

LATVIJAS UNIVERSITĀTE
ĢEOGRĀFIJAS UN ZEMES ZINĀTŅU FAKULTĀTE
ĢEOLOĢIJAS NODAĻA

**SAKŅU STRUKTŪRAS UN TO IZPLATĪBA LODES SVĪTAS ĢEOLOĢISKAJĀ
GRIEZUMĀ LIEPAS MĀLA ATRADNĒ
BAKALAURA DARBS**

Autors: Gunita Lagzdiņa
Stud. apl. g115011
Darba vadītājs: Ģirts Stinkulis
Dr. ģeol., asoc. prof.

RĪGA 2018

ANOTĀCIJA

Bakalaura darbā ir raksturota vidējā devona Lodes svītas 4 ģeoloģisko griezumu uzbūve un nogulumu granulometriskais sastāvs, kā arī tajos sastopamās sakņu struktūras. Pētījums ir aktuāls, jo Lodes svītas nogulumu veidošanās apstākļi joprojām ir neskaidri un pētījums ļauj precizēt sedimentācijas vidi. Darbā ir aprakstītas slāņkopu uzbūves īpatnības, interpretēti nogulumu veidošanās apstākļi un dokumentēta sakņu struktūru atrašanās vieta ģeoloģiskajos griezumos. Pētījumā secināts, ka subvertikālās, zarotās struktūras ir vidējā devona augu saknes vai sēņu rizomorfas un to struktūras aptverošo nogulumu sedimentācija ir notikusi deltas ezeriņos vai deltas kanālos.

Raksturvārdi: sedimentācijas apstākļi, devons, sedimentoloģija, paleobotānika, granulometriskā analīze

ANNOTATION

Bachelor's thesis includes analysis of four geological sections of the Middle Devonian Lode Formation deposits to study their structure, grain-size distribution as well as possible root structures. Novelty of the research lies in the fact that the sedimentary environment of deposits of the Lode Formation are still unclear and the research gives a better insight in this problem. Geological structure of studied deposits has been described, author has given an interpretation of depositional environments, and root structure's placement in sections has been documented. It has been concluded that the subvertical, branched structures are the Middle Devonian plant roots or fungi rhizomorphs, and they have developed in deposits formed in delta lakes or channels.

Key-words: sedimentation environment, Devonian, sedimentology, paleobotany, grain size distribution.

SATURA RĀDĪTĀJS

ANOTĀCIJA	2
ANNOTATION	3
IEVADS	5
1. LITERATŪRAS APSKATS.....	6
1.1. Liepas māla atradne un tās ģeoloģiskā uzbūve.....	6
1.2. Lodes svītas nogulumi Latvijā.....	7
1.3. Augu evolūcija agrajā un vidējā devonā	11
1.4. Klimatiskie apstākļi Baltijas paleokontinentā vidējā un vēlajā devonā	14
2. MATERIĀLI UN METODES	17
2.1. Lauka darbi.....	17
2.2. Laboratorijas darbi	21
2.3. Kamerālie darbi.....	23
3. REZULTĀTI.....	24
3.1. Ģeoloģisko griezumu uzbūve un iespējamo sakņu struktūru izplatība	24
3.2. Iespējamo sakņu veidojumu raksturojums	34
3.3. Granulometriskās analīzes rezultāti	38
3.4. Nogulumos konstatētie ieslēgumi	45
3.5. Sedimentācijas apstākļi un to izmaiņas	47
3.6. Sinklināla struktūra Lodes svītas mālainajos nogulumos	49
DISKUSIJA	52
SECINĀJUMI.....	54
LITERATŪRAS SARAKSTS	55
PIELIKUMS	60

IEVADS

Liepas māla atradnē sastopamajos vidējā devona Lodes svītas nogulumos pārsvarā ir pētītas zivju fosīlijas, nedaudz arī ir veikti pētījumi par augu atliekām, kā arī ir bijuši vairāki sedimentoloģiska rakstura darbi, taču iespējamo sakņu struktūru veidojumi ir pamanīti salīdzinoši nesen un detalizēti nav tikuši analizēti. Pastāv dažādi viedokļi par Lodes svītas nogulumu veidošanās apstākļiem, un sakņu struktūru esamība šajos nogulumos ļauj precizēt sedimentācijas vidi. Tādēļ sakņu struktūru detalizēti pētījumi un identifikācija ir būtiska kopējā Lodes svītas nogulumu sedimentācijas vides rekonstrukcijā.

Bakalaura darba mērķis ir noskaidrot Lodes svītas mālainajos nogulumos sastopamo subvertikālo struktūru izcelsmi un saistību ar nogulu uzkrāšanās apstākļu izmaiņām.

Mērķa sasniegšanai ir izvirzīti un tiek īstenoti šādi darba uzdevumi:

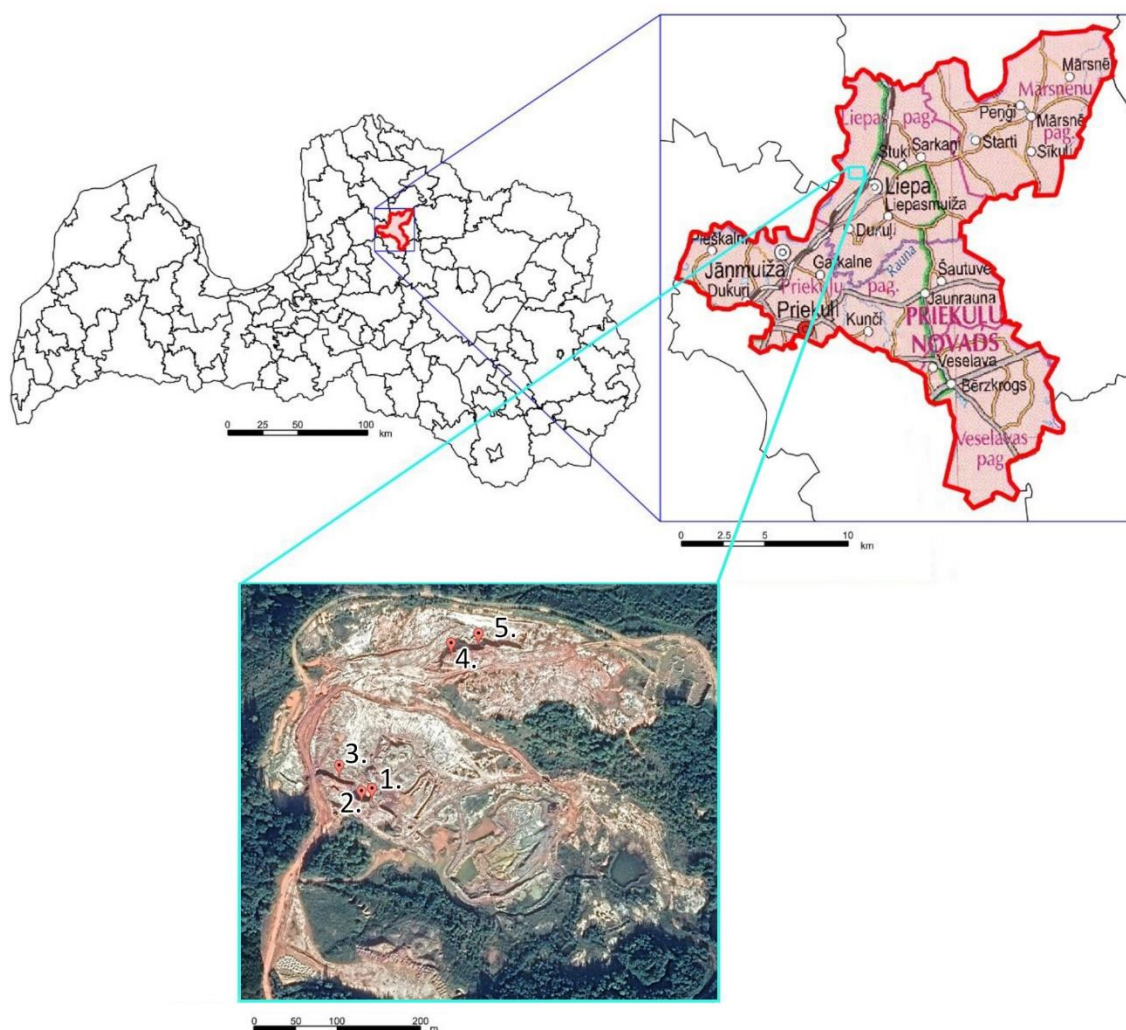
- lauka darbu gaitā noskaidrot iespējamo sakņu struktūru saguluma apstākļus un izveidot šīs struktūras saturošo nogulumu ģeoloģiskos griezumus;
- noskaidrot granulometrisko un ķīmisko sastāvu sakņu struktūras saturošajiem un apkārtējiem nogulumiem;
- noskaidrot iespējamo sakņu struktūru izvietojumu attiecībā pret Lodes svītas nogulumu sedimentoloģiskām pazīmēm;
- salīdzināt un interpretēt iegūtos datus.

Bakalaura darba projekts sastāv no 3 nodaļām un apakšnodaļām, ievada, diskusijas, secinājumiem, literatūras saraksta un uzskates materiāliem – 28 attēliem, 7 tabulām un 41 pielikuma. Pirmajā nodaļā ir apkopoti dati par Liepas māla atradnes ģeoloģisko uzbūvi un Lodes svītas nogulumiem, kā arī augu un to sakņu attīstību devona periodā, kā arī klimatiskajiem apstākļiem Baltijas kontinentā vidējā un vēlajā devonā. Otrā nodaļa ir veltīta lauka darbu un laboratorijas darbu pētījumu metodēm, trešajā ir apkopoti rezultāti – ģeoloģisko griezumu uzbūve un iespējamo sakņu struktūru izplatība, iespējamo sakņu veidojumu raksturojums, granulometriskās analīzes rezultāti, nogulumos konstatētie ieslēgumi, sedimentācijas apstākļi un to izmaiņas un sinklināla struktūra Lodes svītas mālainajos nogulumos.

1. LITERATŪRAS APSKATS

1.1. Liepas māla atradne un tās ģeoloģiskā uzbūve

Šobrīd Latvijā tiek izstrādātas tikai dažas māla atradnes un viena no tām ir Liepas (Lodes) devona māla atradne, kas atrodas Priekulu novadā, Liepas pagastā (1.1. attēls). Liepas māla atradne tika atklāta jau 1953. gadā, taču rūpnieciska mēroga mālu ieguve drenu cauruļu ražošanai sākās pēc desmit gadiem, vēl pēc pieciem gadiem tika uzsākta māla ķieģeļu ražošana ("Lode", 1985).



1.1. attēls. Liepas māla atradnes un atsegumu atrašanās vieta Latvijas kartē. Ar oranžajiem marķieriem atzīmētas atsegumu atrašanās vietas un to numuri (izstrādājusi autore, izmantojot LU ĢZZF WMS sistēmas rastra pamatni un LR administratīvā iedalījuma karti (Novadu karte 2009), kā arī Google Earth 2017 satelītattēlu).

Liepas māla atradnes derīga slāņkopa pēc ģeoloģiskā vecuma pieder vidējā devona augšējai daļai, Gaujas reģionālajam stāvam, Lodes svītai. Derīgo slāņkopu veido dažāda granulometriskā sastāva nogulumu mija – smilšakmeņi mijas ar aleirolītiem, mālainiem aleirolītiem, aleirītiskiem māliem un sīkdispersiem (trekniem) māliem. Kvartārsegas biezums Lodes atradnē ir mainīgs un variē no 5 līdz 6,6 m (Stinkule, Upeniece 1995; Juškevičs 1999). Pamatieži iegūļ tuvu Zemes virspusei.

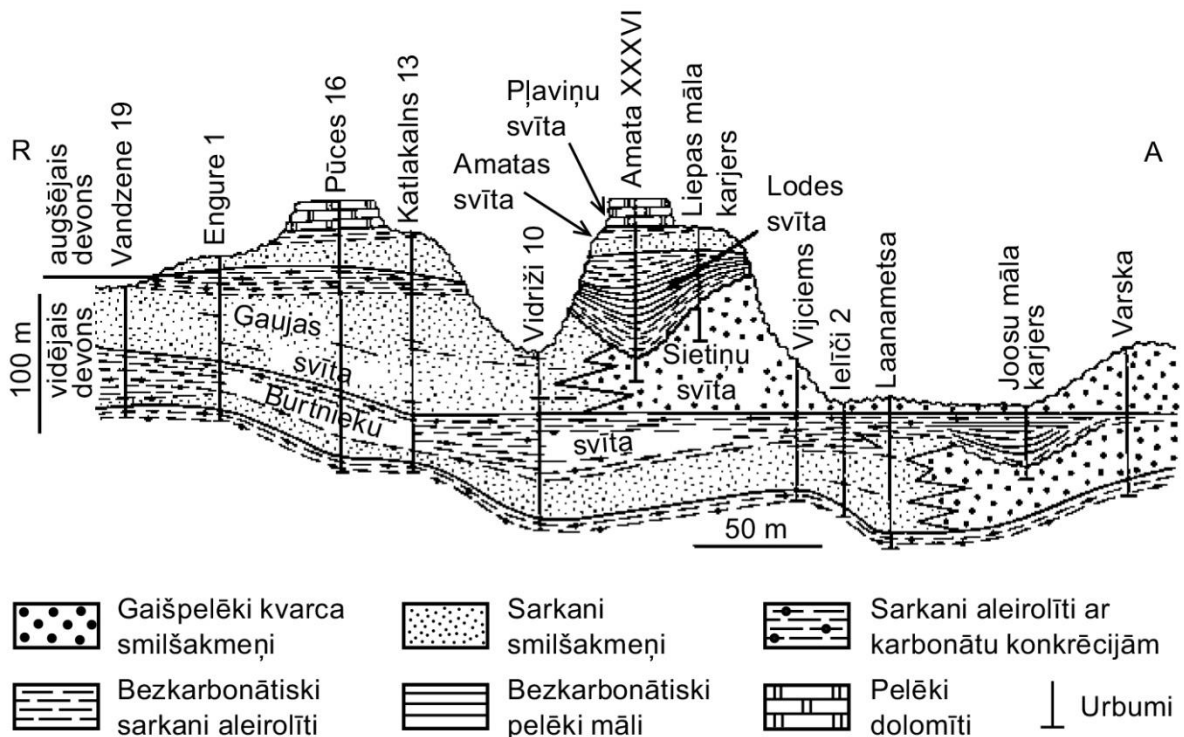
Zem Lodes svītas nogulumiem atrodas vidējā devona Gaujas reģionālā stāva Sietiņu svītas smilšakmeņi. Liepas māla atradne ir sarežģīts ģeoloģisks objekts, jo mālu saguluma apstākļus ietekmē noslīdeņu veidojumi, kas radušies devona periodā (Куршс 1992). Papildus tam, mālus ietekmē pleistocēna glacioidislokācijas, kuras tika novērotas arī autores veikto lauka darbu laikā.

Liepas māla atradne daudzkārt ir radījusi un joprojām raisa interesi gan tās neparastās ģeoloģiskās uzbūves, gan arī atrodamo fosīliju dēļ.

1.2. Lodes svītas nogulumi Latvijā

Lodes svīta sākotnēji tika pieskaitīta augšējā devona Franas stāvam (Куршс 1975), taču jaunākie pētījumi ļauj secināt, ka Gaujas reģionālā stāva nogulumi ir veidojušies jau agrāk – vidējā devona Živetas laikmeta beigās. Galvenajā devona laukā sastopamie Gaujas un tos pārsedzošie Amatas reģionālā stāva nogulumieži ir terigēni veidojumi un tie nesatur konodontus, kas ļautu labi pamatot pašu nogulumiežu ģeoloģisko vecumu. Tomēr Gaujas reģionālā stāva nogulumiežos sastop bruņuzivju *Asterolepis ornata* fosīlijas, kuras, visticamāk, ir korelējamas ar Živetas stāvam atbilstošo *Lowermost asymmetricus* zonu (Ivanov, Lukševičs 1996; citēts: Stinkulis u.c. 2011). Šo pieņēmumu apstiprina arī A. Jurina un M. Raskatova, kuras ir veikušas miosporu pētījumus Liepas māla atradnē (Jurina, Raskatova 2012).

Lodes svītas nogulumi Latvijā atbilst Gaujas reģionālā stāva augšdaļai (1.2. attēls) un pārsvarā sastāv no bezkarbonātiskiem aleirolītiem, kuros ir atrodamas sīkdispersu mālu lēcas. Lodes svītas nogulumu biezums ir mainīgs, maksimālais biezums sasniedz 104 m, bet vidējais biezums ir apmēram 30 m.



1.2. attēls. Vidējā un augšējā devona robežslāņkopas ģeoloģiskais griezumus rietumu–austrumu virzienā Latvijā un Igaunijas dienvidos (Stinkule, Stinkulis 2017 pēc V. Kurša 1992 datiem).

Pastāv vairāki viedokļi par Lodes svītas nogulumu veidošanās apstākļiem. Visizplatītākais, jau ilgi aktuālais viedoklis ir, ka Liepas māla atradnē sastopamie Lodes svītas nogulumi ir veidojušies deltu zemūdens nogāžu apstākļos. Sīkdispersie māli ir aizpildījuši noslīdeņu depresijas deltu zemūdens nogāzēs, kur, pēc V. Kurša domām, pieplūstot lielam drupu materiāla daudzumam, ir veidojušies intensīvi noslīdeņu procesi (Kuršs u.c. 1998). Šim viedoklim piekrīt arī D. Blāķe, kura norāda, ka lēcu forma un garenisko asu novietojums ļauj secināt, ka sīkdispersie māli ir uzkrājušies kā lielu noslīdeņu depresiju aizpildījums (Blāķe u.c. 2011). Noslīdeņu procesa rezultātā izveidojās ieplakas ar stāvām sienām, kurās uzkrājās vissmalkgraudainākie Lodes svītas nogulumi – pelēkie, treknie māli. Ieplakas savukārt ir izveidojušās Sietiņu svītas smilšaino nogulumu virsmā. Novērojumi māla karjeros un detalizētas izpētes dati rāda, ka Lodes svītas un zem tās esošās Sietiņu svītas kontakts ir krasi diskordants. Šī kontakta krituma leņķis vietām sasniedz pat 30°, salīdzinot ar gandrīz horizontālo Sietiņu svītas smilšakmeņu sagulumu (Курш 1975).

Lodes svītas nogulumi ir uzkrājušies mainīgā hidrodinamiskajā režīmā, par ko liecina to daudzveidīgais granulometriskais sastāvs un tekstūras. Noslīdeņi attīstījušies mainīga nogulu uzkrāšanās ātruma un nestabilas gultnes apstākļu dēļ (Курш 1992). Liepas māla karjerā,

vietās, kur tiek iegūti sīkdispersi māli, redzams, ka to pamatnē atrodas saberzti un brekčijoti ieži apmēram 2,5 m biezumā, kas veidojušies, mālaini aleirītiskām nogulām noslīdot no stāva erozijas iegrauzuma sāniem. Smilšakmens blāķu (diametrā līdz 0,8 m) klātbūtne šajās noslīdeņu brekčijās liecina par ievērojumu iegrauzuma nogāžu eroziju (Kypšuc 1975).

Liepas karjerā, Lodes svītas pamatnes daļā, iegul 20 metrus bieza sarkanu aleirolītu un pelēku smilšakmeņu slāņkopa. Dažādos slāņkopas līmeņos veikto slīpo slānīšu krituma leņķu mērījumu rezultāti norāda uz straumju virzienu no ziemeļiem uz dienvidiem. Šāds pats straumju virziens raksturīgs arī Sietiņu svītas smilšakmeņiem (Kypšuc 1992).

Atšķirīgs viedoklis par Lodes svītas nogulumu veidošanās apstākļiem ir A. Pontēnai un P. Plinkai-Bjorklundei, kuras norāda, ka Baltijas devona baseinā Gaujas (arī Lodes) laikposmā pastāvēja plūdmaiņu ietekmēti deltu līdzenumi, savukārt deformācijas tiek interpretētas kā tektoniskas izcelsmes veidojumi (Pontén, Plink-Björklund 2007). Diemžēl šī versija nesniedz skaidrojumu par pelēko, trekno mālu saguluma apstākļiem Lodes svītā.

Latvijas teritorijā Lodes svītas nogulumi ir vislabāk pieejami pētījumiem Liepas māla atradnē, kur dominējošais nogulumu veids ir aleirolīti. Tie ir masīvi, sarkanā krāsā, vietām ar zaļganpelēkiem plankumiem. Sarkano krāsu rada trīsvērtīgās dzelzs oksīdi un hidroksīdi, bet zaļganpelēko laukumu izcelsmi var skaidrot ar dzelzs reducēšanās procesiem zivju kaulu un augu atlieku tuvumā. Atkrāsošanās ir novērojama arī vietās, kur ir kontakti ar smilšainākiem slāņiem (Stinkulis u.c. 2011). Aleirolīti ir uzkrājušies ļoti lēnās ūdens straumēs, tie pilnīgi nemaz nesatur karbonātu piejaukumus. Granulometriskais sastāvs dažādos aleirolīta slāņos un atradnes daļās ir atšķirīgs, jo šiem nogulumiem ir gan māla, gan smilts piejaukums (Segliņš u.c. 2013).

Smilšakmeņi veido Lodes svītas slāņkopas pamatni, kā arī ir sastopami starpslāņos. To biezums mainās no dažiem centimetriem līdz 1,5 m. Smilšakmeņi ir smalkgraudaini un to starpslāņi satur zivju atliekas. Mazāka biezuma slāņi ir atkrāsojušies, zaudējuši sarkano krāsu gruntsūdeņu darbības rezultātā, savukārt biežākajos slāņos smilšakmeņiem joprojām ir raksturīgs sarkanais krāsojums (Stinkulis u.c. 2011).

Liepas atradnē ir atrodami arī mālaini aleirolīti, kas veido 2-3 m biezus slāņus. Šiem nogulumiem ir raksturīga spilgti sarkana krāsa (Stinkulis u.c. 2011). Dzelzs savienojumi ir intensīvi migrējuši pēcsedimentācijas procesos. Mālainajos aleirolītos zivju atliekas ir sastopamas tikai fragmentētā veidā (Kuršs u.c. 1998). Derīgajā slāņkopā esošo aleirolītu frakcijas <0,005 daudzums ir 45-60% (Stinkule 2014).

Atradnē esošie māli ir bezkarbonātiski un ar augstu dispersitātes pakāpi (frakcijas <0,005 mm daudzums ir ~60-70%), un tie ir ļoti nozīmīgi no paleontoloģisko atradumu viedokļa (Kuršs u.c. 1998). Pēc D. Blāķes datiem mālos frakcijas <0,004 mm daudzums ir pat

82% (Blāķe 2010). Pēc to krāsas un augstās dispersitātes pakāpes šos mālus bieži sauc par pelēkajiem, treknajiem māliem. Māla pelēkā krāsa tiek skaidrota ar dzelzs pigmenta daļiņu, kuru izmērs ir lielāks par māla daļiņu izmēru, izgulsnēšanos kopā ar nedaudz lielākajām aleirīta daļiņām. Dzelzs pigmenti iekrāso aleirīta daļiņas sarkanā krāsā, savukārt mālam ir pelēcīga krāsa (Kuršs u.c. 1998). Jāatzīmē, ka gandrīz viss pelēkajā, treknajā mālā esošais Fe_2O_3 (~4%) ietilpst minerālu kristālrežģī, bet brīvo dzelzs oksīdu un hidroksīdu daudzums ir ļoti niecīgs. Māla frakcija, līdzīgi citiem devona māliem, sastāv no illīta, taču Lodes svītas mālos Liepas atradnē ir paaugstināts kaolinīta piejaukums – aptuveni 20% (Stinkule 2014). Sīkdispersie māli veido vien 6% no kopējā mālu krājuma un Latvijā tas ir deficīta māla paveids (Brangulis u.c. 1998).

Pelēko sīkdisperso mālu lēcas ir unikālas ar tur atrodamajām daudzajām fosilijām un to lielisko saglabātības pakāpi. Lodes svīta satur izcili labi saglabājušās faunas un floras pārstāvju atliekas, tai skaitā arī ta sauktās “zivju kapsētas”, tomēr ihtiofaunas komplekss pēc sugu sastāva ir samēra trūcīgs (Куршс 1975). Liepas māla atradnes pelēko, trekno mālu lēcās ir konstatēti veseli devona zivju ķermeņi. Mālos ir atrastas bruņuzivju *Asterolepis ornata* Eichwald, daivspurzivju *Laccognathus panderi* Gross, *Panderichthys rhombolepis* (Gross), *Glyptolepis baltica* Gross, *Strunius* sp. nov., *Latvius* sp. nov., Osteolepididae gen. ind. akantožu *Lodeacanthus gaujicus* Upeniece, starspurzivju *Cheirolepis* sp. atliekas (Kuršs u.c. 1998). No vēžveidīgajiem ir atrastas šķeltkājvēžu Mysidacea, lapkājvēžu Conchostraca atliekas. Gliemeņvēži Ostracoda ir saglabājušies tikai nospiedumu veidā. Tāpat ir atrasti arī vēžskorpionu atlieku fragmenti. Samērā bieži ir sastopamas dažādas neidentificējamās, problemātiskās organismu atliekas, kā arī ir konstatēti parazitisko tārpu atradumi (Upeniece 2011).

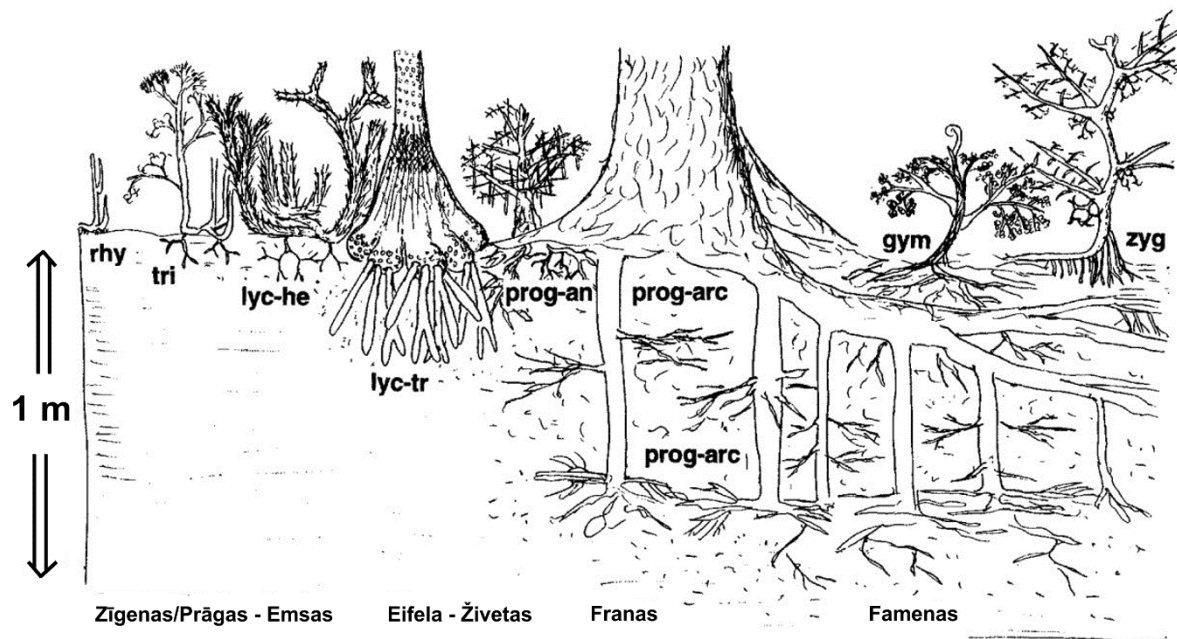
Reducējošās vides dēļ tieši pelēkajos sīkdispersajos mālos ir novērota vislabākā zivju saglabātības pakāpe. Zivju masveida bojāeja savulaik tika skaidrota ar augstu organisko vielu saturu dūņās un vāju dabīgo ūdens cirkulāciju, kas noveda pie krasa skābekļa daudzuma samazinājuma laikā, kad svaiga ūdens pieplūde bija tuva minimumam (Куршс 1975). Tomēr jaunākā pētījumā secināts, ka, visticamāk, zivju sakopojumu veidošanās ir notikusi deltas nogāzē, noslīdeņu procesā nogulām masveidā aprokot zivju barus (Vasiļkova 2013). Šī interpretācija atbalsta V. Kurša (1975, 1992) un D. Blāķes u.c. (2011) viedokli par pelēko, trekno mālu iegulu saistību ar noslīdeņu depresijām.

1.3. Augu evolūcija agrajā un vidējā devonā

Sauszemes augi ir izcēlušies agrajā vai vidējā ordovikā, taču vaskulāro augu daudzveidība palielinājās vēlajā silūrā un agrajā devonā. Šie augi bija nelieli, ar seklu vai vispār iztrūkstošu sakņu sistēmu, un atkarīgi no ūdens tuvuma (Algeo et al. 1998). Tiek uzskatīts, ka sauszemes augi evolūcijas ceļā (aptuveni pirms 475 miljoniem gadu) attīstīja šūnu sienīgas ar lignīnu, taču ir viedoklis, ka lignīns ir pastāvējis jau agrāk – laikā, kad zaļālgēm (no kurām izcēlās sauszemes augi) un sārtaļģēm (kurās atrasts lignīns) bija kopīgs priekštecis, t.i. – pirms miljarda gadu (Martone et al. 2009).

Plaša sauszemes kolonizācija, visticamāk, ir bijis ilgs process, kas ir turpinājies visā devonā un pēc tā. Sākotnēji augu nozīme sauszemē bija neliela ierobežotās biomasas, seklās sakņu sistēmas, kā arī nepieciešamības atrasties tuvu ūdenim dēļ (Algeo et al. 1995). Konkurence par labākiem augšanas apstākļiem, kas bija vieglāk sasniedzami garākiem augiem un cīņa par saules gaismu laikā starp agrā devona Prāgas un vidējā devona Živetas laikmetiem kļuva par iemeslu tam, lai vaskulārie augi attīstītu audus, kas ir atbildīgi par balsta funkcijām (Algeo 2001). Živetas laikmetā krietni pieauga augu izmēri, piemēram, kokveidīgo pirmatnējo kailsēkļu (*Archaeopteris*) stumbri varēja sasniegt diametru ap 1,5 m un augstumu pat virs 30 m. Meži tajā laikā, iespējams, bija izplatīti palieņu biotopos. Palielinoties augu izmēriem, palielinājās arī sakņu sistēma. Augu sakņu attīstība sākās tikai Prāgas laikmeta beigās. Pirmās lielās sakņu sistēmas parādījās tikai vidējā un vēlajā devonā. Eifela un Živetas laikmetos saknes augsnē iesniedzās diezgan sekli, tikai līdz 20 cm, bet Franā laikmetā, kad izplatījās arheopterīdi, to dziļums palielinājās pat līdz 80-100 cm (1.3. attēls). Šīs izmaiņas veicināja iepriekš neapgūtu, arī sausāku, teritoriju kolonizāciju (Algeo et al. 1998).

Kolonizācija notika mainīgā vidē, ūdenim appludinot teritoriju, tad atkal atplūstot no tās, kā arī teritorijās ar ilgstoši augstu ūdens līmeni. Tāpat parādījās arī ar saknēm nostiprinātas augsnes (Hillier et al. 2008). Krievijā, Voronežas apgabalā veikti vidējā devona un augšējā devona paleoaugsnes pētījumi norāda, ka individuālu sakņu, kuras, domājams, piederēja pirmkailsēkļiem, diametrs var sasniegt >10 cm, bet garums var būt līdz 60 cm (Aleksееva et al. 2016). Kā secinājuši Mors, Kokss un Berners, tad augu saknēm bija nozīmīga bioķīmiska loma devona augsnes formēšanā, fragmentējot iežus, pastiprinot dēdēšanu un augsnes veidošanos, augu barības vielu mobilizēšanu, veicinot elementu ģeoķīmisko ciklu darbību, kas, savukārt, palielināja ķīmisko elementu plūsmu uz okeānu un samazināja atmosfēras CO₂ daudzumu (Aleksееva et al. 2016).



1.3. attēls. Devona augu sakņu sistēmu relatīvie izmēri, morfoloģija un dziļums (Algeo et al., 1998). Apzīmējumi: rhy – rinofīti (Aglaophyton vai Horneophyton); tri – trimerofīti (Psilophyton); lyc-he – pirmie zālaugu staipekņi (Asteroxylon vai Drepanophycus); lyc-tr – agrie kokveida staipekņi (Lepidosigillaria vai Cyclostigma); prog-an – pirmatnējie kailsēkļi (Tetraxylopteris); prog-arc – pirmkailsēkļi Archaeopteris; gym – pirmie kailsēkļi (Elkinsia vai Moresnetia); zyg – zigopterīdas papardes (Rhacophyton).

Pārsvarā sakņu esamība tiek noteikta pēc morfoloģiskām pazīmēm. Kā secinājuši Sarjents, Retaliks, Pfefekorns, tad kritēriji, kuri tiek izmantoti, lai atšķirtu augu un sakņu struktūras no dzīvnieku ejām vai primārajām struktūrām, ir sānu vai galu pagarinājumiem raksturīga sašaurināšanās, māla oderējums, augšupejoša vai lejupejoša zarošanās, regulāra atzarojumu forma, iekšējās struktūras, piemēram, koncentriskas joslas, kā arī laterālo atzarojumu mazāks diametrs nekā primārajiem (Elick et al. 1998).

Individuāli šie elementi var atbilst gan augu, gan dzīvnieku eju struktūrām, tomēr šo kritēriju kompleksa esamība norāda uz augu izcelsmes struktūrām (Elick et al. 1998). Dzīvnieku ejas, kas ir pieskaitāmas pie inhofosīlijām, pārsvarā ir izvietotas vertikāli (šahtas) vai paralēli (tuneļi) substrātam, kā arī tās mēdz būt šūnveida, ar lodveida pārsninājumiem, kas savā starpā ir savienoti un atrodas pagarinājumu galos (Микулаш 2006).

Anglijas-Velsas agrā devona baseinā ir atklāti divi apakšējā devona augu sakņu morfoloģiskie tipi: 1. morfoloģisko tipu galvenokārt pārstāv horizontāli izvietotas saknes, 2. morfoloģiskais tips apvieno vertikālas formas. Abu morfoloģisko tipu saknes sašaurinās garenvirzienā, tās var būt gan lineāras, gan izliektas. 1. morfoloģiskā tipa sakņu struktūras ir

ar diametru no 0,5 līdz 11 mm un var būt līdz 195 mm garas. Šīs saknes tiek piedēvētas agrājiem sauszemes augiem, taču netiek izslēgta arī iespēja, ka tās ir Prototaxites sēņu saknes. 2. morfoloģiskā tipa saknes ir lielākas, to diametrs sasniedz 2-30 mm un tās var būt līdz 600 mm garas. To struktūru izskats ir līdzīgs augu saknēm (Hillier et al. 2008).

Liepas karjerā sīkdisperso mālu lēcās ir atrastas labi saglabājušās pārogļotu augu makroatliekas. No augu atliekām galvenokārt jāmin pirmatnējo kailsēkļu *Archaeopteris fissilis* Schmalhausen un pirmatnējo paparžveidīgo *Svalbardia polymorpha* Høeg sauszemes augu atliekas, kas satur zariņus, lapiņas, megasporas un sporangijus. Liepas karjers ir otrā vieta pasaulē, kur atrastas *Svalbardia banksii* miosporas. No ūdensaugiem ir sastopamas aļģes *Platyphyllum* sp., mieturaļģes Charophyta un *Trochiliscus* sp. Augu mīksto daļu saglabāšanās norāda, ka transportēšanas attālums ir bijis nenozīmīgs (Kuršs, u.c. 1998; Куршс 1975; Jurina, Raskatova 2011).

Vidējā devonā augs arī Prototaxites, kas ir izcēlušās vēlajā silūrā. Tās ilgu laiku bija lielākais sauszemes organisms. Prototaxites piederība kādai noteikta organismu grupai ilgu laiku bija neskaidra. Tās ilgu laiku tika uzskatītas par īvju (*Taxus*) radniecēm, vēlāk par jūras aļģēm, kā arī par ķērpjiem (Boyce et al. 2007). Amerikas Nacionālā dabaszinātņu muzeja speciālists F. Hūbers tās uzskata par pirmatnējām gigantiskām (1,25 m diametrā un 8,8 m garumā) sēnēm, pamatojoties uz to, ka Prototaxites nav tādu šūnu, kas ir raksturīgas augiem, bet gan ir tievi kapilāri (caurulītes), kuru diametrs ir no 2 līdz 50 μm (Hueber 2001; Boyce et al. 2007). Nedaudz vēlāk tika veikti gan augu fosīliju, gan Prototaxites oglekļa izotopu pētījumi. Augi oglekli iegūst no gaisa (CO₂), bet sēnes – no augsnes, līdz ar to vienā un tajā pašā laika posmā augu viena veida augiem ir vienāda oglekļa izotopu attiecība, savukārt sēnēm oglekļa izotopu attiecība ir atkarīga no vietas, kur tās ir augušas – tātad izotopu attiecības ir atšķirīgas (Boyce et al. 2007).

Prototaxites rizomorfām, domājams, ir raksturīga plaša horizontāla sistēma un salīdzinošs lejupvērstu atzarojumu trūkums (Hillier et al. 2008). Hipotētiski tiek pieņemts, ka micēlijs ir ļoti liels, taču fosilo pierādījumu par micēlija lielumu nav (Hueber 2001).

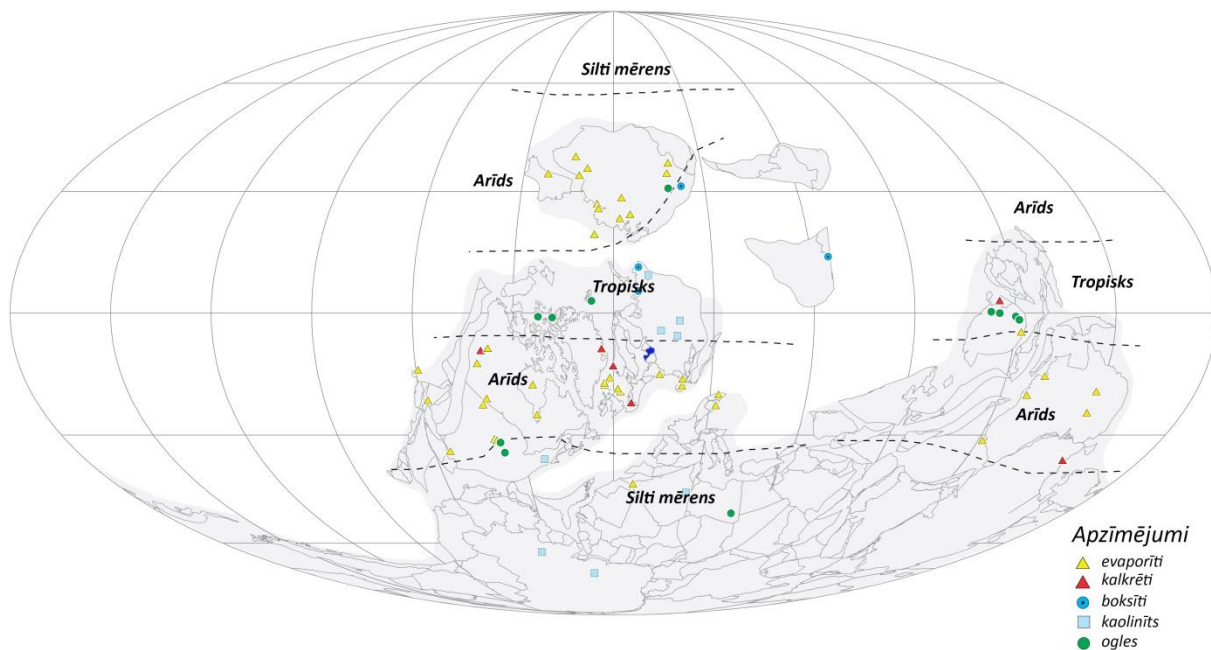
Lodes svītas nogulumos Prototaxites fosīlijas līdz šim nav atrastas, taču zemāk esošajā Sietiņu svītas smilšakmenī samērā bieži ir sastopami pārkrasoti Prototaxites fosīliju fragmenti (Stinkule, Stinkulis 2013).

1.4. Klimatiskie apstākļi Baltijas paleokontinentā vidējā un vēlajā devonā

Silūra perioda vidū notika Baltijas kontinenta (Austrumeiropas platforma), ar to jau savienotās Avalonijas, un Laurentijas kontinenta (Ziemeļamerika) sadursme, kā rezultātā izveidojās Eiramērikas superkontinents un pacēlās augsti kalni – Kaledonīdi, kuri stiepās no Apalaču kalniem, cauri Lielbritānijas kalnu masīviem līdz Skandināvijas ziemeļu daļai (Scotese 2014). Tagadējās Zviedrijas, kā arī Norvēģijas rietumu un centrālās daļas teritorijai atbilstošais Kaledonīdu kalnu posms atradās aptuveni 1000 km attālumā no plašas ieplakas, kur tolaik bija Baltijas devona baseins. Kaledonīdu kalnos, it sevišķi to rietumu daļā (tagadējā ģeogrāfiskajā orientācijā) valdīja karsts un sauss klimats un vēl bija aktīvas Zemes garozas tektoniskās kustības, kas veicināja ātru magmatisko un metamorfo iežu noārdīšanos, kas, savukārt, radīja lielu daudzumu drupu materiāla. Savukārt Fenoskandijas vairogā klimats bija mitrāks ekvatora tuvuma dēļ un tektoniskie apstākļi bija mierīgāki, tādēļ noritēja iežu dziļa ķīmiskā dēdēšana. Plašā ieplaka – Baltijas devona baseins – atradās Eiramērikas superkontinenta austrumu malā (1.4. attēls), 5–10° dienvidu platumā (Stinkule, Stinkulis 2017). Šī brīža Latvijas teritorija vidusdevonā, domājams, atradās arī da klimata joslā (1.5. attēls).



Lielākā daļa mūsdienu vides apstākļu analogu bija pārstāvēti arī devonā, taču joprojām zinātnieku vidū nav vienprātības, vai šajā periodā ir bijuši arī ledāji. Ja tie ir eksistējuši, tad polārie ledus vairogi varēja būt salīdzinoši nelieli, pie tam - tie drīzāk bijuši tikai Famenas laikmetā. Tiek secināts, ka klimats kopumā ir bijis siltāks nekā mūsdienās, tādējādi devons pārsvarā atbildis siltumnīcas apstākļu laikposmam (De Vleeschouwer et al. 2014). Devonā kopumā bija raksturīga transgresija un okeānu ūdeņi klāja gan Eiramerikas, gan Gondvanas, Sibīrijas, Kazahstānas, Ķīnas un citu salīdzinoši mazo kontinentu plašākas vai šaurākas teritorijas (Āboltiņš 2004).



1.5. attēls. Vidējā devona klimata joslas un to indikatori (Boucot et al. 2013).

Devona perioda koraļļu pētījumi ļauj secināt, ka gads uz Zemes ilga aptuveni 400 dienas. Mēness cikls ilga 30½ dienas, kas ir par vienu dienu vairāk nekā šobrīd (House s.a.).

Vidējā devonā kokveidīgajiem augiem kolonizējot sauszemi, tie ieguva arvien lielākas lapas un vēlajā devonā arī sēklas, kuras tiem ļāva pārvietoties arvien tālāk no ūdens (Algeo, Scheckler 1998). Augu ekspansija, pēc Le Hira un līdzautoru domām, izraisīja ne vien ainaviskas, bet arī globālas vides izmaiņas sakarā ar Zemes virsmas albedo pazemināšanos, ko izraisīja augu transpirācija. Veicot eksperimentu ar Zemes klimatisko modeli GEOCLIM, kurā tika iekļauts arī veģetācijas faktors, tika izveidoti trīs modelēšanas līmeņi, atbilstoši devona sistēmas nodaļām, vērtējot veģetācijas izmaiņas, augiem evolucionējot no pļāvām agrajā devonā uz tropiskajiem mežiem vēlajā devonā (primitīvie augi, kokveidīgās papardes, kokveidīgie pirmatnējie kailsēkļi *Archeopteris*). Veģetācijas apjoma palielināšanās ir izsaukusi Zemes virsmas albedo samazināšanos, kā arī augu transpirācija ir mainījusi ūdens aprites ciklu. Šie apstākļi ir mainījuši temperatūru un nokrišņu režīmu, līdz ar to arī iežu

dēdēšanu, un noteikuši CO₂ daudzuma samazināšanos atmosfērā, tam piedaloties ķīmiskās dēdēšanas procesos (Le Hir et al. 2011).

2. MATERIĀLI UN METODEDES

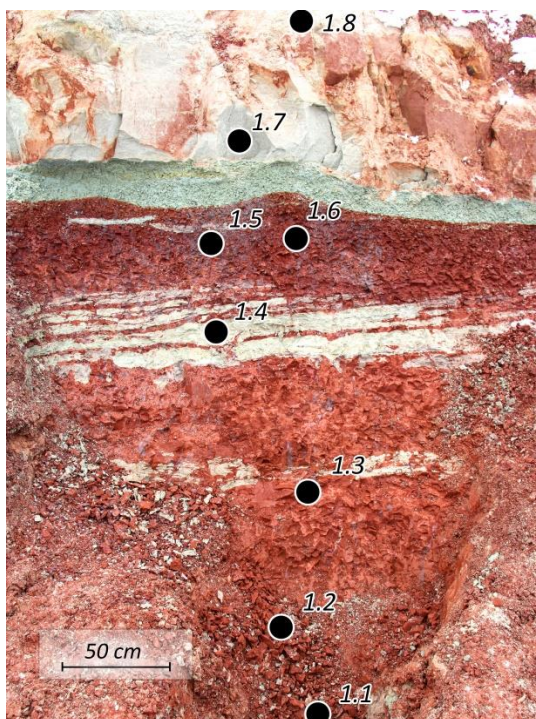
2.1. Lauka darbi

Lauka darbi tika veikti Liepas māla atradnē 5 atsegumos, četros no kuriem tika sagatavoti ģeoloģiskie griezumumi un kopumā noņemts 41 paraugs. Visi atsegumi tika izvēlēti vietās, kurās redzamas iespējamās sakņu struktūras. Visiem atsegumiem tika noteiktas koordinātas ar rokas GPS (*Garmin Dakota 20*), tāpat arī noteikti atseguma sienu azimuti.

Pirmais pētāmais atsegums (koordinātas – A 584381, N 361894) atrodas Liepas karjera rietumu daļā, darbi tajā tika veikti 31.03.17 autores kursa darba ietvaros (Lagzdiņa 2017). Sākotnēji atsegums tika attīrīts un uzmērīts gan kopumā, gan katra slāņa biezums atsevišķi. Kopējais atseguma augstums ir 3,05 m. Iespējamo sakņu struktūras tika fotografētas gan vertikālā, gan horizontālā plaknē, kā arī tika uzmērīts to garums. Atsegums fotografēts, izmantojot Canon EOS 550 D spoguļkameru ar EFS 18 – 135 mm objektīvu. Ģeoloģiskais griezumums šim atsegumam un visiem pārējiem zīmēts atbilstoši sedimentoloģijā pieņemtajam principam, ka nogulumu granulometriskais sastāvs attēlots uz x ass kā koordinātas.

Granulometriskajai analīzei tika ievākti 9 nogulumu paraugi. 8 no tiem ņemti tieši no attīrītā atseguma (2.1. attēls). Atseguma augšdaļa bija norakta mālu ieguves procesa rezultātā un mālainie nogulumi tā augšdaļā traucēti, tādēļ paraugs no virsējā slāņa tika noņemts nedaudz tālāk, vietā, kur attiecīgais slānis bija saglabājies un bija pieejams.

Paraugs nr. 1.1 tika ņemts no zaļgani pelēcīga aleirolīta slāņa, kurš attēlā nav labi saskatāms nobiru dēļ. Paraugi nr. 1.2 un 1.3 tika ņemti no māla slāņa, attiecīgi 40 cm un 95 cm no slāņa apakšdaļas. Paraugs nr. 1.4 ir ņemts no šajā pašā slānī esoša aleirolīta starpslāņa. Īpaši ir jāatzīmē paraugi nr. 1.5 un 1.6, tie tika ņemti no tā paša māla slāņa, vietā, kur atradās ļoti blīvi novietotas domājamās sakņu struktūras. Paraugs nr. 1.5 ir tieši no domājamo sakņu struktūru aizpildījuma vietas, cenšoties to nodalīt no apkārtesošā materiāla, savukārt paraugs nr. 1.4 tika ņemts tieši pretēji – no apkārtesošā ieža, neiekļaujot sakņu aizpildījumus. Paraugs nr. 1.7 tika ņemts no smilšakmens slāņa apakšdaļas, aptuveni 5 cm augstumā, bet paraugs nr. 1.8 – no šī paša slāņa augšdaļas aptuveni 75 cm augstumā. Smilšakmens slāņa apakšdaļā tika ievērotas ļoti plānas kārtiņas ar tumšu piejaukumu, tādēļ tika ņemts paraugs nr. 1.9 tā pētījumiem mikroskopā, lai pārlicinātos, vai šis piejaukums ir organiskā viela. Paraugs nr. 1.10 tika ņemts no sarkana māla slāņa ar sakņu struktūrām.



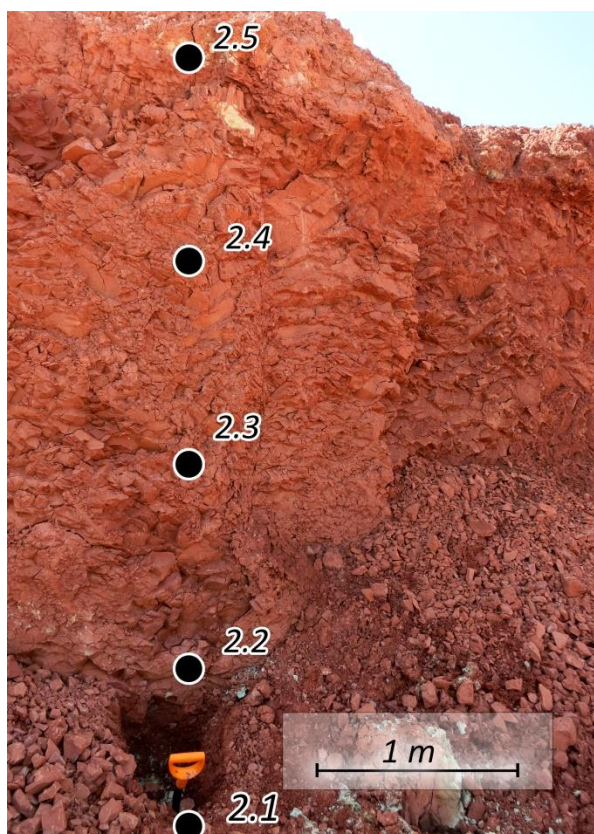
2.1. attēls. Paraugu ņemšanas vietas (apzīmētas ar melnajiem punktiem) un paraugu numuri 1. atsegumā (Lagzdiņa 2017).

Nākošajā lauku darbu reizē, 15.08.17. tika secināts, ka mālu ieguves process karjerā ir virzījies uz priekšu, un bija kļuvis pieejams viegli ar iepriekšējā atseguma augšdaļu korelējams 1,64 m augsts atsegums, kas ļāva papildināt pirmo ģeoloģisko griezumu. No šīs daļas tika ņemti 3 paraugi turpmākajām analizēm. Divi paraugi (nr. 1.11 un 1.12) tika ņemti no atseguma apakšdaļas mālainajiem nogulumiem, lai veiktu elementu analīzi un noskaidrotu mikroelementu satura iespējamās atšķirības ap potenciālajām sakņu struktūrām. Viens satur iespējamo sakņu struktūras aizpildošo materiālu, otrs, savukārt, ir ņemts no saknēm apkārtesošā ieža, kas šīs struktūras nesatur. Vēl viens paraugs (nr. 1.13) tika ņemts no smilšaina aleirolīta slāņa. Šajā pašā slānī slīpslāņotajām sērijām tika veikti arī 4 slāņu krituma azimutu mērījumi. Fotofiksācija veikta ar kameru Canon S110. Virs atseguma, vietā, kur bija labi redzamas sakņu struktūras, tika veikta to fotofiksācija horizontālā plaknē – šķērsgriezumā.

Šajā pašā lauka darbu reizē tika dokumentēts vēl viens atsegums (koordinātas – A 584341, Z 361921) 4,2 m augstumā (2.2. attēls), kurš aptuveni (pēc autores domām ar 0.3 – 0,5 m lielu kļūdu) ir korelējams ar pirmā uzmērītā atseguma apakšdaļu. Atsegumā tika nodalīti vien divi slāņi, tādēļ ņemts salīdzinoši neliels paraugu skaits – 5.

Paraugs nr. 2.1 ņemts no pelēcīga mālaina aleirolīta slāņa, kas atrodas skatrakuma pamatnē un attēlā nav labi saskatāms. Sarkanā māla ar aleirolītu slānī, 80 cm augstumā no

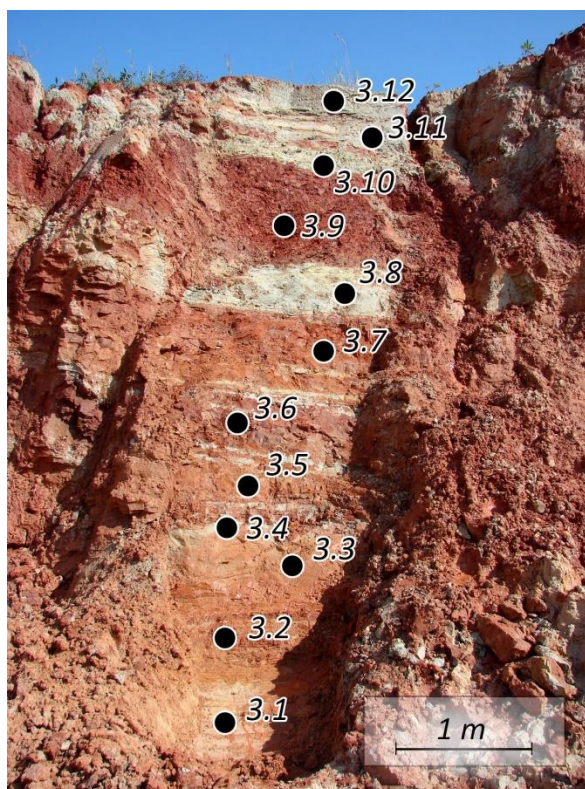
slāņa apakšas, tika noņemts paraugs nr. 2.2. Pārējie paraugi nr. 2.3 – nr. 2.5 ņemti no šī paša slāņa, ar 1 metra intervālu.



2.2. attēls. Paraugu ņemšanas vietas (apzīmētas ar melnajiem punktiem) un paraugu numuri 3. atsegumā (fotografējis Ģ. Stinkulis).

Nākošais, pēc kārtas ceturtais, atsegums (koordinātas – A 584472, N 362070) tika uzmērīts un uzzīmēts 26.08.2017. (2.3. attēls). Lodes svītas nogulumu sarežģīto saguluma apstākļu dēļ to nevarēja korelēt ne ar vienu no iepriekšējos lauka darbos dokumentētajiem atsegumiem. No šī 5,26 m augstā atseguma tika noņemti 12 paraugi. Fotofiksācija tika veikta tikai vertikālā plaknē ar digitālo fotokameru Sony DSC – H2.

Paraugs nr. 3.1 ir ņemts no sarkanīgi pelēcīga smilšakmens slāņa, nr. 3.2 no aleirolīta ar smilšaina aleirolīta un smilšu kārtiņām, nr. 3.3 no sarkanīga smilšakmens slāņa lejasdaļas, nr. 3.4 no šī paša slāņa augšdaļas. Paraugs nr. 3.5 ir ņemts no mālaina aleirolīta slāņa, nr. 3.6 no saknes saturoša aleirolīta, nr. 3.7 no sarkana aleirolīta slāņa. Paraugs nr. 3.8 ir ņemts no pelēka aleirolīta slāņa. Paraugs nr. 3.9 ir ņemts no sarkana, iespējamās sakņu struktūras saturoša mālaina aleirolīta, paraugs nr. 3.10 ir ņemts no šī paša slāņa atkrāsotās augšdaļas. Paraugs nr. 3.11. ir ņemts no gaiši brūna smilšakmens slāņa un nr. 3.12. ir ņemts no pelēka smilšakmens slāņa. Virs šī smilšakmens slāņa esošie nogulumu bija traucēti māla ieguves procesā.



2.3. attēls. Paraugu ņemšanas vietas (apzīmētas ar melnajiem punktiem) un paraugu numuri 4. atsegumā.

Piektais atsegums atrodas sinklinālas struktūras daļā (koordinātas – A 584505, Z 362082). Atseguma (2.4. attēls), kura augstums ir 3,32 m, ģeoloģiskais griezumums tika sagatavots 8.11.2017. Turpmākajiem pētījumiem tika ievākti 12 paraugi, no tiem viens ar iespējamajām ihnofosīliju pēdām, un vēl viens ar iespējamo organisko vielu.

Paraugs nr. 4.1 ir ņemts no pelēcīga smilšakmens slāņa, kurš attēlā nav redzams, nr. 4.2 ir ņemts no sarkana, iespējamās saknes saturoša, mālaina aleirolīta (attēlā nav redzams). No nākošā slāņa tika ņemti 2 smilšaina aleirolīta paraugi, nr. 4.3 un nr. 4.4 (attēlā nav redzami), pēdējais no tiem, iespējams, satur organisko vielu. Paraugs nr. 4.5 tika ņemts no sarkana, iespējamās saknes saturoša, mālaina aleirolīta slāņa. Nākošajā smilšakmens slānī tika ievērota iespējamā ihnofosīlija, tādēļ no šī slāņa tika paņemti 2 paraugi – nr. 4.6 un nr. 4.7. No nākamā sarkanu mālu slāņa tika paņemts paraugs nr. 4.8. Sekojošajā sarkanīgajā slānī tika ievērota māla un aleirolīta slānīšu mija, no šī slāņa tika paņemti 2 paraugi nr. 4.9 un nr. 4.10, tie pārstāv attiecīgi mālaino un aleirītisko materiālu. Paraugs nr. 4.11 ņemts no pelēcīga aleirolīta, kurā ir saskatāmas plūdmaiņu tekstūras. Pēdējais paraugs nr. 4.12 ir ņemts no sarkana māla, kurā netika novērotas sakņu struktūras.



2.4. attēls. Paraugu ņemšanas vietas (apzīmētas ar melnajiem punktiem) un paraugu numuri 5. atsegumā. Lāpsta izmērs ir 105 cm (fotografējis Ģ. Stinkulis).

2.2. Laboratorijas darbi

Laboratorijas darbi tika veikti divās LU ĢZZF laboratorijās – Hidroģeoloģijas un inženierģeoloģijas laboratorijā, kā arī Iežu pētījumu laboratorijā. Hidroģeoloģijas un inženierģeoloģijas laboratorijā tika veikti visi paraugu sākotnējās apstrādes darbi (skalošana, drupināšana, mērcēšana, svēršana u.c.), kā arī sietu analīze, savukārt Iežu pētījumu laboratorijā noritēja paraugu žāvēšana krāsnī un darbs ar sedigrāfu. Darbs ar mikroskopu un paraugu fotografēšana tika veikti Mineraloģijas un paleontoloģijas laboratorijā.

Lauka darbos iegūtie paraugi no sākuma tika rūpīgi izžāvēti un nosvērti. Tālāk, skalojot, tika atdalīta katra parauga mālainā un aleirītiskā frakcija no smilšainās, izmantojot sietu ar acu izmēru 0,063 mm. Mālainā duļķe ar diametru <0,063 mm tika ieskalota atsevišķā traukā nostādināšanai, atlikusī daļa savukārt tika pārvietota citā traukā – žūšanai. Mālainā duļķe tika nostādināta vidēji vienu diennakti. Ūdens no mālainās daļas tika atdalīts ar tievu caurulīti, izmantojot savienoto trauku principu. Tas tika darīts ļoti uzmanīgi, lai netiktu nolieta mālainā daļa. Iegūtā mitrā māla un aleirolīta masa tika novietota krāsnī žāvēšanai 40°C temperatūrā. Smilšainā daļa ar daļiņu diametru >0,063 mm tika novietota žūšanai istabas temperatūrā, bet pirms svēršanas tā ievietota arī krāsnī 90°C temperatūrā precīzāku rezultātu iegūšanai.

Mālainās frakcijas granulometriskā sastāva noteikšanai tika izmantota rentgenstaru absorbcijas granulometrijas iekārta *Micrometrics SediGraph III*. Paraugu darbam ar sedigrāfu tika sagatavoti šādi:

1. Izžuvušie māla paraugi tika sadrupināti (bet ne berzti) porcelāna pietā;
2. Saberztais pulveris slēgtā traukā tika 10 minūtes vertikāli rotēts, lai tas būtu homogēns;
3. Ar augstas precizitātes svāriem nosvērti 3 g no katra nogulumu parauga;
4. Sagatavoti 80 ml 2% nātrija heksametafosfāta (NaPO_3)₆ un jonizēta ūdens šķīduma (katram paraugam);
5. 3 g no katra parauga sajaukti kopā ar iegūto 2% nātrija heksametafosfāta šķīdumu, lai novērstu māla daļiņu koagulāciju;
6. Paraugi uzduļķoti un atstāti uz 24 h.

Sagatavotie paraugi pa vienam tika ievietoti sedigrāfā, pirms tam programmā SediGraph III v1.04 ievadot visus nepieciešamos mērījumu parametrus. Sākuma diametrs tika izvēlēts 0,063 mm, jo tik lielas acis ir sietam, caur kuru nogulumi tiks skaloti, bet kā beigu diametrs tika izvēlēts 0,002 mm. Rezultāti tika iegūti *Microsoft Excel* failu formātā.

Smilšainajai frakcijai, kurā graudi ir >0,063 mm, tika izmantota sietu analīze. Tika izmantoti 6–8 dažādi sieti, ar acu izmēriem – 0,063, 0,08, 0,125, 0,16, 0,2, 0,25 un 0,315 mm. Sietu izvēle tika precizēta atkarībā no konkrēto paraugu granulometriskā sastāva. Katrs paraugs tika automātiski sijāts Octagon Digital sijātājā 20 minūtes, pēc tam katra sietā saturs tika nosvērts uz Sartorius TE1502S svāriem ar precizitāti 0,01g. Darba gaitā konstatētās dzelzs savienojumu – fosfātu konkrēcijas tika aplūkotas Leica atstarotās gaismas stereomikroskopā, kā arī nofotografētas ar kameru Canon EOS 1200D.

Paraugs, kurā lauka darbu gaitā tika novērota tumšas vielas klātbūtne, tika aplūkots Leica atstarotās gaismas stereomikroskopā, lai atšķirtu iespējamās sulfīdu minerālus no organiskās vielas vai citiem tumšiem piejaukumiem. Paraugs ar iespējamo ihnofosīliju tika nogādāts LU ĢZZF noteikšanai un salīdzināšanai ar literatūras datiem.

Diviem paraugiem LU ĢZZF Vides tehnoloģiju laboratorijā tika veikta elementu analīze ar induktīvās pāru plazmas masas spektrometru (ICP-OES) Thermo Scientific "iCAP7000". Analīzi veica dabaszinātņu laborants Konstantīns Viligurs un dabaszinātņu laborants Lauris Arbidāns. Pētīti tika paraugi no sakņu struktūras iekšienes (1.11.) un tās ārpusēs (1.12.), kā arī dzelzs–fosfātu konkrēcijas (5.8). Ar šīs metodes palīdzību tika noskaidroti mikroelementu daudzumi un proporcijas problemātiskajās sakņu struktūrās un tās ietverošajos nogulumos, lai pārbaudītu iespējamo elementu migrāciju un koncentrēšanos sakņu organiskās vielas klātbūtnē.

2.3. Kamerālie darbi

Kamerālajos darbos izmantotas dažādas datu apstrādes programmas. Aprēķini tika veikti ar *Microsoft Excel*. Granulometriskās analīzes rezultāti tika ievadīti programmā *Gradistat v8*, kas darbojas uz *Microsoft Excel* bāzes, lai iegūtu datus par mediānu (vidējo graudu izmēru) un šķirotības koeficientu. Tie aprēķināti pēc Folka (Folk) un Varda (Ward) metodikas (McManus 1988).

Slāņojuma elementu mērījumu dati tika ievadīti programmā *OSXStereonet* (Allmendinger et al. 2013; Cardozo, Allmendinger 2013).

Kartes tika izstrādātas, izmantojot programmu *ArcMap 10.4.1* un *Microstation V8i (SELECT series4)*, ģeoloģiskie griezumumi tika izstrādāti programmā *Microstation V8i (SELECT series4)*, bet fotogrāfiju un citu attēlu apstrāde notika ar *Adobe Photoshop CC 2014* palīdzību.

3. REZULTĀTI

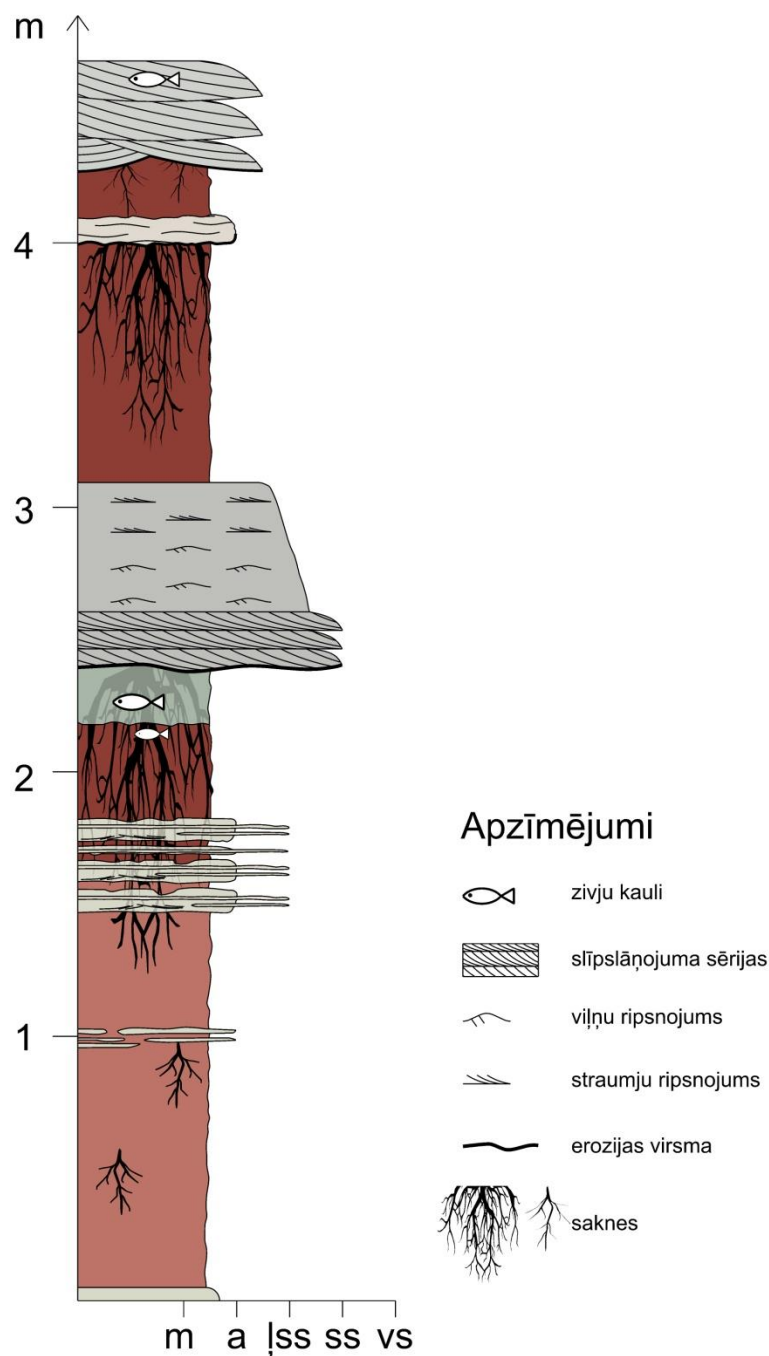
3.1. Ģeoloģisko griezumu uzbūve un iespējamo sakņu struktūru izplatība

Pamatojoties uz divu atsegumu pētījumiem, tika izveidots **pirmais ģeoloģiskais griezum**s, kurā tika nodalīti 5 slāņi (3.1. attēls). Atsegumā dominē mālainis aleirolīts, kuru viscaur šķērso iespējamo sakņu struktūras. Pirmā ģeoloģiskā griezuma apakšējā daļa ir tikusi pētīta jau autores kursa darbā (Lagzdiņa 2017).

Pētītā griezuma apakšējā daļā ieguļ zaļgani pelēcīgs labi konsolidēta aleirolīta slānis, kura kopējais biezums nav zināms, atsegumā redzama tā augšdaļa aptuveni 5 cm biezumā (1. slānis).

Šim slānim uzguļ sarkanīgs stipri konsolidēts mālainis aleirolīts ar violetīgām potenciālām sakņu struktūrām (2. slānis), kura kopējais biezums ir 2,34 m. Spriežot pēc nogulumu smalkgraudainā sastāva, tie ir veidojušies lēnas sedimentācijas apstākļos. Mālainajā aleirolītā ir arī zaļganpelēki aleirolīta starpslāņi, lēcveida starpkārtas un lēcas. Pirmās lēcveida starpkārtas atrodas 90 cm augstumā no slāņa apakšdaļas. Tās ir 1 – 3 cm biezas un veido aptuveni 10 cm biezu intervālu. Aleirolīta starpslāņu klātbūtne mālainā aleirolītā norāda, ka sedimentācijas vide ir kļuvusi aktīvāka. Nākošie zaļgani pelēkā aleirolīta starpslāņi ir 1,42 cm augstumā no slāņa apakšdaļas. Tie ir biežāki (3 – 11 cm) un to kopējais biezums ir aptuveni 30 cm. Katrā starpslānī tika novērotas vāji izteiktas muldveida viļņu ripsnojuma tekstūras, kā arī šajos starpslāņos ir redzams sīkkārtojums ar nedaudz smilšaināku materiālu, kas kopumā norāda, ka hidrodinamiskā vide epizodiski ir bijusi samērā aktīva. Sarkanā mālainā aleirolīta slāņa augšdaļa 20 cm biezumā ir atkrāsojusies. Krāsas maiņa tur notikusi, pa augstāk esošo smilšakmens slāni cirkulējot pazemes ūdenim un veicinot dzelzs oksīdu un hidroksīdu iznesi arī no pagulošā mālaini aleirītisko nogulumu slāņa. 2. slāņa augšdaļā tika atrasti sīki, slikti saglabājušies zivju kauli.

Smilšakmens slāņa (3. slānis) kopējais biezums ir aptuveni 70 cm, smilšakmens ir vāji cementēts. Tā pamatnē ir erozijas virsma. Šī slāņa apakšējā daļā, vidēji 20 cm biezumā, smilšakmens ir slīpslāņots ar 3 individuālajām slīpslāņojuma sērijām aptuveni 7 cm biezumā. Augstāk smilšakmenī parādās viļņu ripsnojums ar māla kārtiņām uz ripsnojuma slānīšiem. Šī daļa ir aptuveni 26 cm bieza. Smilšakmens slāņa augšējā daļā, aptuveni 23 cm biezumā, ir novērojams straumju ripsnojums, kas sastāv no sīkiem valnīšiem. Kopumā smilšakmens slāņa apakšējā daļa ir rupjgraudaināka par augšējo. Smilšainās nogulas ir veidojušās aktīvā sedimentācijas režīmā, kurš laika gaitā ir kļuvis mierīgāks. Par to liecina graudu izmēru samazināšanās virzienā uz augšu, kā arī slīpslāņojuma tekstūras nomaiņa ar ripsnojumu.

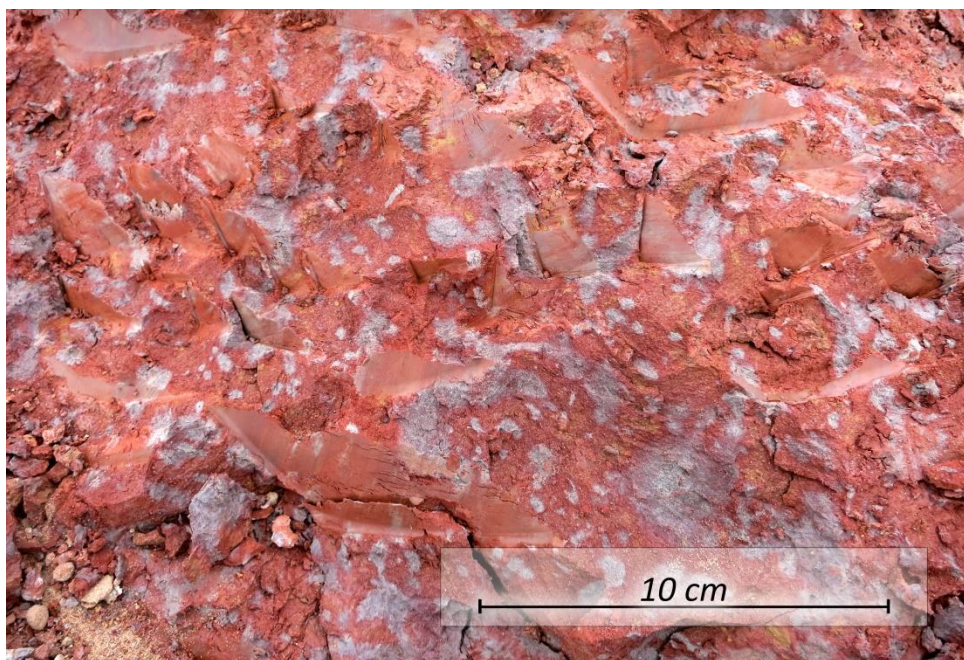


3.1. attēls. Lodes svītas 1. ģeoloģiskais griezum Liepas karjerā: m – māls, a – aleirīts, ļss – ļoti smalka smilts, ss – smalka smilts, vs – vidējgraudaina smilts, rs – rupjgraudaina smilts.

Smilšakmeni pārsedz stipri konsolidēta sarkans mālains aleirolīts slānis (4. slānis) ar iespējamajām sakņu struktūrām un biezumu 1,18 m. Šis slānis tika raksturots un uzmērīts vairākus metrus uz ziemeļiem no iepriekšējā atseguma. Sakņu struktūras tajā bija nedaudz mazāk izplatītas nekā 2. slānī esošās. 90 cm augstumā no slāņa apakšdaļas atrodas vidēji 12 cm biezs pelēka aleirolīta starpslānis, kas norāda, ka uz kādu brīdi sedimentācijas vide ir kļuvusi aktīvāka. Starpslānī ir vērojamas plānas, mālainas starpkārtnas.

Starp mālaino aleirolītu un griezumu noslēdzošo zaļpelēka smilšakmens slāni (5. slānis) atrodas erozijas virsma. Smilšakmens slāņa kopējais biezums ir 42 cm, to veido 3 slīpslāņotās sērijas ar muldveida slīpslāņojumu 13 – 15 cm biezumā, Katrā no slīpslāņojuma sērijām ir vērojamas plūdmaiņu kopas ar mālainu - vizlainu kārtiņu un kvarca-laukšpata smilts slānīšu miju. Augšējā slīpslāņojuma sērijā tika atrasti slikti saglabājušies zivju kauli. Kopumā smilšakmens ir vāji cementēts.

Potenciālās sakņu struktūras tika novērotas visā griezumā, izņemot apakšējo aleirolīta slāni un smilšakmens slāņus. Iespējamajām sakņu struktūrām ir violetā krāsa, kas uzskatāmi kontrastē ar apkārtesošo nogulumu sarkano krāsu. Struktūras pārsvarā ir novietotas vertikāli un veido diagonālus, diametrā mazākus, atzarojumus uz sānu malām. Vislabāk tās ir novērojamas mālaino aleirolītu slāņu augšējā daļā. Vietām potenciālās sakņu struktūras ir tik ļoti savijušās savā starpā, ka atšķirt atsevišķas saknes nebija iespējams. Visos gadījumos domājamo sakņu daudzums un diametri būtiski samazinās to slāņu apakšdaļā, kuros šīs struktūras ir pārstāvētas. Lielākajai daļai struktūru var vērot atzarojumus. Virsskatā (3.2. attēls) redzams sakņu šķērsriezums, kas vairumā gadījumu ir elipsveidīgs vai retākos gadījumos – līdzīgs aplim, taču ir redzami arī sarežģītas formas veidojumi.



3.2. attēls. Potenciālo sakņu struktūru virsskats 1. ģeoloģiskajā griezumā, 4. slānī (fotografējis Ģ. Stinkulis).

Maksimālais izsekojamais potenciālo sakņu garums ir aptuveni 50 cm, maksimālais diametrs – 4 līdz 5 cm. Vairākās vietās tika novēroti šo veidojumu pārtraukumi un pēc neliela intervāla to iespējamie turpinājumi. Tāpat tika novērots, ka saknes, visticamāk, ir augušas arī caur gaišu aleirolītu starpslāņiem un lēcām, kuros to veidojumi bija grūtāk atšķirami krāsu

izmaiņu dēļ, taču bija iespējams izsekot sakņu turpinājumus virs un zem šiem aleirolītiem (3.3. attēls). Ņemot vērā šos novērojumus, netiek izslēgta iespēja, ka saknes varēja būt pat līdz 90 cm garas.



3.3. attēls. Iespējamās sakņu struktūras 1. ģeoloģiskajā griezumā, 2. slānī.

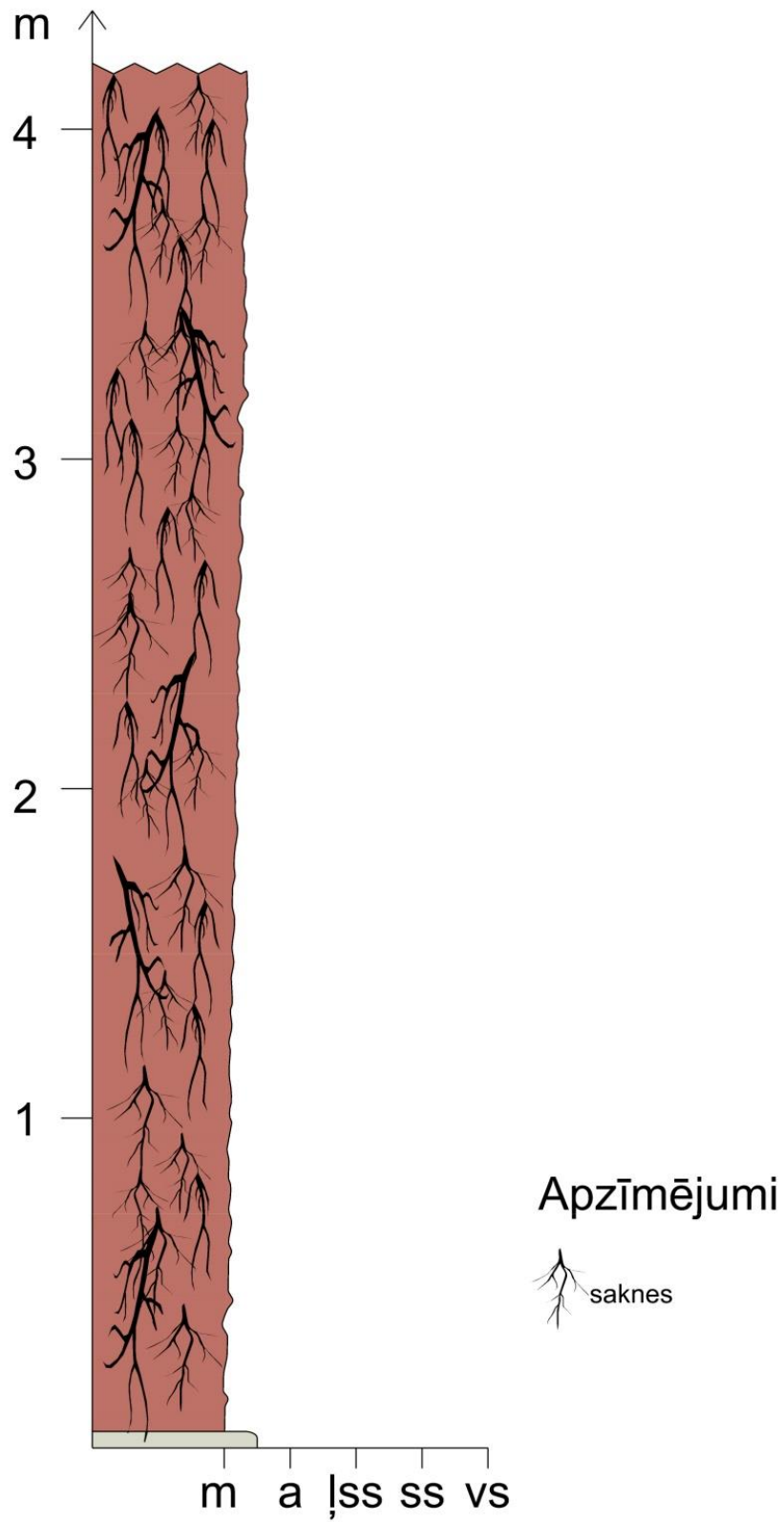
Otrais ģeoloģiskais griezums tika sagatavots vienā, 4,20 m augstā atsegumā, kurā pārlicinoši dominē aleirītisks māls. Griezumā tika nodalīti 2 slāņi (3.4. attēls).

Otrā ģeoloģiskā griezuma augšdaļa ir aptuveni korelējama ar 1. ģeoloģiskā griezuma apakšdaļu. Iespējamā kļūda, veicot šo korelāciju, tika novērtēta kā maksimāli 30 – 50 cm.

Griezuma apakšējā daļā iegūl labi konsolidēts zaļpelēks mālains aleirolīts (1. slānis) ar ļoti smalkgraudainas smilts piejaukumu. Atsegumā tas tika attīrīts 5 cm biezumā un tā kopējais biezums nav zināms.

Nākamais, 2. slānis ir vismaz 4,15 m biezs. Precīzi dati nav pieejami, jo atseguma augšdaļa bija norakta mālu ieguves procesa rezultātā. Slānis sastāv no blīva, sarkana māla ar aleirīta piejaukumu. Aleirīta daudzums uz augšu pieaug un māla frakciju daudzums samazinās, kas liecina par nelielu hidrodinamiskā režīma aktivizāciju. Visā slāņa biezumā ir redzamas gaiši pelēcīgas saknēm līdzīgas struktūras. Iespējamās sakņu struktūras ir samērā vienmērīgi izvietotas, slāņa augšpusē to nedaudz vairāk un to diametrs ir nedaudz lielāks.

Maksimālais šajā ģeoloģiskajā griezumā redzamais iespējamo sakņu garums ir aptuveni 40 cm. Kopumā salīdzinot ar 1. ģeoloģiskajā griezumā redzajām potenciālajām saknēm, šīs ir smalkākas, to diametrs ir mazāks – līdz 3 cm (3.5. attēls).



3.4. attēls. Lodes svītas 2. ģeoloģiskais griezumā Liepas karjerā: m – māls, a – aleirīts, ļss – ļoti smalka smilts, ss – smalka smilts, vs – vidējgraudaina smilts, rs – rupjgraudaina smilts.

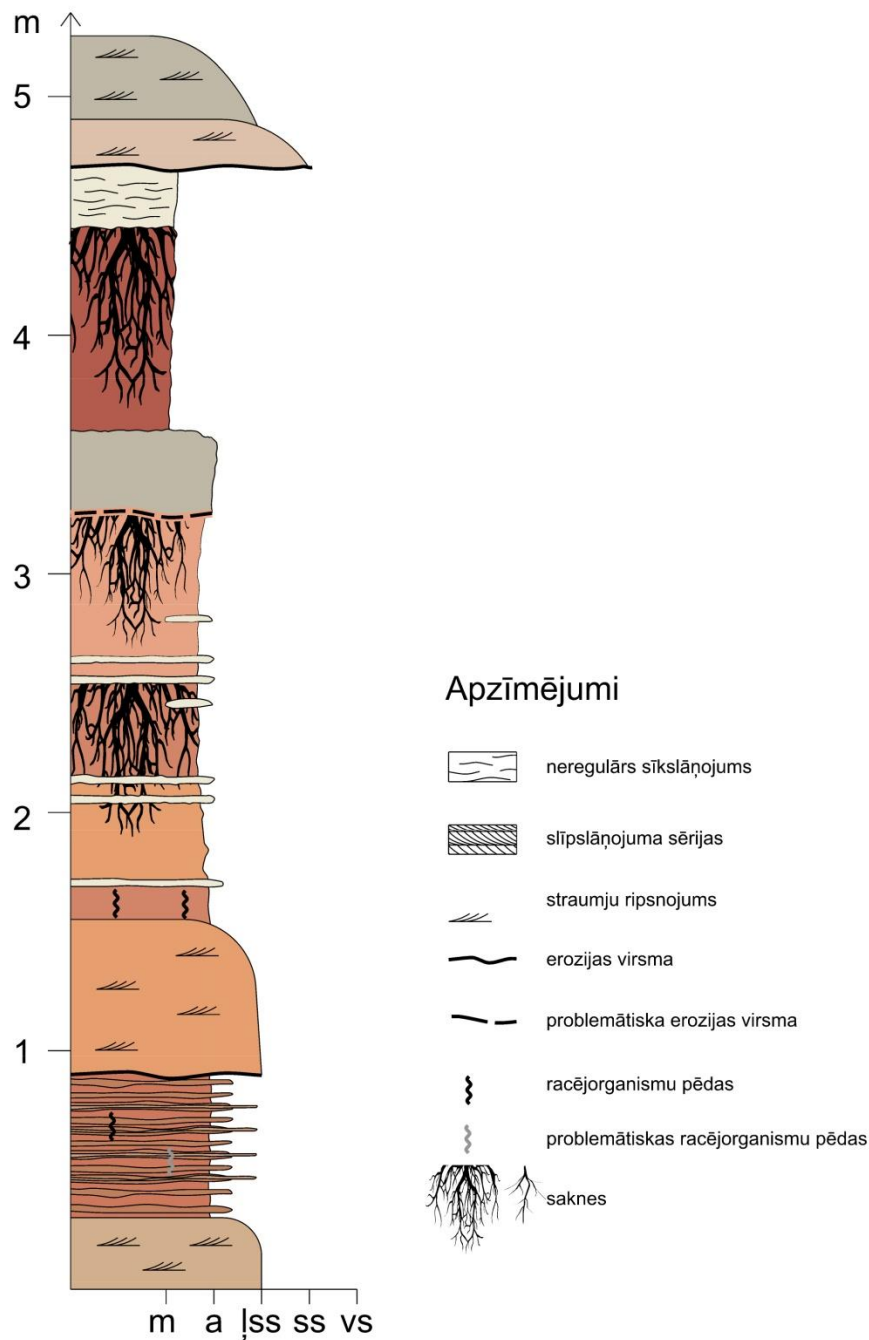


3.5. attēls. Iespējamās sakņu struktūras 2. ģeoloģiskajā griezumā, 2. slānī.

Trešais ģeoloģiskais griezumums ir ar kopējo biezumu 5,26 m un tajā tika nodalīti 8 slāņi (3.6. attēls). Atsegumā dominē aleirolīts un smilšakmens.

Atseguma apakšējā daļā iegulī gaiši brūns, vāji cementēts smilšakmens (1. slānis), kura biezums ir vismaz 30 cm. Smilšakmenī vērojams straumju ripsnojums, kas sastāv no nelieliem valnīšiem, uz kuru malām vērojamas maza biezuma smago minerālu kārtiņas.

Smilšakmenim uzguļ blīvs sarkans aleirolīts (2. slānis), kurā vērojami gaiši sarkanbrūna, drupena smilšaina aleirolīta un gaiši brūnu, vāji konsolidētu smilšu starpslānīši. Aleirolīta slānī, iespējams, var novērot bioturbāciju, kur 12 cm dziļas problemātiskas organismu ejas ir aizpildītas ar smilšainu materiālu (3.7. attēls). Smilšaino aleirolītu un smilšu starpslāņos, aptuveni 30 cm augstumā no slāņa apakšas, arī ir vērojamas ar smiltīm aizpildītas, 2–3 cm dziļas organismu ejas (3.7. attēls). Starpslāņu biezums ir ļoti atšķirīgs – smilšainajam aleirolītam tas variē no 0,5 līdz 10 cm, bet smilšaino slānīšu biezums ir neliels – 0,3–2 cm. Izteikts slāņu maiņas ritmiskums nav novērots. Sīkās smilšainās kārtiņas pārsvarā ir redzamas starp aleirolīta starpslāņiem, mazāk to ir starp aleirolīta ar smiltīm starpslāņiem.

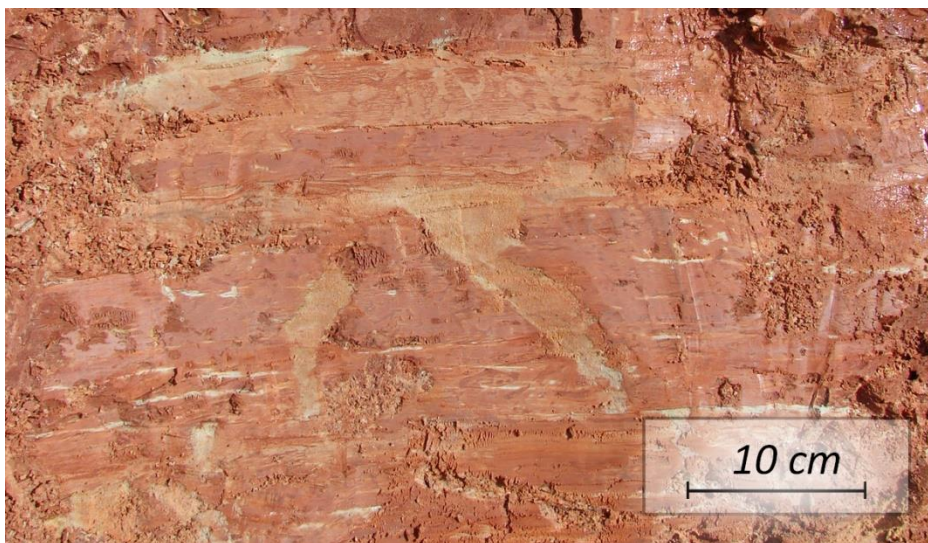


3.6. attēls. Lodes svītas trešais ģeoloģiskais griezumā Liepas karjerā: m – māls, a – aleirīts, ļss – ļoti smalka smilts, ss – smalka smilts, vs – vidējgraudaina smilts, rs – rupjgraudaina smilts.

Starp 2. un 3. slāni atrodas erozijas virsma, virs kuras ieguļ vāji cementēti smilšaini nogulumi (3. slānis) aptuveni 65 cm biezumā. Sarkanīgajā smilšakmenī ir vērojams straumju ripsnojums, kur var novērot maza biezuma smago minerālu kārtiņas.

Nākamais, 4. slānis sastāv no sarkanbrūna un sarkana mālaina aleirolīta ar pelēcīgām smilšaina aleirolīta starpkārtām un lēcām. Kopējais biezums ir 1,70 m. Slāņa apakšdaļā ir vērojama bioturbācija, kur organismu ejas mālainā aleirolīta daļā ir aizpildītas ar smilšainu aleirolītu. Smilšainā aleirolīta starpslāņi un lēcas ir 3 – 4 cm biezi. Sakņu struktūras slāņa

apakšdaļā nav novērotas. Vislabāk tās ir redzamas slāņa vidū, nedaudz arī augšējā daļā. Mālainajā aleirolītā starp smilšainā aleirolīta starpslāņiem un slāņiem ir vērojamas nelielas krāsas, kā arī nogulumu blīvuma izmaiņas. Slāņa apakšdaļā ir aptuveni 14 cm biezumā tumši sarkanie nogulumi ir blīvi, nedaudz augstāk, aptuveni 32 cm biezumā tie jau ir būtiski mazāka blīvuma, kā arī to krāsa ir kļuvusi gaišāka. Vēl augstāk 39 cm biezā intervālā, vietā, kur potenciālās saknes ir vislabāk redzamas, tumši sarkanais mālainais aleirolīts ir blīvs, taču pašā slāņa augšdaļā, aptuveni 60 cm biezumā, līdz pat problemātiskai erozijas virsmai nogulumi ir samērā irdeni un gaiši sarkanbrūni.



3.7. attēls. Problemātiskas ihnofosīlijas 3. ģeoloģiskajā griezumā, 2. slānī.

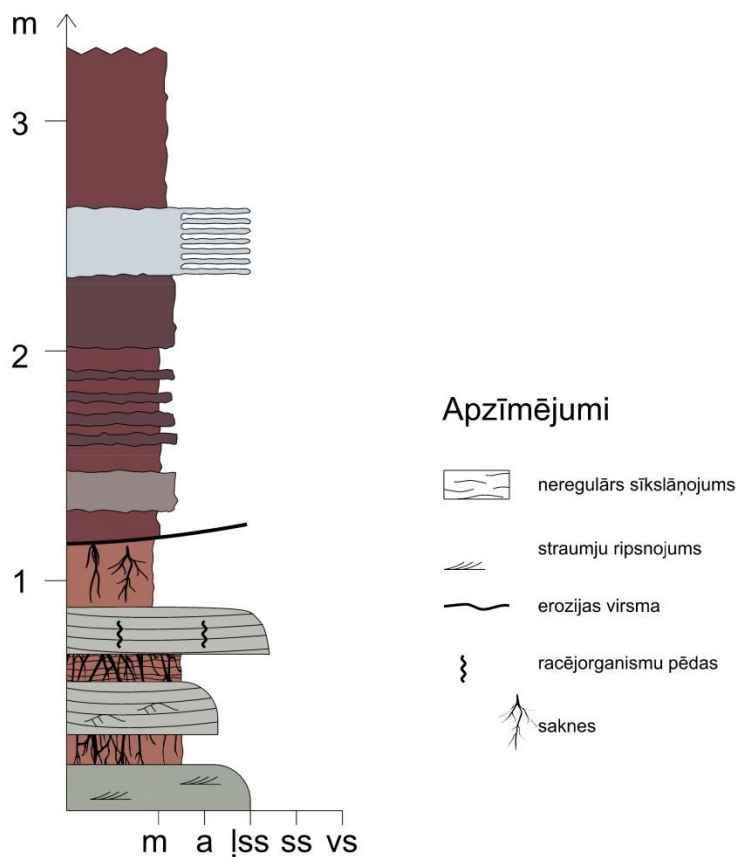
Kontaktā starp 4. slāņa mālaino aleirolītu un 5. slāņa pelēku, maza blīvuma smilšainu aleirolītu, atrodas problemātiska erozijas virsma. Smilšainā aleirolīta slāņa biezums ir 35 cm, tajā ir vērojams neregulārs sīkslāņojums.

Nākamais, 6. slānis ir 1,11 m biezs un sastāv no blīva māla ar aleirolīta piejaukumu. 85 cm biezumā no apakšas māls ir sarkanā krāsā, bet augšdaļā, 26 cm biezumā, tas dzelzs oksīdu un hidroksīdu migrācijas rezultātā ir atkrāsojies un ir pamanāms neregulārs sīkslāņojums. Mālos ir labi saskatāmas potenciālās sakņu struktūras violetā nokrāsā. Nogulumu graudu izmērs virzienā uz augšu nedaudz palielinās.

6. un 7. slāņa kontakta vietā atrodas erozijas virsma, virs kuras ir uzkrājušies vāji cementēti smilšainie nogulumi (7. slānis). Šo slāni pārstāv gaiši brūns, smalkgraudains smilšakmens ar vidējo biezumu 20 cm. Smilšakmenī ir vērojams straumju ripsnojums ar vizlainām kārtiņām uz ripsnojuma tekstūrām.

Atseguma augšdaļā ir zaļganpelēks, vismaz 35 cm biezs (iespējams, tā augšdaļa ir erodēta), vāji konsolidēta, ļoti smalkgraudaina smilšakmens slānis (8. slānis), kurā ir redzams straumju ripsnojums ar neliela biezuma smago minerālu kārtiņām.

Ceturtais ģeoloģiskais griezum (3.8. attēls) ir sagatavots 3,32 m augstā atsegumā un tajā ir nodalīti 9 slāņi. Virs 6. slāņa ir redzamas deformācijas, kas, visticamāk, veidojušās pleistocēna ledāja iedarbībā. Iespējamā glacioidislokācijas virsma nogulumus šķeļ 5° leņķī.



3.8. attēls. Lodes svītas ceturtais ģeoloģiskais griezum Liepas karjerā: m – māls, a – aleirīts, ļss – ļoti smalka smilts, ss – smalka smilts, vs – vidējgraudaina smilts, rs – rupjgraudaina smilts.

Apakšējais, 1. slānis ir vismaz 20 cm biezs un sastāv no zaļpelēka, vāji cementēta smilšakmens. Smilšakmenī ir vērojams straumju ripsnojums. Smilšakmens slāņa apakšējā daļa nav atsegta un tā patiesais biežums nav zināms.

Virs smilšakmens slāņa atrodas 13 cm biezs, blīvs, sarkans mālains aleirolīts (2. slānis) ar violetas nokrāsas iespējamām sakņu struktūrām. Sakņu garums šajā slānī nav novērtējams, jo tās ir redzamas tikai 13 cm garumā visā šī slāņa biežumā, bet nav skaidra to turpināšanās blakus esošajos slāņos.

Nākamais, 3. slānis sastāv no zaļpelēka, vāji konsolidēta, smilšaina aleirolīta un tas ir 23 cm biezs. Smilšainā aleirolīta slānī ir redzamas sīkas mālainas starpkārtnas, starp kurām atrodas sulfīdu minerāli (3.9. attēls), un asimetrisks viļņu ripsnojums. Graudu izmēru samazināšanās un ripsnojuma tekstūru klātbūtne norāda, ka sedimentācijas vide, salīdzinot ar 1. slāni, ir kļuvusi nedaudz mierīgāka.



3.9. attēls. Ceturtā ģeoloģiskā griezuma 3. slānī redzami sulfīdu minerāli (fotografējis Ģ. Stinkulis).

Nākamais, 4. slānis ir 12 cm biezs un sastāv no labi konsolidēta, sarkana, mālaina aleirolīta. Aleirolītā ir vērojamas sīkas aleirītiskas starpkārtas un sulfīdu minerālu piejaukums. Visā slāņa biezumā ir redzamas sakņu struktūras violetā nokrāsā.

Nākošais, pelēka, vāji cementēta smilšakmens slānis (5. slānis), ir 20 cm biezs. Slānī aptuveni ik pa 2 cm ir redzamas nelielas aptuveni 1 mm biezas mālainas starpkārtnas, kā arī bioturbācija, kur horizontālas organismu ejas ar diametru līdz 5 mm mālainā aleirolītā ir aizpildītas ar smilšainu aleirolītu. Šo veidojumu atbilstību organismu ejām palīdzēja noteikt prof. Ervīns Lukševičs.

Virs smilšakmens slāņa iegul vismaz 28 cm biezs, blīvs, sarkans māls (6. slānis), kurā redzamas violetas nokrāsas iespējamās sakņu struktūras. Slāņa augšpusi šķeļ ieslīpa deformācijas, domājams, glacioidislokācijas, virsma. Sakarā ar šo deformāciju nav skaidras sākotnējās attiecības starp 6. un 7. slāni. Pastāv iespēja, ka 7. slānis un to pārsedzošie nogulumi ir pārvietoti lielākā vai mazākā attālumā.

Virs deformācijas virsmas atrodas slāņmija, ko veido sarkani violetīgi, salīdzinoši maza blīvuma māli, aleirolīts un aleirītisks māls ar smilts piejaukumu (7. slānis). Slāņa biezums 1,16 m. Slāņa apakšdaļā ir 14 cm biezs aleirītisks māls, tam uzguļ 18 cm biezs aleirītisks māls ar smilts piejaukumu, ko atkal nomaina aleirītisks māls 11 cm biezumā. Virs tā seko tāda paša sastāva 7 starpslāņu mija, kur katra slāņa biezums ir 4 – 5 cm. Slāņa augšdaļā starpslāņu

biezums kļūst lielāks – māla ar aleirolītu starpslānis ir 10 cm biezs un virs tā uzguļ 30 cm biezs aleirītisks māls ar smilšu piejaukumu. Šāda slāņojuma mija ir raksturīga palienēm vai deltām starpkanālu ieplakās, plūdmaiņu līdzenumos, ezeriņos (Nichols 2009).

Nākamais, 8. slānis ir vidēji 30 cm biezs, vāji konsolidēts, pelēkā krāsā. Slānī ir vērojamas plūdmaiņu pazīmes un tas sastāv no smilšaina un mālaina materiāla kārtiņu mijas (3.10. attēls), kuras ritmiskās maiņas dēļ ir interpretējamas kā plūdmaiņu kopas. Stipro un vājo plūdmaiņu kopu biežums ir 2 – 2,5 cm un tajās ir vērojams sīkkārtojums, ko veido gan mālains, gan aleirītisks, gan arī smilšains materiāls. Virzienā uz austrumiem šis slānis pāriet slāņotos, pelēkos, treknos mālos.



3.10. attēls. 4. ģeoloģiskā griezumā 9. slānī redzamās plūdmaiņu tekstūras (fotografējis Ģ. Stinkulis).

8. un 9. slāņa kontakts ir neregulārs un vērojama pakāpeniska pāreja uz masīvu, blīvu mālu (9. slānis), kura biežums ir vismaz 70 cm. Sakņu struktūras šajā slānī nav novērotas.

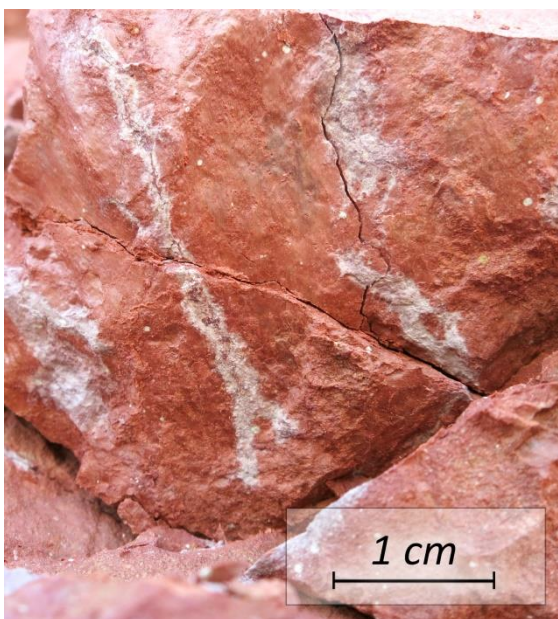
3.2. Iespējamo sakņu veidojumu raksturojums

Iespējamās sakņu struktūras ir sastopamas mālaina aleirolīta un aleirītiska māla nogulumos. Izteikti redzamas tās ir tikai sarkanas krāsas nogulumos, bet vietās, kur tie ir atkrāsojušies, sakņu struktūras nav redzamas.

Visos pētītajos atsegumos iespējamo sakņu struktūras pēc morfoloģijas un krāsas izskatās līdzīgi (3.3. attēls), ar vienu izņēmumu – 2. ģeoloģiskajā griezumā 2. slānī

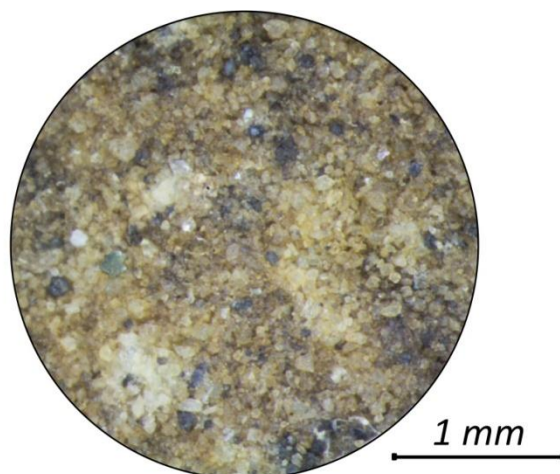
redzamajām (3.5. attēls). Pārsvārā visos griezumos redzamajā saknēm ir raksturīgi intensīvi zarojumi, izņemot 2. ģeoloģiskā griezumā 2. slānī esošās, kurām tas ir mazāk izteikts.

Problemātiskās sakņu struktūras pārsvārā ir gaišāka materiāla nekā apkārtesošie mālainie aleirolīti. Lielākoties tās ir violetīgas nokrāsas, dažkārt violetīgas ar nedaudz dzeltenīgu nokrāsu, izņemot 2. ģeoloģiskā griezumā 2. slānī esošās, kuras ir pelēcīgā krāsā. Starp sakņu struktūrām un apkārtesošo iezī ir redzama krasa robeža. Maksimālais izsekojamais problemātisko sakņu garums ir 40–50 cm, tomēr, kā aprakstīts iepriekš (3.1. apakšnodaļa, 1. griezums), iespējams, ka tās ir bijušas pat 90 cm garas (3.3 attēls). Sakņu struktūru diametrs svārstās no pāris milimetriem līdz 5 cm. Šīs struktūras šķēsgriezumā pārsvārā ir elipsveidīgas (3.2. attēls), diezgan bieži arī apļveidīgas. Sarežģītāku formu veidojumi tika novēroti vietās, kur, iespējams, tās ir krustojušās vai atradušās tuvu viena otrai, vai arī ir augušas nedaudz mainīgā leņķī. Otrā ģeoloģiskā griezumā 2. slānī redzamās struktūras (3.11. attēls) vidū ir redzams neliels kanāliņš, kas liecina par saknes koncentrisku uzbūvi.



3.11. attēls. Iespējamās sakņu struktūras 2. ģeoloģiskā griezumā 2. slānī.

Lauka apstākļos vairākos atsegumos tika atklāti tumšpelēki ieslēgumi (paraugi nr. 1.9 un 4.4) – iespējamā organiskā viela. Mikroskopā (3.12. attēls), atstarotā gaismā, pēc tumšā materiāla spīduma un kristāliskās uzbūves, secināts, ka redzamie tumšie graudiņi ir sulfīdu minerāli. Tas gan neizslēdz iespēju, ka organiskā viela tur savulaik ir bijusi, jo sulfīdi bieži veidojas vietās, kur reducējas organiskā viela. Organiskās vielas oksidēšanās piesaista skābekli, kas tiek iztērēts, radot ap sevi reducējošu vidi, kura ir labvēlīga sulfīdu mineralizācijas izveidei.



3.12. attēls. Sulfīdu minerāli (melnie un tumšpelēkie) ceturtā ģeoloģiskā griezuma 3. slānī (paraugs nr. 4.4). Attēls uzņemts atstarotās gaismas mikroskopā.

Ar induktīvās pāru plazmas masu spektrometrijas palīdzību noskaidrots mikroelementu daudzums un proporcijas iespējamajās sakņu struktūrās (paraugā nr. 1.11.) un tās ietverošajos nogulumos (paraugā nr. 1.12). Katrs paraugs tika sadalīts 3 daļās, katrai no kurām veikta atsevišķa analīze (3.1. tabula).

Kā liecina literatūras dati, biofilie elementi, kuri kalpo par barības vielām mūsdienu augiem, ir slāpeklis, fosfors, kalcijs, kālijs, sērs, mangāns, ogleklis, skābeklis, ūdeņradis (makroelementi); bors, hlors, varš, dzelzs, magnijs, molibdēns, niķelis un cinks (mikroelementi); alumīnijs, kobalts, selēns, silīcijs, nātrijs un vanādijs (papildus vajadzīgie elementi) (Barker, Pilbeam 2016). Līdzīgi ir arī devona augu saknēm, tās ir pastiprināti uzņēmušas fosforu, kāliju, dzelzi, magniju un slāpekli (Raven, Edwards 2001).

Sēņu augšanai ir nepieciešamas šādas barības vielas – fosfors, amonija joni, kobalts, kālijs, kalcijs, nitrāti, varš, cinks, mangāns un magnijs (Teotia et al. 2017).

Tabulā (3.1. tabula) redzams, ka parauga nr. 1.11 sastāvā ir lielāks kalcija, vara, kālija, fosfora un sēra saturs nekā paraugā nr. 1.12. Savukārt dzelzs un mangāns, kas arī ir biofilie elementi, sakņu struktūru saturošajos nogulumos ir mazākā daudzumā nekā apkārtesošajos iežos. Devona nogulumiem ir raksturīgs augsts dzelzs un arī mangāna saturs, domājams, augi to nevar uzņemt tik lielā koncentrācijā. Tādēļ šo elementu sadalījumu nosaka citas likumsakarības.

Kā iepriekš secinājuši Maršners, Skene un Tumforts, tad augu sakņu ietekmē mēdz notikt trīsvērtīgās dzelzs reducēšanās par divvērtīgo dzelzi (Raven, Edwards 2001), kas skaidro krāsas maiņu visos ģeoloģiskajos griezumos redzamajām saknēm. Divvērtīgās dzelzs savienojumi tiek atzīti par kustīgākiem dabā nekā trīsvērtīgās dzelzs savienojumi, tādēļ šī reducēšanās varēja izsaukt arī dzelzs savienojumu migrāciju projām no sakņu struktūrām.

Ķīmisko elementu daudzums paraugos nr. 1.11 un 1.12. Elementu daudzumi ir doti mikrogramos uz gramu vielas

Parauga nr.	Al mkg/g	As mkg/g	Ba mkg/g	Be mkg/g	Ca mkg/g	Cd mkg/g
1.11.A	9769	1,6	56,9	0,90	2122	<0,02
1.11.B	9685	2,0	57,7	0,91	2201	<0,02
1.11.C	9587	2,0	61,0	0,93	2233	<0,02
1.12.A	9501	2,4	86,2	1,12	2110	<0,02
1.12.B	9506	2,1	64,0	1,14	2065	<0,02
1.12.C	8829	2,5	57,4	1,02	1788	<0,02

Parauga nr.	Co mkg/g	Cr mkg/g	Cu mkg/g	Fe mkg/g	K mkg/g	La mkg/g
1.11.A	12,6	28,6	11,3	36191	3863	18,2
1.11.B	12,4	29,1	11,2	36572	3774	18,6
1.11.C	12,5	28,7	11,4	36295	3711	18,5
1.12.A	13,0	31,1	10,3	49647	3493	19,1
1.12.B	13,1	31,5	22,7	49900	3435	19,6
1.12.C	11,4	29,2	7,8	45481	3231	17,7

Parauga nr.	Mg mkg/g	Mn mkg/g	Mo mkg/g	Na mkg/g	Ni mkg/g	P mkg/g
1.11.A	3897	131	<0,1	50,1	33,0	298,7
1.11.B	3958	132	<0,1	49,9	33,9	304,1
1.11.C	3968	133	<0,1	51,5	33,2	304,9
1.12.A	3806	188	<0,1	55,1	35,6	244,1
1.12.B	3804	189	<0,1	47,3	36,0	245,3
1.12.C	3459	170	<0,1	39,2	32,7	225,0

Parauga nr.	Pb mkg/g	S mkg/g	Se mkg/g	Si mkg/g	Sr mkg/g	V mkg/g	Zn mkg/g
1.11.A	3,4	37		49,9	9,6	18,3	41,5
1.11.B	4,5	39	0,0	60,5	9,5	19,0	41,4
1.11.C	3,5	40	0,0	61,7	9,5	18,6	40,8
1.12.A	6,6	40	0,0	44,9	9,7	29,2	43,6
1.12.B	5,6	34	0,0	30,9	9,6	29,2	44,8
1.12.C	6,2	29	0,0	51,8	8,7	26,2	39,0

Kobalta, cinka un alumīnija saturs abos paraugos ir līdzīgā daudzumā. Augšminētie ķīmiskās elementu analīzes dati norāda, ka iespējamība, ka nogulumos esošie veidojumi ir augu vai sēņu saknes, ir vērā ņemama.

3.3. Granulometriskās analīzes rezultāti

Laboratorijas darbos iegūtie rezultāti kopumā apstiprina lauka apstākļos veiktos novērojumus, tomēr tie sniedz precīzāku informāciju. Graudu izmēru klasifikācijā tika izmantota Krumbeina (Krumbein, Eberdein, 1973) skala. Apkopotie rezultāti redzami pielikumos (1.1. – 1.37. pielikums).

Pirmajā ģeoloģiskajā griezumā (3.1. attēls) var redzēt trīs atsevišķi nodalāmus ciklus, kas sākas ar smilšakmens, smilšaina aleirolīta un aleirolīta nogulumiem un beidzas līdz ar erozijas virsmu virs mālainajiem nogulumiem. Pirmā cikla biezums ir vismaz 2,40 m, otrā – 1,60 m un trešā – 0,28 m.

Pirmā ģeoloģiskā griezuma lejasdaļā esošā 1. slāņa aleirītiska māla (paraugs nr. 1.1) granulometriskā sastāva analīzes uzrāda (3.1. tabula), ka tas pārsvarā sastāv no mālaina materiāla, kas kopumā veido 48%, aleirīta daudzums ir 28% un smilšainā materiāla daudzums ir 24% (1.1. pielikums). Šķirotības koeficients ir 2,7, kas nozīmē, ka materiāls ir ļoti vāji šķirots. Vidējais graudu izmērs ir 0,011 mm.

Nākamais, 2. slānis, tāpat kā 1. slānis, sastāv no aleirītiska māla (3.2. tabula), taču 2. slāņa apakšdaļā (paraugs nr. 1.2) ir lielāks māla īpatsvars – 70%, aleirīta daudzums ir tikpat liels – 28%, bet būtiski atšķirās smilšu daudzums, šajā gadījumā to ir tikai 2% (1.2. pielikums). Kopumā šī slāņa daļa satur vismālainākos nogulumus no visiem atsegumā redzamajiem, kā arī vidējais graudu izmērs ir viens no vismazākajiem – 0,002 mm. Šķirotības pakāpe ir zema, būtiskas atšķirības starp 1. un 2. slāni šajā gadījumā nav. Nedaudz augstāk, 2. slānī ir vērojama neliela, tāda paša sastāva (3.2. tabula) nogulumu materiāla izmēru palielināšanās (paraugs nr. 1.3), vidējais graudu izmērs ir 0,004 mm, kopumā māla frakcijas procentuālais daudzums ir kļuvis mazāks – 57%, savukārt aleirītiskās daļas daudzums ir palielinājies – 43%. Smilšainās frakcijas daudzums ir mazāks par 0,3% (1.3 pielikums). Arī šajā slāņa daļā šķirotība ir ļoti zema, tikai nedaudz labāka nekā slāņa lejasdaļā. Nedaudz augstāk, smilšaina māla (3.2. tabula) starpslāņos granulometriskā sastāva analīzes (paraugs nr. 1.4) uzrāda mazāku māla daudzumu – 46%, mazāku aleirīta daudzumu – 28%, bet būtiski lielāku smilšu daudzumu – 31% (1.4. pielikums). Šķirotības koeficients ir 2,78, un tas ir

vislielākais no visiem analizētajiem paraugiem. Tātad šis smilšainais māls ir visvājāk šķirotas no pētītajiem 1. ģeoloģiskā griezumā nogulumiem.

3.2. tabula

Pirmajā ģeoloģiskajā griezumā sastopamo nogulumu granulometriskais sastāvs, šķirotības koeficients un vidējais graudu izmērs (izstrādājusi autore).

Parauga numurs	Frakcija													
	2 – 0,063 mm	0,063 – 0,004 mm	<0,004 mm	0,5 – 0,25 mm	0,25 – 0,125 mm	0,125 – 0,063 mm	0,63 – 0,031 mm	0,031 – 0,016 mm	0,016 – 0,008 mm	0,008 – 0,004 mm	0,004 – 0,001 mm	<0,001 mm	Šķirotības koeficients	Vidējais graudu izmērs (µm)
1.1	24	28	48	0	3	21	11	8	4	5	8	40	2,7	11
1.2	2	28	70	0	0	2	4	7	8	9	20	50	2,5	2
1.3	0	43	57	0	0	0	5	15	13	9	11	46	2,1	4
1.4	31	28	41	0	9	22	11	9	5	3	7	34	2,8	34
1.5	9	38	53	0	2	7	10	11	8	9	12	41	2,4	5
1.6	2	38	60	0	0	2	12	11	8	7	14	46	2,2	3
1.7	95	1	4	1	85	10	0	0	0	0	1	3	0,4	210
1.8	73	14	13	0	39	34	9	3	1	1	1	12	1,8	142
1.10	0	32	68	0	0	0	2	7	11	12	20	48	2,4	2
1.13	19	60	21	0	3	16	25	19	9	7	7	13	2,6	25

Iepriekšējos 2. slāņa aleirītiskā māla paraugos netika izņemts arī iespējamo sakņu struktūru aizpildošais materiāls. 2. slāņa lejasdaļā šī materiāla arī bija krietni mazāk, taču, ņemot paraugu nr. 1.6. (3.2. tabula) slāņa augšdaļā, tika pievērsta uzmanība tam, lai paraugā būtu tikai sarkanie mālainie nogulumi bez sakņu struktūras aizpildošā materiāla. Granulometriskās analīzes rezultāti parādīja, ka māla saturs šajā paraugā ir 60%, aleirīta daudzums ir 38% un smilts ir nedaudz – tikai 2% (1.5. pielikums). Vidējais graudu izmērs ir 0,003 mm, un šķirotības koeficients ir salīdzinoši zems – 2,23.

Atšķirībā no iepriekšējā parauga, paraugā nr. 1.5 (3.2. tabula) tika apvienots tikai sakņu struktūru aizpildījums. Tas tika ņemts tajā pašā 2. slānī, vienā līmenī ar iepriekšējo paraugu. Granulometriskā analīze uzrādīja mazāku mālainās daļas daudzumu – 53%, aleirīta saturs abiem paraugiem ir vienāds – 38%. Nedaudz citāda situācija ir ar smilšaino materiālu, šajā gadījumā no kopējā parauga smilts aizņem 9% (1.6. pielikums). Vidējais graudu izmērs paraugā ir lielāks nekā iepriekšējam – 0,005 mm. Šķirotības pakāpe ir 2,43, kas nozīmē, ka parauga šķirotības koeficients ir nedaudz zemāks nekā iepriekšējam paraugam.

Nākamais, 3. slānis (paraugs nr. 1.7) sastāv no smilšakmens (3.2. tabula). Tā apakšdaļas granulometriskā sastāva analīze rāda, ka mālainās daļas daudzums ir ļoti neliels – tikai 4%, aleirīta frakciju praktiski nav, kopsummā visas veido tikai 1%, smilšainā frakcija – 95% (1.7. pielikums). Šķirotības koeficients ir 0,4, kas norāda, ka smilšainais materiāls ir ļoti šķirots. Vidējais graudu izmērs ir 0,21 mm. Šajā slānī ir vislielākais graudu izmērs un vislabākā šķirotība ne vien 1. ģeoloģiskajā griezumā, bet visos 4 pētītajos ģeoloģiskajos griezumos. 3. slāņa augšdaļas materiāla (paraugs nr. 1.8) granulometriskās analīzes rezultāti (3.2. tabula) parāda lielāku māla daudzumu – 13%. Atšķirībā no iepriekšējā smilšakmens parauga, šajā paraugā aleirīta ir vairāk – 14%. Smilšainās frakcijas kopsummā aizņem 73% (1.8. pielikums). Atšķirībā no iepriekšējā parauga, šajā šķirotības koeficients ir zemāks – 1,76 un vidējais graudu izmērs ir mazāks – 0,142 mm, kas kopumā ir likumsakarīgi, jo šis paraugs ir ņemts no smilšakmens slāņa augšdaļas.

Nākamais, 4. slānis sastāv no aleirītiska māla (3.2. tabula), kurā arī ir vērojamas iespējamo sakņu struktūras. Paraugs (nr. 1.10) tika ņemts no šī slāņa lejasdaļas un, līdzīgi kā paraugā no 2. slāņa apakšdaļas, arī šajā ir salīdzinoši augsts mālainā satura daudzums – 68%. Aleirīta daudzuma procentuālais sastāvs arī ir līdzīgs – kopumā tie ir 32%. 4. slānī iztrūkst smilšainā frakcija, atšķirībā no 2. slāņa apakšdaļas, kur tās daudzums bija 2% (1.9. pielikums), līdzīgs ir arī vidējais graudu izmērs, kas abos salīdzināmajos slāņos ir 0,002 mm. Lielā granulometriskā sastāva līdzība 2. un 4. slānī norāda uz ļoti līdzīgiem sedimentācijas apstākļiem.

Nākamā, 5. slāņa parauga (nr. 1.13) granulometriskā sastāva analīze (3.2. tabula) uzrāda, ka slānis pārsvarā sastāv no mālaina aleirolīta, taču tas satur arī ievērojamu daļu smilšainās frakcijas. Māls kopsummā aizņem 21%, aleirolīta paraugā ir visvairāk – 60%, bet smilts frakcija aizņem 19% (1.10. pielikums). Atšķirībā no 3. slāņa materiāla, šajā slānī tas ir krietni smalkāks, vidējais graudu izmērs ir 0,025 mm.

Otrajā ģeoloģiskajā griezumā (3.4. attēls) var redzēt tikai viena sedimentācijas cikla daļu – mālaini aleirītiskus nogulumus ar biezumu vismaz 4,20 m. Kopējo biezumu neizdevās noskaidrot nobiruma un iespējamās augšējā daļas trūkuma dēļ sakarā ar mālu ieguves procesiem.

Lejasdaļā esošā 1. slāņa aleirītiskā māla ar smiltīm (paraugs nr. 2.1) granulometriskā sastāva analīzes (3.3. tabula) rāda, ka tas pārsvarā sastāv no māla – 42%, aleirīta – 37% un 21% smilšu (1.11. pielikums). Vidējais graudu izmērs ir 0,01 un šķirotības pakāpe ir ļoti zema – 3,6.

Otrajā ģeoloģiskajā griezumā sastopamo nogulumu granulometriskais sastāvs, šķirotības koeficients un vidējais graudu izmērs.

Parauga numurs	Frakcija												Šķirotības koeficients	Vidējais graudu izmērs (µm)
	Smits (%)	Aleirīts (%)	Māls (%)	Vidējgraudaina smits (%)	Smalkgraudaina smits (%)	Ļoti smalkgr. smits (%)	Rupjgraudains aleirīts (%)	Vidējgraudains aleirīts (%)	Smalkgr. aleirīts (%)	Ļoti smalkgr. aleirīts (%)	Liess māls (%)	Trekns māls (%)		
	2 – 0,063 mm	0,063 – 0,004 mm	<0,004 mm	0,5 – 0,25 mm	0,25 – 0,125 mm	0,125 – 0,063 mm	0,63 – 0,031 mm	0,031 – 0,016 mm	0,016 – 0,008 mm	0,008 – 0,004 mm	0,004 – 0,001 mm	<0,001 mm		
2.1	21	37	42	0	1	20	11	14	7	6	10	32	3,6	10
2.2	1	30	69	0	0	1	4	6	7	13	28	41	2,4	2
2.3	1	31	68	0	0	1	3	8	9	11	24	44	2,5	1
2.4	3	32	65	0	0	3	7	8	8	8	18	47	3,3	1
2.5	8	36	56	0	0	8	7	13	9	7	17	39	3,5	3

Nākošo, 2. slāni, veido aleirītisks māls, taču atšķirībā no pirmā slāņa, tas praktiski nesatur smilšaino frakciju, vienīgi slāņa augšdaļā tās daudzums nedaudz palielinās. Slāņa lejasdaļā ir vislielākais mālains daļas daudzums, uz slāņa augšpusi tas pakāpeniski samazinās. Kopumā slānī veiktas 4 paraugu granulometriskā sastāva analīzes (3.3. tabula). Lejasdaļā (paraugs nr. 2.2) māla saturs ir 69%, aleirīta – 30% un smilšainās frakcijas – 1% (1.12. pielikums). 1,2 m augstāk ņemtā parauga (nr. 2.3) analīzes norāda uz ļoti līdzīgu granulometrisko sastāvu – māls – 68%, aleirīts – 31% un smiltis – 1% (1.13. pielikums). Nākošā parauga (nr. 2.4) analīzes norāda uz tādu pašu tendenci – nedaudz samazinās māla un palielinās aleirīta un smilšu saturs. Māla saturs ir 65%, aleirīta – 32%. Smilšainā frakcija joprojām ir pārstāvēta minimāli, taču tā ir nedaudz palielinājusies – 3% (1.14. pielikums). Pēdējā slānī ņemtā parauga (nr. 2.5) granulometriskā sastāva analīzes rezultāti norāda, ka tendence pieaugt rupjākām frakcijām turpinās. Māla saturs ir samazinājies līdz 56%. Aleirīta frakcija ir palielinājusies līdz 36%. Smilšainās frakcijas daudzums ir palielinājies līdz 8% (1.15. pielikums). Graudu izmērs viscaur slānī ir neliels, no 0,001 – 0,003 mm. Nogulumu šķirotība viscaur šajā slānī ir ļoti slikta.

Trešajā ģeoloģiskajā griezumā (3.6. attēls) var redzēt trīs atsevišķi nodalāmus ciklus, kas sākas ar smilšakmens un mālaina aleirolīta nogulumiem un beidzas līdz ar erozijas virsmu virs mālainajiem nogulumiem. Pirmā cikla biezums ir vismaz 0,9 m, otrā – 2,35 m un trešā – 1,45 m.

Griezuma lejasdaļā esošā 1. slāņa smilšakmens (paraugs nr. 3.1) granulometriskā sastāva analīzes uzrāda (3.4. tabula), ka tas pārliecinoši sastāv no smilšaina materiāla, kas

kopumā veido 91%, aleirīta daudzums ir 5% un mālainā materiāla daudzums ir 4% (1.16. pielikums). Šķīrotības koeficients ir 0,8, kas nozīmē, ka materiāls ir vidēji labi šķirots. Vidējais graudu izmērs ir 0,11 mm.

3.4. tabula

Trešajā ģeoloģiskajā griezumā sastopamo nogulumu granulometriskais sastāvs, šķīrotības koeficients un vidējais graudu izmērs.

Parauga numurs	Frakcija												Šķīrotības koeficients	Vidējais graudu izmērs (μm)
	2 – 0,063 mm	0,063 – 0,004 mm	Māls (<0,004 mm)	Vidējgraudaina smiltis (0,5 – 0,25 mm)	Smalkgraudaina smiltis (0,25 – 0,125 mm)	Ļoti smalkgr. smiltis (0,125 – 0,063 mm)	Rupjgraudains aleirīts (0,63 – 0,031 mm)	Vidējgraudains aleirīts (0,031 – 0,016 mm)	Smalkgr. aleirīts (0,016 – 0,008 mm)	Ļoti smalkgr. aleirīts (0,008 – 0,004 mm)	Līss māls (0,004 – 0,001 mm)	Trekns māls (<0,001 mm)		
3.1	91	5	4	0	35	55	3	1	1	1	4	0	0,8	115
3.2	11	50	39	0	1	10	15	20	9	6	8	31	3,5	11
3.3	92	4	4	0	44	48	3	1	0	1	1	3	0,6	119
3.4	88	6	6	0	35	52	3	1	0	1	1	6	1,4	113
3.5	17	52	31	0	1	16	18	21	7	5	7	25	3,2	19
3.6	8	47	45	0	0	8	15	16	9	7	14	32	3,4	6
3.7	10	48	42	0	0	10	16	18	8	7	10	31	3,4	9
3.8	20	52	28	0	1	20	28	16	5	4	6	22	3,4	28
3.9	1	21	78	0	0	0	1	4	6	10	27	50	2,4	1
3.10	3	29	68	0	2	1	3	6	9	11	18	50	3,1	1
3.11	88	5	7	4	73	11	2	1	1	1	1	5	1,5	172
3.12	42	24	34	0	2	41	10	7	4	4	8	26	3,5	36

2. slānis sastāv no mālaina aleirīta (3.4. tabula) ar smilšu piejaukumu. Parauga nr. 3.2 granulometriskās analīzes rezultāti rāda, ka mālainās daļas saturs ir 39%, aleirīta – 50% un smilšu – 11% (1.17. pielikums). Vidējais graudu izmērs ir 0,11 mm un šķīrotība ir ļoti slikta – 3,5.

Nākošo, 3. slāni veido smilšakmens (3.4. tabula). Paraugā nr. 3.3, kurš ir ņemts slāņa lejasdaļā, smilšu procentuālais sastāvs ir diezgan liels – 92%. Aleirīta un māla saturs ir vienāds – katrs 4% (1.18. pielikums). Šim smilšakmens paraugam ir vidēji laba šķīrotība – 0,6, vidējais graudu izmērs ir 0,12 mm. Nākošais paraugs (nr. 3.4) ir ņemts no smilšakmens (3.3. tabula) slāņa augšdaļas un tā materiāls ir smalkāks un sliktāk šķirots. Smilšainā daļa ir 88%, aleirītiskā – 6% un mālainā – 6% (1.19. pielikums). Šķīrotības koeficients ir 1,4, kas norāda, ka materiāls ir slikti šķirots, vidējais graudu izmērs, salīdzinot ar iepriekšējo paraugu, ir nedaudz samazinājies – 0,11 mm.

Nākošajā, 4. slānī ir veiktas 3 paraugu (nr. 3.5 – 3.7) granulometriskā sastāva analīzes. Slānis sastāv no mālaina aleirīta (3.4. tabula). Smilšu daudzums slānī svārstās no 8 līdz 17%, aleirīta – 47 – 52%, un māla – 31 – 45% (1.20 – 1.22. pielikumi). Slāņa lejasdaļā un augšdaļā materiāls ir smilšaināks un satur mazāk mālainās daļas, slāņa vidusdaļā smilšu ir vismazāk un māla – visvairāk. Šķīrotība visos 3 paraugos ir ļoti slikta (no 3,2 – 3,4), vidējais graudu izmērs ir 0,02 mm slāņa lejasdaļā, 0,006 mm vidusdaļā un augšdaļā tas nedaudz pieaug – līdz 0,009 mm. Tas nozīmē, ka, veidojoties slāņa vidusdaļā sastopamajiem nogulumiem, sedimentācijas apstākļi ir bijuši nedaudz mierīgāki, ūdens plūsma ir bijusi lēnāka.

5. slānis sastāv no mālaina aleirolīta ar smilšu piejaukumu (3.4. tabula). Parauga nr. 3.8 mālainās daļas daudzums ir 28%, aleirītiskās – 52% un smilšainās – 20% (1.23. pielikums). Graudu vidējais izmērs ir salīdzinoši liels – 0,03 mm un šķīrotība ļoti slikta – 3,4.

Nākošajā, 6. slānī ir vismālainākie nogulumi no visiem trešā ģeoloģiskā griezuma slāņiem (3.4. tabula). Slāņa apakšdaļā ņemtais paraugs nr. 3.9 satur 78% māla, augšdaļā (paraugs nr. 3.10) – 68%. Aleirīta saturs lejasdaļā ir mazāks nekā augšdaļā, attiecīgi 21% un 29%. Tāpat no apakšas uz augšu palielinās smilšu daudzums – 1% un 3% (1.24., 1.25. pielikumi). Šķīrotība abos paraugos ir ļoti slikta – 2,4 slāņa apakšdaļā un 3,1 augšdaļā. Vidējais graudu izmērs abos paraugos ir 0,001 mm.

7. slānis sastāv no smilšakmens (3.4. tabula). Paraugs nr. 3.11 galvenokārt sastāv no smilšu frakcijas – 88%, aleirīta – 5% un māla – 7% (1.26. pielikums). Smilšakmens lielākoties sastāv no smalkgraudainas smilts – 73%. Vidējais graudu izmērs ir 0,17 mm un šķīrotība ir slikta – 1,5.

Atseguma augšējo, 8. slāni pārstāv mālains smilšakmens (3.4. tabula). Paraugs nr. 3.12. sastāv no 42% smilšu, 24% aleirīta un 34% māla (1.27. pielikums). Šķīrotība ir ļoti slikta – 3,5 un vidējais graudu izmērs ir 0,036 mm.

Ceturtajā ģeoloģiskajā griezumā (3.8. attēls) ir redzami trīs sedimentācijas cikli ar salīdzinoši nelielu biezumu, pirmais ir vismaz 0,33 m, otrais 0,35 m un trešais vismaz 0,48 m biezs, tā augšdaļu šķeļ pleistocēna ledāja deformācijas vai devona baseina erozijas virsma.

1. slānis sastāv no aleirītiska smilšakmens (3.4. tabula). Paraugs nr. 4.1 satur 57% smilšu, 26% aleirīta un 17% māla (1.28. pielikums). Vidējais graudu izmērs ir 0,07 mm un šķīrotība ir ļoti slikta – 3.

Nākošais, 2. slānis sastāv no mālaina aleirolīta (3.5. tabula). Parauga nr. 4.2 granulometriskās analīzes rezultāti rāda, ka mālainās daļas saturs ir 47%, aleirīta – 50% un smilšu – 3% (1.29. pielikums). Vidējais graudu izmērs ir 0,005 mm un šķīrotība ir ļoti slikta – 3,1.

Ceturajā ģeoloģiskajā griezumā sastopamo nogulumu granulometriskais sastāvs, šķīrotības koeficients un vidējais graudu izmērs.

Parauga numurs	Frakcija												Šķīrotības koeficients	Vidējais graudu izmērs (µm)
	Smiltis (%) 2 – 0,063 mm	Aleirīts (%) 0,063 – 0,004 mm	Māls (%) <0,004 mm	Vidējgraudaina smiltis (%) 0,5 – 0,25 mm	Smalkgraudaina smiltis (%) 0,25 – 0,125 mm	Ļoti smalkgr. smiltis (%) 0,125 – 0,063 mm	Rupjgraudains aleirīts (%) 0,63 – 0,031 mm	Vidējgraudains aleirīts (%) 0,031 – 0,016 mm	Smalkgr. aleirīts (%) 0,016 – 0,008 mm	Ļoti smalkgr. aleirīts (%) 0,008 – 0,004 mm	Liess māls (%) 0,004 – 0,001 mm	Trekns māls (%) <0,001 mm		
4.1	57	26	17	0	8	48	15	7	3	2	3	14	3,0	72
4.2	3	50	47	0	0	3	9	20	11	9	13	33	3,1	5
4.3	22	49	29	0	1	22	17	20	8	4	7	22	3,4	22
4.5	1	52	47	0	0	1	9	20	14	10	14	33	3,1	5
4.6	67	19	14	0	20	47	11	4	2	1	2	12	2,4	89
4.8	0	18	82	0	0	0	4	3	4	7	23	59	2,7	0,8
4.9	12	31	57	0	4	8	6	8	8	9	21	35	3,6	3
4.10	1	27	72	0	0	0	2	5	6	14	29	42	2,2	1
4.11	34	23	43	0	12	21	6	5	5	7	14	29	3,9	8
4.12	0	30	70	0	0	0	4	5	9	13	27	44	2,2	1

Mālainā aleirolīta slāni pārsedz mālaina aleirolīta ar smiltīm (3. slānis) nogulumu. Māla frakcija (paraugā nr. 4.3) aizņem 29%, aleirīta – 49% un smilšu – 22% (1.30. pielikums). Vidējais graudu izmērs ir 0,02 mm un šķīrotība ir ļoti slikta – 3,4.

Nākošais, 4. slānis sastāv no mālaina aleirolīta (3.5. tabula). Mālainās daļas daudzums ir 47%, aleirīta – 52% un smilšu – 1% (1.31. pielikums). Parauga nr. 4.5 vidējais graudu izmērs ir 0,005 mm un šķīrotība ir ļoti slikta – 3,1.

Mālainā aleirolīta slāni pārsedz smilšakmens (3.5. tabula) 5. slānis. Paraugā nr. 4.6 smilšainās frakcijas lielums ir 67%, aleirīta – 19% un māla – 14% (1.32. pielikums). Vidējais graudu izmērs ir 0,09 mm un šķīrotība ir ļoti slikta – 2,4.

Smilšakmens slāni pārsedz māla slānis (6. slānis) (3.5. tabula). Paraugā nr. 4.8. ir vislielākais māla īpatsvars no visiem pētītajiem atsegumiem – 82%, no kuriem 59% ir trekni māli. Aleirīta daudzums ir 18% un smilšu frakcijas proporcija ir niecīga, tā nesasniedz pat 0,2% (1.33. pielikums). Vidējais graudu izmērs ir vismazākais no analizētajiem paraugiem – 0,0008 mm. Šķīrotība paraugā ir ļoti slikta – 2,8.

Nākošais, 7. slānis atrodas virs pleistocēna ledāja deformācijas vai devona erozijas virsmas. Slānis sastāv no aleirītiska māla ar smilšu piejaukumu (paraugs nr. 4.9) un aleirītiska māla (paraugs nr. 4.10). Paraugā nr. 4.9 ir 57% māla, 31% aleirīta un 12% smilšu frakciju, savukārt paraugā nr. 4.10. ir vairāk māla – 72%, līdzīgs daudzums aleirīta – 27% un mazāks

smilšaino frakciju daudzums – 1% (1.34., 1.35. pielikumi). Šķīrotība aleirītiskā māla ar smiltīm paraugā ir 3,6, aleirītiskā māla – 2,2, abos gadījumos tā ir ļoti slikta. Vidējais graudu izmērs attiecīgi ir 0,003 mm un 0,001 mm.

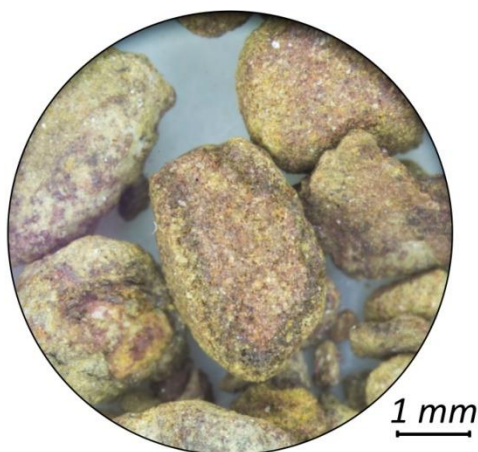
Nākošais, 8. slānis sastāv no smilšaina māla ar aleirītu (3.5. tabula). Paraugā nr. 4.11 ir 43% māla, 23% aleirīta un 34% smilšu (1.36. pielikums). Šī parauga šķīrotība ir ļoti slikta – 3,9, tā ir viszemākā no visiem analizētajiem paraugiem. Šajā slānī tika novērotas plūdmaiņu pazīmes, kas arī ir iemesls kopumā sliktajai šķīrotībai un dažādam granulometriskajam sastāvam. Paraugā ir pārstāvēti gan salīdzinoši aktīvā, gan mierīgā hidrodinamiskajā režīmā veidojušies nogulumi. Vidējais graudu izmērs ir 0,008 mm.

Atseguma augšējais, 9. slānis sastāv no aleirītiska māla (3.5. tabula). Parauga nr. 4.12. granulometriskās analīzes rezultāti uzrāda 70% māla un 30% aleirīta saturu (1.37. pielikums). Šķīrotība ir ļoti slikta – 2,2 un vidējais graudu izmērs ir 0,001 mm.

3.4. Nogulumos konstatētie ieslēgumi

Gandrīz visos māla un aleirītiska māla slāņos tika atrastas dzelzs–fosfātu savienojumu konkrēcijas. Tika izrēķināts to procentuālais daudzums attiecībā pret parauga svaru. Tika pamanīta tendence, ka konkrēciju daudzums pieaug virzienā uz slāņa augšu. Piemēram, 2. ģeoloģiskā griezuma 2. slāņa lejasdaļā (paraugs nr. 2.2) tas ir 0,02%, nākošajā paraugā nr. 2.3 tas ir jau 0,04%, paraugā nr. 2.5 – 0,1% un slāņa augšdaļā (paraugs nr. 2.5) jau 0,17%. Konkrēciju daudzums paraugos lielākoties svārstās no 0,004% - 0,29%. Ceturtā ģeoloģiskā griezuma 6. slānī, kurā ir vissmalkgraudainākie nogulumi no visiem pētītajiem, konkrēciju daudzums paraugā nr. 4.8 sasniedz pat 1,94%. Visos paraugos konkrēciju izmēri ir salīdzinoši līdzīgi, vidēji 0,5-2 mm, izņēmums ir paraugs nr. 4.2. no ceturtā ģeoloģiskā griezuma 2. slāņa, kur konkrēciju izmēri sasniedz pat 8 mm. Pārlauztu konkrēciju vidū ir redzama koncentriskā to uzbūve (3.13. attēls).

Kā secinājuši Elderfīlds un Grīvs, tad fosfātu avots nogulumos var būt no jūras ūdens izgulsnēts suspendēts detritiskas un/vai bioloģiskas izcelsmes materiāls. Nogulās vai nogulumos var notikt šī materiāla remobilizācija - pārgulsnēšanās (Fazio et al. 2007). Devona Lodes svītas nogulumos ir daudz zivju kaulu, kuri sastāv no fosfātu minerāliem. V. Kuršs iepriekš ir atzīmējis konkrēciju veidošanos ap šiem kauliem (Куршс 1975), taču šajā bakalaura darbā tādas likumsakarības nav konstatētas.



3.13. attēls. Dzelzs–fosfātu savienojumu konkrēcijas paraugā nr. 4.2. (4. griezums, 2. slānis).

Konkrēcijām paraugā nr. 5.8 tika veikta elementu analīze ar induktīvās pāru plazmas masas spektrometru, lai noskaidrotu to sastāvu. Rezultāti apliecināja, ka to sastāvā ir liels daudzums fosfora un dzelzs (3.6. tabula).

3.6. tabula

Dzelzs fosfātu konkrēciju elementu analīze paraugā nr. 5.8. Elementu daudzumi ir doti mikrogramos uz gramu vielas

Al	As	Ba	Be	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	K	La	
mkg/ g	mkg/ g	mkg/ g	mkg/ g	mkg/ g	mkg/ g	mkg/ g	mkg/ g	mkg/ g	mkg/g	mkg/ g	mkg/ g	
1121 1	18,5	68,0	5,64	1568	<0,02	36,1	103,8	56,4	27578 7	1011	6,6	
Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	S	Se	Si	Sr	V	Zn
mkg/ g	mkg/ g	mkg/ g	mkg/ g	mkg/ g	mkg/ g	mkg/ g	mkg/ g	mkg/ g	mkg/g	mkg/ g	mkg/ g	mkg/ g
1747	1640	2,0	57,7	96,5	862,7	77,1	126	0,0	23,2	8,1	389,8	85,9

Uzmanības vērts ir arī fakts, ka, veicot sietu analīzi, paraugā nr. 1.5 (paraugs ņemts no potenciālo sakņu aizpildījuma materiāla) tika konstatēti pat līdz 4 mm lieli zivju kauli (3.14. attēls). Nevar izslēgt iespēju, ka tie ir atradušies mālainajos nogulumos jau iepriekš, taču blakusesošajā paraugā nr. 1.6 (saknes nesaturošs materiāls) tādi netika konstatēti, tādēļ, iespējams, tie varētu būt tikuši ieskaloti jau esošos sakņu kanālos kopā ar rupjgraudaināku materiālu.



3.14. attēls. Zivju kauli paraugā nr. 1.5.

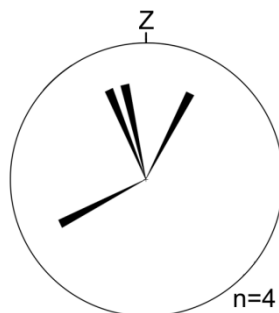
3.5. Sedimentācijas apstākļi un to izmaiņas

Spriežot pēc nogulumu tekstūrām un granulometriskā sastāva visos pētītajos griezumos, to veidošanās apstākļi visos gadījumos bija līdzīgi. Ir vērojams griezumu uzbūves cikliskums. Pētītajos ģeoloģiskajos griezumos labi redzamo ciklu biezums ir no 0,28 m līdz 2,40 m, 2. ģeoloģiskajā griezumā redzamā cikla biezums ir vismaz 4,20 m, taču patiesais tā biezums nav zināms.

Tipisku sedimentācijas ciklu lejasdaļā atrodas smilšakmens, smilšains aleirolīts vai mālains aleirolīts. Smilšakmens slāņos virzienā uz augšu vērojama pakāpeniska graudu izmēru samazināšanās, kā arī atsevišķos gadījumos tekstūru pāreja no slīpslāņojuma sērijām uz straujumu ripsnojumu un tālāk uz viļņu ripsnojumu. Tas norāda, ka hidrodinamiskais režīms sākotnēji ir bijis visai aktīvs, vēlāk kļuvis nedaudz mierīgāks. 1. ģeoloģiskā griezuma 5. slānī tika veikti arī 4 krituma azimutu mērījumi un izveidota rozes diagramma (3.15. attēls), kas norāda, ka krituma azimuts pārsvarā ir ziemeļu virzienā, taču viens no četriem mērījumiem uzrāda dienvidrietumu virzienu. Šie dati raksturo straujumu virzienu šo konkrēto nogulumu uzkrāšanās laikā, kas, acīmredzot, bijis visai daudzveidīgs.

Pēc Leclēras–Bridža (Leclair, Bridge 2001) formulas pirmajā ģeoloģiskajā griezumā pēc slīpslāņoto sēriju biežumiem tika aprēķināts ūdens dziļums. Griezumā redzamajā (3.1. attēls) otrā sedimentācijas cikla smilšaino nogulumu uzkrāšanās sākuma laikā tas ir bijis aptuveni 1,20 – 2 m dziļš. Gultnes reljefa formu veidus un to izmaiņas kanālu aizpildījuma griezumā var izmantot ūdens dziļuma novērtēšanai šajā kanālā (Immenhauser 2009). Kopējais nogulumu biezums šī cikla ietvaros ir 1,60 m, kas labi sakrīt ar ūdens dziļuma novērtēšanas

datiem. Iespējams, attiecīgā cikla nogulumi ir veidojušies kanālā, kas pilnībā aizpildījies ar klastisko materiālu, dziļumam pamazām samazinoties. Trešā sedimentācijas cikla nogulu uzkrāšanās laikā ūdens dziļums ir bijis aptuveni 2,30 m – 4,30 m.



3.15. attēls. 1. ģeoloģiskā griezumā 5. slāņa slīpslāņojuma mērījumu rozes diagramma.

Virš smilšainajiem nogulumiem ir uzkrājušies māli, aleirītiski māli vai mālainais aleirolīts. Sedimentācijas apstākļi ir bijuši salīdzinoši mierīgi. Nogulumos ir vērojami arī nedaudz rupjāka materiāla starpslāņi, kas norāda, ka hidrodinamiskā aktivitāte vairākkārt ir bijusi mainīga, no salīdzinoši mazas uz diezgan lielu, jo dažādos starpslānīšos ir nogulsņējis gan aleirītiskāks, gan smilšaināks materiāls.

Trešajā un ceturtajā ģeoloģiskajā griezumā ir redzama bioturbācija, kas ļauj secināt, ka attiecīgie nogulumi ir uzkrājušies ūdens vidē. Sedimentācijas cikla mālaināko nogulumu daļā (piemēram, otrā ģeoloģiskā griezumā 2. slānī) ir vērojama graudu izmēru palielināšanās virzienā uz slāņa augšu, kas norāda uz vienmērīgu, bet ļoti lēnu hidrodinamiskās aktivitātes palielināšanos slānī. Šķīrotība mālainajos nogulumos ir ļoti vāja.

Iespējamo sakņu struktūras pārsvarā gadījumu ir visbiežāk sastopamas sedimentācijas ciklu augšdaļā, zem erozijas virsmas, kur vairumā gadījumu sākas jau nākošais, ļoti līdzīgs, sedimentācijas cikls.

Plūdmaiņu tekstūras griezumos nodalītajos sedimentācijas ciklos nav novērotas. Tās ir redzamas ceturajā ģeoloģiskā griezumā nogulumos, kuri pārsedz deformācijas vai erozijas virsmu. Tie vistīcāmāk ir pleistocēna ledāja ietekmē pārvietoti un pārvietoējuma attālums šobrīd nav zināms. Domājams, šie nogulumu ar plūdmaiņu tekstūrām nav interpretējami kopā ar tiem, kas ieguļ zem deformācijas vai erozijas virsmas.

Nogulumu graudu izmēriem un šķīrotībai sakarības ir novērojamas tikai atsevišķos gadījumos (1.38.–1.41. pielikumi). Piemēram, nogulumu ar vislielāko graudu izmēru ir vislabāk šķīroti, šķīrotība ir vislabākā tieši smilšaino nogulumu slāņu apakšdaļā. Augšdaļā šķīrotība pasliktinās, kas norāda uz to, ka ūdens plūsma ir bijusi vairāk piesātināta ar suspensiju. Mālainajos nogulumos šķīrotība ir ļoti slikta. Pirmā ģeoloģiskā griezumā 2. slāņa mālainajos nogulumos, nedaudz palielinoties graudu izmēram, šķīrotība nedaudz uzlabojas,

bet otrā ģeoloģiskā griezuma 2. slānī un trešā ģeoloģiskā griezuma 2. cikla mālainajos nogulumos vērojams pretējais – nogulumu graudu izmēriem pieaugot, šķirotība nedaudz pasliktinās. Šķirotība norāda, cik ilgi materiāls ir ticis pārvietots līdzīgos apstākļos, kā arī to, cik piesātināta ar nogulām bija plūsma. Jo mālaināki ir nogulumi, jo šķirotība parasti ir sliktāka. Tādēļ trešā ģeoloģiskā griezuma 2. ciklā ir bijuši kādi papildus faktori, kas ietekmējuši šķirotības pasliktināšanos rupjgraudainākos nogulumos, iespējams, lielāks plūsmas piesātinājums ar sanešu materiālu.

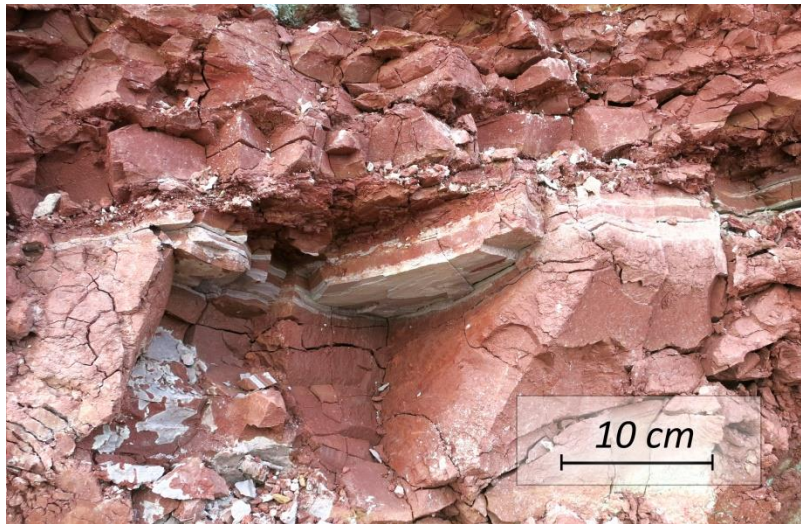
3.6. Sinklināla struktūra Lodes svītas mālainajos nogulumos

Lauku darbu gaitā, dokumentējot piekto atsegumu, tika veikti sinklinālas struktūras (3.16. attēls) krituma leņķu un krituma azimutu mērījumi. Sinklinālā struktūra, iespējams, ir radusies glacioidislokācijas ceļā. Nevar izslēgt arī tās veidošanos noslīdeņu procesos devona periodā atbilstoši V. Kurša hipotēzei (Курш, 1992). Šīs struktūras R un A malās tika nomērīti slāņojuma virsmu krituma leņķi un krituma azimuti (3.7. tabula). Sinklinālās struktūras lejasdaļas slāņu kontaktu vietās tika novērots nedaudz brekčijots materiāls, kas liecina par labu glacioidislokācijas esamībai (3.17. attēls).



3.16. attēls. Sinklināla struktūra Lodes svītas mālainajos nogulumos. Attēlā ar melniem punktiem un numuriem atzīmētas vietas, kur veikti krituma leņķu un krituma azimutu mērījumi (fotografējis Ģ. Stinkulis).

Pēc krituma azimutu mērījumiem (3.7. tabula) tika izveidota rozes diagramma (3.17. attēls), kur redzams, ka sinklinālās struktūras austrumu malas krituma azimuts ir 138-155° virzienā, bet rietumu malas krituma azimuts – 198-200° virzienā. Tātad šīs formas pamatne krīt aptuveni vidējā virzienā – uz dienvidiem. Šāds virziens ir raksturīgs Burtnieku ledus loba Amatas mēles virzībai (3.18. attēls).

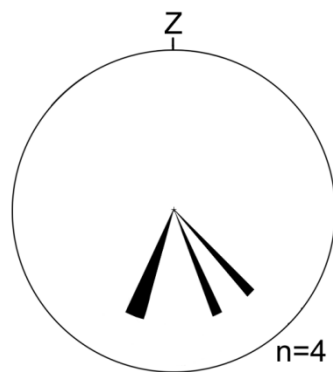


3.17. attēls. Slāņu kontaktu zonas brekčijotais materiāls (fotografējis Ģ. Stinkulis).

3.7. tabula

Sinklinālās struktūras malu leņķu un krituma azimutu mērījumi

	1. mērījuma vieta (A mala)	2. mērījuma vieta (A mala)	3. mērījuma vieta (R mala)	4. mērījuma vieta (R mala)
Krituma leņķis	42°	30°	24°	30°
Krituma azimuts	155°	138°	200°	198°



3.17. attēls. Rozes diagramma sinklinālās struktūras krituma azimutu mērījumiem.

DISKUSIJA

Bakalaura darbā aprakstītās struktūras morfoloģiski atgādina saknes: tām sānu un galu pagarinājumiem ir raksturīga sašaurināšanās, lejupejoša zarošanās, regulāra atzarojumu forma, malējo atzarojumu mazāks diametrs, salīdzinoši ar primārajiem, kā arī trešajā atsegumā tika vērota koncentriskā sakņu kanālu struktūra. Arī granulometriskā sastāva atšķirības struktūru iekšpusē un ārpusē diezgan pārliecinoši norāda, ka nogulumi, kas atrodas šo struktūru aizpildījumā, ir uzkrājušies vēlākā laikā, nevis struktūras aptverošo nogulu uzkrāšanās brīdī. Kā liecina kursa darbā (Lagzdiņa 2017) iegūtie granulometriskās analīzes dati par pirmā ģeoloģiskā griezuma 2. slāņa paraugu nr. 1.5 un nr. 1.6, tad struktūru aizpildījumā ir rupjgraudaināks materiāls nekā ārpus tām.

Sakņu kanālu aizpildījuma vietā 1.5 paraugā, pirmā ģeoloģiskā griezuma 2. slānī ir redzami līdz 4 mm lieli zivju kauli, kuri netika atrasti apkārtesošajā iezī. Tik lielu ieslēgumu atrašanās sakņu kanālā norāda, ka kanāls ir bijis tukšs. Tas gan ir diezgan grūti izskaidrojams, jo augi satur lignīnu, kuru dzīvie organismi vidējā devona laikā nav spējuši pārstrādāt un koksne fiziski nav spējusi sadalīties (Floudas et al. 2012). Lignīns ir molekula, kas pēc savas uzbūves ir ļoti sarežģīts, neregulāras uzbūves polimērs. Vienīgie organismi, kuri spēj būtiski sadalīt lignīnu, ir sēnes. Pētījumā, kurā tika izmantota 31 mūsdienu koksnes sēne, tika noskaidrots, ka to visnenākšie kopējie priekšteči, kurš spējuši pārstrādāt lignīnu, ir meklējami karbona beigās (Floudas et al. 2012). Citā pētījumā noskaidrots, ka agrākie pierādījumi par sēņu, kuru taksonomiskā identitāte nav skaidra, ietekmētām izmaiņām traheīdu šūnu sienīņās ir no augšējā devona (Hibbett et al. 2016).

Sakņu kanālu aizpildījuma materiāls sakņu struktūru kanālos, visticamāk, ir nokļuvis neilgi pēc pašu kanālu izveides – vidējā devona Lodes laikposmā. Par to liecina sakņu struktūras pārklājoši šī paša vecuma nogulumi, kuros nav izsekojamas ne struktūru, ne to aizpildījuma pazīmes. Kopš šī laika līdz karbona beigām ir pagājuši vairāk nekā 50 miljoni gadu. Ņemot vērā šos faktus, ir problemātiski izskaidrot zivju kaulu atrašanos sakņu struktūru kanālos.

Prototaxites pēc šobrīd pastāvošā viedokļa ir sēnes, tās nesatur lignīnu. Fosilo pierādījumu par Prototaxites micēlija lielumu nav, taču hipotētiski tiek pieņemts, ka tas ir ļoti liels (Hueber 2001). Hilliera pētījumā iespējamās Prototaxites saknes (rizomorfas) ir tikai aptuveni 20 cm garas un morfoloģiski atšķiras no Lodes svītā esošajām. Prototaxites ir sauszemes organisms, taču tās var augt arī palienēs, pie palienes ezeriem un uzskalojumiem (Hillier et al. 2008).

Lai gan pagaidām analizēti tikai 2 sakņu struktūru un tās aptverošā materiāla paraugi, to ķīmiskā analīze diezgan pārlicinoši uzrāda lielāku biofilo elementu daudzumu nekā apkārtesošajā iezī. Augi un sēnes uzņem līdzīgus biofilus ķīmiskos elementus un pēc analīzes rezultātiem nevar secināt - kāda veida saknes ir redzamas pētītajos ģeoloģiskajos griezumos.

Augu sakņu parādīšanās mālainajos nogulumos ir pretrunā ar V. Kurša pieņēmumu, ka Lodes svītas nogulumi ir veidojušies deltu zemūdens nogāzēs (Kypшч 1975, 1992). Šajā gadījumā piemērotāks šķiet A. Pontenas un P. Plinkas–Bjorklundes un (Pontén, Plink-Björklund 2007) skaidrojums, ka Gaujas reģionālā stāva (arī Lodes svītas) mālainie nogulumi ir veidojušies applūstošos deltu līdzenumos un smiltis uzkrājušās applūdušā deltu zonā plūdmaiņu straumju izskalotos kanālos. Šis viedoklis, savukārt, ir pretrunā ar paleontoloģiskajiem novērojumiem par zivju fosiliju labo saglabātības pakāpi, jo, lai tā būtu tik laba, ir nepieciešama strauja apglabāšana, ko, visticamāk, ir veicinājuši noslīdeņi deltas nogāzē (Vasiļkova, 2013).

Deltas nogāzes un applūstošu deltu plūdmaiņu līdzenumu atrašanos vienuviet ir grūti izskaidrot. To varētu skaidrot ar tektoniskas izcelsmes deformācijām, taču vidējā devona beigās, domājams, kopumā aprīma Kaledonijas kolīzijas kustības. Par to vai cita veida tektonisku kustību aktivizāciju, iespējams, liecina Gaujas reģionālā stāva smilšakmeņos Piusas karjerā Igaunijā pētītās klastiskās daikas (Kleesment et al. 2003).

Sakņu struktūru veidojumi ir vērojami mālaino nogulumu slāņu augšpusē, kur to diametrs ir lielāks un tas samazinās tām zarojoties. Sakņu esamība un nogulumu uzkrāšanās cikliskums norāda, ka saknes saturošie nogulumi ir veidojušies neaktīvos deltu kanālu posmos vai deltu ezerīnos, kuros un kuru tuvumā ir spējuši dzīvot augi. Iespējams, augi varētu būt auguši ūdenī kā mūsdienu mangroves. Sakņu struktūrās šajā pētījumā netika konstatēta saglabājusies organiskā viela. Ņemot vērā to, ka lignīns vidējā devonā netika sadalījies (Floudas et al., 2012) un tam būtu jābūt saglabātam nogulumos, var domāt vai nu, ka tas ir sadalījies vēlāk pēcsedimentācijas procesu gaitā, vai arī sakņu struktūras neveidoja vis augi, bet gan sēnes.

Zivju kauli un dzelzs–fosfātu savienojumu konkrēcijas, kuri tika novēroti sakņu struktūru aizpildījumā pirmajā ģeoloģiskajā griezumā norāda uz jūras ūdens ietekmi (Kypшч 1975, 1992; Vasiļkova 2013). Tas nav pretrunā ar secinājumiem par sakņu struktūras saturošo nogulumu uzkrāšanās apstākļiem, jo plūdmaiņu ietekmē jūras ūdens ik pa laikam varēja uzplūst plašām deltas daļām. Tiešas plūdmaiņu pazīmes tika novērotas tikai ceturtā ģeoloģiskā griezuma daļā, kura, visticamāk, ir glacioidislocēta, tomēr arī attiecas uz Lodes svītu.

SECINĀJUMI

Vidējā devona Lodes svītas mālainos aleirolītos un aleirītiskos mālos ir samērā plaši izplatītas subvertikālas, zarotas struktūras ar garumu 40-50 cm, iespējams, līdz 90 cm. Šo veidojumu morfoloģija, to aizpildījuma un apkārtējo nogulumu granulometriskā sastāva atšķirības, kā arī ķīmiskā analīze norāda, ka tie ir augu saknes vai sēņu rizomorfas.

Pētītajos griezumos, spriežot pēc nogulumu granulometriskā sastāva un tekstūrām, var spriest, ka mālainie aleirīti un aleirīti ir uzkrājušies mierīgā sedimentācijas vidē, savukārt, tai aktivizējoties, ir uzkrājušies smilšainie nogulumi. Sedimentācijas apstākļiem mainoties, ūdens režīmam kļūstot mierīgākam, atkal ir uzkrājušies mālaini aleirītiskie nogulumi. Ir vērojams griezumam uzbūves cikliskums. Augu saknes vai sēņu rizomorfi pārsvarā ir sastopami ciklu augšdaļā un to izvietojums labi saskan ar nogulumu graudu izmēru samazināšanos un tekstūru izmaiņām, kas liecina par kanālu aizpildīšanos ar nogulām. Domājams, ka augu saknes vai sēņu rizomorfi ir veidojušies subaerālos apstākļos vai nelielā ūdens dziļumā, līdz 1 m.

Var secināt, ka pagaidām nenosakāmas izcelsmes augi vai sēnes ir attīstījušies un eksistējuši ilglaicīgi. Mālainā aleirīta slānī novērojams, ka ir bijuši vairāki augšanas cikli. Tāpat ir redzams, ka pat pēc smilšainā materiāla uzkrāšanās, kas šobrīd veido smilšakmens slāni, ūdens plūsmai palēninoties, augi vai sēnes ir atgriezušies teritorijā, kur to augšanas apstākļi atkal ir kļuvuši piemēroti – mālaina aleirīta nogulās.

Sakņu struktūru klātbūtne un sedimentācijas ciklu mazais biežums norāda, ka nogulumi ir veidojušies neaktīvos deltu kanālos vai deltu ezeriņos, kur sākotnēji ātrākās ūdens straumēs ir uzkrājušies smilšainie nogulumi, tad mierīgos apstākļos izgulsnējušies mālainie un mālaini aleirītiskie nogulumi, kuru augšējā daļā ir redzamas augu saknes.

Augu sakņu klātbūtne Lodes svītas mālainajos nogulumos sniedz jaunu informāciju to veidošanās apstākļu precizēšanai, kas būtu veicama turpmākos pētījumos.

LITERATŪRAS SARAKSTS

Publicētā literatūra

- Āboltiņš, O., 2004. *Paleoģeogrāfija*. Rīga, LU Akadēmiskais apgāds.
- Alekseeva, T., Kabanov, P., Alekseev, A., Kalinin, P., Alekseeva, V. 2016. Characteristics of early earth's critical zone based on middle-late Devonian paleosol properties (Voronezh high, Russia) *Clays and Clay Minerals*. 64 (5), 677-694
- Algeo, T. J., Berner, R. A., Maynard, J. B., Scheckler, S. E. 1995. Late Devonian oceanic anoxic events and Biotic crises: "rooted" in the evolution of vascular land plants? *GSA Today*. 5 (3), 45, 64 – 66.
- Algeo, T.J., Scheckler, S.E., and Maynard, J.B., 2001, Effects of the Middle to Late Devonian spread of vascular land plants on weathering processes and global chemical fluxes during the Middle and Late Devonian. In: *Plants Invade the Land: Evolutionary and Environmental Perspectives*, Colombia University Press, Editors: P. Gensel, D. Edwards, pp. 213 – 236.
- Algeo., T. J., Scheckler, S. E., Scott A. C. 1998. Terrestrial-Marine Teleconnections in the Devonian: Links between the Evolution of Land Plants, Weathering Processes, and Marine Anoxic Events. *Philosophical Transactions: Biological Sciences*. 353 (1365), 113 – 130.
- Allmendinger, R. W., Cardozo, N. C., Fisher, D., 2013. *Structural Geology Algorithms: Vectors & Tensors*. Cambridge University Press.
- Cardozo, N., and Allmendinger, R. W., 2013, Spherical projections with OSXStereonet: *Computers & Geosciences*, 51, 193-205.
- Barker, A. V. Pilbeam, D. J. 2016. *Handbook of Plant Nutrition*. CRC Press.
- Boucot, A.J., XU, C., Scotese, C.R. 2013. Map 8 Middle Devonian (Givetian). Phanerozoic Paleoclimate: An Atlas of Lithologic Indicators of Climate. Concepts in Sedimentology and Paleontology No. 11. Oklahoma. Society for Sedimentary Geology.
- Blāķe, D., 2010. Devona nogulumiežu slāņkopas uzbūves īpatnības Liepas mālu atradnē. *Latvijas Universitātes raksti*, 752. sēj., 8-18 (in Latvian).
- Blāķe, D., Stinkulis, Ģ. 2011. New data on the structure and origin of the Devonian Lode Formation. *The Eighth Baltic Stratigraphical Conference. Abstracts*. University of Latvia, Riga. p. 16.

- Boyce, C. K., Hotton, C.L., Fogel, M. L., Cody, G. D., Hazen, R. M., Knoll, A. H., Hueber, F. M. 2007. Devonian landscape heterogeneity recorded by a giant fungus. *Geology*. 35, 399-402.
- Brangulis, A. J., Kuršs, V., Misāns, J. & Stinkulis Ģ. 1998. *Latvijas ģeoloģija*. 1:500 000 mēroga ģeoloģiskā karte un pirmskvartāra nogulumu apraksts. Redaktors Misāns J. Rīga: Valsts ģeoloģijas dienests.
- De Vleeschouwer, D., Crucifix, M., Bounceur, N., Claeys, P. 2014. The Impact of astronomical forcing on the Late Devonian greenhouse climate. *Global and Planetary Change* 120, 65-80.
- Elick, J., Driese, S., Mora, C. 1998. Very large plant and root traces from the Early to Middle Devonian: Implications for early terrestrial ecosystems and atmospheric $p(\text{CO}_2)$. *Geology*. 26(2), 143-146.
- Fazio, A.M., Scasso, R.A., Castro, L.N., Carey, S. 2007. Geochemistry of rare earth elements in early-diagenetic Miocene phosphatic concretions of Patagonia, Argentina: Phosphogenetic implications. *Deep-Sea research Part II*. 54, 1414-1432.
- Floudas, D., Binder, M., Riley, R., Barry, K., Blanchette, A.R., Henrissat, B., Martinez, A.T., Otilar, R., Spatafora, J.W., Yadav, J.S, Aerts, A., Benoit, I., Boyd, A., Carlson, A., Copeland, A., Countinho, P.M., de Vries R.P., Ferreira, P., Findley, K., Foster, J.G., Glotzer, D., Gorecki, P., Heitman, J., Hesse, C., Hori, C., Igarashi, K., Jurgens, J.A., Kallen, N., Kersten, P., Kohler, A., Kües, U., Kumar, T.K.A., Kuo, A., LaButti, K., Larrondo, L.F., Lindquist, E., Ling, A., Lombard, V., Lucas, S., Lundell, T., Martin, R., McLaughlin, D.J., Morgenstern, I., Morin., E., Murat, C., Nagy, L.G., Nolan, M., Ohm, R.A., Patyshakuliyeva, A., Rokas, A., Ruiz-Dueñas, F.J., Sabat, G., Salamov, A., Samejima, M., Schmuts, J., Slot, J.C., John, F.St., Stenlid., J., Sun, H., Sun, S., Syed, K., Tsang, A., Wienbenga, A., Young, D., Pisabarro., A., Eastwood, D.C., Martin, F., Cullen, D., Grigoriev, I.V., Hibbett, D.S. 2012. The Paleozoic Origin of Enzymatic Lignin Decomposition Reconstructed from 31 Fungal Genomes. *Science*. 336, 1715 – 1719.
- Hibbet, D., Blanchette, R., Kenrick, P., Mills, B. 2016. Climate, decay, and the death of the coal forests. *Current Biology*. 26, R563 – R567
- Hillier, R. D., Edwards, D., Morrissey L. B. 2008. Sedimentological evidence for rooting structures in the Early Devonian Anglo-Welsh Basin (UK), with speculation on their producers. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 270, 366 – 380.
- Le Hir, G., Donnadieu Y., Goddérís Y., Meyer-Berthaud B., Ramstein G., Blakey R. C. 2011. The climate changes caused by the land plant invasion in the Devonian. *Earth and Planetary Science Letters*. 310, 203 – 212.

- Hueber, F. 2001. Rotted wood-alga-fubgus: The history and life of Prototaxites Dawson 1859. *Review of Paleobotany & Palynology*, 116 (1-2), 123 – 158.
- Immenhauser, A. 2009. Estimating palaeo-water depth from the physical rock record. *Earth-Science Reviews*, 96, 107–139.
- Jurina, A., Raskatova, M., 2012. New data of the Devonian plant and miospores from the Lode Formation, Latvia. *Acta Universitatis Latviensis* 783, 46 – 56.
- “Lode” 1985. Jērāns, P. (red.). *Latvijas padomju enciklopēdija*. 6. sēj. Rīga, Galvenā enciklopēdiju redakcija, 224.
- Leclair, S. F., Bridge, J. S., 2001. Quantitative Interpretation of Sedimentary Structures Formed by River Dunes. *Journal of Sedimentary Research*, 71 (5), 713-716.
- Kleesment, A., Puura, V., Kallaste, T. 2003. Clastic dikes in Middle Devonian sandstones of the Gauja Formation, southeastern Estonia. *Proc. Estonian Acad. Sci. Geol.* 52, 155 – 178.
- Krumbein, W. C., Aberden E., 1937. The Sediments of Barataria Bay. *Journal of sedimentary Petrology*, 7 (1) 23. 3 – 17.
- Kuršs, V., Lukševičs, E., Upeniece, I. & Zupiņš, I. 1998. Augšdevona klastiskie nogulumu un zivju atliekas Lodes mālu karjerā Latvijā (I daļa). *Latvijas Ģeoloģijas Vēstis*, Rīga, Nr.5, lpp. 7-19.
- Martone, P.T., Estevez, J.M., Lu, F., Ruel, K., Denny, M.W., Somerville, C., Ralph, J. 2009. Discovery of lignin in seaweed reveals convergent evolution of cell-wall architecture. *Current Biology*. 19, 169 – 175.
- McManus, J. 1988. *Grain size determination and interpretation*. In: Tucker, M. E. (ed.) *Techniques in Sedimentology*. Blackwell Science, 63-85.
- Nichols, G. 2009. *Sedimentology and Stratigraphy*. 2nd edn. United Kingdom, Wiley-Blackwell.
- Pontén, A., Plink-Björklund, P. 2007. Depositional environments in an extensive tide-influenced delta plain, Middle Devonian Gauja Formation, Devonian Baltic Basin. *Sedimentology*, 54, 969-1006.
- Raven, J. A., Edwards, D. 2001. Roots: evolutionary origins and biogeochemical significance. *Journal of Experimental Botany*, 52 (1), 381–401.
- Segliņš, V., Stinkule, A., Stinkulis, Ģ., 2013. *Derīgie izrakteņi Latvijā*. Rīga, LU Akadēmiskais apgāds.
- Stinkule, A. 2014. *Māli Latvijas zemes dzīlēs*. Rīga, RTU izdevniecība.
- Stinkule, A., Stinkulis, Ģ. 2013. *Latvijas derīgie izrakteņi*. Rīga, LU Akadēmiskais apgāds.
- Stinkule, A., Stinkulis, Ģ. 2017. *Latvijas kvarca smiltis*. Rīga, LU Akadēmiskais apgāds.

- Stinkule, A., Upeniece, I. 1995. Liepas māla atradne. Grām. G. Kavacs (red.). *Latvijas daba: enciklopēdija*. 3. sēj. Rīga, Latvijas enciklopēdija, 140.
- Stinkulis, Ģ., Blāķe, D., Upeniece, I., Lukševičs, E. and Zupiņš, I. 2011. Stop 4: Clays of the Lode Formation, slump depressions and unique assemblage of fossils in the Liepa (Lode) clay pit. In: Stinkulis, Ģ. and Zelčs, V. (eds). *The Eighth Baltic Stratigraphical Conference. Post-Conference Field Excursion Guidebook*. University of Latvia, Riga. pp. 25-32.
- Teotia, P., Kumar, M., Prasad, R., Kumar, V., Tuteja, N., Varma, A. 2017. Chapter 2: *Mobilization of micronutrients by mycorrhizal fungi. Mycorrhiza - Function, Diversity, State of the Art*. Ed. by Editors: Varma, A., Prasad, R., Tuteja, N. Springer International Publishing.
- Upeniece, I. 2011. Devona bruņuzivju un akantožu paleoekoloģija un to mazuļi Lodes iegulā. Promocijas darba kopsavilkums doktora grāda iegūšanai ģeoloģijas nozares pamatiežu ģeoloģijas apakšnozarē. Rīga, LU.
- Vasiļkova, J. 2013. Devona mugurkaulnieku atradņu tafonomiskais raksturojums un veidošanās apstākļi dienvidaustrumu Baltijā. Promocijas darbs doktora grāda iegūšanai ģeoloģijas nozares pamatiežu ģeoloģijas apakšnozarē. Rīga.
- Zelčs, V., Markots A. 2004. Deglaciation history of Latvia. *Quaternary Glaciations – Extent and Chronology. Part I: Europe. Developments in Quaternary Sciences, 2*. Elsevier, Amsterdam, pp. 225 – 243.
- Куршс, В. М. 1975. *Литология и полезные ископаемые терригенного девона Главного поля*. Рига, Зинатне.
- Куршс, В. М. 1992. *Девонское терригенное осадконакопление на Главном девонском поле*. Рига, Зинатне.
- Микулаш, Р., Дронов, А. В. 2006. *Палеоихнология - введение в изучение ископаемых следов жизнедеятельности*. Прага, Геологический институт Академии наук Чешской Республики.

Nepublicētie materiāli

- Lagzdiņa, G. 2017. *Augu saknes vidējā devona Lodes svītas nogulumos Liepas māla atradnē*. Kursa darbs. Rīga, Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte, Latvijas Universitāte.

Kartogrāfiskie materiāli

Juškevičs, V. 1999. *Kvartāra nogulumu, Rīga-43.lapa. M 1:200 000*. Rīga. Valsts geoloģijas dienests. Sk. 18.01.2018. Pieejams <https://www.geo.lu.lv/kartes/>

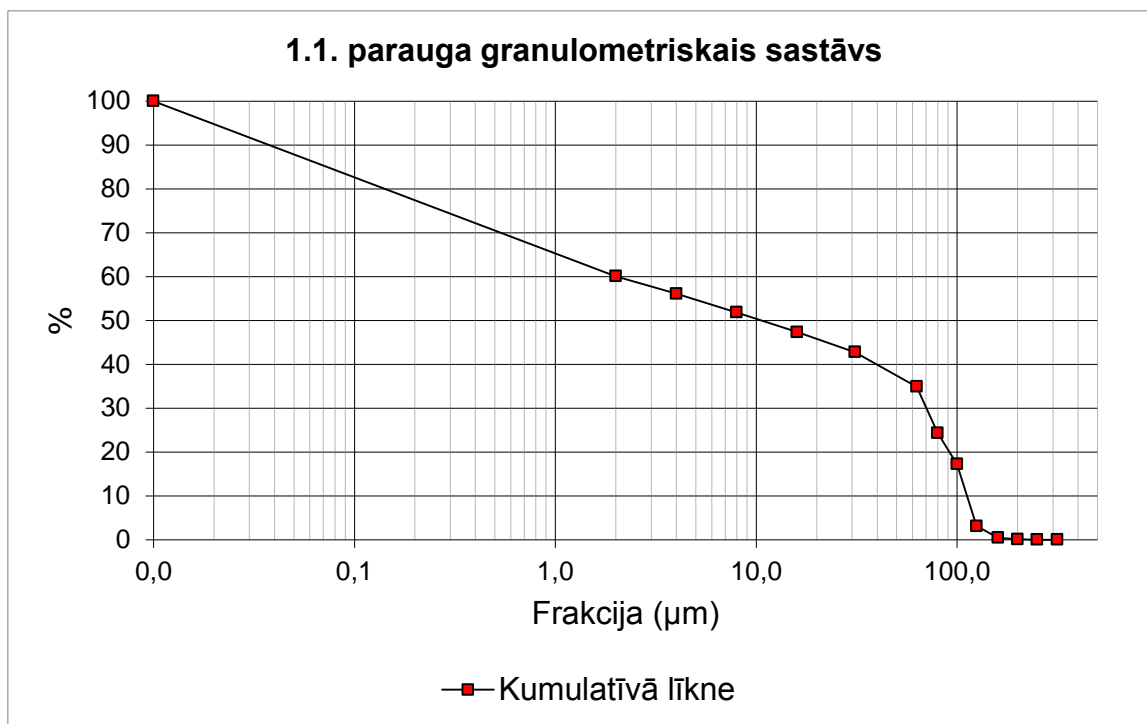
Novadu karte, 2009. *Karšu izdevniecības Jāņa Sēta Latvijas Republikas administratīvais iedalījums mērogā 1:400 000*. LU ĢZFF WMS. Sk. 18.01.2018. pieejams <http://www.geo.lu.lv/kartes>

Scotese, C., 2014. *The Late Paleozoic, Maps 65–72*. Atlas of Devonian Paleogeographic Maps, PALEOMAP Atlas for Arc-GIS, volume 4. PALEOMAP Project, Evanston, IL.

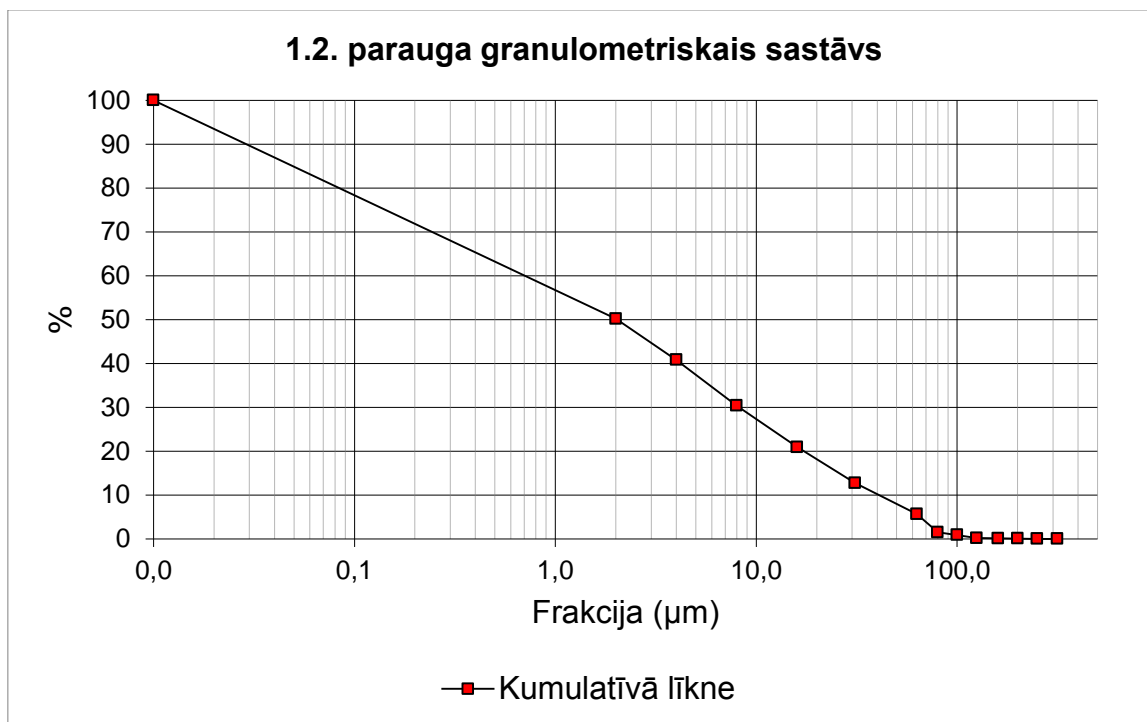
Elektroniskie resursi

House M. R. [S.a.]. *Devonian Period*. Encyclopedia Britannica. Sk. 19.01.2018. Pieejams <https://www.britannica.com/science/Devonian-Period>

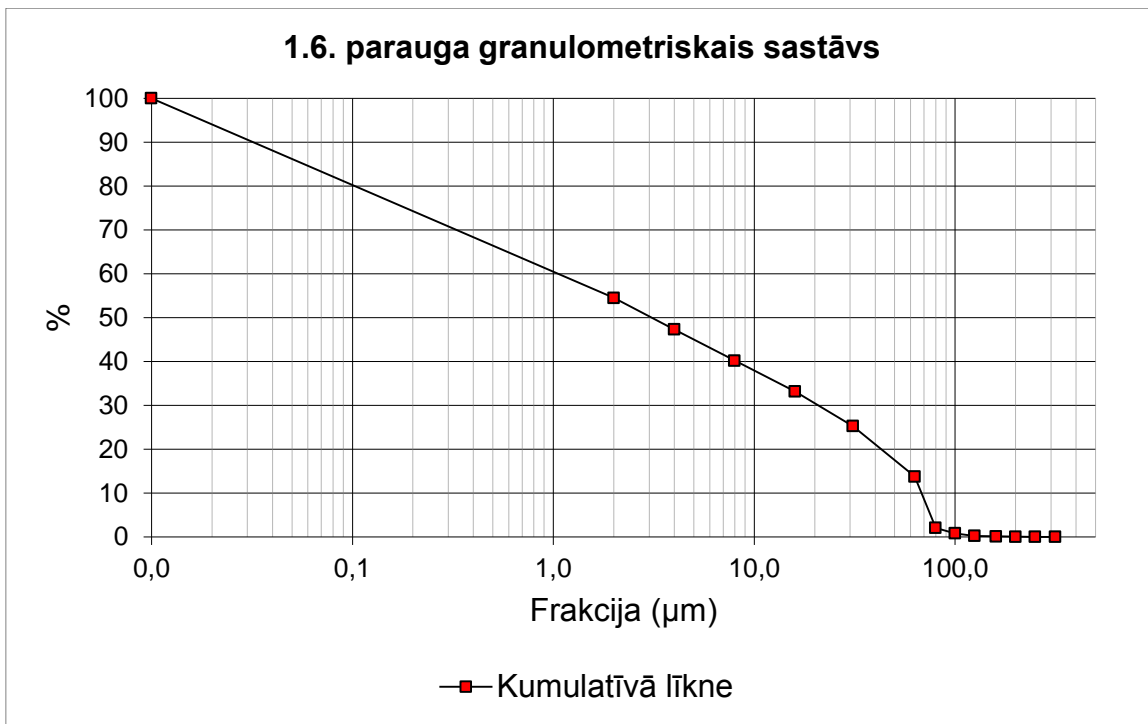
Google Earth 2017. Free software of the Google Corporation. Sk. 26.09.2017.



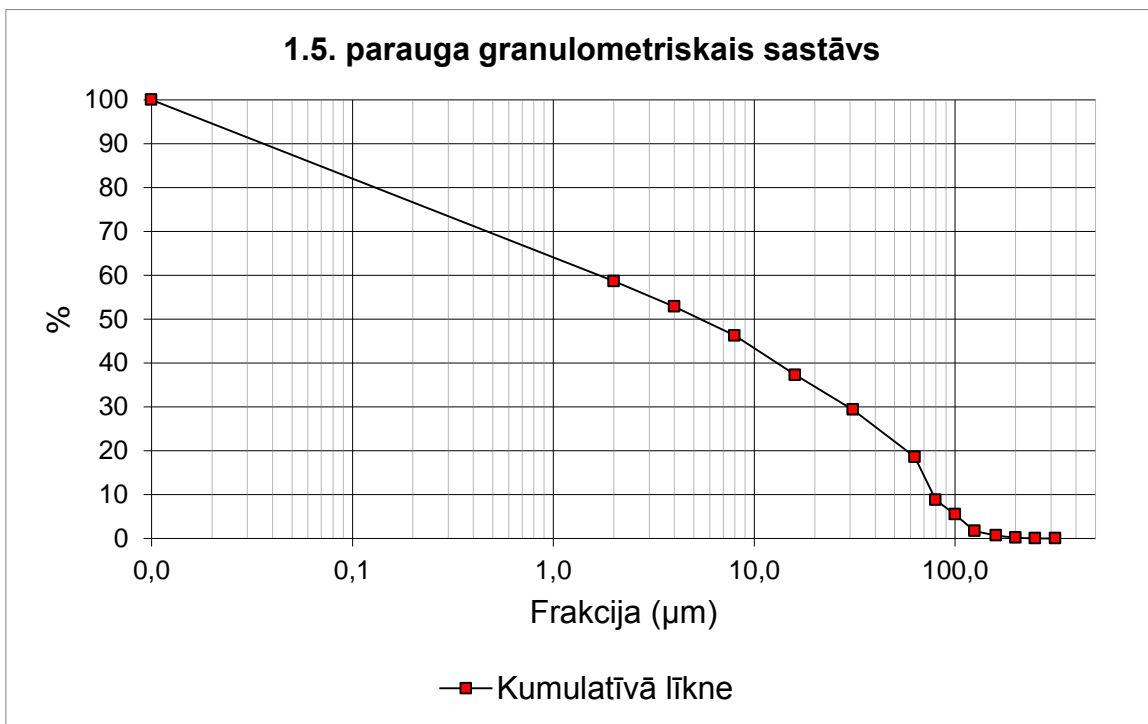
1.1. pielikums. Pirmā ģeoloģiskā griezumā 1. slāņa granulometriskā sastāva līkne.



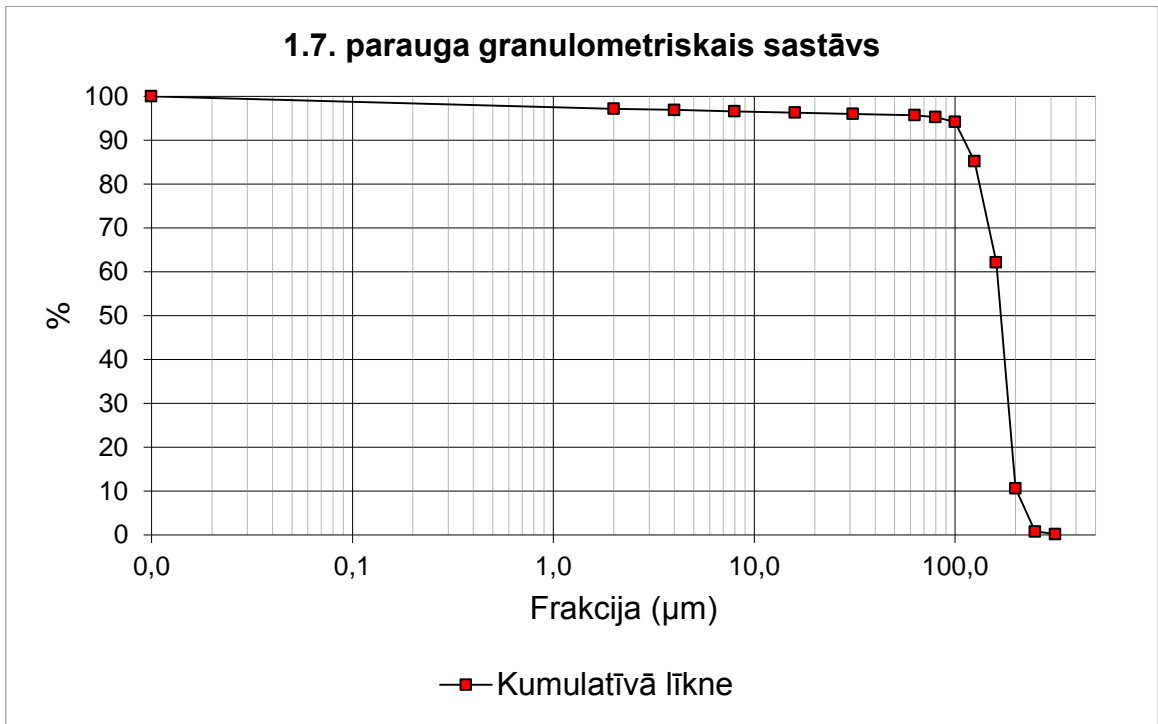
1.2. pielikums. Pirmā ģeoloģiskā griezumā 2. slāņa granulometriskā sastāva līkne.



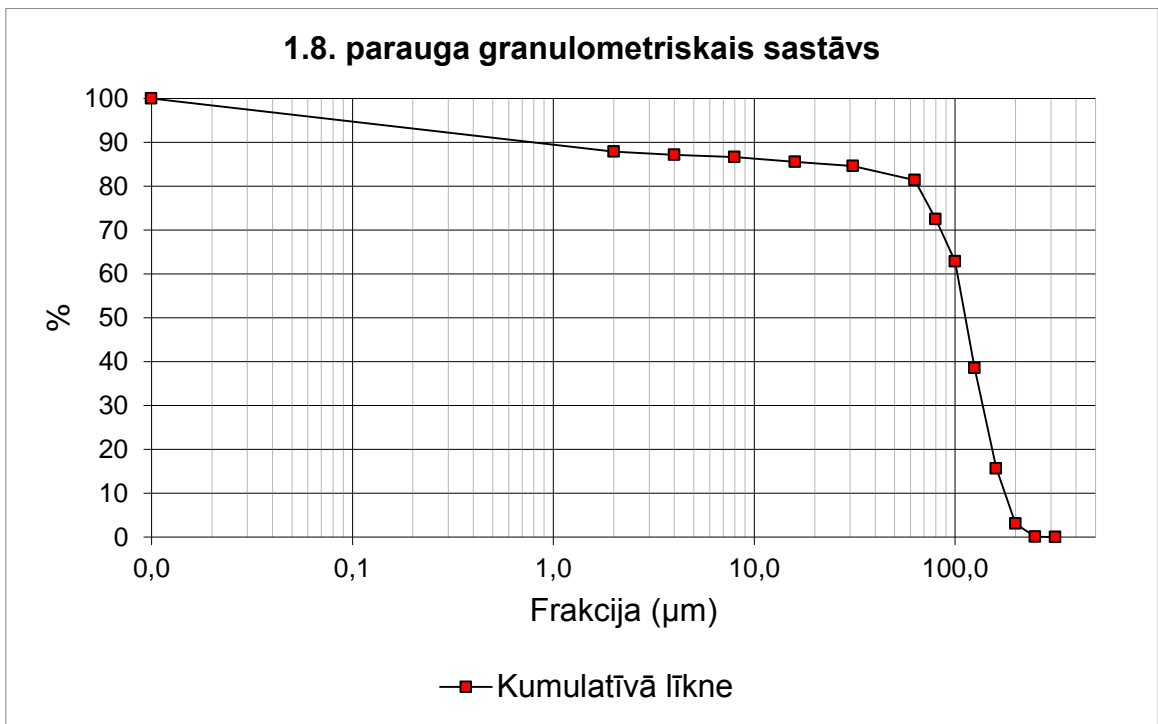
1.5. pielikums. Pirmā ģeoloģiskā griezumā 2. slāņa saknes nesaturošo nogulumu granulometriskā sastāva līkne.



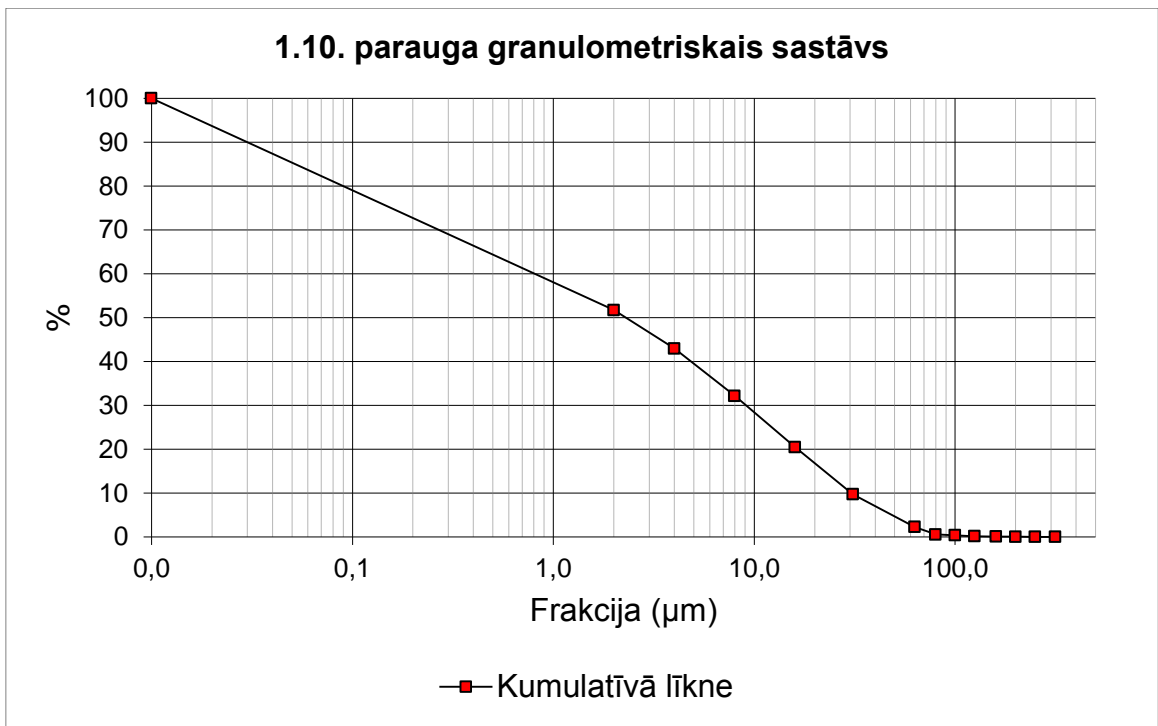
1.6. pielikums. Pirmā ģeoloģiskā griezumā 2. slāņa saknes saturošu nogulumu granulometriskā sastāva līkne.



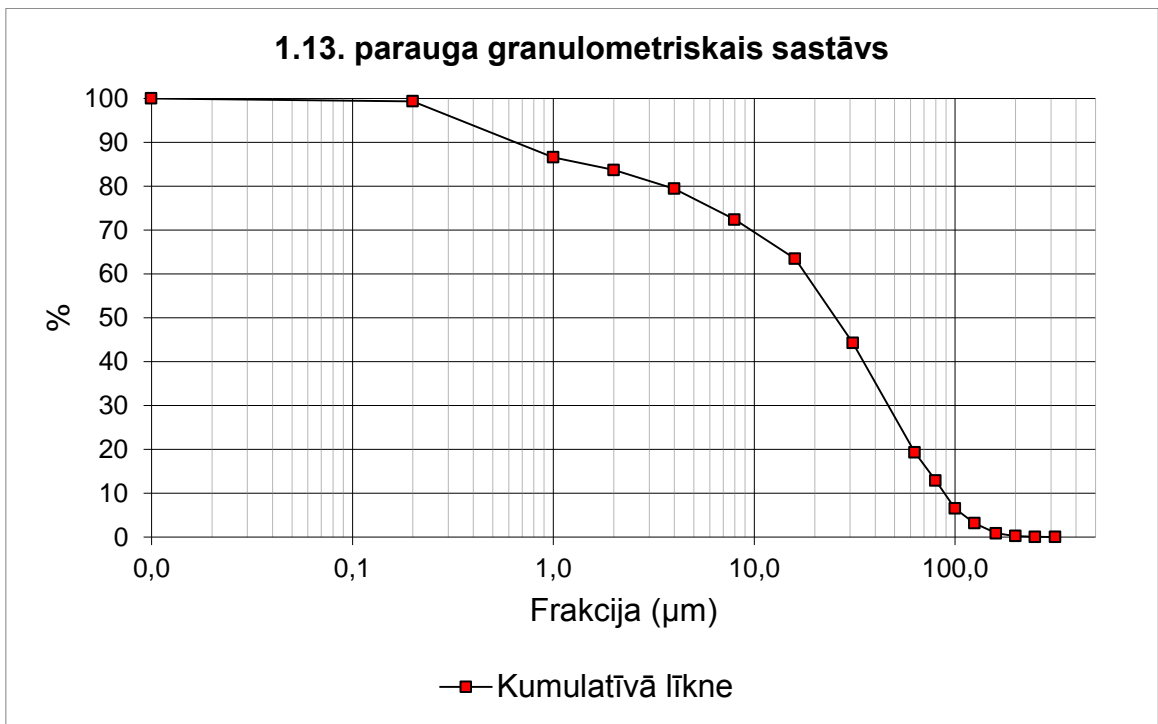
1.7. pielikums. Pirmā ģeoloģiskā griezuma 3. slāņa granulometriskā sastāva līkne.



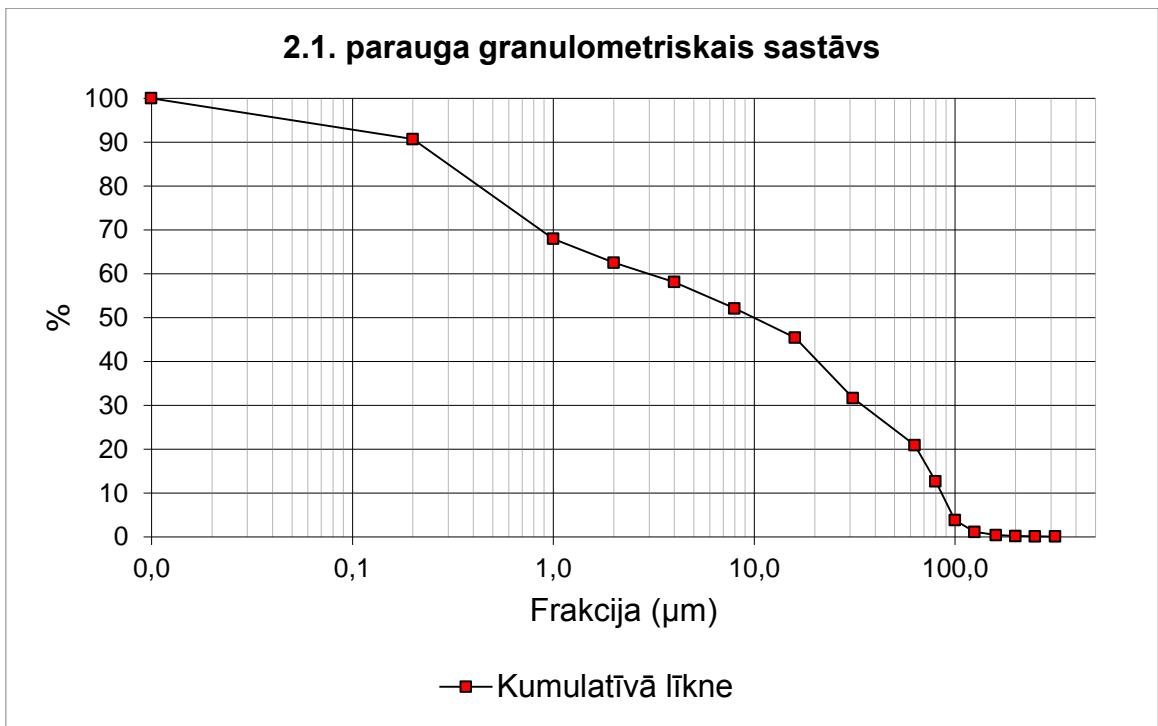
1.8. pielikums. Pirmā ģeoloģiskā griezuma 3. slāņa granulometriskā sastāva līkne.



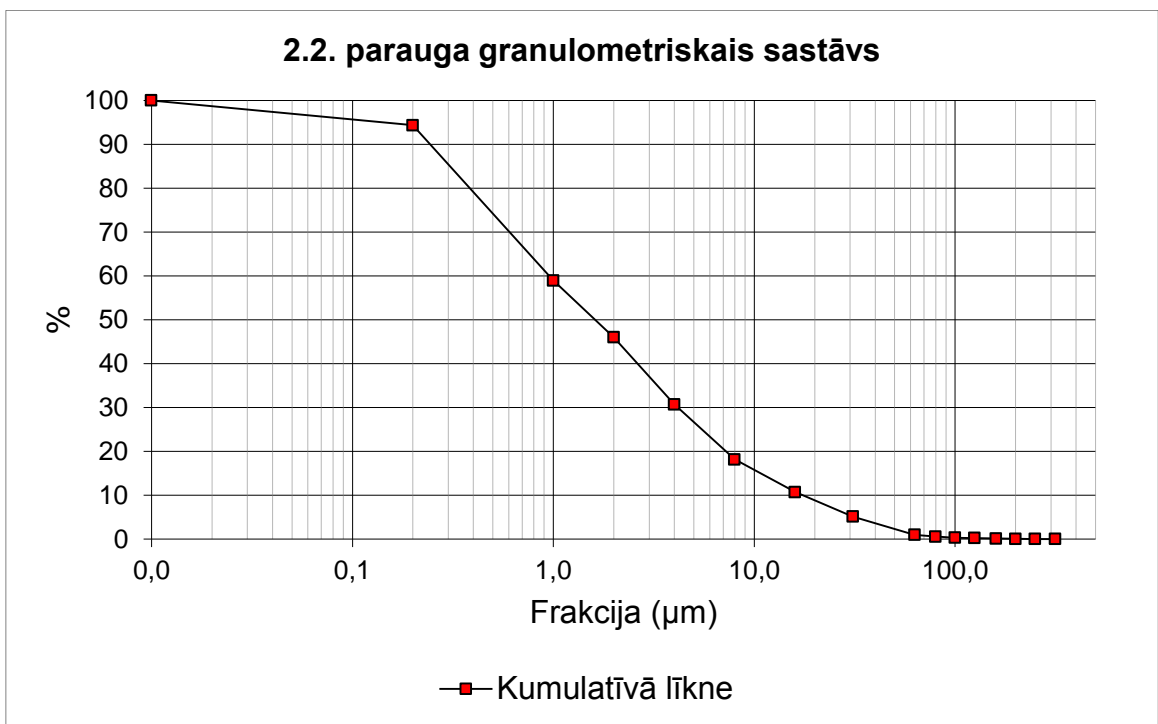
1.9. pielikums. Pirmā ģeoloģiskā griezuma 4. slāņa granulometriskā sastāva līkne.



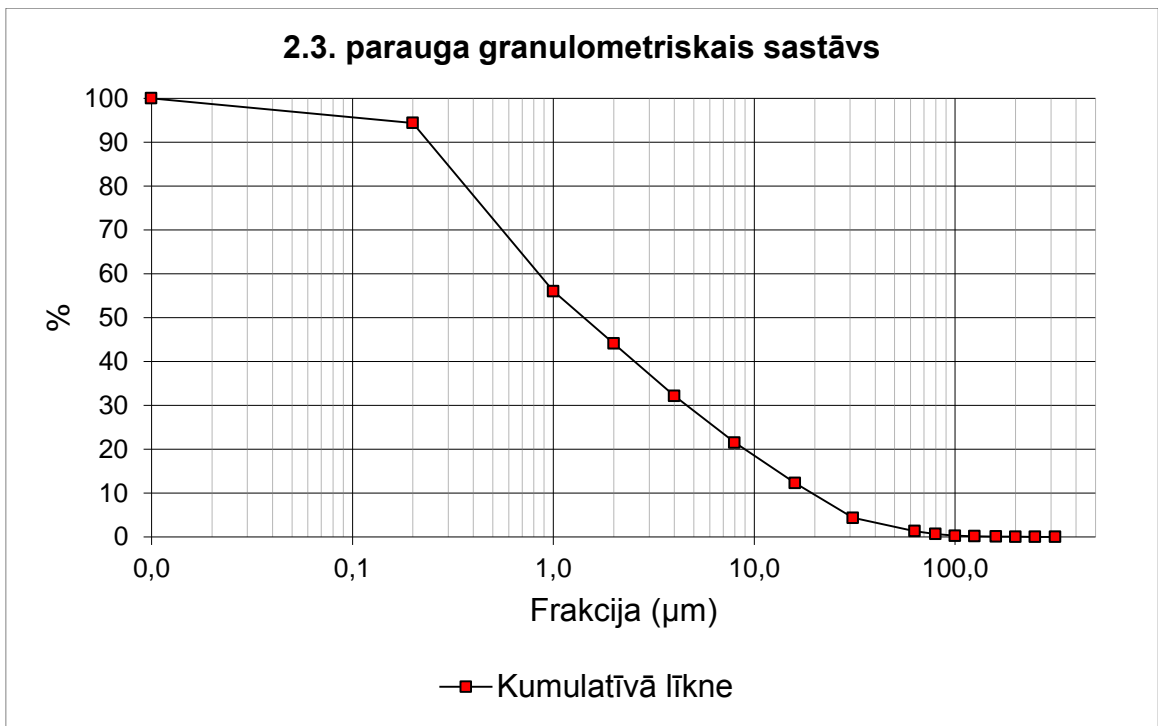
1.10. pielikums. Pirmā ģeoloģiskā griezuma 5. slāņa granulometriskā sastāva līkne.



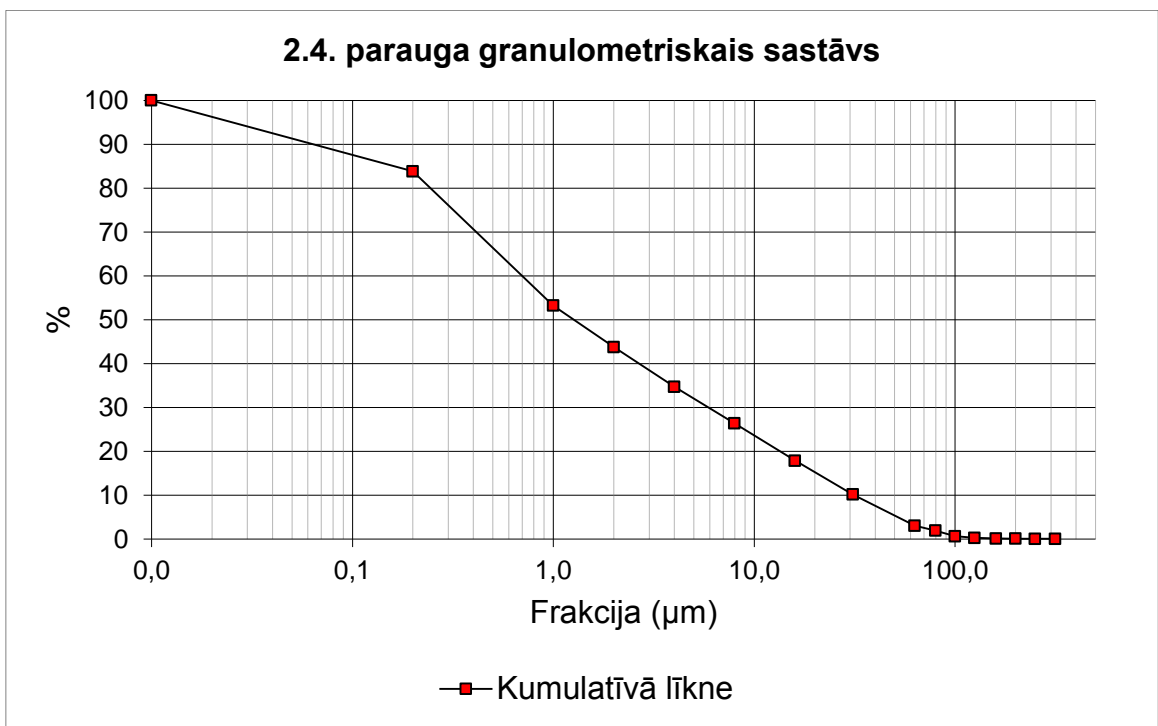
1.11. pielikums. Otrā ģeoloģiskā griezumā 1. slāņa granulometriskā sastāva līkne.



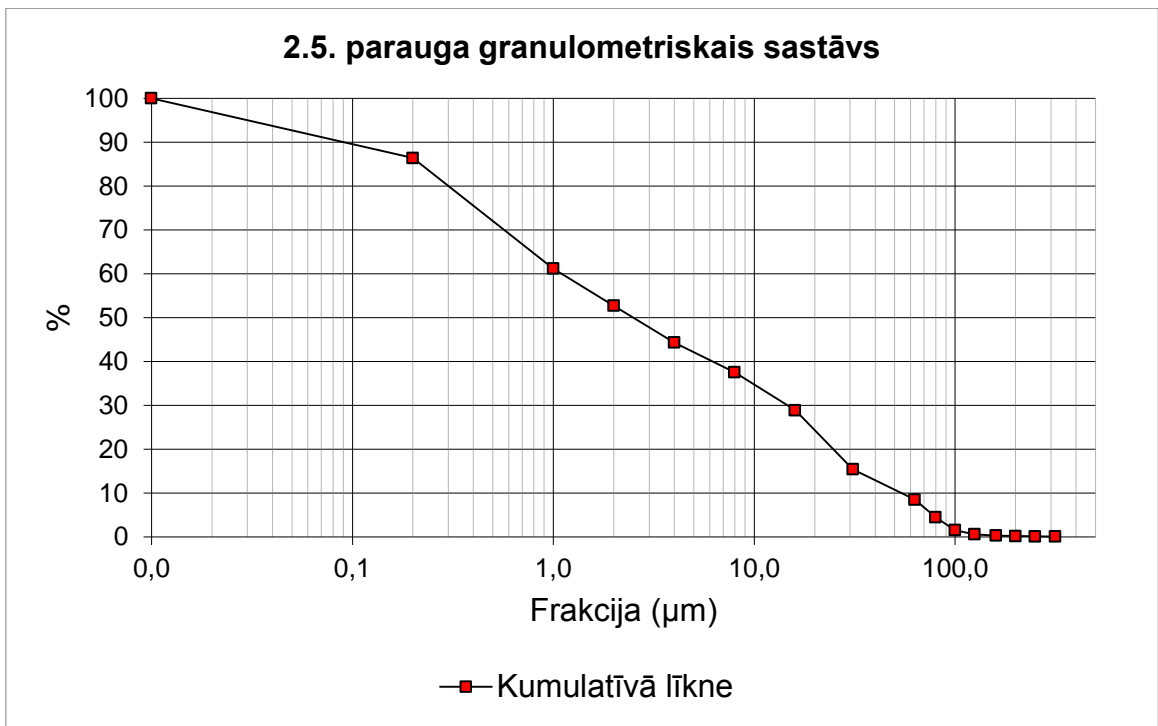
1.12. pielikums. Otrā ģeoloģiskā griezumā 2. slāņa granulometriskā sastāva līkne.



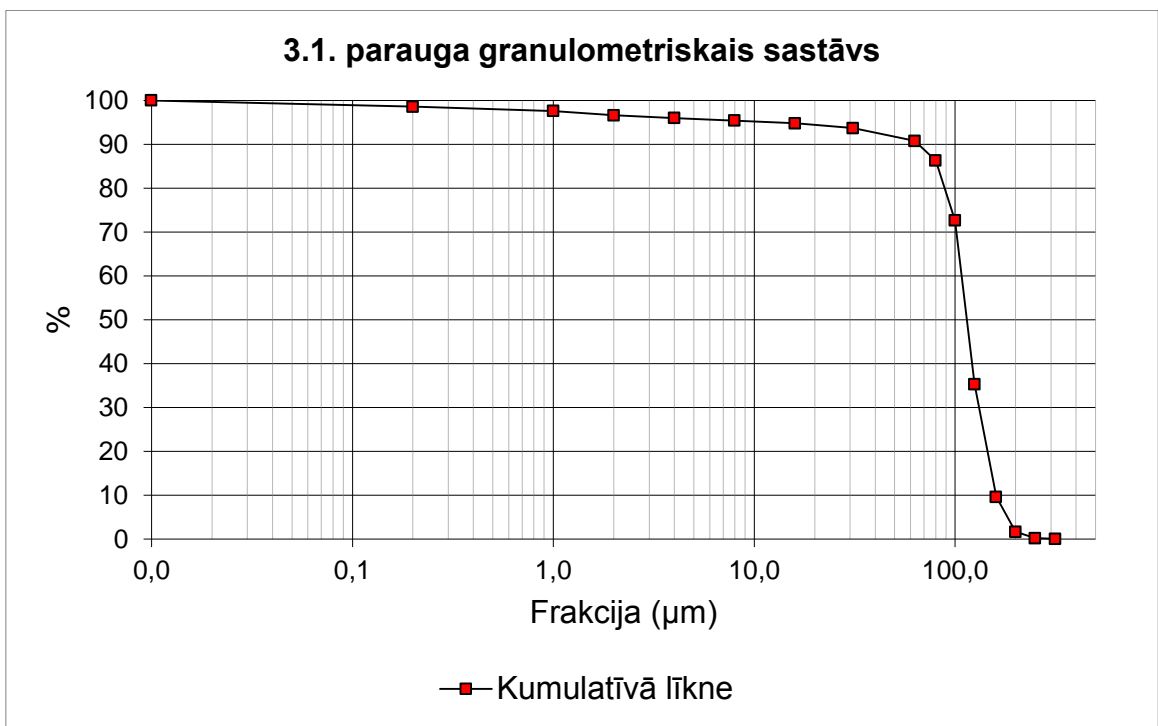
1.13. pielikums. Otrā ģeoloģiskā griezumā 2. slāņa granulometriskā sastāva līkne.



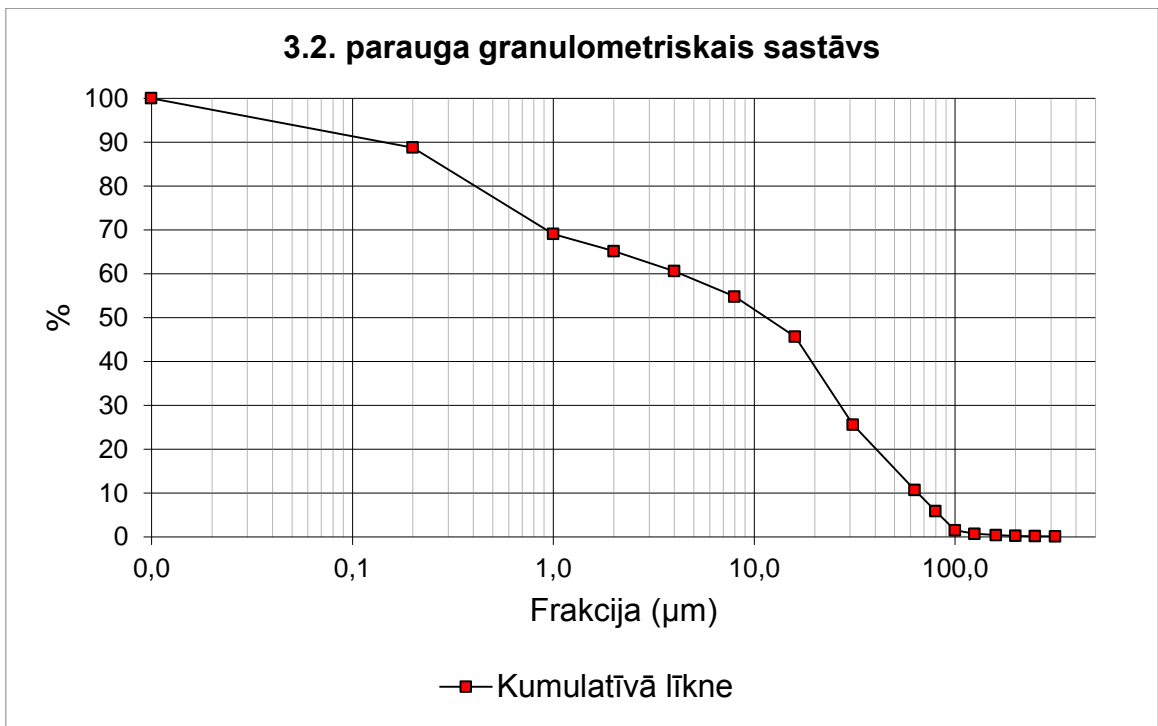
1.14. pielikums. Otrā ģeoloģiskā griezumā 2. slāņa granulometriskā sastāva līkne.



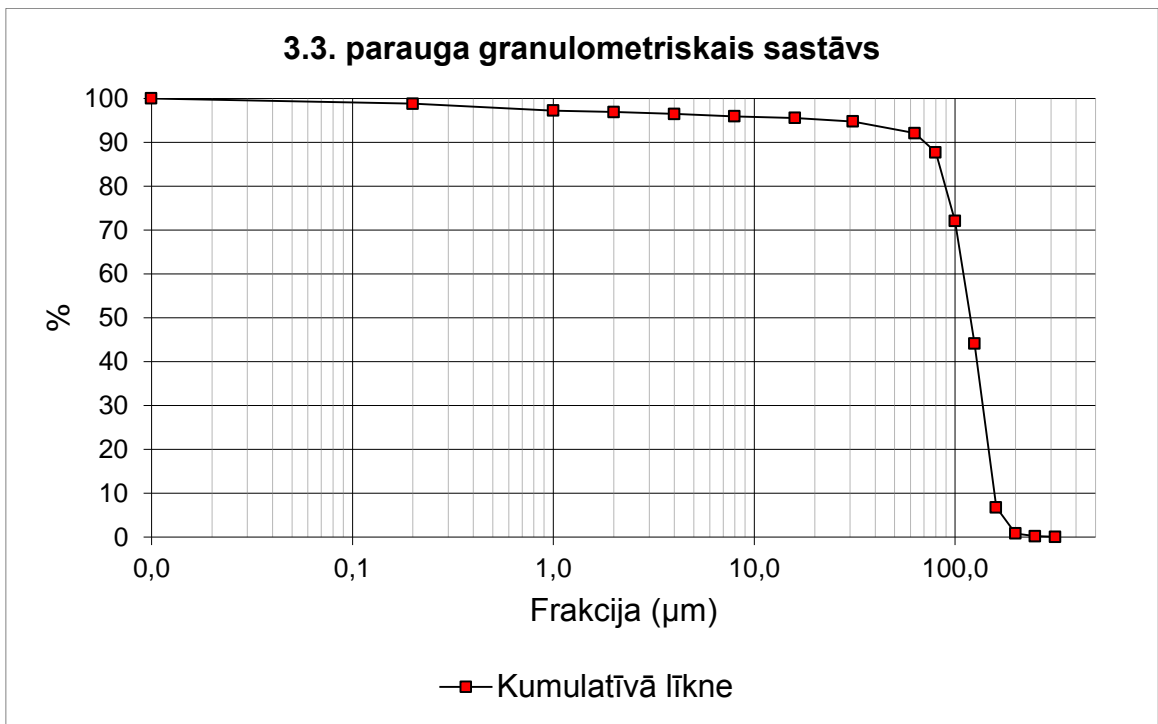
1.15. pielikums. Otrā ģeoloģiskā griezumā X. slāņa granulometriskā sastāva līkne.



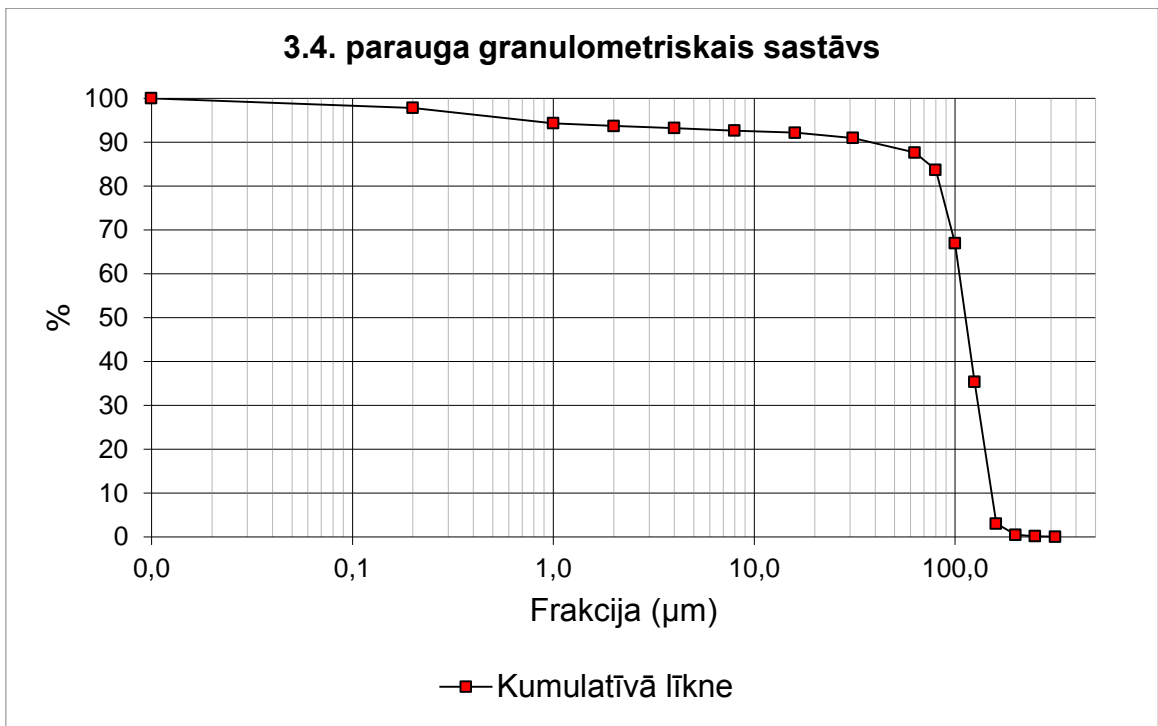
1.16. pielikums. Trešā ģeoloģiskā griezumā 1. slāņa granulometriskā sastāva līkne.



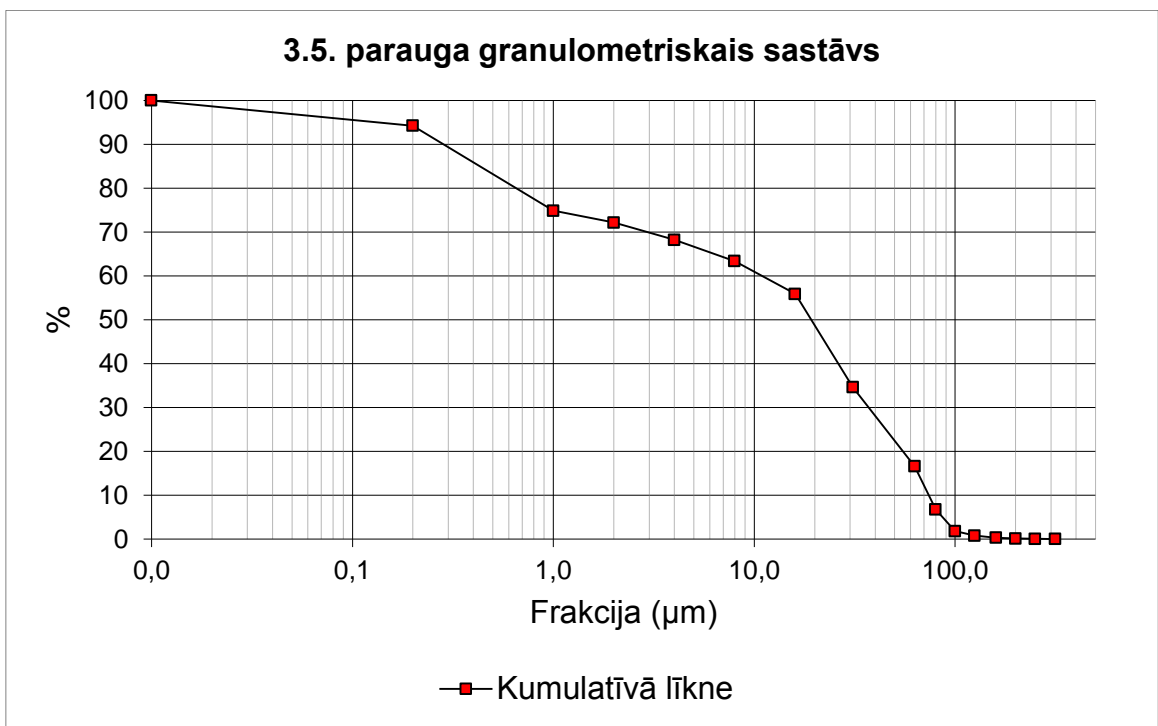
1.17. pielikums. Trešā ģeoloģiskā griezuma 2. slāņa granulometriskā sastāva līkne.



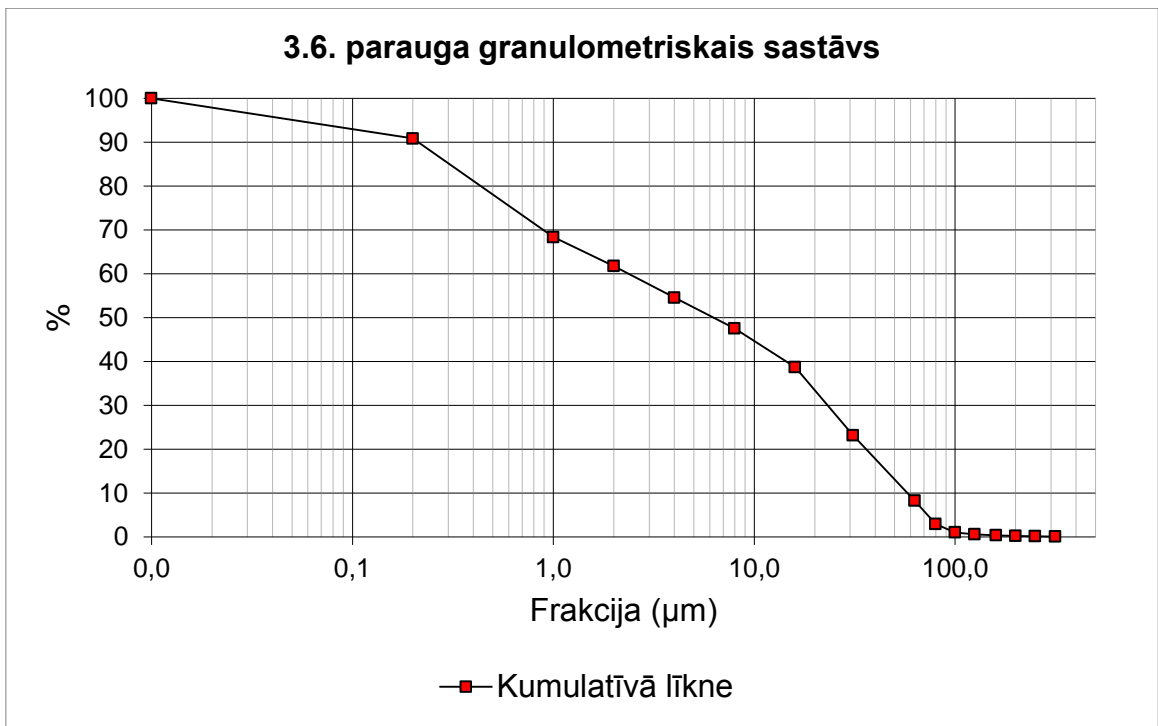
1.18. pielikums. Trešā ģeoloģiskā griezuma 3. slāņa granulometriskā sastāva līkne.



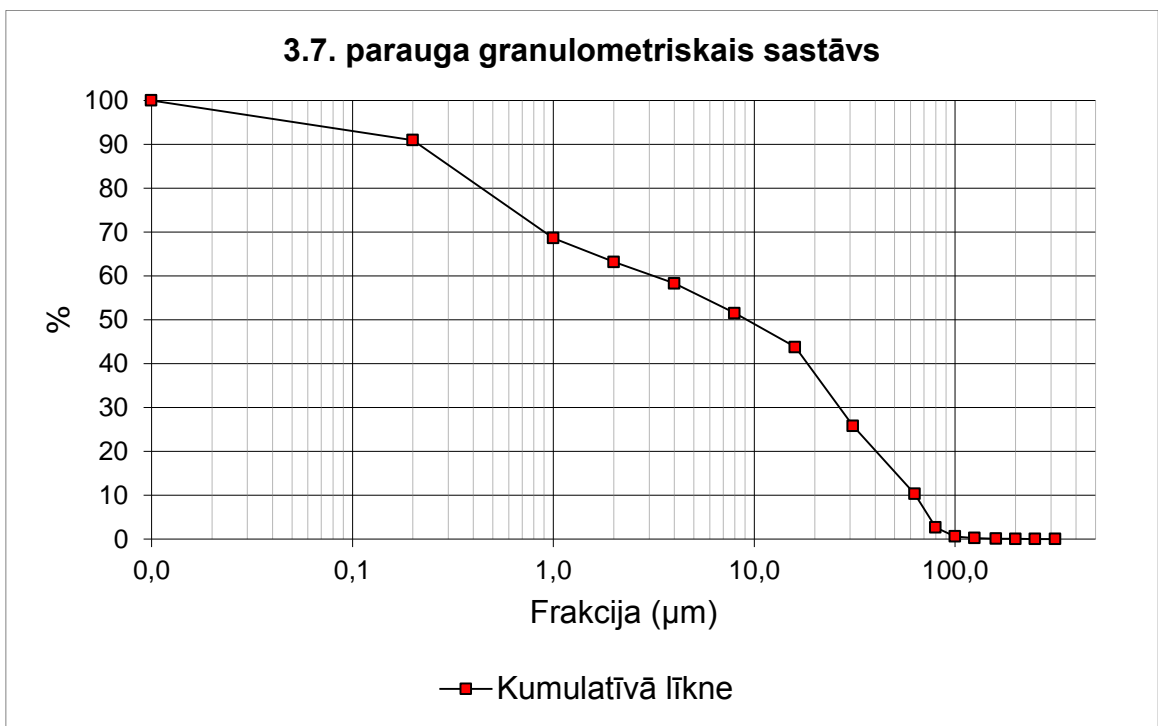
1.19. pielikums. Trešā ģeoloģiskā griezuma 3. slāņa granulometriskā sastāva līkne.



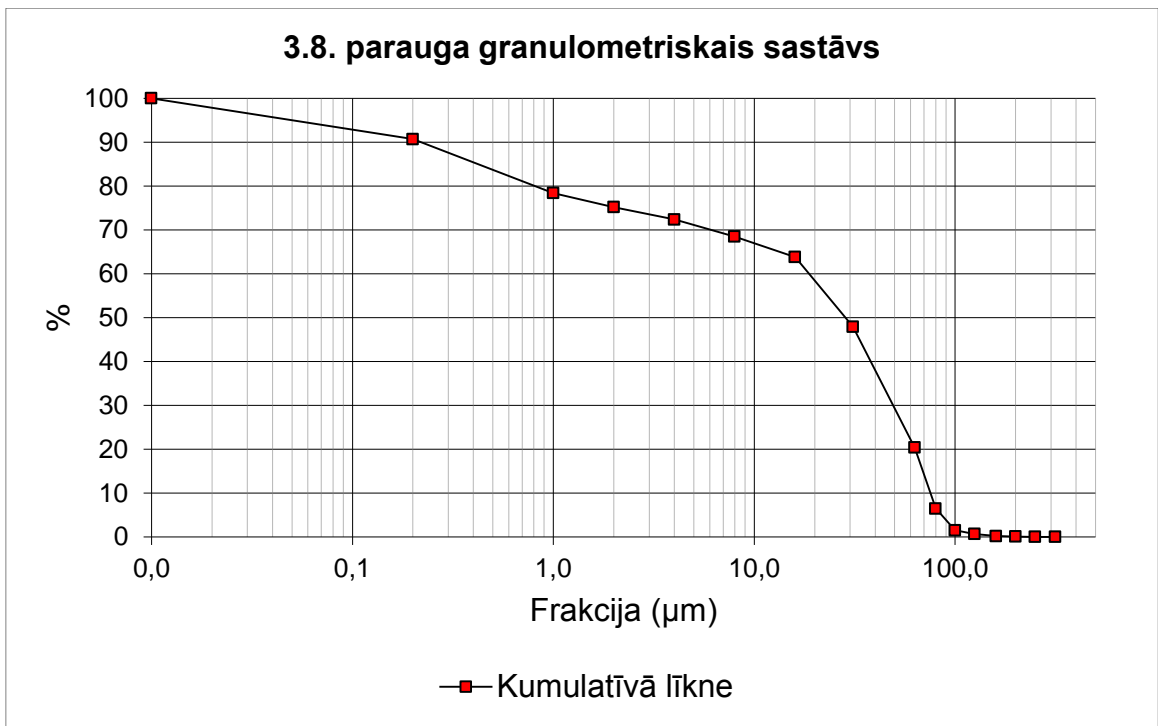
1.20. pielikums. Trešā ģeoloģiskā griezuma 4. slāņa granulometriskā sastāva līkne.



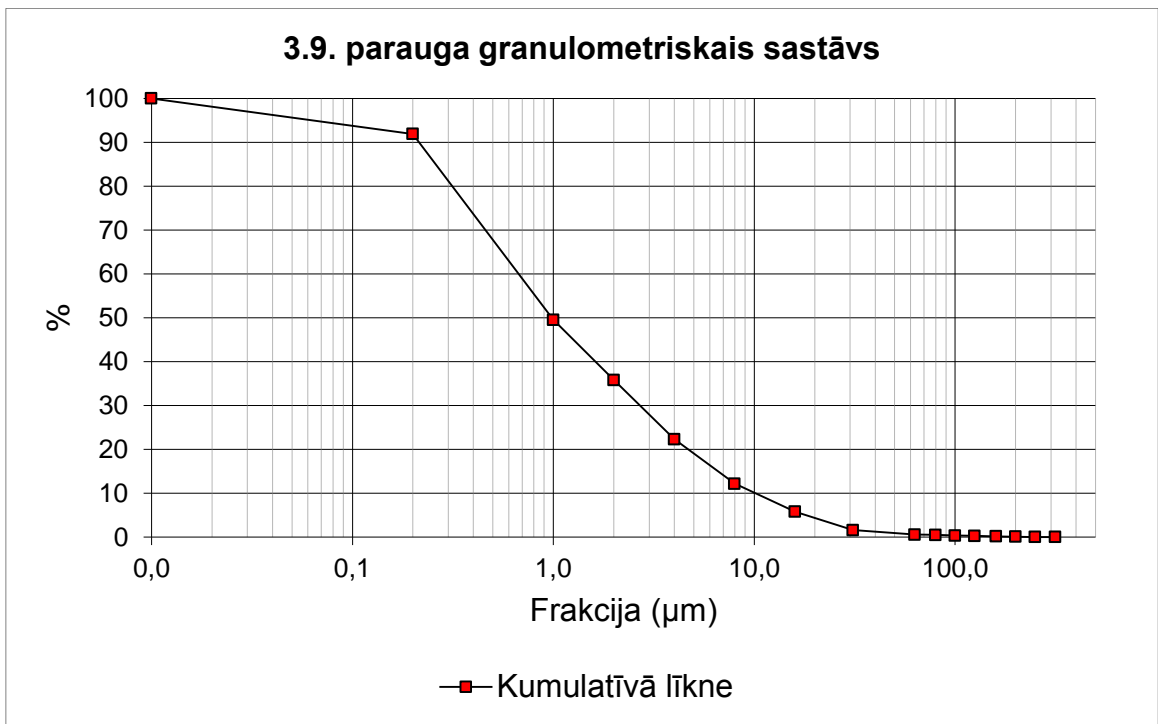
1.21. pielikums. Trešā ģeoloģiskā griezuma 4. slāņa granulometriskā sastāva līkne.



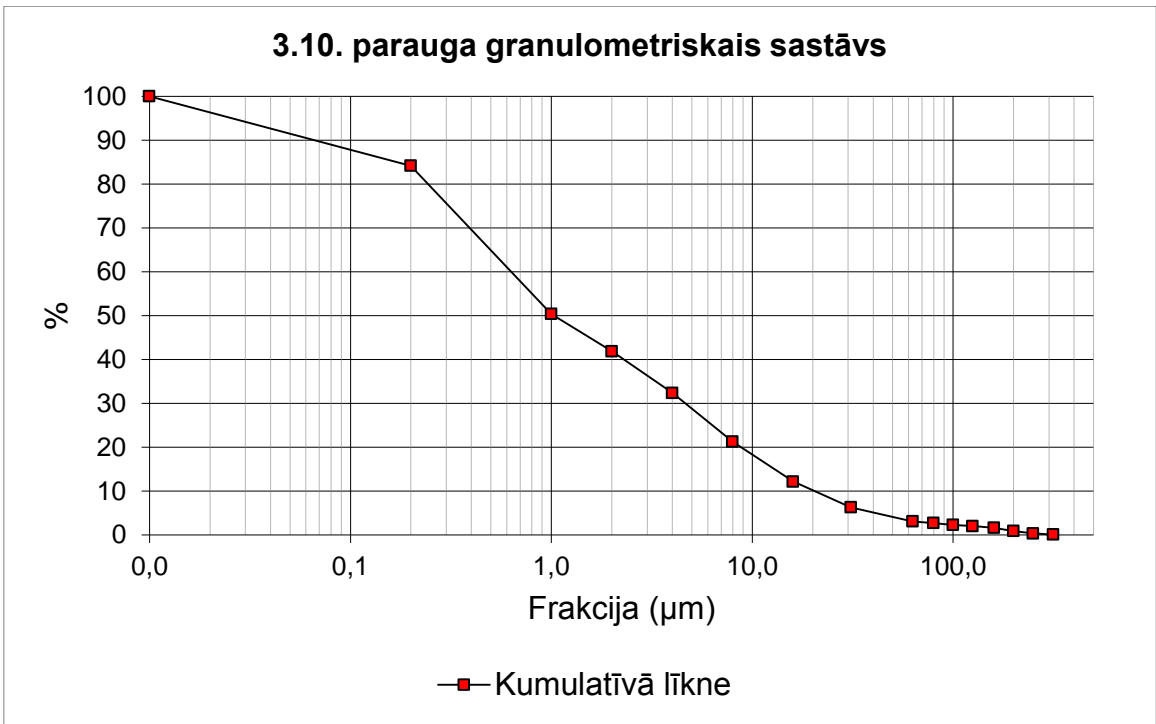
1.22. pielikums. Trešā ģeoloģiskā griezuma 4. slāņa granulometriskā sastāva līkne.



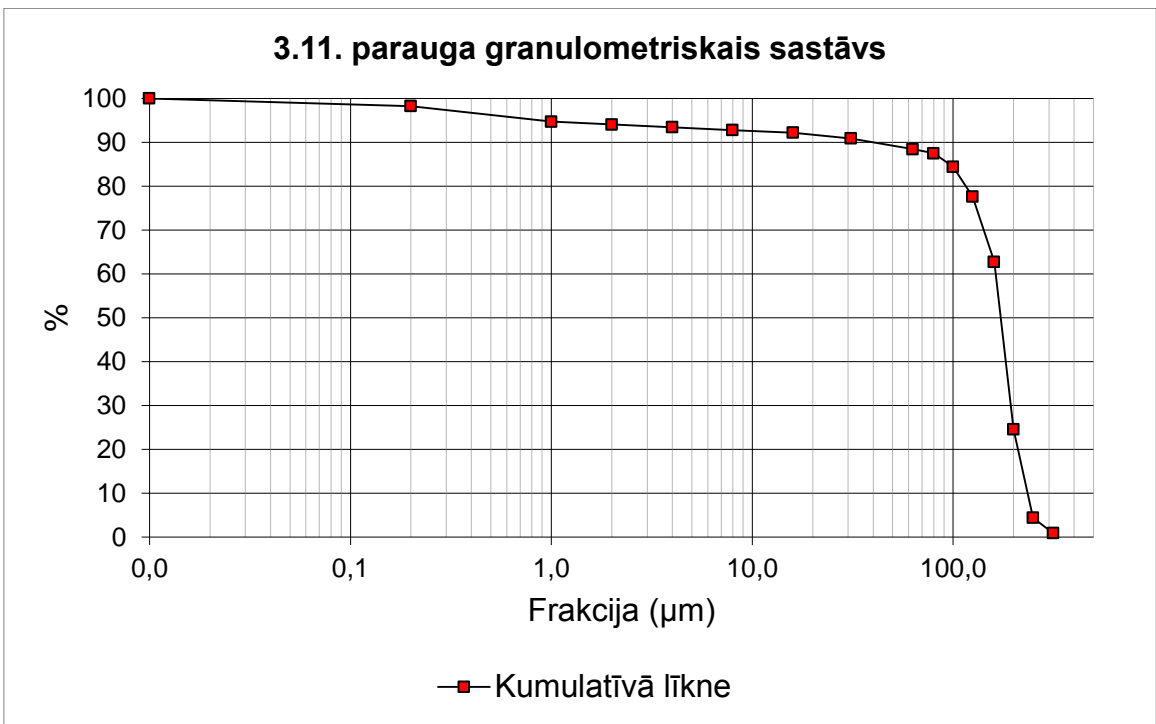
1.23. pielikums. Trešā ģeoloģiskā griezuma 5. slāņa granulometriskā sastāva līkne.



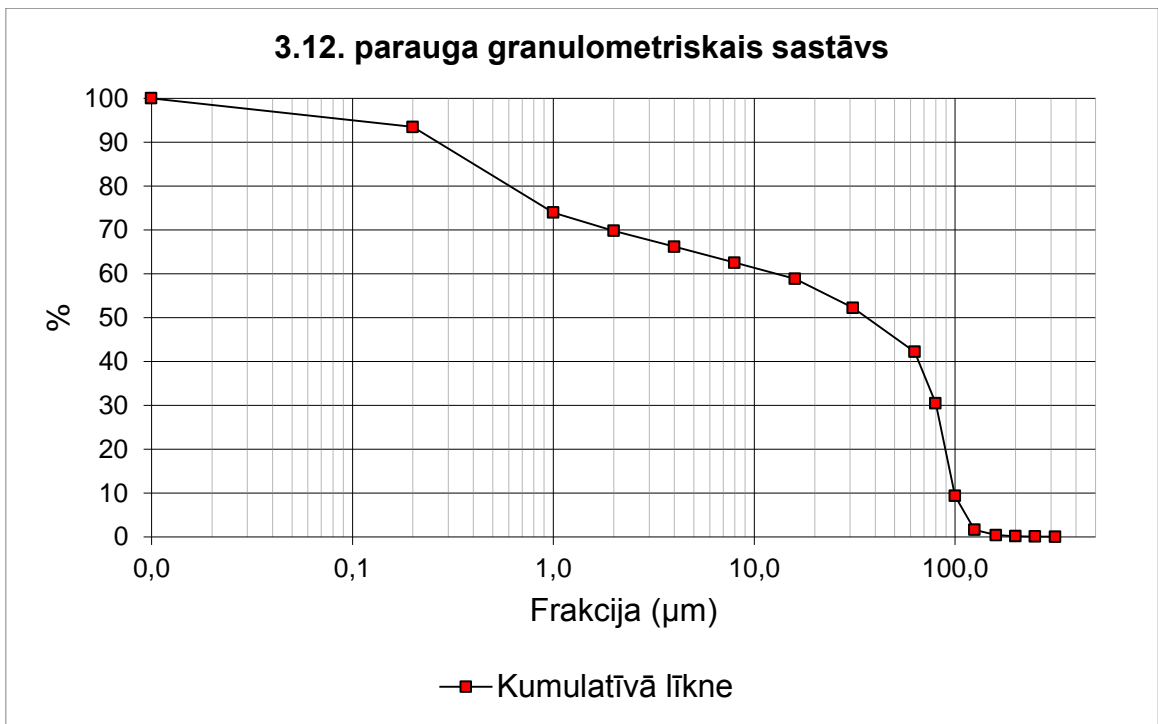
1.24. pielikums. Trešā ģeoloģiskā griezuma 6. slāņa granulometriskā sastāva līkne.



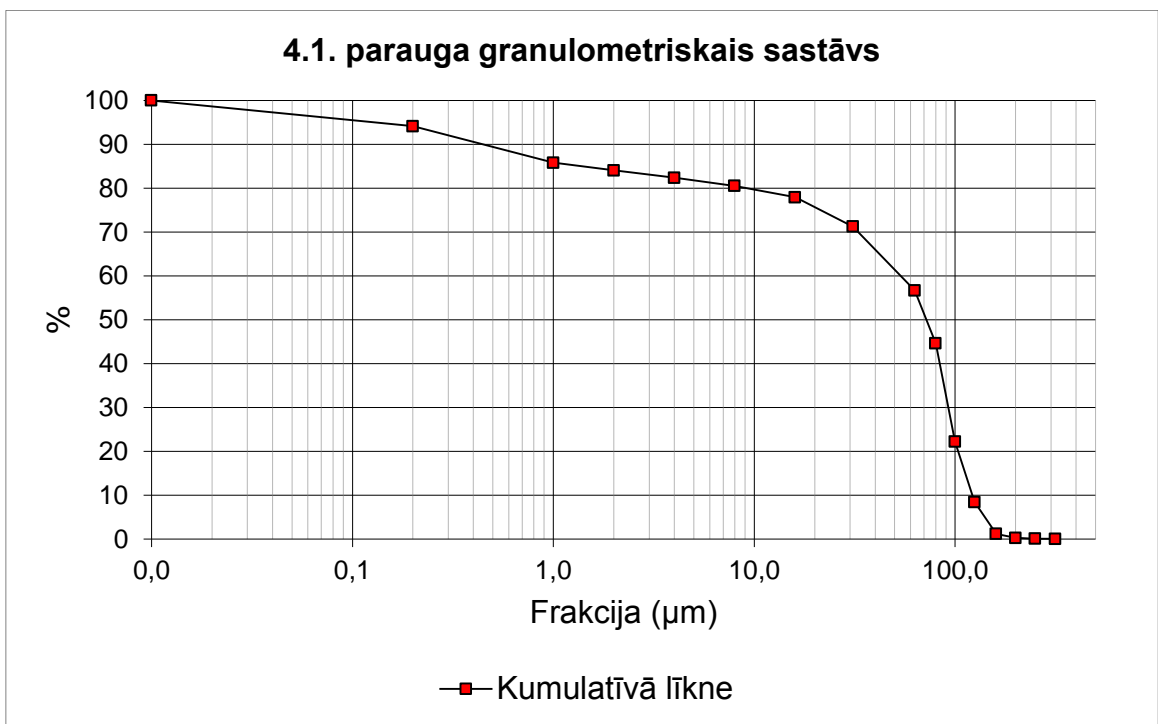
1.25. pielikums. Trešā ģeoloģiskā griezuma 6. slāņa granulometriskā sastāva līkne.



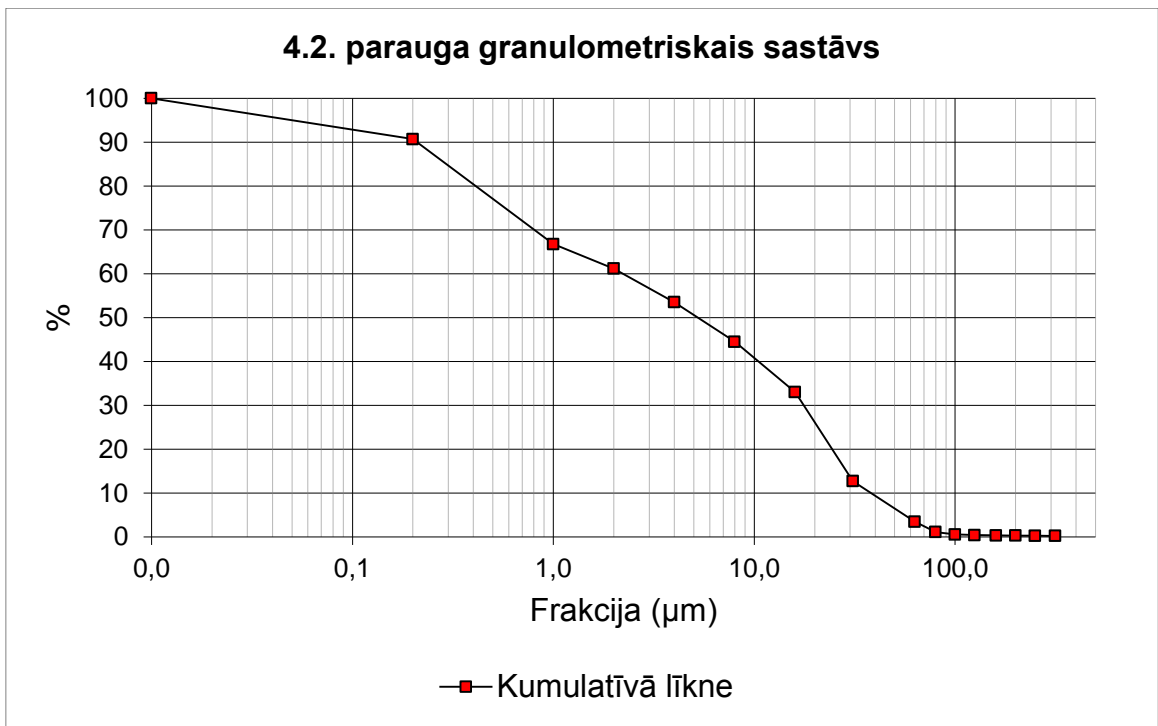
1.26. pielikums. Trešā ģeoloģiskā griezuma 7. slāņa granulometriskā sastāva līkne.



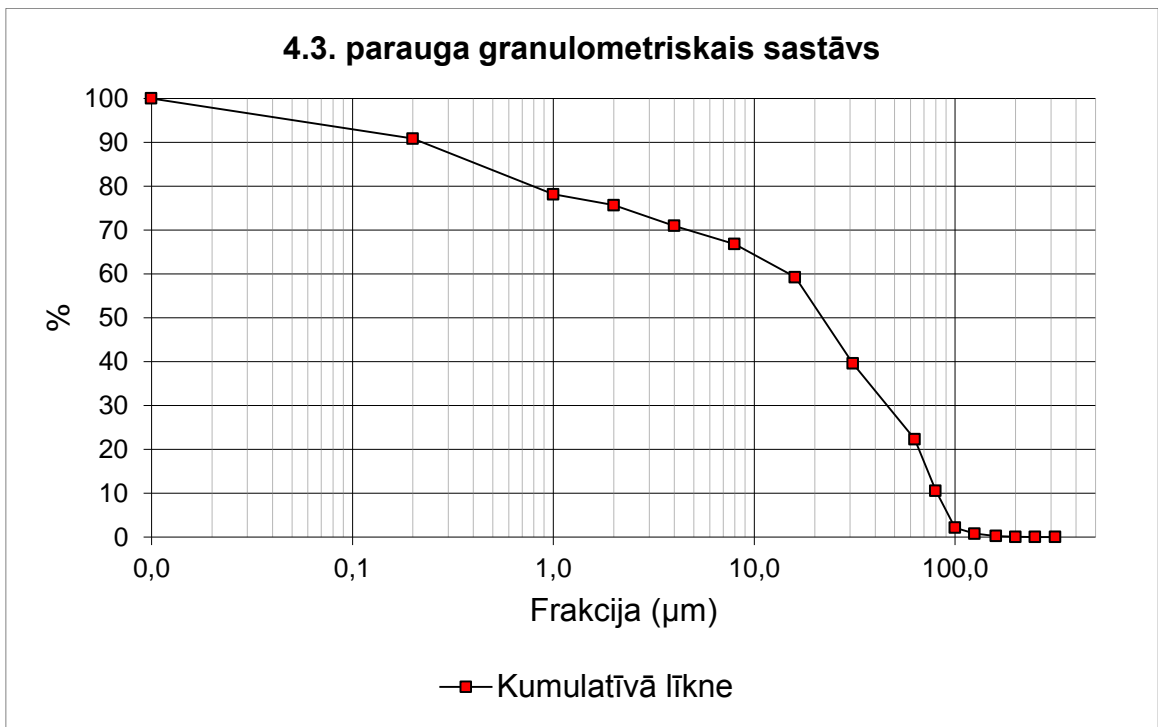
1.27. pielikums. Trešā ģeoloģiskā griezuma 8. slāņa granulometriskā sastāva līkne.



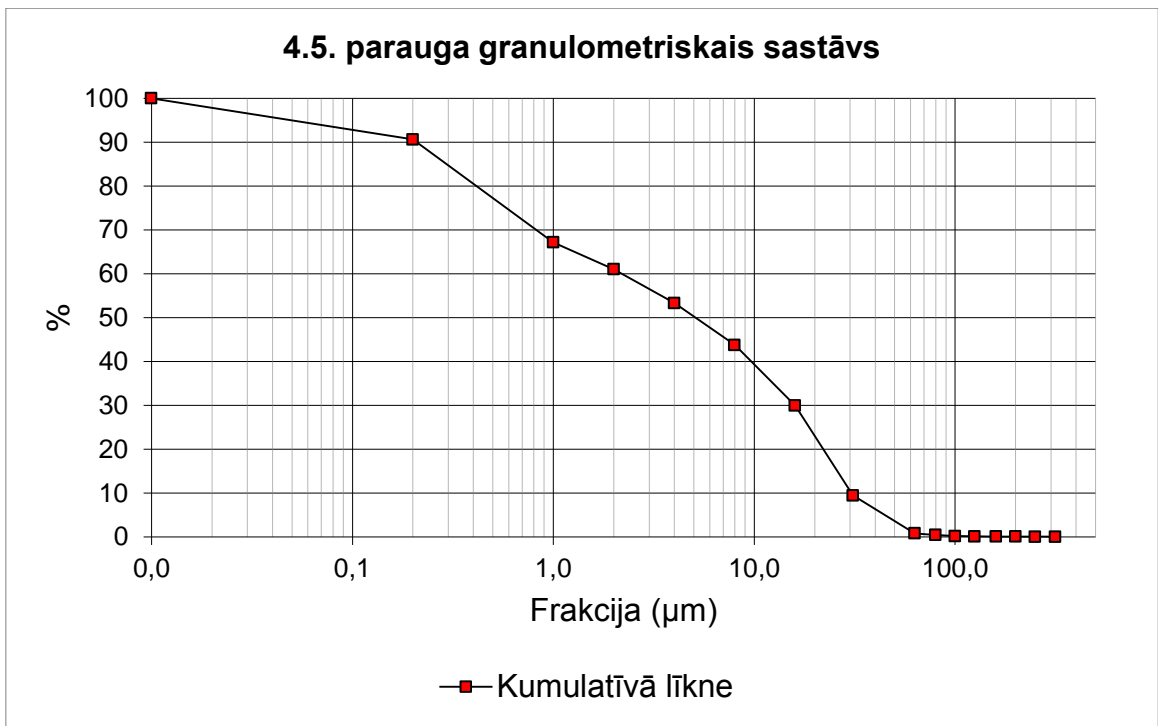
1.28. pielikums. Ceturta ģeoloģiskā griezuma 1. slāņa granulometriskā sastāva līkne.



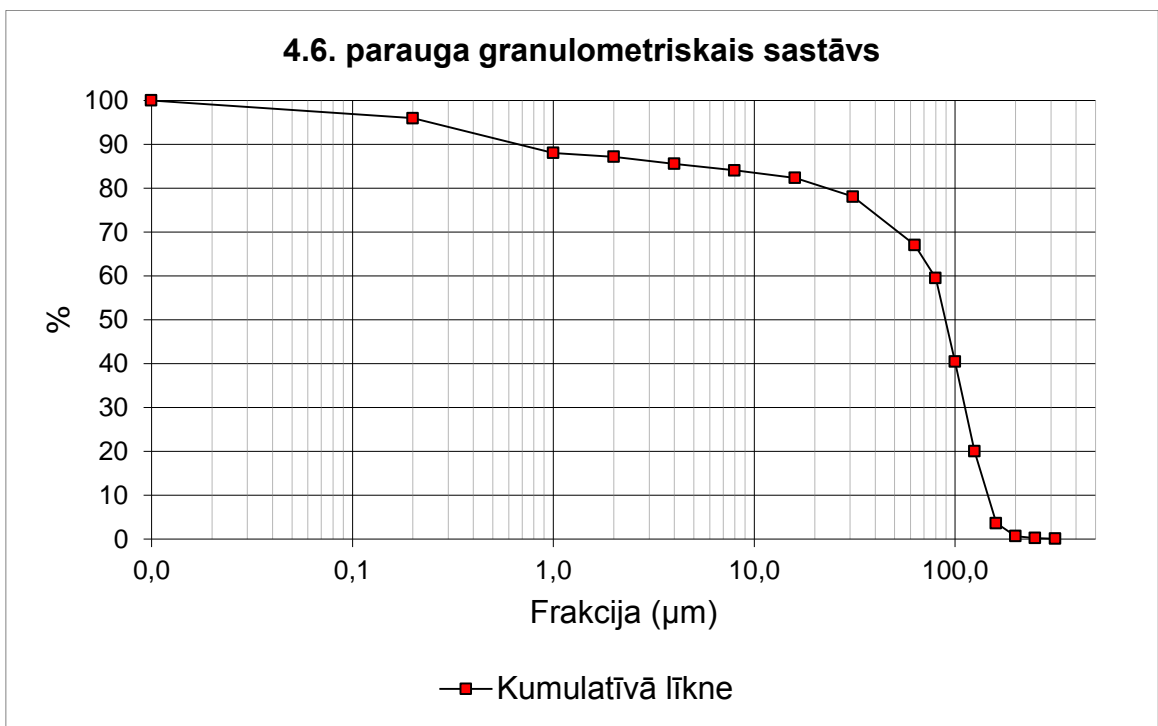
1.29. pielikums. Ceturtā ģeoloģiskā griezumā 2. slāņa granulometriskā sastāva līkne.



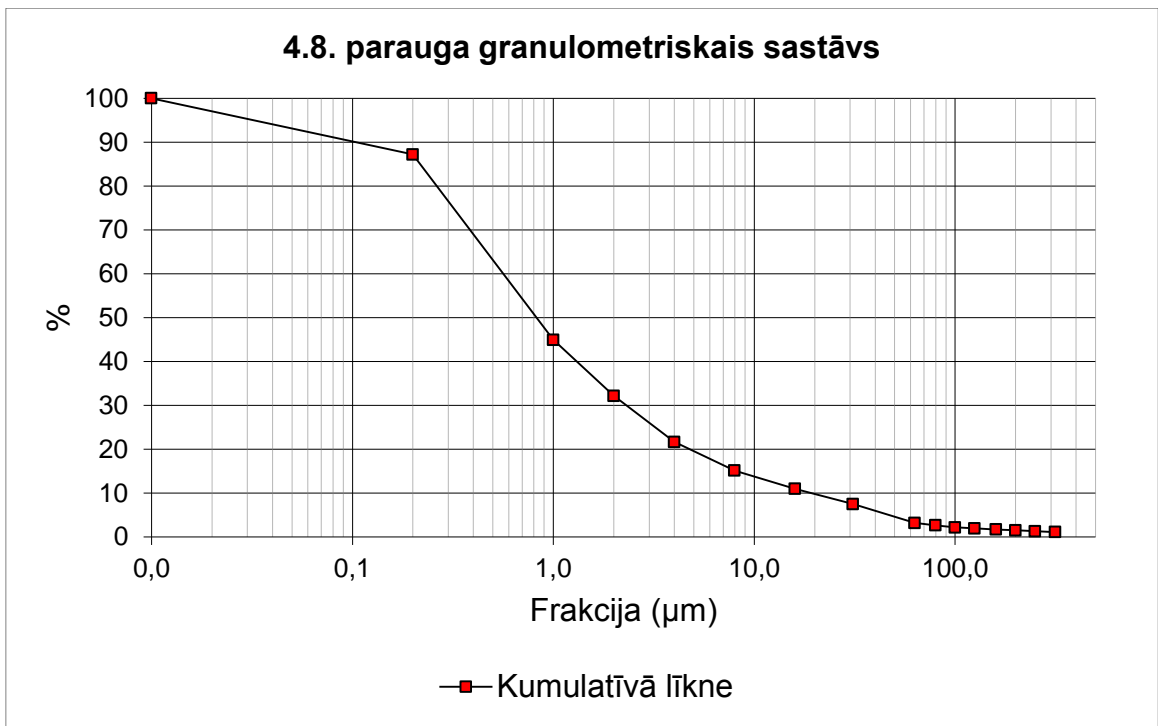
1.30. pielikums. Ceturtā ģeoloģiskā griezumā 3. slāņa granulometriskā sastāva līkne.

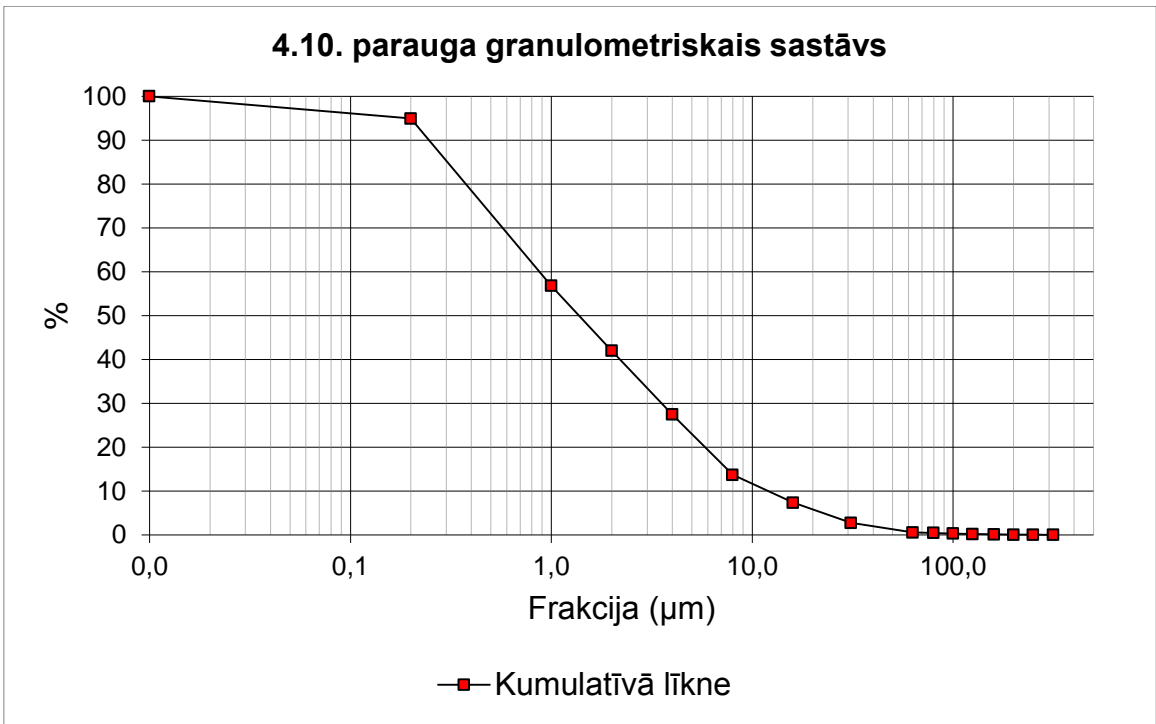


1.31. pielikums. Ceturtā ģeoloģiskā griezumā 4. slāņa granulometriskā sastāva līkne.

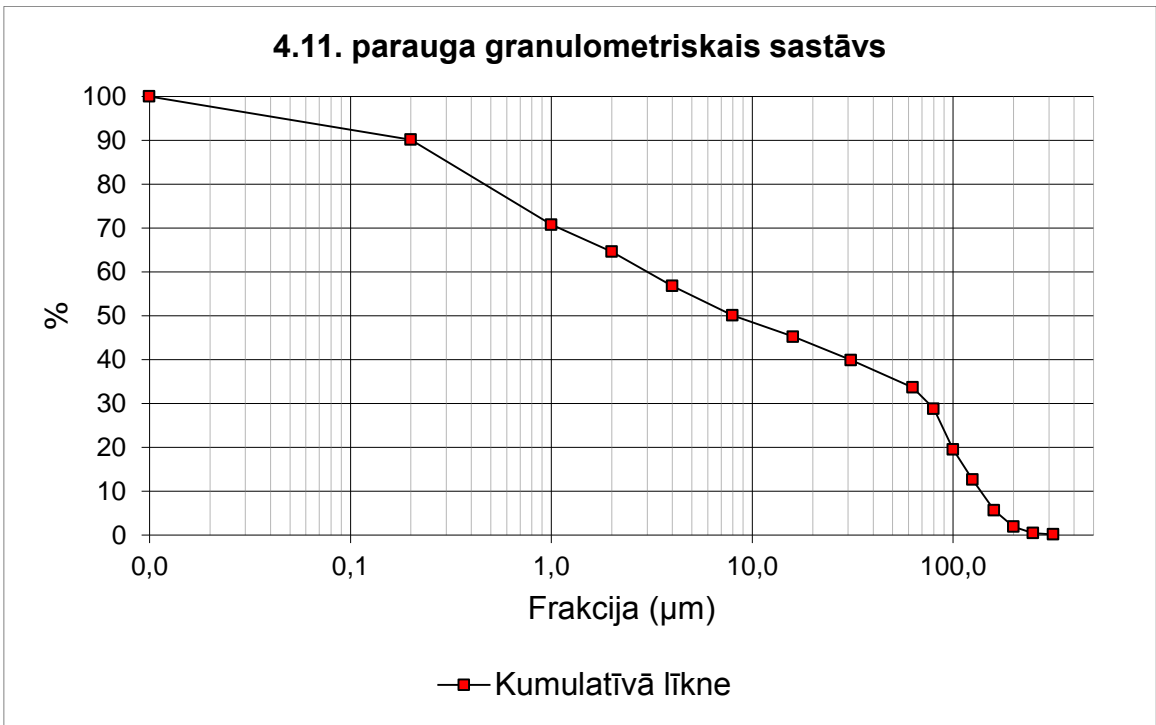


1.32. pielikums. Ceturtā ģeoloģiskā griezumā 5. slāņa granulometriskā sastāva līkne.

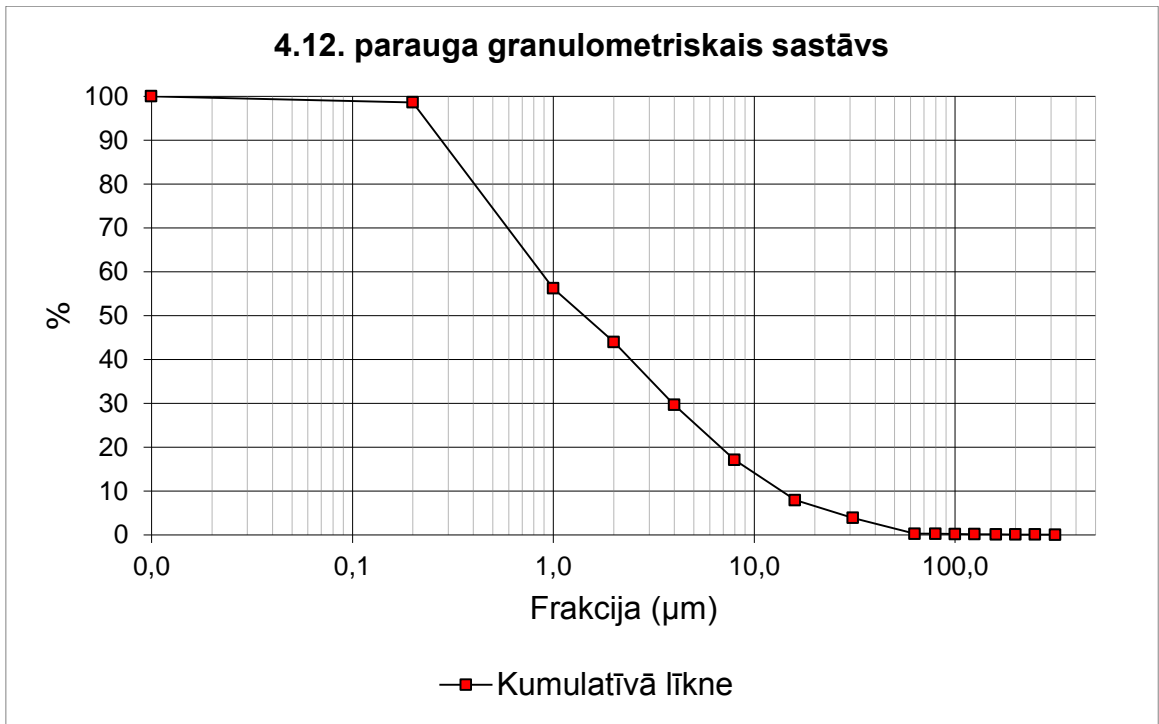




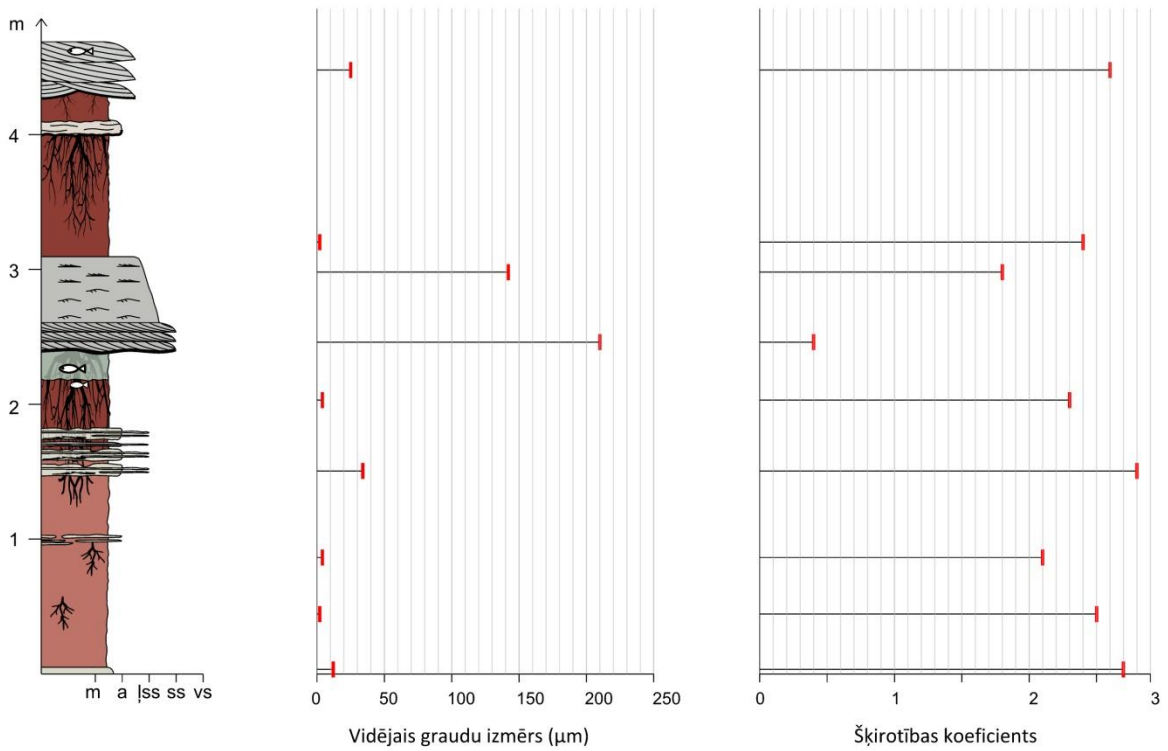
1.35. pielikums. Ceturtā ģeoloģiskā griezumā 7. slāņa granulometriskā sastāva līkne.



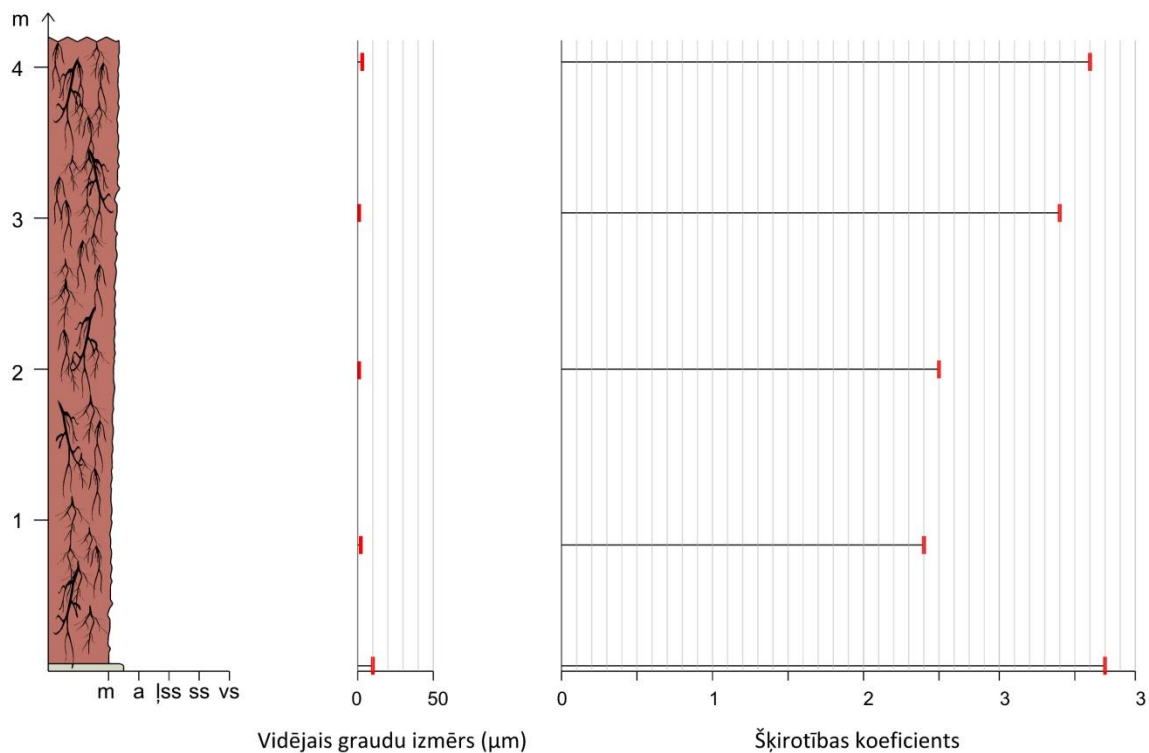
1.36. pielikums. Ceturtā ģeoloģiskā griezumā 8. slāņa granulometriskā sastāva līkne.



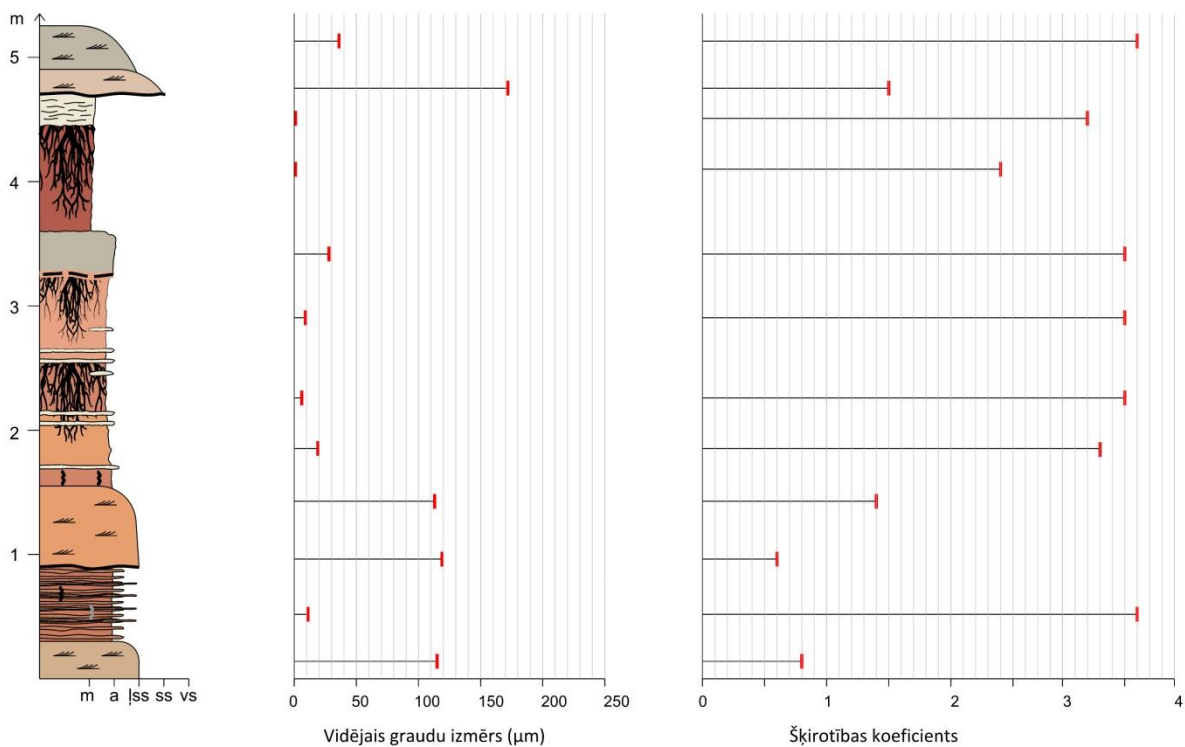
1.37. pielikums. Ceturtā ģeoloģiskā griezumā 9. slāņa granulometriskā sastāva līkne.



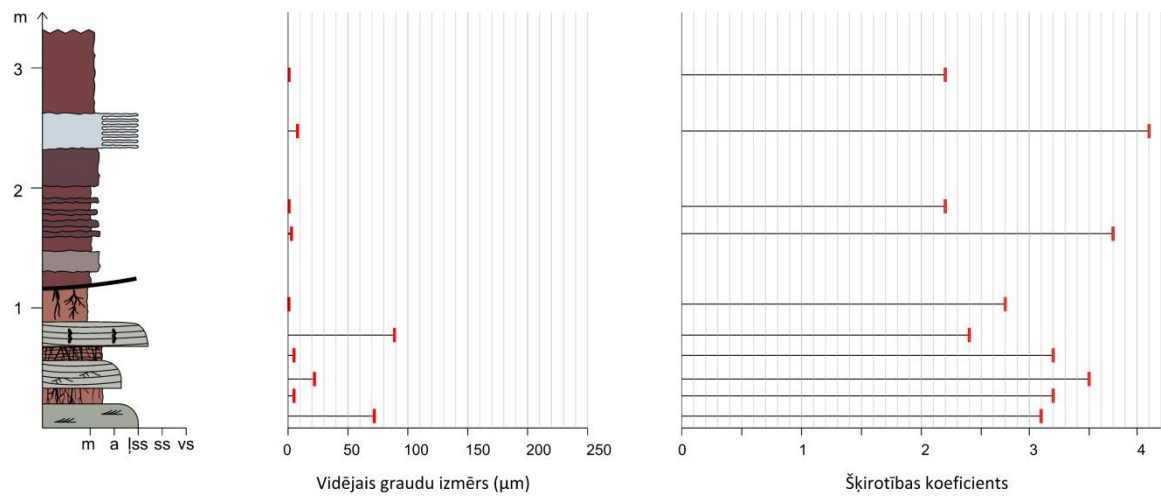
1.38. pielikums. Pirmajā ģeoloģiskajā griezumā sastopamo nogulumu ģeoloģiskais griezumš, vidējais graudu izmērs un šķirotība. Grafiks veidots atbilstoši paraugu ņemšanas vietām.



1.39. pielikums. Otrajā ģeoloģiskajā griezumā sastopamo nogulumu ģeoloģiskais griezumā, vidējais graudu izmērs un šķirotība. Grafiks veidots atbilstoši paraugu ņemšanas vietām.



1.40. pielikums. Trešajā ģeoloģiskajā griezumā sastopamo nogulumu ģeoloģiskais griezumā, vidējais graudu izmērs un šķirotība. Grafiks veidots atbilstoši paraugu ņemšanas vietām.



1.41. pielikums. Ceturtajā ģeoloģiskajā griezumā sastopamo nogulumu ģeoloģiskais griezumā, vidējais graudu izmērs un šķirotība. Grafiks veidots atbilstoši paraugu ņemšanas vietām.