clay mineral identification flow diagram. Sk. 19.04.2013. Pieejams <http://pubs.usgs.gov/of/2001/of01041/html/docs/flow/index.htm> Atsauce tekstā (USGS flow diagram, 2001).
3. Crystallographica. Software for research, teaching and powder pattern analysis. [S.a.]. Sk. 22.04.2013. Pieejams <http://www.oxcryo.com/software/crystallographica> Atsauce tekstā (Crystallographica, [S.a.]

## **Arhīva materiāli**

1. Ulgis, M., J., Ginters, G., A., Aleksans O., J. 1981. *Otchet o komplekcnoy gidrogeologcheskoy i inzeherno geologicheckoy cemke so semkoy chetvertichnih otlozheniiyn masstaba 1:50000 dla cheley meliorativnogo stroitelstva na vidzemckoy vozdvimennosti*. Rīga, Valsts ģeoloģijas fonds.

## **Kartogrāfiskais materiāls**

1. Juškevics, V., Skrebels, J. 2002. *Kvartāra nogulumu mērogā 1:200 000*. Rīga, Valsts ģeoloģijas dienests