

LATVIJAS UNIVERSITĀTE
GEOGRĀFIJAS UN ZEMES ZINĀTŅU FAKULTĀTE
ĢEOLOĢIJAS NODAĻA

**SLOKŠŅU MĀLU GRANULOMETRISKĀ SASTĀVA PĒTĪJUMI
AUDRU APKĀRTNĒ, DIENVIDRIETUMU IGAUNIJĀ**

BAKALaura DARBS

Autors: Anete Liepiņa

Stud. apl. al06025

Darba vadītājs: M. geol. Andis Kalvāns

RĪGA 2010

ANOTĀCIJA

Bakalaura darbā pētīts un analizēts Vislas apledošanas beigu posma slokšņu mālu granulometriskais sastāvs atsevišķu varvju ietvaros, lai raksturotu sedimentācijas vidi to nogulsnešanās laikā Audru apkārtnē, dienvidrietumu Igaunijā. Slokšņu māli šeit veidojušies, ledājam atkāpjoties no Pandiveres – Ņevas ledāja malas veidojumu zonas.

Granulometriskā sastāva analīze veikta divdesmit piecām varvēm, izmantojot lāzerdifrakcijas un hidrometra metodes. Iegūtie rezultāti ļauj izdarīt secinājumus par sedimentācijas vides mainīgo raksturu un to ietekmējošajiem faktoriem. Lielākās granulometriskā sastāva atšķirības vērojamas vasaras slāņos. Ziemas slāņi ir diezgan vienveidīgi.

Atslēgas vārdi: glaciolimniskie nogulumu, varves, granulometriskais sastāvs, Igaunija.

ANNOTATION

Bachelor thesis is focused on the study of grain size distribution of the Late Weichselian varved clays from Audru area, southwestern Estonia. The main objective of this paper is to describe the differences of grain size distribution within individual varves and characterize the sedimentary environment during the deposition of varved clays. Varved clays in this area were formed during ice recession from Pandivere – Neva ice marginal formations.

A total of 25 varves were analyzed for the grain size distribution using laser diffraction and hydrometer methods. Results show the inconsistent nature of the sedimentary environment and enable the possibility to describe factors that have an impact on it. The greatest differences in grain size distribution were found in summer layers. Winter layers are quite uniform.

Keywords: glaciolacustrine sediments, varves, grain size distribution, Estonia.

SATURS

IEVADS	5
1. MATERIĀLI UN METODEDES.....	6
1.1. Paraugu sagatavošana un granulometriskā sastāva analīze	7
1.2. Datu statistiskā apstrāde un vizualizācija	10
2. LITERATŪRAS APSKATS	12
2.2. Sedimentācija glaciolimniskā vidē	13
2.3. Varvju veidošanās	15
2.4. Igaunijas teritorijas deglaciācijas vēsture un paleobaseini Igaunijā.....	18
2.5. Slokšņu mālu izplatība un iedalījums Igaunijā.....	19
2.6. Igaunijas slokšņu mālu strukturālās, ķīmiskās, mineralogiskās īpašības	20
2.7. Granulometriskais sastāvs Igaunijas slokšņu mālos.....	20
2.8. Varvju hronoloģija, vēsturiskā pētījumu attīstība.....	23
3. REZULTĀTI	25
3.1. Hidrometra un lāzerdifrakcijas granulometra metožu salīdzinājums	25
3.2. Varvju biezuma izmaiņas	28
3.3. Audru apkaimes slokšņu mālu vispārīgs raksturojums	29
3.4. Granulometriskā sastāva sadalījums varvju ietvaros.....	32
3.5. Granulometriskā sadalījuma sastāva izmaiņu kopsakarības varvēs	49
4. DISKUSIJA	51
SECINĀJUMI	53
LITERATŪRAS SARAKSTS	55
PIELIKUMS	58

IEVADS

Bakalaura darbā „Slokšņu mālu granulometriskā sastāva pētījumi Audru apkārtnē, dienvidrietumu Igaunijā” ir analizētas granulometriskā sastāva sadalījuma īpatnības un tendences atsevišķu varvju ietvaros. Pagātnes liecības par dabas apstākļiem ir svarīgas, lai uzlabotu izpratni par klimata izmaiņām pagātnē un paplašinātu zināšanas par vides mainības tendencēm, variācijām, notikumiem un tos ietekmējošajiem faktoriem. Paleoklimatologi pagātnes klimata modelēšanai visbiežāk izvēlas datus, kuru izšķirtspēja ir desmit vai pat viena gada apmērā. Viens no veidiem, kā iegūt šādus datus, ir pētīt slokšņu mālus.

Bakalaura darbā izmantotie slokšņu mālu paraugi iegūti sadarbībā ar Tartu Universitātes pētnieku T. Hangu.

Bakalaura darba mērķis ir raksturot nogulumu granulometriskā sastāva sadalījumu slokšņu mālos atsevišķu varvju ietvaros un spriest par to uzkrāšanās apstākļiem. Mērķa sasniegšanai ir izvirzīti šādi uzdevumi:

- 1) apkopot pieejamo zinātnisko literatūru par slokšņu māliem, kā arī to pētījumiem Igaunijas teritorijā;
- 2) veikt detālu granulometriskā sastāva analīzi paraugiem ar lāzerdifrakcijas granulometru un hidrometra metodēm;
- 3) apstrādāt, vizualizēt un raksturot iegūtos datus;
- 4) interpretēt granulometriskā sadalījumu atsevišķu varvju ietvaros;
- 5) novērtēt pielietoto metožu sniegto rezultātu atšķirības un raksturot to iespējamus cēloņus.

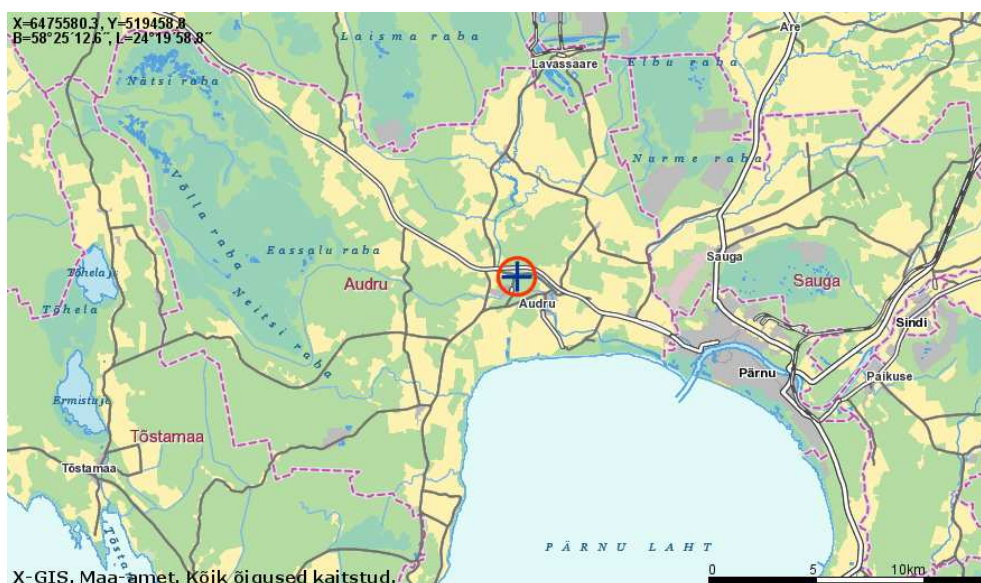
Bakalaura darbs sastāv no 57 lappusēm un tajā ir iekļauti 24 attēli. Tas sastāv no četrām nodaļām un secinājumiem, kā arī pielikuma. Pirmajā nodaļā raksturotas darba izstrādē lietotās metodes un izmantotie materiāli. Otrajā nodaļā sniegts literatūras apskats par slokšņu māliem un glaciolimnisko sedimentācijas vidi, kā arī sīkāk raksturoti Igaunijas teritorijā sastopamie slokšņu māli, to pētījumu vēsture un citi ar tiem saistītie aspekti. Trešā nodaļā apkopoti laboratorijas darbos iegūtie rezultāti. Ceturtajā nodaļā, pamatojoties uz veikto analīžu rezultātiem, dota interpretācija par apstākļiem, kādos veidojušies slokšņu māli apskatītajā griezuma intervālā.

1. MATERIĀLI UN METODES

Bakalaura darba izstrādē lietotās metodes var iedalīt trīs daļās. Pirmkārt, tika veikta literatūras un citu pētnieku darbu rezultātu apkopošana, lai iegūtu priekšstatu par bakalaura darbā apskatīto jautājumu. Otrkārt, tika veikti laboratorijas darbi, lai iegūtu datus par granulometriskā sastāva sadalījuma īpatnībām pētāmajā griezumā, un, treškārt, notika iegūto rezultātu vizualizācija, noformēšana un interpretēšana.

Bakalaura darba teorētiskajai daļai izmantoti literatūras avoti no Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultātes bibliotēkas, Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centra fonda, zinātnisko žurnālu datubāzēm, kā arī interneta resursiem. Informācija par Igaunijas ģeoloģisko uzbūvi, ģeohronoloģiju, kā arī tur esošajiem slokšņu māliem un to īpašībām tika iegūta no T. Hanga, A. Raukas, L. Sārses un V. Kalma publikācijām. Vispārīgais slokšņu mālu un glaciolimniskās vides raksturojums galvenokārt tika gūts V. Kurša, A. Stinkules, kā arī B. Zoličkas, G. M. Ešlija, M. Beneta un D. Evansa darbos.

Pētījumā izmantoti Tartu Universitātes pētnieka PhD Tīta Hanga ievāktie paraugi. Detalizētai granulometriskā sastāva analīzei slokšņu māli ievākti no urbuma Audru-8-08 (Z 58° 25' 12,6"; A 24° 19' 58,8"), kas atrodas dienvidrietumu Igaunijā, Pērnavas apriņķī, apmēram 8,5 km uz ziemeļrietumiem no Pērnavas pilsētas un 4 km uz ziemeļiem no Pērnavas līča piekrastes (1.1. att.). Paraugi ir ievākti ar krievu tipa 1 m garu un 7 cm platu kūdras paraugotāju un izmantojot miniatūro urbšanas agregātu Dando Terrier 2002.



1.1. att. Urbuma Audru-8-08 atrašanās vieta (<http://geoportaal.maaamet.ee/>)

Pēc T. Hanga sniegtajiem datiem urbums Audru-8-08 ir 13 m dziļš un ir veikts vietā, kura atrodas 9 m v. j. l. Urbuma augšējā daļā, t. i., 0 – 1,06 m atrodas mākslīgā uzbērums

materiālas, 1,06 – 4,30 m dziļumā no zemes virsmas ir marīno nogulumu (smalkas un vidējgraudainas smiltis ar organiskiem ieslēgumiem) slānis, zem tiem, 4,30 – 13 m dziļumā, atrodas slokšņu mālu slānis, kas uzguļ morēnai. Slokšņu mālu augšējie slāņi šajā griezumā (4 – 8 m dziļumā) satur plānas, neskaidras, mālaines varves ar ļoti plāniem aleirītiskiem vasaras slāņīšiem.

1.1. Paraugu sagatavošana un granulometriskā sastāva analīze

Detalizēta granulometriskā sastāva analīze tika veikta slokšņu māliem, kas iegūti 10,46 – 12,42 m dziļumā, ņemot vērā varvju vizuālās noteikšanas un sezonālo slāņu izdalīšanas iespējamību. Granulometriskā sastāva analīzei tika izvēlētas divas metodes – analīze ar lāzerdifrakcijas granulometru un hidrometra metode, lai labāk konstatētu granulometriskā sastāva variācijas slokšņu mālu griezumā, kā arī novērtētu pielietoto metožu sniegto rezultātu atšķirības.

Hidrometra metode ir sedimentācijas metode, kas balstīta uz Stoksa likumu. Tas nosaka, ka daļiņu nogulsnešanās ātrums saldūdenī mainās atkarībā no daļiņu diametra, kā arī sedimentācijas materiāla un ūdens blīvuma atšķirības. Hidrometra analīze balstās uz pieņēmumu, ka nogulumu daļiņu grimšanas ātrums ir tāds pats kā tāda paša diametra sfēriskām daļiņām. Stoksa likums piemērojams sfēriskām daļiņām, kas atrodas bezgalīgi lielā baseinā, kurš pildīts ar Ņūtona šķidrumu. Daļiņai tiek pieņemts zems Reinoldsa skaitlis, un tā sastāv no nešķīstoša materiāla. Ātrums, kādā daļiņa nogulsnejas, ir atkarīgs no blīvuma, viskozitātes, izmēra, formas un raupjuma. Lai gan ūdeni var uzskatīt par Ņūtona šķidrumu, dabā sastopamās daļiņas nav sfēras, un, tām savstarpēji mijiedarbojoties, palielinās nogulsnešanās ātrums, līdz ar to var secināt, ka realitātē Stoksa likumam atbilstoši apstākļi praktiski nevar tikt novēroti (Hodder, 2001; Dolz et al., 2003).

Atšķirībā no sedimentācijas metodēm lāzerdifrakcijas metodes rezultātus neietekmē daļiņu blīvums. Granulometriskā sastāva sadalījumu, lietojot lāzerdifrakcijas metodi, ietekmē daļiņu forma. Projicētais neregulāras formas daļiņas šķērsriezums tiek pieņemts, kā vidējā vērtība visos virzienos attiecībā pret lāzera staru, tādējādi daļiņas izmērītais diametrs ir lielāks nekā sfērai ar tādu pašu tilpumu. Šis faktors var ieviest kļūdas granulometriskā sastāva mērījumos, pārvērtējot mazāko daļiņu izmēru, līdz ar to samazinot smalkgraudaino frakciju īpatsvaru salīdzinājumā ar rupjgraudainākām frakcijām (Eshel et al., 2004). Šī iemesla dēļ paralēli tika veikta arī slokšņu mālu granulometriskā sastāva analīze ar hidrometra metodi. Tā

sniedz iespēju salīdzināt pielietotās metodes, kā arī novērtēt granulometriskā sastāva izmaiņu tendences salīdzinājumā ar lāzerdifrakcijas analīzi.



1.2. att. Slokšņu māla urbuma serdes daļa (12 – 12,30 m dziļumā)

Sagatavojot paraugus analīzēm, tika attīrīta urbuma serdes virskārta, lai labāk identificētu slāņu robežas un veiktu kvalitatīvu paraugu paņemšanu (1.2. att.). Granulometriskā sastāva analīzei ar lāzerdifrakcijas granulometru no izvēlētā slokšņu mālu intervāla ik pa 1 cm kopumā tika paņemti 178 paraugi. Lāzerdifrakcijas granulometra tehnisko problēmu dēļ analīze netika veikta 12 paraugiem intervālā no 12,04 m līdz 12,16 m. Paraugi, kuru svars bija aptuveni 1 – 1,5 g, tika suspendēti ūdenī, suspensijai pievienojot $(\text{NaPO}_3)_6$ (nātrija heksametafosfātu), kas palīdz novērst mālaino daļiņu koagulāciju (<http://www.geology.iupui.edu/research/SoilsLab/procedures/psd/>). Paraugi šķīdumā tika turēti vismaz diennakti. Pēc tam trauks ar suspendēto paraugu tika novietots uz LaboChema magnētiskā maisītāja, līdz materiāls tika pilnībā disperģēts un ieguva vienmērīgu konsistenci. No šīs suspensijas ar automātisko pipeti tika paņemts nepieciešamais parauga apjoms, kas tika ievietots Fritsch Analisette 22 compact lāzerdifrakcijas granulometrā (1.3. att.). Automātiskā pipete ļauj relatīvi vienkārši un precīzi dozēt suspensiju, kas savukārt dod iespēju ievadīt nepieciešamo parauga daudzumu lāzerdifrakcijas granulometrā, lai sasniegtu nepieciešamo absorbcijas līmeni, kas šajā gadījumā bija 10 %.



1.3. attēls. Granulometriskā sastāva analīzei ar lāzerdifrakcijas granulometru nepieciešamās iekārtas: a – lāzerdifrakcijas granulometrs; b – magnētiskais maisītājs; c - dators

Ar Fritsch Analysette 22 compact lāzerdifrakcijas granulometru iespējams noteikt dažādu ūdenī suspendējamu materiālu granulometrisko sastāvu diapazonā no 0,3 – 300 μm . Viena parauga apstrādes laiks ir vidēji 6 – 8 minūtes un nepieciešamais parauga daudzums ir daži grami. Šīs iekārtas pielietošanu pētījumā noteica arī vairāki citi faktori – tas atbilst ISO 13320-1 standartam, kā arī ISO 9001:2000 mēraparatūras uzraudzības prasībām, tam ir pilnībā automātisks mērīšanas process un samērā vienkārša vadība ar datoru (http://www.lu.lv/fileadmin/user_upload/lu_portal/petnieciba/strukturvienibas-infrastruktura-personals/iekartas/1_Laazerdifrakcijasgranulometrs_GZZF.pdf).

Hidrometra metodei no urbuma serdes pētījumā iekļautā intervāla dažādām daļām granulometriskā sastāva analīzei tika paņemti 22 paraugi. Katrs no šiem paraugiem aptver vienas sezonas (vasaras vai ziemas) laikā veidojušos nogulumu slāni. Atkarībā no slāņa biezuma paraugu svars gaissausā stāvoklī variēja no apmēram 10 līdz 40 g. Hidrometra analīzei paredzēto paraugu izvietojums griezumā ir tāds, lai tas vislabāk raksturotu sezonālās granulometriskā sastāva izmaiņas dažādās griezuma daļās.

Pēc paraugu noņemšanas tie tika žāvēti līdz gaissausam stāvoklim Memmert Ufe 400 žāvēšanas iekārtā ar temperatūru 80° C, pēc tam tie tika svērti uz elektroniskajiem svariem Kern EV ar precizitāti līdz 0,01 g.

Pirms hidrometra analīzes veikšanas tika sagatavots ūdens un nātrija heksametafosfāta šķīdums attiecībā 40 g uz 1 l ūdens. Nosvērtais paraugs tika apliets ar 130 ml sagatavotā nātrija heksametafosfāta šķīdumu (dispersijas aģents) un atstāts miekšķēties uz diennakti.

Ūdens blīvuma un temperatūras mērījumiem tika sagatavots 1000 ml cilindrs ar 130 ml heksametafosfāta šķīdumu un 870 ml ūdens. Citos 1000 ml cilindros ievieto suspendēto paraugu un pievieno ūdeni līdz 1000 ml atzīmei. Pirms mērījumu veikšanas paraugs tika intensīvi saduļķots.

1.2. Datu statistiskā apstrāde un vizualizācija

Varvju granulometriskā sadalījuma raksturošanai tika izmantota Blota un Paija (2001) granulometriskās klasifikācijas skala (1.4. att.), kas izveidota, modificējot Rietumvalstīs un ASV plaši izmantoto Adena – Ventvorsa granulometriskās klasifikācijas skalu (Blott and Pye, 2001).

Graudiņu izmērs		Apraksts	
phi	mm		
-1	2	Ļoti rupjgraudaini	Smilts
0	1	Rupjgraudaini	
1	500 µm	Vidējgraudainas	
2	250	Smalkgraudainas	
3	125	Ļoti smalkgraudainas	
4	63	Ļoti rupjgraudains	
5	31	Rupjgraudains	
6	16	Vidējgraudains	
7	8	Smalkgraudains	
8	4	Ļoti smalkgraudains	
9	2	Māls	

1.4. attēls. Blota un Paija granulometriskās klasifikācijas skala smilts, aleirīta un māla frakcijām (Hubbard and Glassen, 2005)

Datu apstrāde, statistiskie aprēķini un vizualizācija tika veikta, izmantojot MS Office Excel datorprogrammu un MS Excel rēķintabulu Gradistat (Blott and Pye, 2001). MS Excel rēķintabula Gradistat ir veidota granulometrisko analīžu statistisko datu iegūšanai un apstrādei. Tā ir izstrādāta Visual Basic programmēšanas valodā un ļauj aprēķināt

granulometriskos parametrus līdz pat 250 paraugiem vienlaicīgi. Vajadzīgie ievadparametri ir procentuālais vai masas sadalījums pa frakcijām.

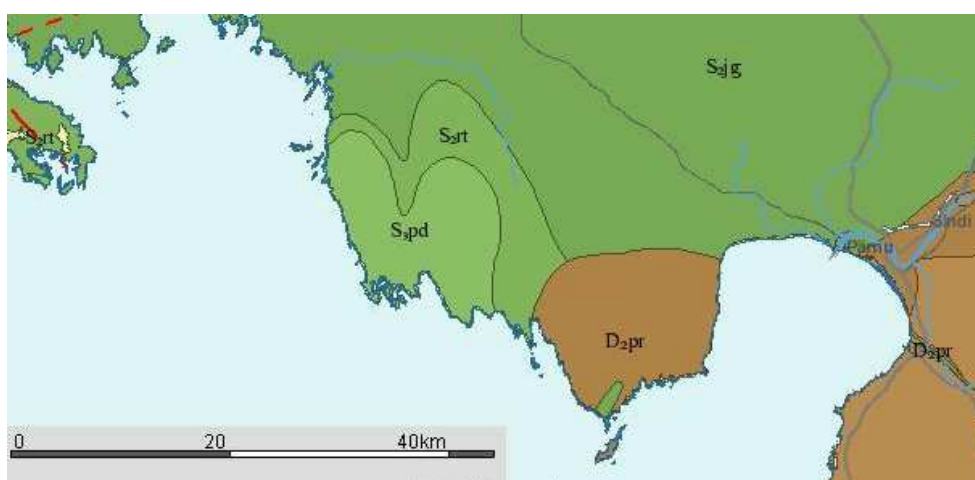
Ar hidrometra metodi iegūtie dati tika apstrādāti K. Popova (2009) izveidotajā pārrēķinu tabulā, kas veidota MS Excel vidē.

2. LITERATŪRAS APSKATS

2.1. Pētāmās teritorijas ģeoloģiskā uzbūve

Pētāmās teritorijas ģeoloģisko uzbūvi ir stipri ietekmējusi ledāja darbība, kas pakļāvusi to gan intensīvai erozijai, gan radot pieledāja teritorijām raksturīgu sedimentācijas vidi.

Pamatieži Audru apkaimē atrodas apmēram 20 m z. j. l. Zem kvartāra segas izpētes apgabalā atrodas apakšējā silūra Venlokas nodaļas Jāgarahu svītas kaļķakmeņi (2.1. att.) (Paykas, 1978).



2.1. att. . Igaunijas dienvidrietumu daļas pirmskvartāra nogulumu kartoshēma

(<http://geoportaal.maaamet.ee/>): D₂pr – vidusdevona Pērnavas svīta; S₂jg – silūra Venlokas nodaļas Jāgarahu svīta; S₂rt – silūra Venlokas nodaļas Rotsikulas svīta; S₃pd – silūra Ludovas nodaļas Pādilas svīta

To biezums urbumā pie Pērnavas sasniedz 57,3 m. Zem tā atrodas Jāni svītas mergēļi, kas sasniedz 31,8 m biezumu. Zem Venlokas nodaļas nogulumiežiem atrodas apakšējā Silūra Landoveras nodaļas Adveres (21 m biez), Raikulas (64 m) un Jūru (50 m) svītas ieži, ko veido dažāda tipa kaļķakmeņi un karbonātieži (<http://sarv.gi.ee/geology>).

Ordovika nogulumiežu biezums Pērnavas apkārtnē ir apmēram 154 m. Tos veido dažādi ieži – smilšakmens, argilīts, māls, mergēlis, kaļķakmens, konglomerāti un dolomīts. Kembrija nogulumieži veido apmēram 80 m biezu slānkārtu, kas sastāv no smilšakmeņa, konglomerātiem un argilītiem. Pirmskembrija ieži Pērnavas urbumā iegūļ apmēram 450 m dziļumā (Paykas, 1978; Вярси et al., 1971).

Apskatāmajā teritorijā uz pamatiežiem uzguļ pelēka vēlā Vislas apledojuņa morēna (Paykas, 1978). Virs tās atrodas apmēram 10 m biezs glaciolimnisko slokšņu mālu slānis, ko

pārsedz marīnie nogulumi (smiltis). Kopumā kvartāra nogulumu biezums šajā teritorijā variē no 20 – 40 m (<http://sarv.gi.ee/geology/>).

Visā pētījumu areālā pauguraino Vēlā Vislas apledošana smilšmāla virsmu pārklāj glaciolimmiskie slokšņu māli vai aleirīti, kas veidojušies Baltijas ledus ezerā. Maksimālais slokšņu mālu biezums Pērnavas apvidū ir 30 m, vidēji - 5 līdz 9 m. Krasās mālu biezuma atšķirības lokālos iecirkņos ir radušās pamatā esošo nogulumu reljefa dēļ. Slokšņu mālu virsma iegrimst dienvidu virzienā - apmēram 5 km attālumā no krasta tie iegul 8 m z. j. l, bet piekrastē – 3 m z. j. l. Divus km uz ziemeļiem no pašreizējās krasta līnijas mālu virsmas augstums strauji mainās no 0 līdz 4 m v. j. l. (Hang et al., 2007).

Hangs ar līdzautoriem (2007) norāda, ka pētāmā teritorija atrodas uz dienvidiem no Pandiveres – Ņevas ledāja malas joslas veidojumiem. To veido gala morēnu, glaciofluviālo deltu un marginālo osu veidojumiem. Veidojumu augstums Pērnavas apkārtnē variē no dažiem līdz 20 m. Tās veidojušās intensīvas akumulācijas un ablācijas apstākļos, kad ledājā notiek aktīva kustība (Raukas, 1993). Pēc Kalma (2006) pētījumu datiem, ledāja mala no Pandiveres – Ņevas zonas atkāpās no ne vēlāk, kā pirms 13,3 tūkst. g.

2.2. Sedimentācija glaciolimmiskā vidē

Vietās, kur ledājs robežojas ar ūdeni, rodas atšķirīgi nogulumu, salīdzinot ar sauszemi. Tur, kur ledājs saskaras ar pamatni, veidojas subglaciālie nogulumu. Ledāja malas zonās tas var palikt saskarē ar pamatni vai arī atdalīties un atrasties virs tās. Ledājs šeit kalpo kā sedimentācijas materiāla avots – nogulsnešanās procesus nekontrolē ledājs tiešā veidā, bet gan procesi ūdenī. Nodala divu veidu vides – marīno un limnisko (Bennet and Classer, 1996).

Kušanas ūdens temperatūra ir tuvu 0 grādiem pēc celsija, kad tas ieplūst pieledāja ezera proksimālajā daļā. Kušanas ūdens satur dažādas koncentrācijas sedimentācijas materiālu. Īslaicīgās termālās un sedimentācijas materiāla ieplūdes fluktuācijas atstāj ietekmi uz ezeru, izveidojot blīvuma stratifikāciju, kas saistīta ar temperatūru, ķīmiskajiem komponentiem un nogulumu koncentrāciju līdz ar dziļumu (Ashley, 1995).

Hoders (2001) norāda, ka sedimentācijas raksturs glaciālajos ezeros ir atkarīgs no ūdens blīvuma stratifikācijas. To kontrolē galvenokārt temperatūra, mineralizācija un suspendēto nogulumu saturs. Ūdenstilpnes augšējā daļā (epilimnionā), pieaugot temperatūrai, samazinās ūdens blīvums, līdz ar to ieplūstošās ledāja kušanas ūdens straumes tajā kļūst trubulentas konvekcijas un vēja iedarbības dēļ, kas savukārt samazina daļiņu transportēšanas attāluma kapacitāti (Zolitschka, 2007). Zem tā atrodas auksts, blīvāks ūdens slānis – hipolimnions.

Blīvumu atšķirības starp šiem slāņiem pieaug līdz ar solārās radiācijas pieaugumu. Izotermālos apstākļos blīvuma stratifikācija ir vāja vai vispār nav novērojama, un ūdens brīvi cirkulē un sajaucas. Ūdens masu sajaukšanās atstāj tiešu iespaidu uz sedimentācijas materiāla izkliedi (Hodder, 2001).

Sedimentāciju glaciolimniskā vidē Benets un Klasers (1996) iedala šādos veidos: nogulsnešanās no kušanas ūdeņu plūsmām (veidojas turbidītu slāņi); tieši izgulsnējoties no ledāja priekšdaļas (diamiktona nogulumi); sedimentācija no aisbergiem (dropstouni); nogulsnējoties no suspensijas, t. i., nogulumi ūdenī izgulsnējas pakāpeniski, veidojot aleirītiskas un mālainas kārtiņas (slokšņu māli); pārgulsnējoties gravitācijas plūsmu dēļ; straumju un viļņu ietekmē izmainīti nogulumi; bioloģiskā sedimentācija.

Sedimentācijas procesu atšķirīgo norišu izvietojums limniskā vidē nosaka fāciju izkārtojumu. Kopumā ūdens ieplūdes nozīme mazinās virzienā uz ezera vidusdaļu. Tas rada apstākļus plaša mēroga šķirošanai glaciolimniskā vidē – rupjgraudaināki nogulumi izgulsnējas kušanas ūdeņu ieplūdes tuvumā, bet smalkgraudainie nogulumi dominē pieledāja baseina vidusdaļā. Tādējādi var izdalīt divas fācijas – baseina malu un ezera pamatnes fācijas (Bennet and Classer, 1996).

Ešlijs (1995) norāda, ka ezera pamatnes sedimentācijas vide ir ievērojami lielāka nekā citas pieledāja fācijas. Tā var atrasties lielā attālumā no sedimentācijas materiāla ieplūdes apgabaliem, tādējādi straumju un gravitācijas procesu ietekme uz to ir minimāla. Sedimentācija ir regulārāka un tiek nogulsnēti smalkgraudaināki nogulumi nekā ledāja proksimālajā daļā. Šai videi raksturīgi ritmiski, paralēli slāņoti nogulumi.

Suspendēto nogulumu daļiņu frakciju transportācijas ceļu nosaka glaciolimniskās straumes. Smalkās daļiņas (aleirīts, māls) pakāpeniski nogulsnējas, tomēr liela daļa paliek uzduļķotā veidā ūdenstilpnes virsējā daļā līdz laikam, kad tiek izjaukta termālā stratifikācija. Rudenī ezera ūdens tiek sajaukts – augšējā daļa nogrimst ezera dibenā. Tā kā šis ir kušanas perioda beigu posms, ieplūstošais ūdens ir tīrāks (mazāk blīvs) nekā ezera apakšējās daļas ūdens un atrodas ezera virsējā daļā. Inversijas rezultātā daļa suspendēto daļiņu izgulsnējas, bet atlikusī daļa izgulsnējas pakāpeniski līdz nākamajai kušanas sezonai. Pastāv relatīvi krasa robeža starp rupjgraudainākajiem nogulumiem, kas izgulsnēti pirms ūdens sajaukšanās, un smalkāko frakciju nogulumiem, kas izgulsnējas ziemas sezonā (Ashley, 1995).

Kušanas ūdeņu izplūde no ledājiem dramatiski variē gan diennakts, gan sezonālā griezumā. Diennakts izplūdes variācijas atspoguļo gaisa temperatūras mainību. Izplūde parasti ir maza agri no rīta un pieaug līdz pat vēlai pēcpusdienai vai vakaram. Diennakts svārstības neizpaužas ziemā, bet pieaug vasaras otrajā pusē, kad diennakts ablācija sasniedz maksimumu. Sezonālās svārstības ir tikpat krasas. Tās atspoguļo divus faktorus – sezonālo

ablācijas raksturu un sezonālo iekšējās drenāžas kanālu sistēmu veidošanos siltas gultnes ledājos. Benets un Klasers (1996) gada griezumā izdala šādus kušanas posmus:

- 1) Pavasarī sākas uz ledāja esošā ziemas sniega segas kušana, kā rezultātā pieaug ūdens spiediens ledājā. Ledāja priekšā izveidojas proglaciālās straumes, kas paātrina ziemas sniega kušanu.
- 2) Vēlā pavasarī uz ledāja ziemas sniega segas kušana stipri pieaug. Pieaug kušanas ūdeņu izplūde pa iekšledāja kanāliem un tuneļiem. Šie kanāli paplašinās un izveido iekšēju drenāžas tīklu. Ūdens daudzums ledājā pieaug, līdz ar to stabili palielinās arī izplūstošā ūdens apjoms.
- 3) Agrā vasarā, attīstoties labi savienotam drenāžas tīklam ledājā, liela daļa no uzkrātā ūdens tiek izvadīts. Izplūde diennakts laikā pārsniedz kušanas daudzumu uz ledāja un dažu nedēļu laikā drenāžas sistēma izvada lielu daudzumu ūdens (lielāko daļu no gada kopējā izplūdes daudzuma).
- 4) Vēlā vasarā drenāžas tīkls ledājā ir sasniedzis optimālo efektivitāti. Viss uzkrātais ūdens ledājā ir izvadīts no tā. Diennakts izplūde ir vienāda ar diennakts izkusušā materiāla daudzumu. Ūdens spiediens ledājā ir sasniedzis minimumu.
- 5) Rudenī kušanas beigas izraisa dramatisku kritumu izplūdes apjomā. Iekšējais kanālu un tuneļu tīkls sāk sabrukt, jo ūdens daudzums tajos samazinās, un tie tiek pakļauti ledāja deformācijām. Saglabājas vien dažas galvenās drenāžas „artērijas”, kurās plūst pietiekami daudz ūdens, lai tās nesabruktu.
- 6) Ziemā drenāžas tīkla saglabāšanās apjoms atkarīgs no klimata. Lielākā daļa kušanas ūdeņu, ja tādi ir, rodas no ledāja iekšējās kušanas.

Sedimentācijas materiāla ritmiskajai ieplūdei ezerā ir liela loma varvju izveidē. Periodos ar augstāku gaisa temperatūru un līdz ar to lielāku kušanas ūdeņu izplūdi raksturīga augstākā enerģijas apstākļi ūdenstilpnē, t. s. vēja radītās straumes, turbidītu plūsmas un dažādi sajaukšanās procesi (Hodder, 2001).

2.3. Varvju veidošanās

Vasarā, ledājam intensīvi kūstot, piedēdāja ezeros ieplūst ļoti daudz smilšaini mālaino duļķi saturošo kušanas ūdeņu. Šajā laikā nogulsņējas galvenokārt rupjākas smilšainās un puteklainās daļiņas, bet mālainais materiāls paliek uzduļķotā veidā, jo tā nogulsnēšanos aizkavē gan pastāvīgās kušanas ūdeņu straumes, gan ezeru viļņošanās, kuras ietekme ir jūtama ievērojamā dziļumā.

Ziemā, kad ezeri aizsalst un svaiga materiāla pieplūdums ir niecīgs vai pat pavisam izbeidzas, mierīgos apstākļos var nosēties arī vissmalkākās mālainās duļķes, kas tumšāka slānīša veidā pārklāj vasarā nosēdušos gaišāko smilšaini puteklaino slānīti. Tā rodas viena gada laikā izveidota sloksne (varve) ar smilšaini puteklaino slānīti apakšējā un mālaino ziemas slānīti augšējā daļā. Vasaras un ziemas slānīši sloksnē atšķiras ne vien ar materiāla raupjumu, bet arī biezumu (Kuršs un Stinkule, 1972).

Zolička (2007) norāda, ka slokšņu māli nav tikai tipiski kvartāra nogulumu, tie ir atrasti pat paleozoja iežos. Galvenais slokšņu mālu veidošanos ietekmējošais faktors ir temperatūras un nokrišņu sezonālās svārstības. Sezonālās apstākļu variācijas arī nosaka dažādu ķīmisko un fizikālo procesu norisi ezerā. Tiek izdalītas 3 tipu varves – klastiskās, biogēnās un evaporītu. Sedimentācijas materiāls var būt autohtons (veidojies ezerā) vai alohtons (transportēts no citas vietas).

Klastisko varvju veidošanās dominē aukstos klimatiskajos apstākļos, piemēram, proglaciālajos un periglaciālajos ezeros. Intensīva fizikālā dēdēšana un veģetācijas trūkums ūdens sateces laukumā rada lielu apjomu drupu materiāla, kas tiek transportēts uz ezeru. Nogulumu pārvietošana ir saistīta ar sasalšanas un atkušņa ciklu gada laikā, kā arī noteces apjomu. Reģionos, kur ir kontinentāli apstākļi, noteci nosaka sniega un ledāja kušana saules radiācijas ietekmē vasarā. Okeāniskā klimata apgabalos noteces apjomu regulē vai nu sniega un ledus kušana, vai nokrišņi. Klastiskās varves veidojas ledāja kušanas straumēm, kurās ir suspendēts sedimentācijas materiāls, ieplūstot ezerā. Līdz ar to rupjākās daļiņas (smiltis, aleirīts) izgulsnējas uzreiz, bet vairums smalkāko daļiņu (smalks aleirīts, māls) paliek suspensijā līdz pat ziemas sezonas sākumam (Zolitschka, 2007).

Varves ar diennakts cikliem parasti novērojamas nogulumos, kas uzkrājušies tuvāk ledāja malai. Vasaras slānīšos tos veido aleirītiskāku, nedaudz gaišāku un mālaināku tumšāku kārtiņu mija, kuru biezums nepārsniedz 1 – 2 mm. Pēc igauņu ģeologa E. Pirrusa pētījumu datiem, varves ar diennakts cikliem vasaras slāņos var izveidoties 0,5 – 5 km attālumā no ledāja malas. Tālāk dienas un nakts kušanas intensitātes atšķirības izlīdzinās, un diennakts cikli nerodas. Savukārt tuvāk ledāja malai to veidošanos ierobežo pārāk spēcīgas kušanas ūdeņu straumes (Kuršs un Stinkule, 1972).

Pēc Benna un Evansa (1998) suspendētais sedimentācijas materiāls, kas ir ieplūdis ezerā, izplatās laterāli un izgulsnējas pakāpeniski ātrumā, kas ir proporcionāls daļiņas izmēram. Seklos un dziļos ūdeņos veidojušies nogulumu slāņi atspoguļo daļiņu izmēra mainību un ieplūstošā sedimentācijas materiāla daudzumu, kas atkarīgs no kušanas cikliem un klimata. Varvēs bieži raksturīga krasa robeža starp vasaras un ziemas slāņiem. Aleirītiskais slānis tiek izgulsnēts ablācijas sezonas laikā, sedimentācijas materiālam ieplūstot baseinā pa

ūdenstilpnes vidū vai virsējo daļu. Mālainajā slānī vērojama pakāpeniska nogulsnešanās un daļiņu izmēra samazināšanās virzienā uz augšu. Ziemas sezonas sedimentācija parasti notiek, kad ezeru klāj ledus, tomēr šajos slāņos dažkārt var saskatīt plānus rupjāka materiāla ieslēgumus, kas radušies ziemas vētru dēļ. Varvēs vērojama aleirītiskā slāņa biezuma samazināšanās virzienā no proksimālās uz distālo daļu, kā arī vidējā daļiņu izmēra samazināšanās.

Vasaras un ziemas komponentu relatīvā biezuma attiecība mainās, attālinoties no ledāja malas. Deltas tuvumā rupjgraudainākie slāņi ir biezāki, bet baseina centrālajā daļā – plāni vai var pat vispār nebūt. Ir svarīgi norādīt, ka ne visi ritmiski izgulsnētie nogulumu ezerā norāda gada laikā izgulsnētus nogulumus. Šādi nogulumu viegli pakļaujas deformācijām, tādēļ bieži varves ir grūti identificēt (Bennet and Classer, 1996).

Varvju identifikācija sniedz iespēju atklāt ezera vēsturi, kas saistīta ar īslaicīgiem ledāja procesiem (ablāciju un noteci), kā arī ilglaicīgas klimatisko izmaiņu tendences. Ešlijs (1995) norāda, ka gadskārtu varves var atšķirt no īslaicīgu procesu radītiem ritmiskiem slāņiem pēc šādām pazīmēm:

- 1) rupjgraudainākajā slānī praktiski nav manāma daļiņu izmēra samazināšanās, kas atspoguļo ilgstošu akumulāciju.
- 2) Pastāv krasa robeža starp rupjgraudaino un smalkgraudaino slāni, kas parāda sedimentācijas pārtraukumu. Tas var būt radies ūdens sajaukšanās dēļ rudenī.
- 3) Smalkgraudainajā slānī notiek daļiņu izmēra samazināšanās virzienā uz augšu, kas parāda sedimentācijas sezonālo kontroli, samazinoties nogulumu materiāla piegādei ezeram un ūdens attīrīšanos ziemas mēnešos.
- 4) Vadfosīlijas rupjgraudainākajā un smalkgraudainā slāņa augšdaļā atspoguļo posmus, kad nav notikusi sedimentācija.
- 5) Smalkgraudainais slānis, kas atspoguļo lēnu sedimentāciju dažādās ezera daļās paliek samērā nemainīgs, bet rupjākā slāņa biezums ir mainīgs, atspoguļojot straujas sedimentācijas vides variācijas.

Labākās varves veidojas saldūdenī. Sālsūdenī māla daļiņu flokulācija izjauc varvju stratifikāciju un ir neiespējami veikt mērījumus. Gadu varves var būt iedalītas sīkākos slāņīšos, t.s., diennakts varvēs, kas atspoguļo dominējošo ķīmisko nogulsnešanos vasarā, kas redzama gaišāku slāņīšu veidā un organiskā detrita veidotos tumšos slāņīšos, kuri veidojušies rudenī (Ehlers, 1996).

2.4. Igaunijas teritorijas deglaciācijas vēsture un paleobaseini Igaunijā

Ledāja atkāpšanās fāzes Igaunijas teritorijā pēc Kalma (2006) datiem var iedalīt 5 posmos. Senākais no tiem ir Hānjas stadiāls (pirms 15,7 – 14,7 tūkst. g.), tam seko Otepē stadiāls (pirms 14,7 – 14,5 tūkst. g.), Sakalas stadiāls, Pandiveres (pirms vairāk nekā 13,3 tūkst. g.) un Paliveres stadiāls (pirms 12,8 – 12,7 tūkst. g.).

Lai gan vēlā Vislas apledošanas aukstā stadiāla sākums Igaunijā nav noteikts ar tiešiem mērījumiem, ir maz ticams, ka tas parādījās ātrāk nekā pirms 20 - 22 tūkst. g. Hānjas stadiāls tiek uzskatīts par vecāko vēlā Vislas apledošanas stadiālu Igaunijā. Atbilstoši datējumi nogulumiem, kas atrodas zem un virs Hānjas stadiāla morēnas, norāda, ka gala morēnas formācijas veidojušās pirms 15,7 un 14,67 tūkst. g. Otepē marginālās zonas vecums ir aptuveni 14,86 - 14,51 tūkst. g. Lai gan Otepē marginālā zona ir par 500 gadiem jaunāka nekā Hānjas zona, slokšņu mālu uzkrāšanās (1200 varves) starp Hānjas un Otepē marginālajām zonām turpinājās 500 - 600 gadus pēc tam, kad ledājs bija atkāpies no Otepē zonas. Tas nosaka deglaciācijas perioda ilgumu un liecina par ilgstošu stagnanta ledus atrašanos glaciālas izcelsmes salveida augstienēs, kas izraisīja nogāžu un termokarsta procesu aktivizāciju, organisko nogulumu aprakšanu zem kolūvija un sezonālu kušanas ūdeņu izplūdi dažu gadsimtu garumā (Kalm, 2006).

Paliveres marginālā zona ir pēdējā morfoloģiski labi izteiktā zona pirms Salpulselkas I galamorēnas izveidošanās Dienvidsomijā. Hangs un Sangrens saskaitīja 476 varves Vigalā, Rietumigaunijā starp Pandiveres un Paliveres marginālajām zonām un datēja Paliveres marginālās formācijas, nosakot to vecumu - 11880 g., tomēr iztrūkstošās 875 varves norāda, ka šo veidojumu vecums ir aptuveni 12,8 tūkst. g. (Kalm, 2006).

Igaunijas deglaciācija no Hānjas ledāja marginālās zonas līdz laikam, kad ledājs atkāpās no Paliveres zonas, ilga laika posmā pirms 14,7 – 12,7 tūkst. g. jeb 14675 un 12675 varvju gadiem. Vidējais ledāja atkāpšanās ātrums no Hānjas līdz Paliveres zonām (220 km) Igaunijā bija apmēram 110 m/gadā. Saskaņā ar pašreizējiem datiem ledāja atkāpšanās ātrums samazinājās divkārt (no 200 līdz 110 m/g) no Oņegas ezera baseina līdz Peipusam un Igaunijas dienvidu daļas pirms 14,7 - 12,5 tūkst. g. Ņemot vērā Vislas apledošanas beigu posma aukstās fāzes sākumu Igaunijā, var secināt, ka ledājs atkāpās no Paliveres zonas pirms 12,7 tūkst. g. (Kalm, 2006).

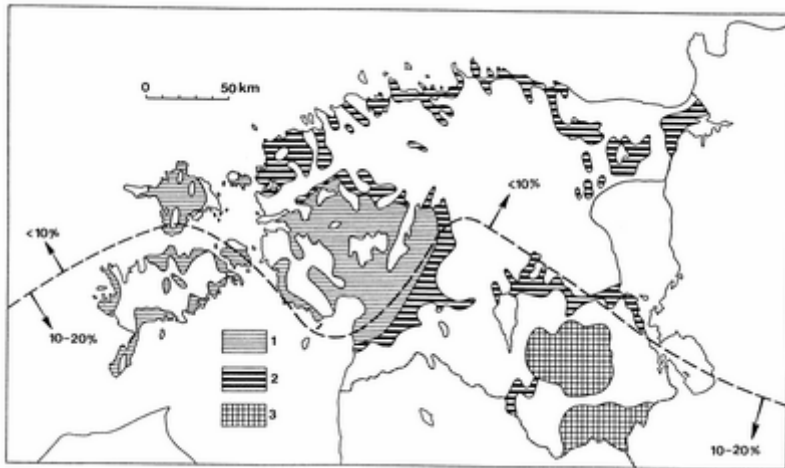
Atkāpjoties kontinentālajam apledojumam, Dienvidigaunijā izveidojās vairāki ledāja sprostezeri – Valgas, Lātres, Monistes – Vastses - Rosas, Peipusa - Pleskavas, Vircezers, u.c. (Saarse, 1992). Šo ezeru nogulumi – slokšņu māli, smiltis un citi terigēnie nogulumi – vairāku metru biezumā pārklāj akumulācijas līdzenumus starp Hānjas, Otepē, Sakalas un Pandiveres

augstienēm. Mālainie, glaciolimniskie nogulumi diezgan bieži atrodami arī morēnpauguru virsotnēs un kēmu terasēs, dažkārt tie sastopami ieplakās paugurainā apvidū, kā arī zem kūdras un ezera nogulumiem glaciodepresijās. Kopā ar pēdējā apledojuma glaciolimniskajiem māliem Dienvidigaunijas augstienēs un apraktajās ielejās ir atrasti arī senākas izcelsmes glaciolimniskie māli. Lieli proglaciālie ezeri izveidojās dažādos laikos pakāpeniskās ledāja atkāpšanās laikā. Laikā, kad Pandiveres augstienes ziemeļu nogāze atbrīvojās no ledāja, rietumos un austrumos esošie ledus ezeri apvienojās un izveidojās Baltijas ledus ezers. Šajā baseinā veidojās Igaunijas ziemeļu un ziemeļrietumu slokšņu māli (Saarse, 1992).

Rosentaus ar līdzautoriem (2009) norāda, ka Baltijas ledus ezers pirms apmēram 13,3 tūkst. gadu aizņēma plašu teritoriju Latvijā, Igaunijā un Krievijas ziemeļrietumos, veidojot augstāko krasta līniju reģionā. Šajā laikā Baltijas ledus ezers un Peipuss bija savienoti ar šaurumu sistēmām, kas veda cauri Vircezeram. Baltijas ledus ezera krasta līnija atradās līdz pat 80 km tālāk nekā mūsdienā Baltijas jūras krasta līnija. Ledājam atkāpjoties, zuda saikne starp Baltijas ledus ezeru un Peipusu, un krasta līnija sāka līdzināties pašreizējai. Baltijas ledus ezers pirms 13,3 tūkstošiem gadu pēc Rosentausa u. c. (2009) datiem Igaunijas dienvidrietumos bija 20 – 40 m dziļš, kas radīja labvēlīgus apstākļus, lai uzkrātos slokšņu māli.

2.5. Slokšņu mālu izplatība un iedalījums Igaunijā

Pēc Sārses (1979) iedalījuma, kas balstās uz mālu īpašībām un izplatības biežumu, Igaunijā ir izdalītas 3 glaciolimnisko mālu grupas (2.2. att.). Pirmajā grupā ietilpst lielo proglaciālo ezeru māli, kas veidojās Rietumigaunijas zemienē un arhipelāgā. Vasaras slāņīši sastāv no smalka aleirīta, bet ziemas – no māla. Kopumā šajos nogulumos ir bagātīgi pārstāvēta māla frakcija, Sāmsalā tas ir pat 70 %. Sezonālā pāreja parasti ir graduāla, ņemot vērā plašo sedimentācijas materiālu izkliedi un proglaciālo baseinu lielos izmērus. Atšķirīgu fāciju varves ir viegli atšķiramas. Tās ir biezas ar aleirītisku lamināciju dažos ziemas slāņīšos, kas atspoguļo atšķirīgo ledus kušanas intensitāti, vētrainus periodus, kas izraisīja rupjāka materiāla ieplūdi baseinā un spēcīgu straumju neregulāro parādīšanos. Šī tipa varvēs parasti nav novērojams straumju ripsnojums, erozijas pēdas un šķērsām izgulsnēti vasaras slāņi.



2.2. att. Slokšņu mālu tipu izplatības un izvietojuma kartoshēma Igaunijas teritorijā (Saarse, 1979): 1 – lielu proglaciālo ezeru māli; 2 – mazu glaciālo ezeru slokšņu māli; 3 – māli, kas veidojušies mazos sprostezeros augstienēs; raustītā līnija iezīmē karbonātu piejaukumu.

Otrās grupas māli ir nevienmērīgi izvietoti Ziemeļigaunijas karbonātiskajā plato, Centrālīgaunijas līdzenumu un upju ielejās. Šiem samērā plānajiem (3 – 5 m) māla slāņiem raksturīga skaidra robeža starp atšķirīgu gadu slāņiem, izteiktas diennakts laminācijas. Vasaras slāņos bieži sastopamas straumju ripsnojuma pazīmes un šķērsām izgulsnēti slāņi, kā arī ziemas slāņu virspusē redzamas erozijas rievās, kas norāda, ka šie ieleju ezeri bija mazi un sekli, tādējādi pakļauti dažādu faktoru ietekmei, kas atspoguļojas varvju profilā. Ledāja malas uzvirzīšanās un atkāpšanās izraisīja ezera ūdens līmeņa fluktuācijas, kas izpaudās kā slāņi bez izteiktas gradācijas. Augšpusē esošajam mālam trūkst laminācijas un daļiņu izmērs palielinās virzienā uz augšu, kas norāda uz to, ka šie māli veidojušies proglaciālo ezeru izzušanas pēdējās fāzēs (Saarse, 1992).

Trešā grupa sastāv no glaciolimniskajiem māliem, kas veidojušies mazos sprostezeros augstienēs. Šie māli atšķiras pēc biežuma, variējot no 1 – 3 m līdz pat 10 m. Tiem trūkst izteiktas, regulāras laminācijas. Smilšains slānis griezuma apakšējā daļā norāda uz palielinātu rupjā materiāla ieplūdi. Lamināciju neregularitāte padara varvju identifikāciju ļoti sarežģītu. Šo mazo baseinu krastos esošā sedimentācijas materiāla transportācijas ceļš ir bijis nepietiekams, lai notiktu šķirošana (Saarse, 1992).

2.6. Igaunijas slokšņu mālu strukturālās, ķīmiskās, mineralogiskās īpašības

Glaciolimnisko mālaino nogulumu smalkākās frakcijas (< 0.001 mm) pārsvarā sastāv no hidrovislas, kaolinīta, hlorītiem, montmorilonīta, vermikulīta un dažādiem malu minerālu tipu slāņainiem savienojumiem (hidrovisla – montmorillonīts, montmorillonīts – hlorīts). Tos

papildina kalcīts, dolomīts, kvarcs, laukšpats, siderīts, hematīts. Krāsu maiņa mālos no sarkanīgi brūnas uz pelēcīgu nav saistīta ar izmaiņām mālu mineraloģiskajā sastāvā. Tā ir saistīta galvenokārt ar vides oks./red. potenciāla mainību (Saarse, 1980).

Nogulumu ķīmiskais sastāvs ir cieši saistīts ar granulometrisko sastāvu, karbonātu un organiskā materiāla piejaukumu. Smalkākajās frakcijās ir visvairāk Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO un K_2O , kas tieši saistīts ar mālu minerālu sastāvu. SiO_2 saturs parāda kvarca apjoma kāpumus un kritumus glaciolimniskajos nogulumos. Tā attiecība pret Al_2O_3 atspoguļo arī dažas strukturālas īpatnības. Proksimālo fāciju varvēs, kur vasaras slāņi ir pat vairākas reizes biežāki nekā ziemas slāņi, SiO_2 - Al_2O_3 attiecība ir augstāka, salīdzinot ar varvēm, kas veidojušās sprostezera distālajā daļā. Fe_2O_3 apjoms ir gandrīz divas reizes augstāks nekā FeO . Mālainie sprostezeru nogulumu ir sarkanīgi brūni, un $\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ attiecība tajos ir samērā maza. Tas skaidrojams ar to, ka šiem nogulumiem ir atšķirīgi nogulsnešanās apstākļi un tie ir pakļauti citādi erozijas un augsni veidojošo faktoru iedarbībai. Dienvidigaunijas glaciolimniskajos nogulumos samazinās kalcīta un pieaug dolomīta sastāvs (Saarse, 1992).

Pieledāja ezeros ar neregulārām, spēcīgām straumēm, kas veidojas atsevišķi no normālajām pavasara - vasaras straumēm, mēdz atrast lieku, pēc uzbūves līdzīga tipa slāņu pāri. Šīs liekās laminācijas neatbilst gadiem, bet gan hidroloģiskām neregularitātēm un sarežģī varvju korelāciju. Vasaras slāņos var redzēt arī diennakts ritmu, kas var veidoties 1 – 5 km attālumā no kūstošā ledus robežas. Īstie ziemas un vasaras slāņi nav vienādi nozīmīgi, lai rekonstruētu pagātnes sedimentācijas apstākļus. Vasaras slāņa iekšējā struktūra ar tā sīkajām laminācijām, kas dažkārt ir ieliektas vai straumes veidota, dod vairāk informācijas par dažādajiem nogulsnešanās apstākļiem nekā viendabīgais ziemas slānis. Bieži sastopamie šķērsām izgulsnētie slāņi norāda uz turbidītu plūsmām. Smilšu lēcas vasaras slāņos parāda ievērojamas eolo procesu aktivitātes rudens periodā. Sastopamas arī drenāžas varves, kas veidojušās strauji krītot ezera ūdens līmenim, tādēļ tās ir būtiskas korelējot varves lielos attālumos (Saarse, 1980).

Visbiežāk sastopamie sedimentācijas traucējumi varvēs ir to deformācija. Trūkst drošu pierādījumu par to izcelsmi. Deformācijas iespējams radušās īpaši spēcīgu turbidītu plūsmu ietekmē vai rodotos noslīdeņiem. Šo procesu interpretācija ir sarežģīta, tomēr to sinhronitāti apliecina tas, ka virs deformētajiem uzguļ netraucēti slāņi (Saarse, 1980).

2.7. Granulometriskais sastāvs Igaunijas slokšņu mālos

Granulometriskais sastāvs Igaunijas slokšņu mālos ir atšķirīgs. Visbiežāk sastopami māli, kuros ir gandrīz vienāds māla un aleirīta sastāvs. L. Sārse (1980) pētījumi parāda šādu Igaunijas slokšņu mālu granulometriskā sastāva sadalījumu: smilšu frakcija (2 – 0,05 mm) – 14,3 %, rupjgraudains aleirīts (0,05 – 0,01 mm) – 16,7 %, smalkgraudains aleirīts (0,01 – 0,002 mm) – 26,1 % un māls (< 0,002 mm) – 42,9 %. Granulometriskais sastāvs atšķiras dažādās vietās. Rietumigaunijas slokšņu māli, kas atrodas uz ordovika un silūra pamatiežiem, satur visvairāk māla – 72,2 %. Visrupjgraudainākie glaciolimniskie nogulumu ir sastopami Dienvidigaunijas augstienēs. Tur vidējais māla saturs ir tikai 23,6 %. Granulometriskais sastāvs ir atkarīgs no kvartāra nogulumu litoloģiskajām īpašībām, pamatiežiem, kā arī paleobaseina izmēriem (Saarse, 1980).

Pēdējā apledojuuma glaciolimnisko mālaino nogulumu granulometriskais sastāvs ir neviendabīgs. Visbiežāk sastopami nogulumu, kuros dominē 0,05 – 0,01 mm vai 0,01 – 0,002 mm frakcija. Šāds granulometriskais sastāvs raksturīgs Dienvidigaunijas apgabaliem, kur pamatiežus veido devona nogulumu. Šajās teritorijās 2 – 0,05 mm frakcija vidēji sastāda 12,5 %, 0,05 – 0,01 mm – 26 %, 0,01 – 0,002 mm – 33,5 % un < 0,002 mm – 27,4 %.

Glaciolimniskajiem nogulumiem, kas veidojušies pauguraina reljefa ieplakās raksturīgs augstākais māla frakcijas (< 0,002 mm) sastāvs – vidēji 36,8 %. Slokšņu mālos < 0,002 mm frakcija ir pārstāvēta nedaudz mazāk – vidēji 28 %, bet augstieņu virsotnēs atrodamajos glaciolimniskajos nogulumos – 24 %. Glaciolimniskajiem nogulumiem, kas veidojušies ieplakās, raksturīgs visaugstākais granulometriskā sastāva neviendabīgums, savukārt sprostežiem tas ir salīdzinoši homogēnāks (Saarse, 1980, 1992).

Hang ar līdzautoriem (2007) Pērnavas apgabala glaciolimnisko mālu pētījumi norāda uz māla un aleirīta frakciju dominanci granulometriskā sastāva sadalījumā. Ziemas slāņos māla frakcija ar dažiem izņēmumiem pārsniedz 60 %. Vasaras slānīšos ir vairāk aleirītiskās frakcijas, tomēr dati ir nevienmērīgāki kā ziemas slāņos. Daudzu gadu paraugu analīze parāda vertikālās izmaiņas granulometriskajā sastāvā – aleirīta frakcija pieaug, bet māla frakcija samazinās virzienā uz leju. Māla frakcijas pieaugums un smalkgraudaina aleirīta (0,008-0,002 mm) samazināšanās virzienā uz augšu ir galvenās tendences vasaras slānīšos. Ievērojamas izmaiņas vasaras slāņos ir vērojamas slokšņu mālu griezuma apakšējā un augšējā daļā – tajos ir augsts aleirīta frakcijas sastāvs. Ziemas slānīšu granulometriskajā sastāvā iezīmējas māla frakcijas pārsvars, kas griezuma apakšējā daļā sastāda apmēram 50 - 60 %, bet augšējā daļā – vairāk kā 80 %. Smalkgraudaina aleirīta frakcijas apjoms svārstās no 5 - 10 %, lai gan apakšējā un augšējā daļā tas ir apmēram 35% (Hang et al., 2007).

2.8. Varvju hronoloģija, vēsturiskā pētījumu attīstība

De Gērs pirmais noteica, ka ritmiski slāņotu nogulumu uzkrāšanās glaciālajos ezeros atspoguļo gada laikā notikušas drenāžas apstākļu izmaiņas. 1912. gadā viņš izveidoja varvju hronoloģiju, kas aptvēra vairāk nekā 12 tūkst. gadus (Ehlers, 1996).

Zviedrijas varvju hronoloģija bija pirmā absolūtās datēšanas metode. To ieviesa Gerards De Gērs 1884. gadā, lai noskaidrotu Skandināvijas ledāja atkāpšanās laiku. Zviedrijas laika skala aptver vairāk nekā 13300 gadus, tomēr, salīdzinot to ar dendrohronoloģijas un augstas izšķirtspējas radioaktīvā oglekļa datējumiem, var secināt, ka trūkst 500 - 700 varvju. Arī Somijas varvju hronoloģija ir labi izpētīta, bet mazāk ir zināms par Austrumbaltijas un ziemeļrietumu Krievijas reģioniem. De Gērs un Nilssons bija pirmie, kas mēģināja veikt hronoloģiju korelāciju Baltijas jūras dažādās daļās (Hang et al., 2007).

20. gs. sākumā ģeologi sāka pētīt regulāri slāņotus nogulumus, kas sastāv no mainīga biežuma, horizontāliem slāņiem, kas atšķiras pēc struktūras un tekstūras. De Gērs nosauca gaišo un tumšo slāņu pāri par varvi. Laikā, kad citas datēšanas metodes nebija pieejamas, varvju skaitīšana un korelācija bija unikāla stratigrāfijas metode, lai datētu pēdējā apledojuma nogulumus. Vēlāk tika atklāts, ka varves var tikt izmantotas, lai interpretētu paleoklimatiskos apstākļus, ūdens līmeņa svārstības, temperatūru, baseina trofisko statusu un attiecīgās teritorijas mineraloģisko sastāvu (Saarse, 1992).

De Gērs bija pārliecināts, ka kušanas intensitāti ietekmē solārā aktivitāte, kas tādējādi atstāj ietekmi uz varvju biežumu. De Gērs un viņa sekotāji savienoja Zviedrijas, Somijas (Sauramo), Ziemeļamerikas (Antevs) un Patagonijas (Caldenius) hronoloģijas, lai gūtu papildus pierādījumus globālām klimata izmaiņām. Tomēr korelācija lielā attālumā drīz vien tika novērtēta, kā nederīga un subjektīva metode. Negatīvā attieksme pret varvju hronoloģiju kā datēšanas metodi, ko vēl vairāk pastiprināja radioaktīvā oglekļa datēšanas metodes ieviešana, saglabājās līdz pat 20. gs. septiņdesmitajiem gadiem. Rodoties diskusijai par cilvēka ietekmi uz vidi, veidojās nepieciešamība pēc augstas izšķirtspējas informācijas par pagātnes klimatiskajiem apstākļiem, līdz ar to varves kļuva par būtisku paleoekoloģijas pētījumu objektu (Zolitschka, 2007).

Lielu sprostezeru nogulumu Igaunijā un Somu līcī sniedz iespēju izmantot varvju hronoloģiju, vienlaicīgi pētīt variācijas nogulumu paleomagnētiskajā laukā. Tomēr varves bieži vien ir ļoti grūti identificēt. Tā kā proglaciālie ezeri bija izolēti viens no otra, tad aprēķinātais ledāja atkāpšanās ātrums teritorijās, kur nav glaciolimnisko nogulumu, ir ļoti diskutabls (Raukas, 2008).

Lai veiktu ticamu korelāciju, jāatrod papildu kritēriji. Pirmais no tiem ir orientējošais (atskaites) slānis, kas atšķiras no parastajām varvēm un var būt veidojies vai nu neparasti

siltos, vai aukstos apstākļos (netipiski biezs vai plāns), vai arī baseina ūdens līmeņa strauju svārstību rezultātā. Drenāžas varvju biezums, kas rodas, kad ūdens no viena sprostezera strauji ieplūst citā, Igaunijas teritorijā un Somu līcī var sasniegt pat 50 - 80 cm (Raukas, 2008).

Balstoties uz varvju pētījumiem Vigalas baseinā, Rietumigaunijā, Hangs un Sandgrens datēja Paliveres marginālās zonas veidošanos (pirms 11800 g.). Kalms raksta (2006), ka tai jābūt apmēram 875 g. vecākai, t. i., 12675 g. Saskaņā ar Hanga pētījumiem (2003), deglaciācijas process Igaunijā no Hānjas ledāja marginālās zonas līdz Paliveres zonas recesijai ilga laika posmā pirms 14650 līdz 12675 gadiem. Tomēr vēl joprojām šie dati un hipotēzes ir diskutablas, jo Igaunijas slokšņu mērus ir grūti korelēt ar Zviedrijas varvju hronoloģiju, kas joprojām tiek precizēta (Raukas, 2008; Hang, 2003).

3. REZULTĀTI

Varvju biezuma mērījumi un granulometriskā sastāva analīze ar lāzerdifrakcijas granulometru tika veiktas nogulumiem, kas ieguļ 10,46 m līdz 12,42 m dziļumā no zemes virsas. Pētītā intervāla izvēli noteica varvju robežu vizuālās identificēšanas iespējamība pieejamajos paraugos. Granulometriskā sastāva analīze ar hidrometra metodi tika izmantota atšķirīgos intervālos visā griezumā. Varve, kas atrodas visdziļāk pētītajā intervālā, tika nosaukta par 1. varvi (12,37 – 12,42 m dziļumā), un tai uzguļošās varves – kā secīgas varves.

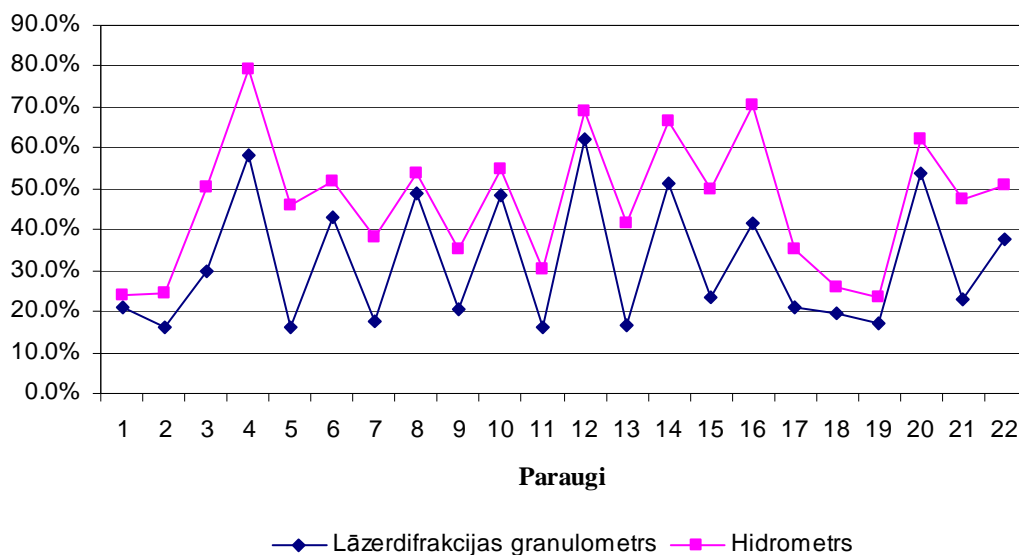
3.1. Hidrometra un lāzerdifrakcijas granulometra metožu salīdzinājums

Bakalaura darba ietvaros veiktajos varvju granulometriskā sastāva pētījumos tika izmantota gan analīze ar lāzerdifrakcijas granulometru, gan arī veikti mērījumi ar hidrometra metodi. Hidrometra metodes izmantošanu būtiski ierobežoja mazais pieejamo paraugu apjoms, tāpēc tā tika izmantota, analizējot biežākās varves apskatītajā griezumā. Granulometriskais sastāvs ar hidrometra metodi tika noteikts 22 paraugiem – 4 paraugiem no otrās varves un 18 paraugiem, kas aptver vienas sezonas nogulumus dažādās griezuma daļās. Lai salīdzinātu ar lāzerdifrakcijas un hidrometra metodēm iegūtos datus, tika aprēķināts vidējais granulometriskā sastāva sadalījums atbilstošā intervāla paraugiem, kas analizēti ar lāzerdifrakcijas granulometru.

Kā jau iepriekš minēts, lāzerdifrakcijas metodes rezultātus atšķirībā no hidrometra metodes neietekmē daļiņu blīvums, bet gan daļiņu forma. Projicētais neregulāras formas daļiņas šķērsriezums tiek pieņemts kā vidējā vērtība visos virzienos attiecībā pret lāzera staru, tādējādi daļiņas izmērītais diametrs ir lielāks nekā sfērai ar tādu pašu tilpumu. Tā rezultātā var rasties kļūdas granulometriskā sastāva mērījumos, pārvērtējot mazāko daļiņu izmēru (Eshel et al., 2004).

Kopumā analizētajos paraugos vislielākā atšķirība vērojama tieši māla frakcijas (< 2 mm) novērtējumā, tādējādi vislielākās nesakritības redzamas tieši mālainajos ziemas slāņos (3.1. att.). Ar hidrometra metodi māla frakcijas apjoms ir vidēji par 15 % lielāks nekā ar lāzerdifrakcijas granulometru noteiktais. Ļoti smalkgraudaina (1. pielikums) un smalkgraudaina aleirīta (2. pielikums) frakciju īpatsvars pēc abām metodēm ir samērā līdzīgs, tomēr lielāks to apjoms tiek iegūts ar lāzerdifrakcijas granulometru. Vidējgraudaina (3. pielikums), rupjgraudaina (4. pielikums) un ļoti rupjgraudaina aleirīta frakciju novērtējums pēc abām metodēm ir diezgan atšķirīgs, un nav vērojamas izteiksmīgas kopsakarības – daļai

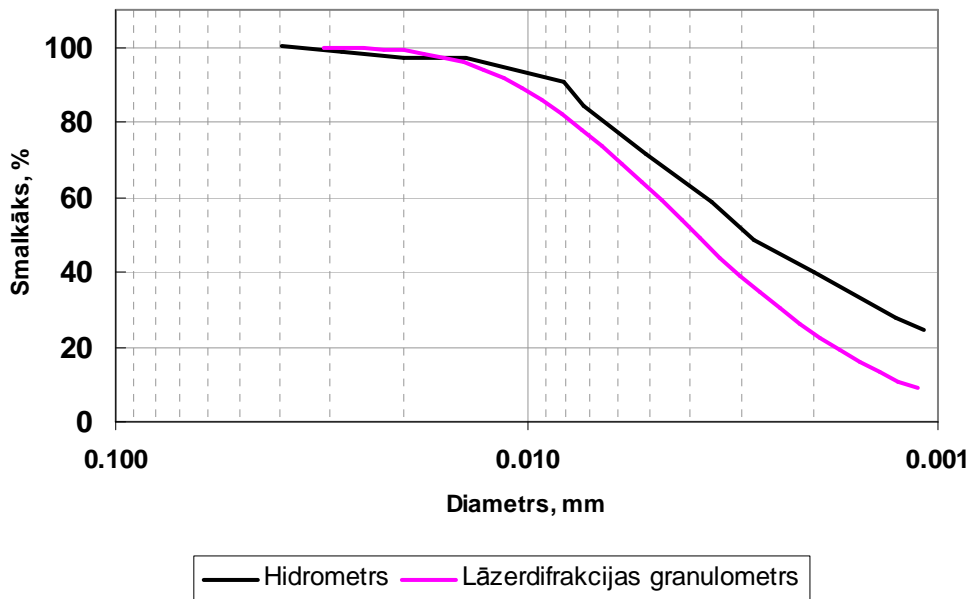
paraugu lielāks kādas frakcijas novērtējums ir ar hidrometra metodi, bet citām ar lāzerdifrakcijas granulometru.



3.1. attēls. Māla frakcijas īpatsvara mērījumu salīdzinājums ar lāzerdifrakcijas granulometru un hidrometra metodi

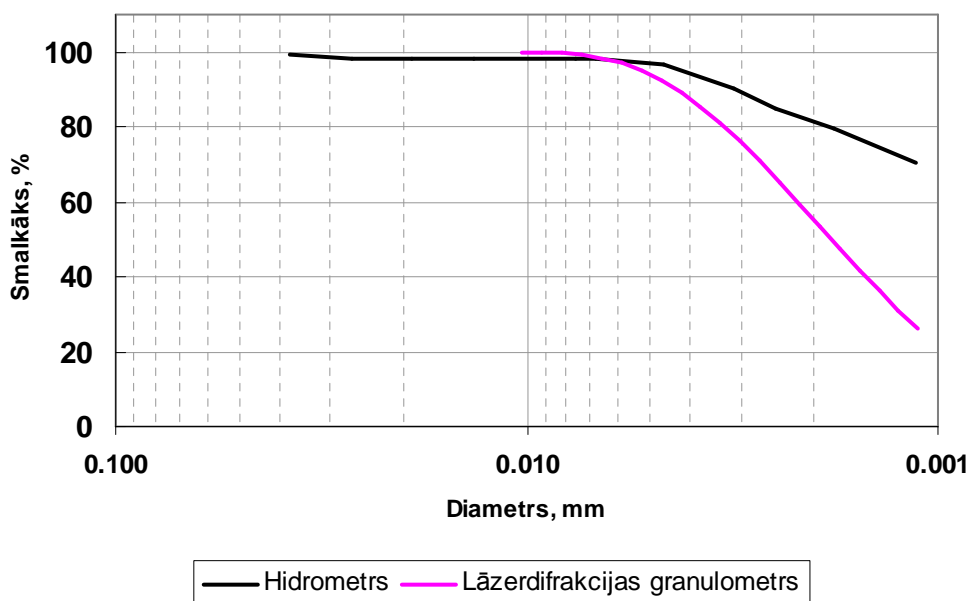
Vasaras slāņos māla frakcijas īpatsvara atšķirības ir mazākas (5 – 20 % robežās), nekā ziemas slāņos. Šī atšķirība visticamāk skaidrojama ar pārāk mazo paraugu apjomu, lai kvalitatīvi veiktu mērījumus ar hidrometra metodi, kā arī, iespējams, nolasījuma kļūdām, kuru dēļ tiek iegūts nepareizs granulometriskā sastāva sadalījums.

Tā kā 2. varves biezums ir salīdzinoši ievērojams, tad tās ietvaros tika paņemti četri paraugi hidrometra analīzes veikšanai. Vasaras slāņa apakšējā daļā, kā redzams 3.2. attēlā, vislielākā atšķirība vērojama smalkgraudaino frakciju īpatsvarā. Vidējgraudaina un rupjāka aleirīta frakciju apjoms pēc abu analīžu datiem ir samērā līdzīgs, bet, samazinoties daļiņu diametram, pieaug arī to īpatsvara atšķirības, t. i., ar hidrometra metodi veiktie mērījumi parāda lielāku māla daļiņu daudzumu.



3.2. attēls. 2. varves vasaras slāņa apakšējās daļas granulometriskā sastāva analīžu salīdzinājums

Ziemas slāņos ar hidrometra metodi veiktajos mērījumos vērojams ievērojami vairāk māla (20 – 30 %). Arī šeit redzams, ka lielāks rupjgraudaina aleirīta īpatsvars ir iegūts, veicot granulometriskā sastāva analīzi ar lāzerdifrakcijas granulometru; vidējgraudaina aleirīta frakcijas apjoms pēc abu analīžu rezultātiem ir līdzīgs, savukārt māla frakcijas apjoms ar hidrometru veiktajās analīzēs ir daudz lielāks. 3.3. attēlā redzams 2. varves ziemas slāņa augšējās daļas analīžu salīdzinājums, kurā skaidri iezīmējas īpatsvara novērtējuma lielā atšķirība daļiņām, kuru diametrs ir mazākas par 0,002 mm.

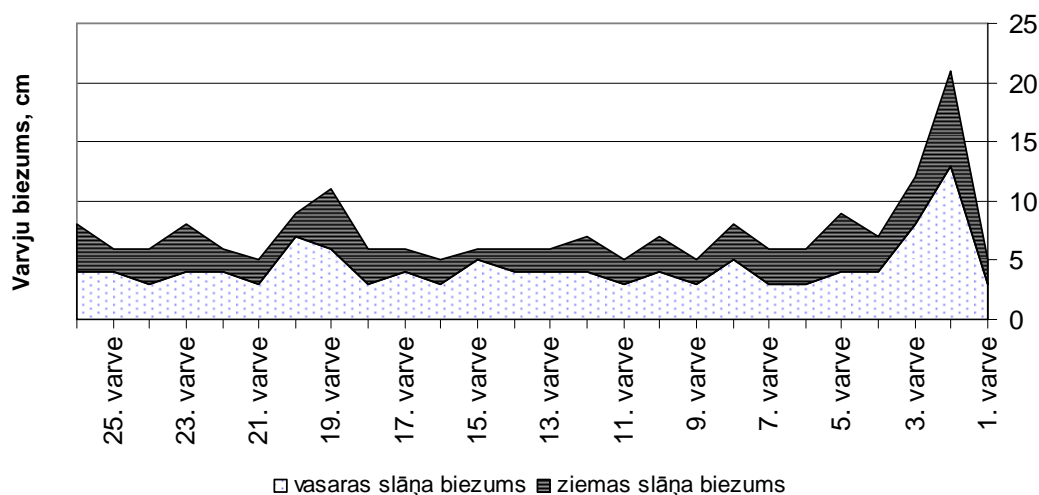


3.3. attēls. 2. varves ziemas slāņa augšējās daļas granulometriskā sastāva analīžu salīdzinājums

Kopumā apskatītajā griezumā iegūtie rezultāti gan ar lāzerdifrakcijas, gan hidrometra metodi parāda līdzīgas tendences, tomēr iezīmējas būtiska atšķirība smalkgraudaināko frakciju apjoma novērtējumā, kas visticamāk skaidrojama ar Fritsch Analisette 22 compact granulometra tehniskajām īpatnībām. Var secināt, ka šāda veida pētījumos, kur nepieciešams analizēt lielu daudzumu paraugu, kuru lielums ir ierobežots, piemērotāka ir lāzerdifrakcijas metode. Ar tās palīdzību iegūtie dati labāk izceļ dažādas likumsakarības, kā arī parāda granulometriskā sastāva sadalījuma izmaiņas nelielā intervālā. Tomēr šī metode ir sarežģītāka, līdz ar to granulometriskā sastāva mērījumos var novērot zināmu nenoteiktību.

3.2. Varvju biezuma izmaiņas

3.4. attēlā redzams varvju biezuma sadalījums pa gadiem. Vidējais varvju biezums apskatītajā griezumā ir 7,3 cm. Vasaras slāņu vidējais biezums ir 4,3 cm, bet ziemas – 3 cm. Ņemot vērā salīdzinoši nelielo griezuma intervālu un mērījumu precizitāti, nevar novērot kādas sezonas nogulumu biezuma likumsakarīgu samazināšanos vai palielināšanos virzienā uz augšu.

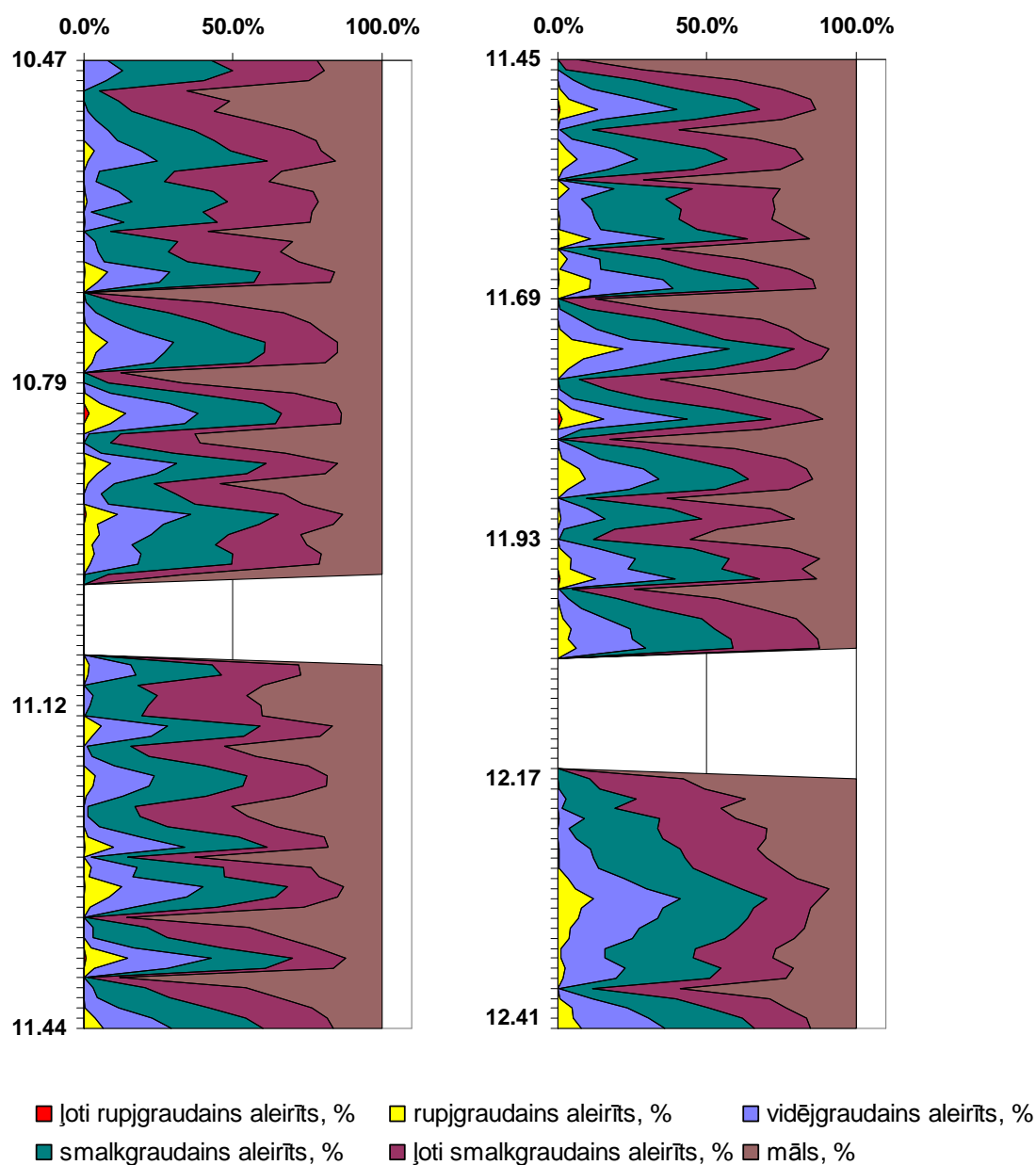


3.4. attēls. Varvju biezuma izmaiņas Audru apkaimes slokšņu mālu griezumā

Kopumā apskatīto varvju biezums ir diezgan līdzīgs, taču 2., 19. un 20. gada varves atšķiras ar palielinātu biezumu, kas varētu liecināt par intensīvākas ledāja kušanas apstākļiem un lielāku sedimentācijas materiāla pienesumu (Collins, 1990). 2. gada varve izceļas ne tikai ar lielo biezumu, bet arī ar savdabīgu krāsu maiņu tās ietvaros.

3.3. Audru apkaimes slokšņu mālu vispārīgs raksturojums

Granulometriskā sastāva analīze veikta 25 pilnām varvēm. Tehnisku problēmu dēļ netika veikta 3. un daļēji 9. gada varvju granulometriskā sastāva analīze ar lāzerdifrakcijas granulometru. Granulometriskā sastāva sadalījums griezumā iezīmējas vairākas kopsakarības. 3.5. attēlā uzskatāmi tiek parādīts slokšņu mālu granulometriskā sastāva sadalījuma cikliskais raksturs. Vasaras slāņos griezumā virzienā uz augšu kopumā nedaudz pieaug smalkgraudaina, ļoti smalkgraudaina aleirīta un māla frakciju īpatsvars, savukārt samazinās rupjgraudaina un ļoti rupjgraudaina aleirīta apjoms. Ziemas slāņos šīs tendences ir līdzīgas, bet nav tik izteiktas.

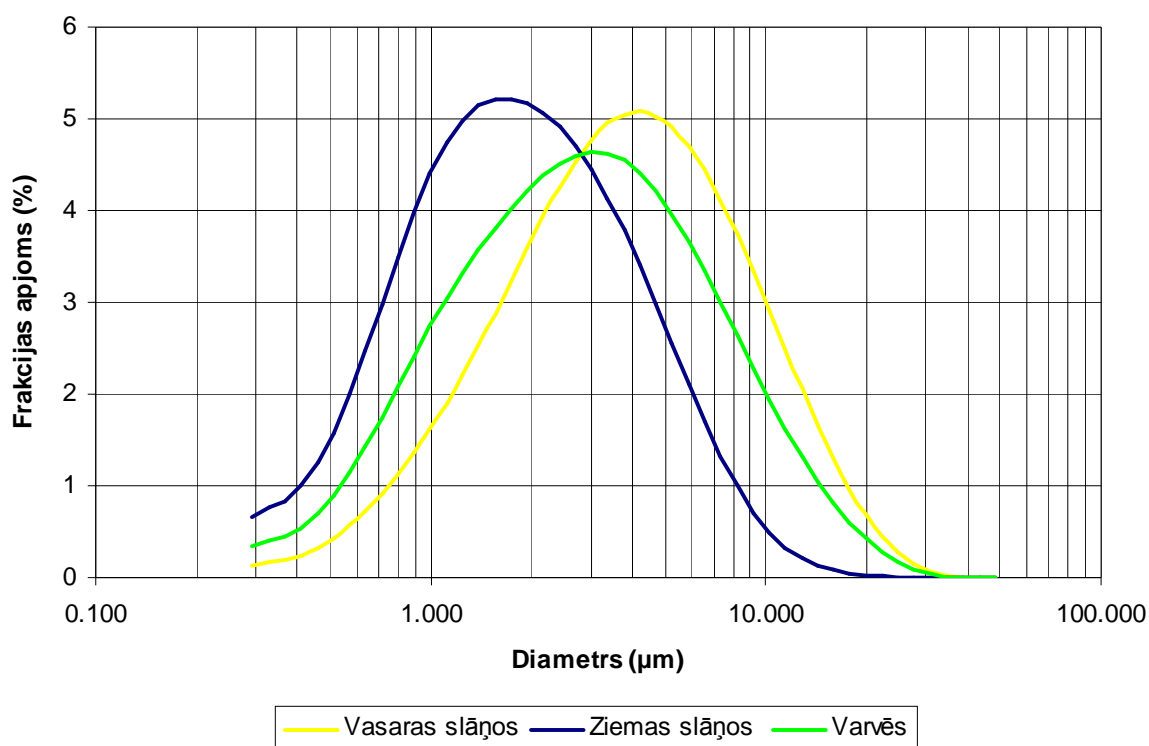


3.5. attēls. Granulometriskā sastāva mērījumi ar lāzerdifrakcijas granulometru Audru apkaimes slokšņu mālos

Vasaras un ziemas sezonu slāņos vērojamā daļiņu izmēra mainība atspoguļo sedimentācijas materiāla ieplūdes intensitāti un izgulsnēšanās ātrumu, kas atkarīgs no kušanas cikliem, klimata, kā arī termālās stratifikācijas baseinā (Saarse, 1992; Ashley, 1995). Mālainajā slānī vērojama pakāpeniska nogulsnēšanās un daļiņu izmēra samazināšanās virzienā uz augšu. Šajos slāņos dažkārt var saskatīt plānus rupjāka materiāla ieslēgumus, kas, iespējams, radušies ziemas vētru dēļ, tomēr tie novērojami samērā reti.

Ziemas slāņi pārsvarā ir tumši brūnā vai pelēcīgā krāsā. Vasaras slāņi vairumā gadījumu ir gaiši pelēki, nereti ar izteiktu sīkāku slāņojumu tā ietvaros. Sīko slānīšu biezums variē no 0,5 mm – 2 mm.

Ziemas slānīšos pārsvarā dominē māla frakcija, bet vasaras – aleirīta frakcija. Vidējais granulometriskā sastāva sadalījums varvēs redzams 3.6. attēlā. Ļoti rupjgraudaina aleirīta frakcija (0,031 mm – 0,063 mm) visā griezumā vidēji sastāda 0,04 %, rupjgraudains aleirīts (0,016 mm – 0,031 mm) – 2,6 %, vidējgraudains aleirīts (0,008 mm – 0,016 mm) – 12,1 %, smalkgraudains aleirīts (0,004 mm – 0,008 mm) – 24,6 %, ļoti smalkgraudains aleirīts (0,002 mm – 0,004 mm) – 28,3 %, bet māla frakcija (< 0,002 mm) – 32,3 %.



3.6. attēls. Vidējais granulometriskā sastāva sadalījums varvēs Audru apkaimē

Vasaras slāņos granulometriskā sastāva sadalījums vidēji ir šāds: ļoti rupjgraudains aleirīts – 0,1 %, rupjgraudains aleirīts – 4,7 %, vidējgraudains aleirīts – 18,9 %, smalkgraudains aleirīts – 29,9 %, ļoti smalkgraudains aleirīts – 26,7 %, māls – 19,7 %. Ziemas sezonas slāņu granulometriskā sastāva sadalījums diezgan lielā mērā atšķiras no

vasaras slāņiem. Ziemas slāņos ļoti rupjgraudaina aleirīta frakcija vispār nav pārstāvēta, salīdzinoši maz pārstāvētas ir rupjgraudaina un vidējgraudaina aleirīta frakcijas, kas veido attiecīgi 0,2 % un 3,2 %, smalkgraudains aleirīts – 15,2 %, ļoti smalkgraudains aleirīts – 29 %, savukārt māla frakcija ir vislielākā, sastādot vidēji 52,4 %.

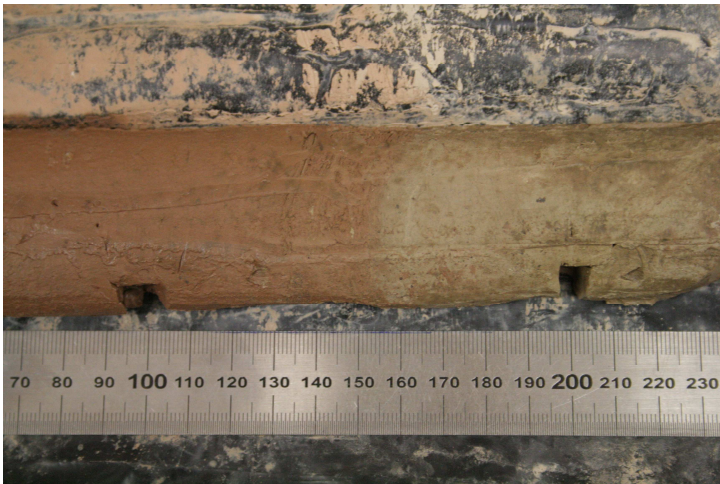
Robeža starp viena gada laikā veidojušos vasaras un ziemas slāni bieži vien ir pakāpeniska, kas dažkārt rada grūtības novilkt precīzu robežu. Savukārt robeža starp ziemas un uzguļošo vasaras slāni ir visai krasa. 3.7. attēlā redzama Audru apkaimes slokšņu māliem raksturīga varve (no 0 cm līdz 5,5 cm atzīmei).



3.7. attēls. Tipiska varve Audru apkaimes slokšņu mālos

Apskatītajā slokšņu mālu griezuma apakšējā daļā (12 – 12,5 m dziļumā no zemes virsas) vasaras slāņos sīkāka laminācija novērojama ļoti reti. Virzienā uz augšu vasaras slāņos arvien biežāk parādās labi izteikti gaišāki slānīši. Intervālā no 11,5 m – 12 m tikai vasaras slāņu apakšējā daļā vērojams sīkāka slāņojuma iztrūkums. Izteikta laminācija vasaras slāņos šajā intervālā parasti sākas apmēram 0,5 cm no slāņa sākuma. Savu maksimālo biezumu un intensitāti cikliskie slānīši sasniedz vasaras slāņa vidusdaļā, bet augšējā daļā samazinās. 11 – 11,5 m intervālā vasaras slāņos esošo lamināciju izvietojumam, biezumam vai intensitātei nav vērojamas kopsakarības – tās var būt ļoti izteiktas visā slānī vai tikai kādā tā daļā, vai vispār nebūt. Griezuma augšējā daļā vasaras slāņos sīkāks slāņojums vērojams salīdzinoši reti, visbiežāk pie slāņmijas ar ziemas slāni.

Kā jau iepriekš minēts, otrā varve ir ne tikai īpaši bieza, bet arī izceļas ar netipisku krāsu maiņu tās ietvaros (3.8. att.). Vasaras slāni otrajā varvē veido viendabīgs, pelēcīgas krāsas materiāls. Tas veido krasu robežu ar sarkanbrūnu slāni, kurš, veicot varvju identifikāciju un sezonu robežu noteikšanu, tika pieskaitīts ziemas slāņiem.

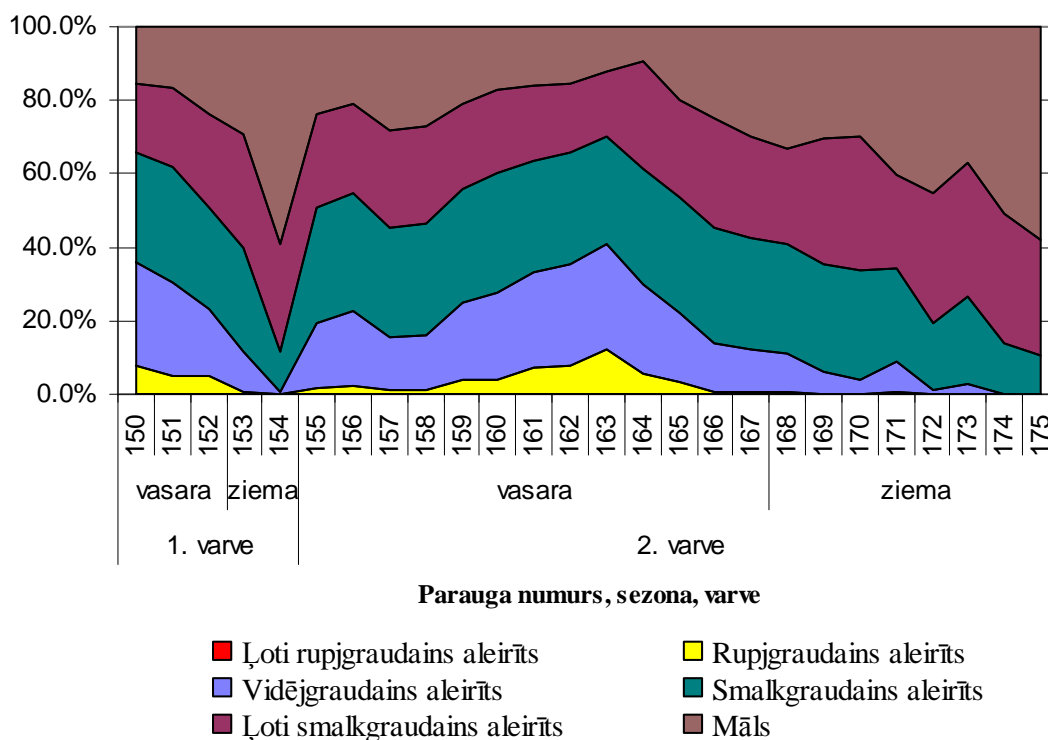


3.8. attēls. Atšķirīgu krāsu slāņu robeža Audru apkaimes slokšņu mālu griezuma 2. gada varvē

Darba izstrādes gaitā veiktās analīzes parādīja, ka krāsu maiņas josla nav robeža starp sezonālajiem slāņiem, jo tika iegūts tipiskām varvēm neraksturīgs granulometriskā sastāva sadalījums. Šī slāņa salīdzinoši lielais biezums un nogulumu krāsu maiņa, iespējams, varētu liecināt par to, ka pieņemtā 2. varve neaptver gada laikā veidojušos nogulumus, bet gan ir saistīta ar kādu citu ģeoloģisku procesu, piemēram, baseina ūdens līmeņa svārstībām vai noslīdeņu veidošanos.

3.4. Granulometriskā sastāva sadalījums varvju ietvaros

Pirmās varves kopējais biezums ir 5 cm. Vasaras slāņa apakšējā daļa ir gaiši pelēka, bez sīkāka slāņojuma. Tā augšdaļā vērojami daži vāji izteikti gaišāki slāņīši. Ziemas sezonas slānis ir viendabīgs, tumši brūnā krāsā. Ne ziemas, ne vasaras slāņos nav pārstāvēta ļoti rupjgraudaina aleirīta frakcija. Vidējais granulometriskā sastāva sadalījums varvē parāda, ka graudiņu izmērs samazinās virziena uz augšu. Rupjgraudains aleirīts vidēji gadā sastāda 3,6 %, vidējgraudains aleirīts – 16,7 %, smalkgraudains aleirīts – 25,5 %, ļoti smalkgraudains aleirīts – 25,4 % un māls – 28,7 %.



3.9. attēls. Pirmā un otrā gada varvju granulometriskā sastāva sadalījums

Pirmās varves vasaras slānī vidējais granulometriskā sastāva sadalījums būtiski atšķiras no gada sadalījuma. Rupjgraudains aleirīts veido 5,9 %, vidējgraudains aleirīts – 24 %, smalkgraudains aleirīts – 29,5 %, ļoti smalkgraudains aleirīts – 22,1 % un māls – 18,5 %. 3.9. attēlā redzams, ka vislielākais rupjgraudaina un vidējgraudaina aleirīta frakcijas apjoms ir vasaras slāņa apakšējā daļā, virzienā uz augšu to apjoms pakāpeniski samazinās. Visplašāk vasaras slānī ir pārstāvēta smalkgraudaina aleirīta frakcija. Visizteiktāk tā dominē vasaras slāņa vidusdaļā, sastādot 31,5 %. Ļoti smalka aleirīta un māla frakciju apjoms vasaras slānī pieaug no apakšējās daļas uz augšu.

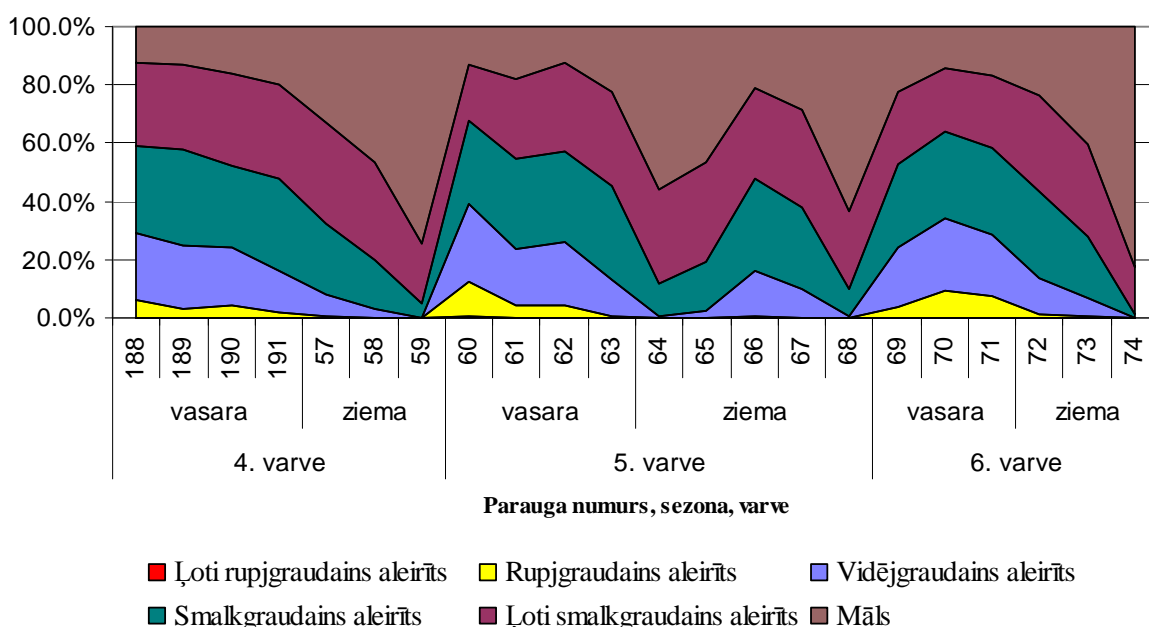
Ziemas slānī rupjgraudaina aleirīta frakcija vidēji sastāda 0,3 %, vidējgraudaina aleirīta frakcija – 5,8 %, smalkgraudaina aleirīta – 19,5 %, ļoti smalkgraudaina aleirīta – 30,3 %, bet māla frakcija – 44,1 %. Ziemas slāņa apakšējā daļā salīdzinājumā ar augšējo daļu ir vairāk pārstāvētas rupjgraudainākās frakcijas. Mālainā slāņa apakšējā daļā māla frakcijas apjoms sasniedz 29,1 %, savukārt augšējā daļā tā jau veido 59,1 %. Pārējās pārstāvētās frakcijas ziemas slāņa augšpusē piedzīvo būtisku samazinājumu, piemēram, vidējgraudaina aleirīta frakcijas apjoms samazinās par apmēram 11 %, bet smalkgraudaina aleirīta frakcijas apjoms samazinās no 27,8 % uz 11,2 %.

Otrās varves granulometriskā sastāva sadalījums, krāsa un biežums būtiski atšķiras no citām varvēm apskatītajā griezumā daļā. Tās kopējais biežums ir 21 cm. Vasaras slāni veido viendabīgs, pelēcīgs materiāls, tomēr slāņa augšdaļā krāsa mainās uz sarkanbrūnu. Ziemas

slānis ir viendabīgs, tā lielākā daļa ir sarkanbrūnā krāsā. Robeža starp šiem slāņiem ir diezgan izteikta. Vidējais granulometriskā sastāva sadalījums varvē ir līdzīgs pirmās varves sadalījumam. Rupjgraudaina aleirīta frakcija vidēji varvē sastāda 2,4 %, vidējgraudains aleirīts veido 14,1 %, smalkgraudains – 27,7 %, bet māls – 28,1 %.

Otrās varves vasaras slānī novērojams interesants granulometriskā sastāva sadalījums, kas izpaužas kā rupjgraudaina un vidējgraudaina aleirīta frakciju apjoma pakāpenisks pieaugums līdz krāsu maiņas līnijai (starp 162. un 163. paraugu; 3.9. att.), aiz kuras šo frakciju īpatsvars krasi samazinās. Pretēja tendence vērojama ļoti smalkgraudaina aleirīta un māla frakcijās. Rupjgraudainās frakcijas savu maksimālo apjomu (11,9 %) sasniedz sarkanbrūnā slāņa apakšējā daļā (12,3 m dziļumā), kurā māla frakcija veido tikai 12,1 %. Aiz krāsu maiņas joslas granulometriskā sastāva sadalījums kļūst līdzīgs citām varvēm, tas ir, virzienā uz augšu rupjgraudaino frakciju apjoms krītas, bet mālains – pieaug.

Otrās varves ziemas slānī dominē māla frakcija., kas vidēji sastāda 40,5 %. Rupjgraudains un vidējgraudains aleirīts ziemas slānī ir atrodams ļoti maz, attiecīgi 0,1 % un 4,2 %. Smalkgraudaina aleirīta frakcija veido 22,5 %, bet ļoti smalks aleirīts sastāda vidēji 32,7 %. Kopumā vērojama graudiņu izmēru pakāpeniska samazināšanās no slāņa apakšējās līdz augšējai daļai.



3.10. attēls. Ceturtā, piektā un sestā gada varvju granulometriskais sastāva sadalījums

Ceturtās varves kopējais biežums ir 7 cm. Vasaras slānis ir viendabīgs, gaiši pelēkā krāsā. Pāreja uz ziemas slāni ir pakāpeniska. Ziemas sezonas slānis ir viendabīgs, tumši brūnā krāsā. Granulometriskā sastāva sadalījums varvē - rupjgraudains aleirīts vidēji gadā sastāda

2,3 %, vidējgraudains aleirīts – 12,8 %, smalkgraudains aleirīts – 24 %, ļoti smalkgraudains aleirīts – 30,2 % un māls – 30,7 %.

Ceturtās varves vasaras slāņa vidējais granulometriskā sastāva sadalījums iezīmē pakāpenisku rupjgraudaināko frakciju apjoma samazināšanos un smalkgraudaino – pieaugumu virzienā uz augšu. 3.10. attēlā redzams, ka vislielākais rupjgraudaina un vidējgraudaina aleirīta frakcijas apjoms ir vasaras slāņa apakšējā daļā, kas iezīmē arī krasu robežu ar iepriekšējā gada varves ziemas mālaino slāni. Vasaras slāņa apakšējā daļā māla frakcija sastāda 12,3 %, tomēr tā pakāpeniski palielinās un vasaras beigās sasniedz 20,2 %.

Ceturtās varves ziemas slānī dominē māla frakcija (51,2 %). Ziemas slāņa apakšējā daļā salīdzinājumā ar augšējo daļu ir salīdzinoši daudz vairāk pārstāvētas rupjgraudainākās frakcijas. Ziemas slāņa apakšējā daļā māla frakcijas apjoms sasniedz 32,6 %, savukārt augšējā daļā tā jau veido 74,5 %. Pārējās pārstāvētās frakcijas ziemas slāņa augšpusē piedzīvo būtisku samazinājumu.

Piektās varves kopējais biežums ir 9 cm. Vasaras slānis ir gaiši pelēks. Tā augšējā daļa (apmēram 1 cm) ir viendabīga, bet augstāk vērojama aptuveni 2 cm plata, vāji izteikta, gaišāka josliņa; pašā slāņa augšdaļā vērojama izteikta laminācija un pakāpeniska pāreja uz ziemas slāni. Ziemas sezonas slānis ir tumši brūnā krāsā, tā vidusdaļā vērojams neliels gaišāks slānītis. Ļoti rupjgraudaina aleirīta frakcija vidēji gadā sastāda 0,1 %, rupjgraudains aleirīts – 2,5 %, vidējgraudains aleirīts – 12 %, smalkgraudains aleirīts – 24,5 %, ļoti smalkgraudains aleirīts – 29,8 % un māls – 31,1 %.

Piektās varves vasaras slāņa vidējais granulometriskā sastāva sadalījums – ļoti rupjgraudains aleirīts slānī veido 0,2 %, rupjgraudains aleirīts – 5,3 %, vidējgraudains aleirīts – 20,1 %, smalkgraudains aleirīts – 30,8 %, ļoti smalkgraudains aleirīts – 27,3 % un māls – 16,4 %. 3.10.attēlā redzams, ka vislielākais rupjgraudaina un vidējgraudaina aleirīta frakcijas apjoms ir vasaras slāņa apakšējā daļā, bet augšējā daļā dominē smalkgraudainākās frakcijas. Iekšējais slāņojums vasaras slānī atspoguļojas arī granulometriskā sastāva sadalījumā. Vietās, kur novērota izteikti sīki slānīši vai gaišāku slāņu ieslēgumi, lielāks ir salīdzinoši rupjgraudaināko frakciju īpatsvars.

Piektās varves ziemas slānī rupjgraudaina aleirīta frakcija vidēji sastāda 0,2 %, vidējgraudaina aleirīta frakcija – 5,6 %, smalkgraudaina aleirīta – 19,6 %, ļoti smalkgraudaina aleirīta – 31,7 %, bet māla frakcija – 42,9 %. Ziemas slāņa vidusdaļā būtiski pieaug vidējgraudaina aleirīta frakcijas apjoms, sasniedzot 15 %, kas atbilst gaišākā slānīša ieslēgumam slānī, kas varētu būt skaidrojams ar ziemas vētru izraisītiem sedimentācijas procesiem (Benn and Evans, 1998). Tas ir visai netipiski Audru apkaimes slokšņu mālu ziemas slāņiem.

Sestās varves biezums ir 6 cm. Vasaras slānis ir gaiši pelēks ar izteiktu lamināciju, kas vislielāko intensitāti sasniedz vidusdaļā. Ziemas slānis ir viendabīgs, tumši brūnā krāsā. Rupjgraudaina aleirīta frakcija varvē kopumā vidēji sastāda 3,6 %, vidējgraudains aleirīts veido 14,3 %, smalkgraudains aleirīts – 23,4 %, ļoti smalkgraudains aleirīts – 25,3 %, māls – 33,3 %. Pāreja no vasaras uz ziemas slāni ir diezgan pakāpeniska.

Vasaras slānī lielāko frakciju veido smalkgraudains aleirīts – 29,6 %. Rupjgraudaina aleirīta frakcija savu lielāko apjomu (9,2 %) sasniedz vasaras slāņa vidusdaļā, kurā tika novērots visizteiktākais slāņojums. Šajā vietā ir arī vismazākais māla frakcijas īpatsvars – 14,5 %. Māla frakcijas īpatsvars vasaras slāņa beigās nedaudz samazinās, bet pārējo frakciju apjoms ir visai vienmērīgs visā slānī. Šāds sadalījums, iespējams, radies pakāpeniskās pārejas dēļ starp vasaras un ziemas slāņiem.

Māla frakcija 6. varves ziemas slānī piedzīvo vislielāko pieaugumu – apakšējā daļā tā sastāda 23,4 %, bet augšdaļā – 82,5 %. Pārējās frakcijas līdz ar to piedzīvo būtisku apjoma kritumu. Lielais māla frakcijas apjoms varētu būt skaidrojams ilgstošu ziemas sezonu vai ieplūdušā sedimentācijas materiāla īpatnībām.

Septītās varves biezums ir 6 cm. Vasaras slānis ir gaiši pelēks ar izteiktu slāņojumu vidusdaļā. Tā apakšējā daļā laminācija nav izteikta. Ziemas slānis ir viendabīgs, tumši brūnā krāsā. Ļoti rupjgraudaina aleirīta frakcija varvē kopumā vidēji sastāda 0,2 %, rupjgraudains aleirīts – 3,1 %, vidējgraudains aleirīts veido 9,9 %, smalkgraudains aleirīts – 22,3 %, ļoti smalkgraudains aleirīts – 29,9 %, māls – 34,5 %.

3.11. attēlā redzams, ka septītās varves vasaras slāņa sākumā nav pārstāvētas ļoti rupjgraudaina un rupjgraudaina aleirīta frakcija. Slāņa vidusdaļā to apjoms krasi palielinās, tāpat kā vidējgraudaina aleirīta frakcija, kuras īpatsvars pieaug apmēram četras reizes. Māla frakcija slāņa vidusdaļā būtiski samazinās, bet augšdaļā – pieaug. Salīdzinoši vismazākās izmaiņas skar ļoti smalkgraudaina aleirīta frakciju, kuras apjoma svārstības ir ievērojami mazākas nekā citām frakcijām.

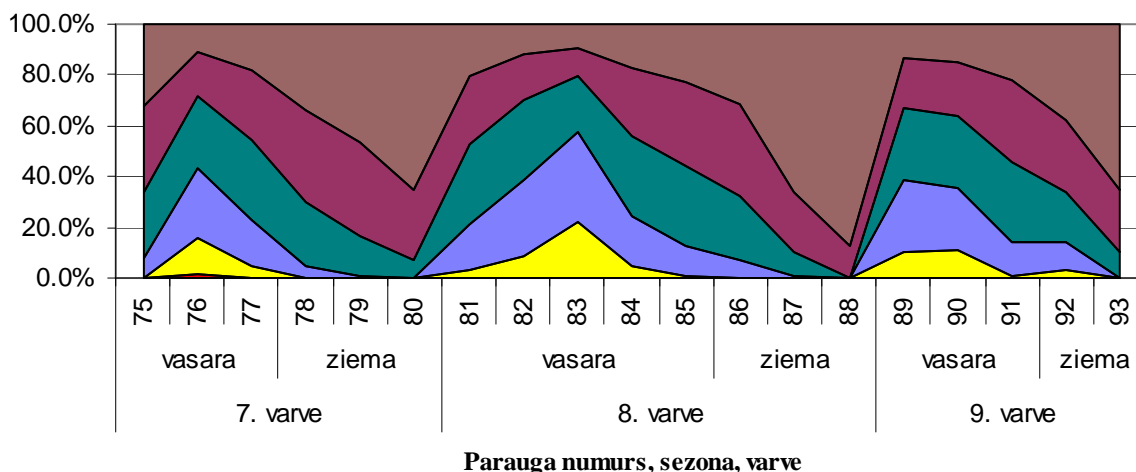
7. varves ziemas slānī nav ne ļoti rupjgraudaina, ne rupjgraudaina aleirīta frakciju. Pāreju no vasaras slāņa iezīmē samērā straujš māla frakcijas apjoma kāpums un rupjgraudaino, kā arī vidējgraudaino frakciju krass samazinājums. Māla frakcija ziemas slānī piedzīvo vislielāko pieaugumu – apakšējā daļā tā sastāda 33,9 %, bet augšdaļā – 65,5 %; pārējo frakciju apjoms samazinās virzienā uz augšu, turklāt visizteiktāk šis samazinājums izpaužas rupjgraudainākajām frakcijām.

Astotās varves biezums ir 8 cm. Vasaras slānis ir gaiši pelēks ar izteiktu slāņojumu visā slānī. Ziemas slānis ir viendabīgs, tumši brūnā krāsā. Pāreja no vasaras uz ziemas slāni ir pakāpeniska. Rupjgraudaina aleirīta frakcija varvē kopumā vidēji sastāda 4,9 %,

vidējgraudains aleirīts veido 15,4 %, smalkgraudains aleirīts – 22,8 %, ļoti smalkgraudains aleirīts – 23,5 %, māls – 33,4 %.

Vasaras slānī rupjgraudains aleirīts veido vidēji 9,6 %, vidējgraudains aleirīts – 26 %, smalkgraudains aleirīts – 28,9 %, ļoti smalkgraudains aleirīts – 21 % un māls – 14,6 %. 3.11. attēlā redzams, ka pārejā no 7. varves vislielāko kritumu piedzīvo māla frakcija, savukārt vislielāko kāpumu – vidējgraudaina un smalkgraudaina aleirīta frakcijas. Interesanti, ka ļoti smalkgraudaina aleirīta frakcijas apjoms šajā pārejā būtiski nemainās. Vasaras slāņa vidusdaļā rupjgraudaina aleirīta frakcijas apjoms krasi pieaug un sasniedz 21,7 %, tomēr slāņa augšdaļā tās apjoms būtiski samazinās, veidojot tikai 4,9 %. Vidējgraudaina aleirīta frakcijas izmaiņu tendences līdzinās rupjgraudaina aleirīta frakcijas apjoma svārstībām, turpretī smalkgraudaina aleirīta, ļoti smalkgraudaina aleirīta un māla frakciju apjoma izmaiņas slānī ir pretējas.

Pakāpeniskā pāreja no vasaras uz ziemas slāni atspoguļojas samērā nelielajā smalkgraudaino frakciju apjoma kāpumā 8. varvē. Māla un ļoti smalkgraudaina aleirīta frakciju apjoms ziemas slāņa sākumā ir audzis par apmēram 5 % salīdzinājumā ar vasaras slāņa augšējo daļu. Ziemas slānī māla frakcija maksimālo apjomu sasniedz tā augšējā daļā, sastādot 87,5 %. Visas pārējās frakcijas līdz ar to virzienā uz augšu piedzīvo būtisku apjoma samazinājumu. Slāņa augšējā daļā smalkgraudaina aleirīta frakcija veido tikai 0,3 %, bet ļoti smalkgraudaina aleirīta frakcija – 12,2 %, kas īpaši parāda māla frakcijas dominanci.



- Ļoti rupjgraudains aleirīts ■ Rupjgraudains aleirīts ■ Vidējgraudains aleirīts
- Smalkgraudains aleirīts ■ Ļoti smalkgraudains aleirīts ■ Māls

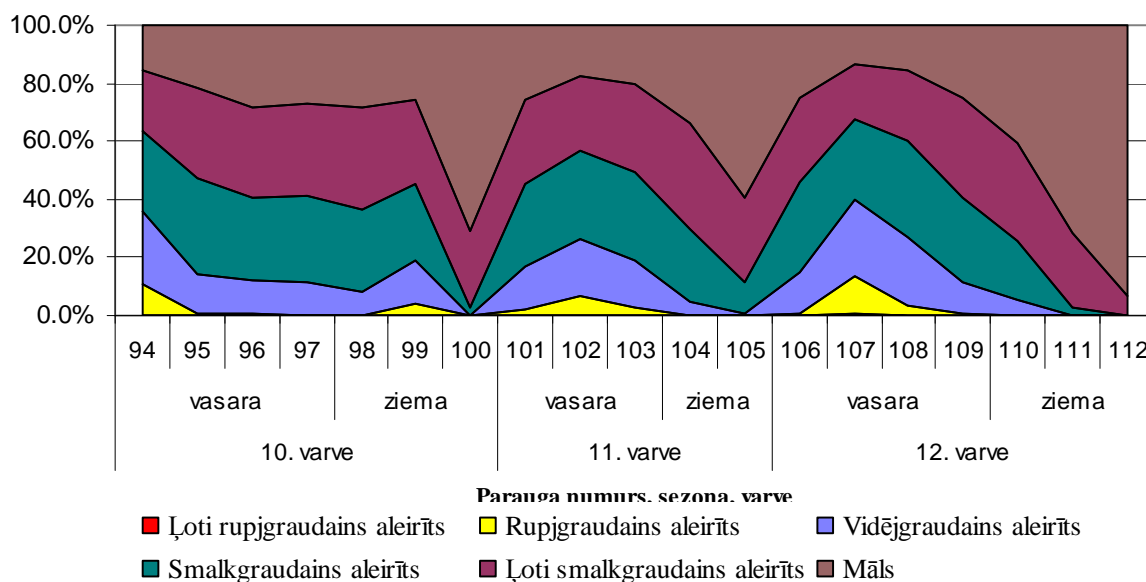
3.11. attēls. Septītā, astotā un devītā gada varvju granulometriskā sastāva sadalījums

Devītās varves kopējais biežums ir 5 cm. Vasaras slānis ir pelēcīgs, apakšējā daļā ar izteiktiem slānīšiem, kas pakāpeniski kļūst lielāki vidusdaļā. Vērojama krasa pāreja uz ziemas slāni, kas ir tumši brūnā krāsā. Varvē vidēji ļoti rupjgraudaina aleirīta frakcija veido 0,1 %,

rupjgraudaina aleirīta frakcija – 5 %, vidējgraudains aleirīts sastāda – 15,4 %, smalkgraudains aleirīts – 23,8 %, ļoti smalkgraudains aleirīts – 25,2 %, bet māls – 30,6 %.

Vasaras slāņa apakšējā daļā māla frakcijas apjoms sasniedz 13,5 %, kas ir apmēram sešas reizes mazāk, nekā zemāk esošā ziemas slāņa augšdaļā. Līdz ar māla frakcijas apjoma krasi samazināšanos, pieaug pārējo frakciju īpatsvars slāņa sākumā. Vasaras slāņa vidējais granulometriskais sastāvs ir līdzīgs iepriekšējās varves vasaras slānim, t. i., ļoti rupjgraudains aleirīts – 0,1 %, rupjgraudains aleirīts – 7,3 %, vidējgraudains aleirīts – 22 %, smalkgraudains aleirīts – 29,4 %, ļoti smalkgraudains aleirīts – 24,4 %, māls – 16,8 %. 9. varves vasaras slānī virzienā uz augšu palielinās ļoti smalkgraudaina aleirīta un māla frakciju apjoms, nedaudz pieaug smalkgraudaina aleirīta īpatsvars, bet rupjgraudaināko frakciju apjoms samazinās.

Ziemas slānī strauji krītas rupjgraudaina, vidējgraudaina, kā arī smalkgraudaina aleirīta frakciju īpatsvars virzienā uz augšu. Rupjgraudaina aleirīta frakcija vidēji ziemas slānī sastāda 1,5 %, vidējgraudains aleirīts – 5,4 %, smalkgraudains aleirīts – 15,4 %, ļoti smalkgraudains aleirīts – 26,3 %, bet māls – 51,3 %. Vidējgraudaina aleirīta frakcija ziemas slāņa apakšējā daļā veido 10,8 %, bet slāņa augšpusē nav vispār. Līdzīga apjoma samazināšanās skar arī smalkgraudaina aleirīta frakciju, kuras apjoms samazinās apmēram trīs reizes. Ļoti smalkgraudaina aleirīta frakcijas apjoms krītas salīdzinoši nedaudz, bet māla frakcijas īpatsvars ievērojami pieaug.



3.12. attēls. Desmitā, vienpadsmitā un divpadsmitā gada varvju granulometriskā sastāva sadalījums

Desmitās varves biezums ir 7 cm. Vasaras slānis ir gaiši brūns ar gaiši pelēkiem slānīšiem tā apakšējā daļā. Ziemas slānis ir viendabīgs, tumši brūnā krāsā. Varvē kopumā

rupjgraudaina aleirīta frakcija sastāda 2,2 %, vidējgraudains aleirīts – 12,1 %, smalkgraudains aleirīts – 25,1 %, ļoti smalkgraudains aleirīts – 29,3 %, māls – 31,2 %.

Pāreja no ziemas uz vasaras slāni ir visai krasa, ko parāda rupjgraudaino frakciju straujš kāpums un māla frakcijas būtisks kritums. Vidēji vasaras slānī ļoti rupjgraudaina aleirīta frakcija sastāda 0,1 %, rupjgraudains aleirīts – 2,9 %, vidējgraudains aleirīts – 15,5 %, smalkgraudains aleirīts – 29,7 %, ļoti smalkgraudains aleirīts – 28,5 %, māls – 23,3 %. Rupjgraudaina un vidējgraudaina aleirīta frakcijas maksimālo apjomu sasniedz slāņa apakšējā daļā, kas atbilst gaišākajiem ieslēgumiem. Šajā daļā tās veido attiecīgi 10,6 % un 24,9 %. Tomēr slāņa vidusdaļā un augšdaļā šīs frakcijas piedzīvo vislielāko kritumu. Smalkgraudaina aleirīta, ļoti smalkgraudaina aleirīta un māla frakciju apjoms stabili pieaug virzienā uz augšu, turklāt jo smalkgraudaināka frakcija, jo apjoma pieaugums ir lielāks.

Pāreja no vasaras uz ziemas slāni ir pakāpeniska (3.12. att.) – to iezīmē salīdzinoši neliels māla un ļoti smalkgraudaina aleirīta frakciju apjoma kāpums. Vidēji ziemas slānī dominē ļoti smalkgraudaina aleirīta (30,4 %) un māla (41,6 %) frakcijas. Slāņa vidusdaļā nedaudz pieaug rupja aleirīta un vidējgraudaina aleirīta frakciju apjoms, tomēr slāņa beigās tās vispār nav pārstāvētas. Dramatisks apjoma kritums slāņa beigās skar arī smalkgraudaina aleirīta frakciju, savukārt ļoti smalkgraudaina aleirīta frakcijas apjoms paliek gandrīz nemainīgs. Vislielāko kāpumu, ziemas slāņa augšdaļā sasniedzot 71,2 %, piedzīvo māla frakcija.

Vienpadsmitās varves biezums ir 5 cm. Vasaras slānis ir gaiši pelēks ar izteiktu lamināciju. Ziemas slānis ir viendabīgs, tumši brūnā krāsā. Varvē kopumā rupjgraudaina aleirīta frakcija sastāda 2,2 %, vidējgraudains aleirīts – 11,3 %, smalkgraudains aleirīts – 25,1 %, ļoti smalkgraudains aleirīts – 30 %, māls – 31,3 %.

Pāreja no ziemas uz vasaras slāni ir visai krasa, ko parāda māla frakcijas apjoma būtisks kritums. Rupjgraudaina un vidējgraudaina aleirīta frakcijas maksimālo apjomu sasniedz slāņa vidējā daļā, kas atbilst biežākajiem gaišajiem slānīšiem, tomēr beigu daļā atkal samazinās. Smalkgraudaina aleirīta un ļoti smalkgraudaina aleirīta frakciju apjoms ļoti nedaudz, tomēr stabili pieaug virzienā uz augšu. Interesanti, ka māla frakcijas apjoms vasaras slānī mainās pretēji rupjgraudaina un vidējgraudaina aleirīta frakciju apjomam virzienā uz augšu.

Pāreja no vasaras uz ziemas slāni ir pakāpeniska – to vizuāli iezīmē māla frakcijas apjoma kāpums un vidējgraudaina aleirīta frakcijas samazināšanās. Vidēji ziemas slānī dominē māla frakcija, veidojot 46,5 %. Pārējo frakciju apjoms samazinās virzienā uz augšu, turklāt rupjgraudainākajās frakcijās samazinājums ir relatīvi lielāks.

Divpadsmitās varves biezums ir 7 cm. Vasaras slānis ir gaiši pelēks ar neregulāri izvietotiem gaišākiem slānīšiem. Ziemas slānis ir viendabīgs, tumši brūnā krāsā. Varvē

kopumā ļoti rupjgraudaina aleirīta frakcija sastāda 0,1 %, rupjgraudains aleirīts – 2,5 %, vidējgraudains aleirīts – 11,4 %, smalkgraudains aleirīts – 20,7 %, ļoti smalkgraudains aleirīts – 24,7 %, māls – 40,6 %.

Pāreja no ziemas uz vasaras slāni ir samērā krasa, kas izpaužas kā māla frakcijas apjoma kritums un rupjgraudaināko frakciju apjoma pieaugums. Vasaras slāņa vidusdaļā būtiski pieaug ļoti rupjgraudaina līdz smalka aleirīta frakciju apjoms, savukārt ļoti smalka aleirīta un māla īpatsvars samazinās. Slāņa augšdaļā smalkgraudaināko frakciju apjoms nedaudz pieaug, bet ievērojamākais samazinājums skar vidējgraudaina aleirīta frakciju.

Pāreja no vasaras uz ziemas slāni ir samērā krasa. Visu frakciju apjoms divpadsmitās varves ziemas slānī, izņemot mālu, stabili un pakāpeniski krītas virzienā uz augšu. Māla frakcija sāk dominēt jau ziemas slāņa vidusdaļā un augšdaļā sasniedz 93,5 %.

Trīspadsmitās varves biezums ir 6 cm. Vasaras slānis ir pelēks ar sīkaku slāņojumu tā vidusdaļā un augšpusē. Ziemas slānis ir viendabīgs, tumši brūnā krāsā. Varvē kopumā granulometriskā sastāva sadalījumā dominē māls (37,8 %), kam seko ļoti smalkgraudaina aleirīta frakcija, kas sastāda 27,7 %, smalkgraudains aleirīts – 22,6 %, vidējgraudains aleirīts – 10,1 % un rupjgraudains aleirīts – 1,8 %.

Vasaras slānī caurmērā vislielākā ir ļoti smalkgraudaina aleirīta frakcija (30,6 %). Tās apjoms vasaras slānī pieaug virzienā uz augšu (3.13. att.). Vislielākais samazinājums notiek vidējgraudaina aleirīta frakcijas ietvaros, kas vasaras sākumā veido 23 %, bet beigās – 4,5 %. Māla frakcijas nedaudz pieaug līdz vasaras slāņa beigām, bet smalkgraudaina un rupjgraudaina aleirīta īpatsvars – samazinās.

Pāreja no vasaras uz ziemas slāni ir samērā pakāpeniska. Līdzīgi kā citu varvju ziemas sezonas slāņos, māla frakcijas apjoms būtiski pieaug virzienā uz augšu, līdz ar to samazinās pārējo frakciju īpatsvars, turklāt īpaši krass kritums notiek ļoti smalkgraudaina aleirīta frakcijas ietvaros.

Četrpadsmitā varve ir 6 cm bieza. Vasaras slānis ir gaiši pelēks ar izteiktu slāņojumu, kas vislielāko intensitāti sasniedz tā vidusdaļā. Ziemas slānis ir tumši brūns un viendabīgs. Kopumā varvē ļoti rupjgraudaina aleirīta frakcija sastāda 0,1 %, rupjgraudains aleirīts – 3,3 %, vidējgraudains aleirīts – 12,1 %, smalkgraudains aleirīts – 22,3 %, ļoti smalkgraudains aleirīts – 26,5 % un māls – 35,7 %.

Pāreja no iepriekšējā gada ziemas ir krasa, ko parāda ļoti liels māla frakcijas apjoma samazinājums un pārējo frakciju pieaugums. Vasaras slāņa vidusdaļā ir paaugstināts rupjgraudaināko frakciju īpatsvars. Rupjgraudains aleirīts tur sasniedz 14 %, bet slāņa augšdaļā samazinās līdz 2,5 %. Izteikto slānīšu atspoguļojums granulometriskā sastāva sadalījumā parādās arī kā ļoti smalkgraudaina aleirīta un māla frakciju apjoma kritums slāņa

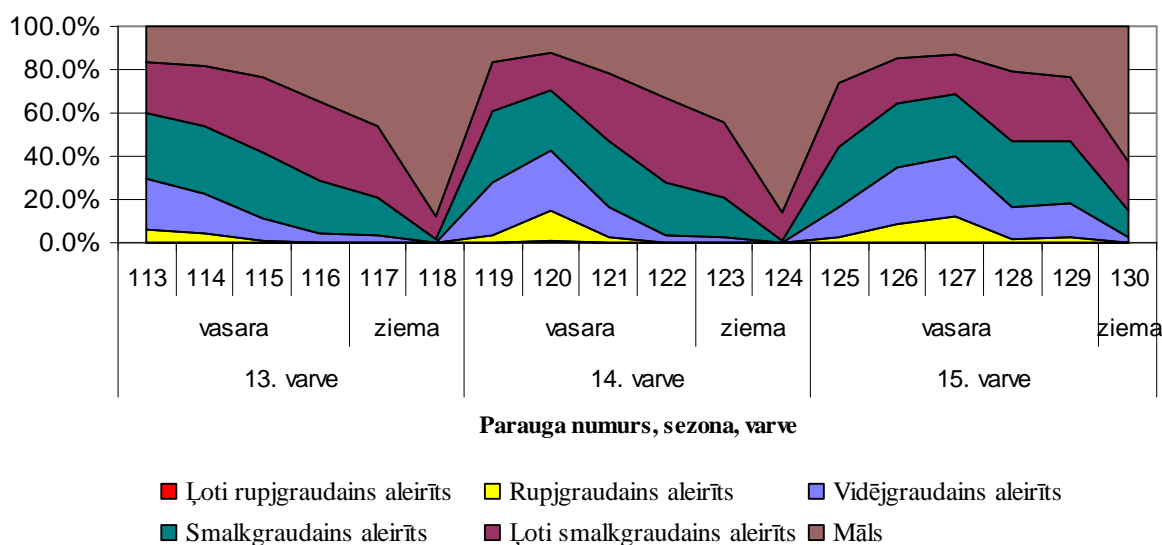
vidusdaļā. Vismazāk slāņa vidusdaļā izmainās smalkgraudaina aleirīta īpatsvars. Vasaras slāņa beigās pieaug smalkgraudaina, ļoti smalkgraudaina aleirīta un māla frakciju apjoms.

Vasaras un ziemas slāņu robeža 14. varvē ir pakāpeniska. Kopumā ziemas slānim raksturīgs salīdzinoši liels māla frakcijas īpatsvars (65,2 %), kas vislielākais ir slāņa augšdaļā, sasniedzot 85,8 %. Pārējo frakciju apjoms ievērojami samazinās virzienā uz augšu.

Piecpadsmītā varve ir 6 cm bieza. Vasaras slānis ir gaiši pelēks ar labi izteiktu slāņojumu vidusdaļā un augšdaļā. Ziemas slānis ir plāns, viendabīgs, tumši brūnā krāsā. Vidēji varvē ļoti rupjgraudaina aleirīta frakcija sastāda 0,1 %, rupjgraudains aleirīts – 4,5 %, vidējgraudains aleirīts – 16,7 %, smalkgraudains aleirīts – 26,4 %, ļoti smalkgraudains aleirīts – 25,4 %, māls – 27 %.

Pāreja no ziemas slāņa ir krasa, kas galvenokārt izpaužas kā māla frakcijas apjoma ievērojams samazinājums (3.13. att.). Vidēji vasaras slānī vislielākā ir smalkgraudaina aleirīta frakcija, kuras apjoms būtiski nemainās visā slānī. Rupjgraudaināko frakciju pieaugums vērojams slāņa vidusdaļā, kur ir vislielākās un gaišākās josliņas. Vislielāko pieaugumu vidusdaļā piedzīvo vidējgraudaina aleirīta frakcija, bet samazinājumu – māla frakcija. Vasaras slāņa augšdaļā smalkgraudaināko frakciju apjoms sāk pieaugt, turpretī rupjgraudaina un vidējgraudaina aleirīta frakciju apjoms – samazinās.

Pāreja no vasaras uz ziemas slāni ir ļoti krasa. Ziemas slānis ir plāns un tajā dominē māla frakcija (62,9 %). Citu frakciju īpatsvars ievērojami samazinās salīdzinājumā ar vasaras slāņa augšējo daļu. Visvairāk tas izpaužas rupjgraudaina, vidējgraudaina un smalkgraudaina aleirīta frakcijās.



3.13. attēls. Trīspadsmītā, četrpadsmitā un piecpadsmītā gada varvju granulometriskā sastāva sadalījums

Sešpadsmitā gada varve ir 5 cm bieza. Vasaras slānis ir gaiši pelēks ar izteiktu slāņojumu. Pāreja uz tumši brūno ziemas slāni ir pakāpeniska. Vidēji varvē rupjgraudains aleirīts sastāda 2,2 %, vidējgraudains aleirīts – 9,9 %, smalkgraudains aleirīts – 23,4 %, ļoti smalkgraudains aleirīts – 30,8 %, māls – 33,6 %.

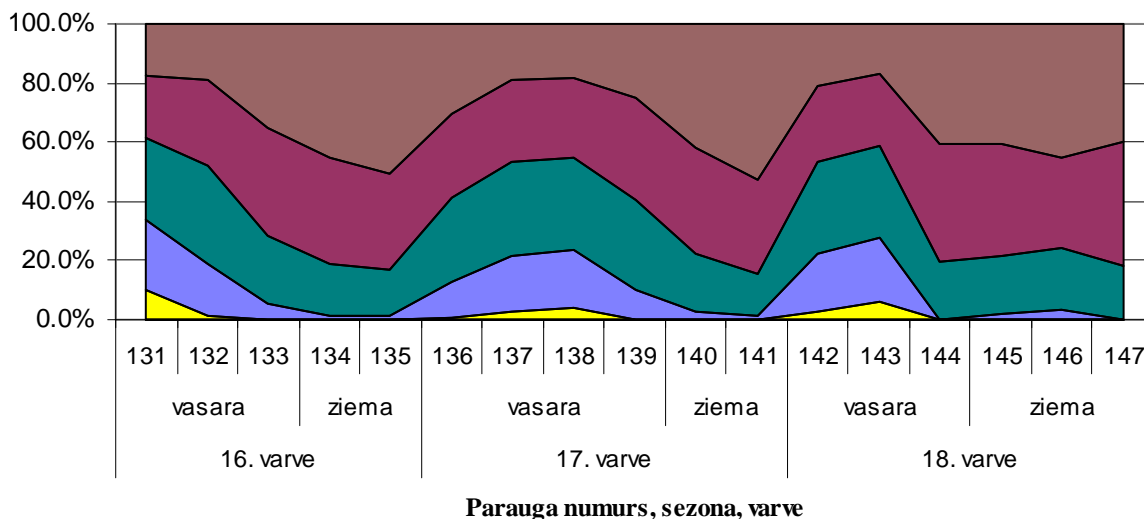
Vasaras slānī vislielākais rupjgraudaina un vidējgraudaina aleirīta frakciju apjoms ir tā apakšējā daļā. Šeit arī vērojams straujš smalkgraudaino frakciju kritums salīdzinājumā ar iepriekšējo ziemu. Virzienā uz augšu ļoti smalkgraudaina aleirīta un māla frakciju apjoms pieaug, smalkgraudaina aleirīta frakcijas īpatsvars nedaudz samazinās, bet rupjgraudaina un vidējgraudaina aleirīta frakciju apjoms strauji samazinās (3.14. att.).

Ziemas slāņa lielākajā daļā turpinās vidējgraudaina aleirīta frakcijas apjoma samazināšanās, turklāt sāk samazināties arī smalkgraudaina aleirīta apjoms. Māla frakcijas apjoms pieaug līdz slāņa otrajai pusei, kur tas maksimāli sasniedz 50,6 %.

Septiņpadsmitā varve ir 6 cm bieza. Vasaras slānis ir gaiši pelēks ar vāji izteiktu slāņojumu. Pāreja uz tumši brūno ziemas slāni ir visai izteikta. Vidēji varvē rupjgraudains aleirīts sastāda 1,2 %, vidējgraudains aleirīts – 10,8 %, smalkgraudains aleirīts – 25,9 %, ļoti smalkgraudains aleirīts – 30,9 %, māls – 31,2 %.

Vasaras slānī vislielāko frakciju veido smalkgraudains aleirīts (30,3 %), kam seko ļoti smalkgraudains aleirīts (29,5 %), māls (23,1 %), vidējgraudains aleirīts (15,3 %) un rupjgraudains aleirīts (1,8 %). Slānī vērojama rupjgraudaina, vidējgraudaina un smalkgraudaina aleirīta frakciju apjoma palielināšanās līdz slāņa vidusdaļai. Vasaras slāņa beigu daļā šo frakciju īpatsvars samazinās. Pretējas izmaiņas skar ļoti smalkgraudaina aleirīta un māla frakcijas apjomu.

Ziemas slānī vērojams māla frakcijas apjoma pieaugums, kas slāņa augšdaļā sasniedz 52,9 %. Pārējo frakciju īpatsvars vienmērīgi samazinās līdz ar māla frakcijas palielināšanos. Slāņa apakšējā daļā vidējgraudaina, smalkgraudaina un ļoti smalkgraudaina aleirīta frakcijas sastāda attiecīgi 2,6 %, 19,4 %, 35,9 %, bet slāņa augšējā daļā – 1,1 %, 14,7 %, 31,3 %.



- Ļoti rupjgraudains aleirīts
- Rupjgraudains aleirīts
- Vidējgraudains aleirīts
- Smalkgraudains aleirīts
- Ļoti smalkgraudains aleirīts
- Māls

3.14. attēls. Sešpadsmitā, septiņpadsmitā un astoņpadsmitā gada varvju granulometriskā sastāva sadalījums

Astoņpadsmitā varve ir 6 cm bieza. Vasaras slānis ir gaiši pelēks ar vāji izteiktu lamināciju. Ziemas slānis ir viendabīgs, tumši brūnā krāsā. Vidēji varvē rupjgraudains aleirīts sastāda 1,4 %, vidējgraudains aleirīts – 8 %, smalkgraudains aleirīts – 23,3 %, ļoti smalkgraudains aleirīts – 33,3 %, māls – 34 %. Granulometriskā sastāva sadalījums 18. varvē kopumā ir līdzīgs iepriekšējā gada slānim.

Pāreja no ziemas slāņa ir diezgan izteikta. Tā izpaužas, kā vidējgraudaina aleirīta krass pieaugums un māla frakcijas apjoma samazinājums. Rupjgraudaina un vidējgraudaina aleirīta frakcijas maksimālo apjomu vasaras slānī sasniedz tā vidusdaļā. Smalkgraudaina aleirīta frakcijas īpatsvars vasaras sezonas slānī nedaudz samazinās virzienā uz augšu, savukārt ļoti smalkgraudaina aleirīta un māla frakciju apjoms vasaras slāņa beigās ievērojami pieaug (3.14. att.).

Pāreja uz ziemas slāni ir samērā krasa, ko iezīmē ļoti ievērojams vidējgraudaina aleirīta frakcijas apjoma kritums un māla frakcijas pieaugums. Rupjgraudaina aleirīta frakcija ziemas slānī vispār nav pārstāvēta. Smalkgraudaina un ļoti smalkgraudaina aleirīta frakciju apjoms visā ziemas slānī gandrīz nemainās un attiecīgi sastāda 20 % un 38 %. Ziemas slāņa augšdaļā vērojams neliels māla frakcijas apjoma kritums, kas seko pēc neliela pieauguma slāņa otrajā pusē.

Deviņpadsmitās varves kopējais biezums ir 11 cm, tomēr no tās granulometriskā sastāva analīzei tika paņemti tikai 4 paraugi urbama serdes nepilnību un deformācijas dēļ.

Kvalitatīvus paraugus izdevās iegūt no vasaras slāņa apakšējās un ziemas slāņa augšējās daļas. Vasaras slānis ir gaišpelēkā krāsā, bet ziemas – tumši brūnā.

Pāreja no iepriekšējā gada ziemas ir samērā pakāpeniska – lielākās izmaiņas skar ļoti smalkgraudaina aleirīta frakciju, kuras apjoms samazinās visvairāk. Krītas arī māla frakcijas īpatsvars, taču ne tik lielā mērā. Pārējo pārstāvēto frakciju apjoms vasaras slānī, īpaši vidējgraudains aleirīts, pieaug. Vērojams, ka vasaras slāņa pirmajā pusē nav būtisku izmaiņu kādas frakcijas īpatsvarā. Vislielāko frakciju veido smalkgraudains aleirīts (vidēji 28,2 %), bet vismazāko – rupjgraudains aleirīts (1,4 %).

Ziemas slāņa beigu daļā granulometriskā sastāva frakciju īpatsvara izmaiņas nav tik vienmērīgas kā vasaras slānī. Būtiski samazinās smalkgraudaina aleirīta frakcija, bet māla frakcija krasi pieaug. Gan vidējgraudaina, gan ļoti smalkgraudaina aleirīta frakciju apjoms krītas, taču tas nav tik zīmīgs.

Divdesmitā varve ir 9 cm bieza. Vasaras slānī vērojams izteikts slāņojums, bet ziemas slānis ir viendabīgs, tumši brūnā krāsā. Pāreja no ziemas diezgan krasa, ko iezīmē liels māla frakcijas īpatsvara samazinājums, kā arī vidējgraudaina un smalkgraudaina aleirīta frakciju apjoma kāpums. Vidēji varvē ļoti rupjgraudaina aleirīta frakcija sastāda 0,1 %, rupjgraudains aleirīts – 3,3 %, vidējgraudains aleirīts – 14,7 %, smalkgraudains aleirīts – 27,2 %, ļoti smalkgraudains aleirīts – 28,4 %, māls – 26,3 %.

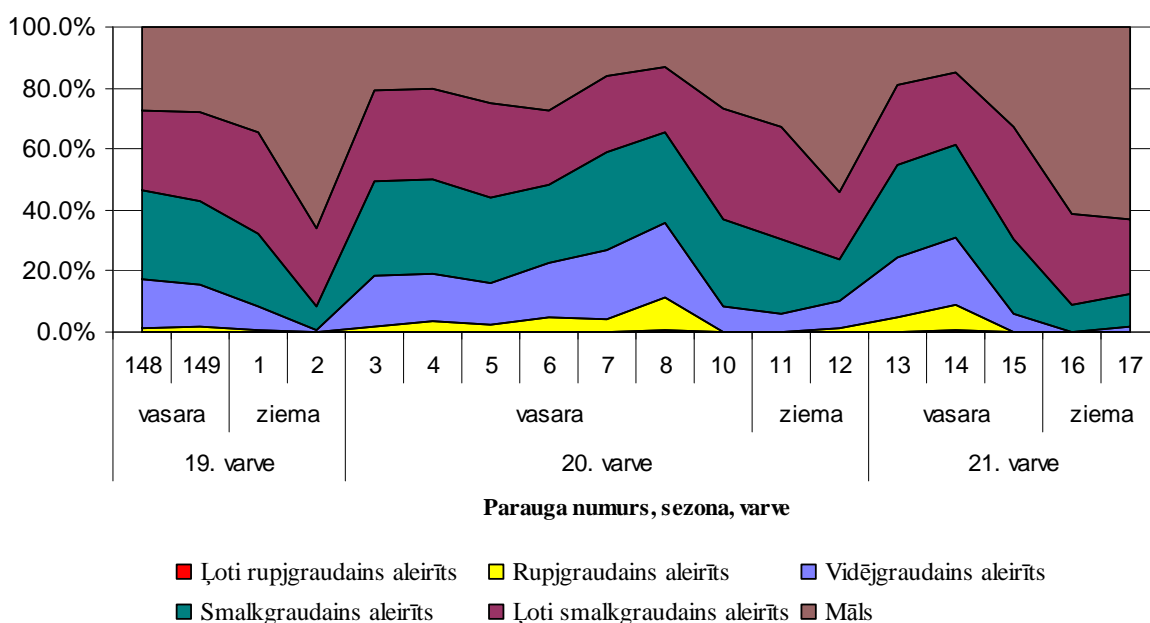
Vasaras slāņa salīdzinoši ievērojamais biežums un izteiktais sīkais slāņojums atspoguļojas diezgan netipiskajā granulometriskā sastāva sadalījumā. Īpaši tas attiecināms uz rupjgraudaina aleirīta frakciju, kas visā slānī vidēji sastāda 4 % un beigu daļā sasniedz maksimālo apjomu – 10,6 %, bet slāņa augšdaļā sastāda vien 0,1 %. Vismazāk slānī izmaiņas skar ļoti smalkgraudaina aleirīta frakciju. Kopumā granulometriskā sastāva izmaiņas vasaras slānī parāda sedimentācijas nevienmērību siltās sezonas ietvaros.

Līdz ar ziemas slāņa apakšējo daļu ievērojami samazinās rupjgraudaina un vidējgraudaina aleirīta frakciju apjoms. Smalkgraudaina un ļoti smalkgraudaina aleirīta frakciju īpatsvars samazinās virzienā un augšu, bet māla frakcija būtiski palielinās, lai gan salīdzinājumā ar iepriekšējiem gadiem māla īpatsvars ziemas slānī ir nedaudz mazāks, kas, iespējams, radies lielā sedimentācijas materiāla apjoma dēļ, kas ieplūdis baseinā intensīvas kušanas un vētru pirms aukstās sezonas rezultātā.

Divdesmit pirmā gada varve ir 5 cm bieza. Vasaras slānis ir gaiši pelēks ar izteiktu, ciklisku slāņojumu. Pāreja uz viendabīgo, tumši brūno ziemas slāni ir krasa. Vidēji varvē ļoti rupjgraudaina aleirīta frakcija sastāda 0,1 %, rupjgraudains aleirīts – 2,6 %, vidējgraudains aleirīts – 9,8 %, smalkgraudains aleirīts – 20,9 %, ļoti smalkgraudains aleirīts – 28,4 %, māls – 38,1 %.

Vasaras slānī vērojama rupjgraudaināko frakciju apjoma pieaugums slāņa vidusdaļā, kur maksimālo īpatsvaru sasniedz ļoti rupjgraudains, rupjgraudains un vidējgraudains aleirīts (3.15. att.). Smalkgraudaina aleirīta frakcijas apjoms pakāpeniski samazinās virzienā uz augšu, bet ļoti smalkgraudaina aleirīta un māla frakciju īpatsvars mainās pretēji rupjgraudaino frakciju apjomam.

Ziemas slānī vislielāko pieaugumu sasniedz māla frakcija (vidēji 62 %). Slānī vispār nav pārstāvētas ļoti rupjgraudaina un rupjgraudaina aleirīta frakcijas, savukārt vidējgraudaina, smalkgraudaina un ļoti smalkgraudaina aleirīta frakciju apjomi kopumā samazinās virzienā uz augšu. Salīdzinot ar iepriekšējās varves ziemas slāni, 21. varves ziemas sezonā kopumā vērojams lielāks māla frakcijas īpatsvars, kā arī mazāks vidējgraudaina un smalkgraudaina aleirīta apjoms. Ļoti smalkgraudaina aleirīta frakcijas apjoms ir diezgan līdzīgs iepriekšējās ziemas slānī esošajam.



3.15. attēls. Deviņpadsmitā, divdesmitā un divdesmit pirmā gada varvju granulometriskā sastāva sadalījums

Divdesmit otrā varve ir 6 cm bieza. Vasaras slānis ir pelēkā krāsā ar izteiktu slāņojumu tā vidusdaļā. Pāreja uz ziemas slāni, kas ir tumši brūns un viendabīgs, ir samērā krasa. Vidēji varvē ļoti rupjgraudaina aleirīta frakcija sastāda 0,3 %, rupjgraudains aleirīts – 4,6 %, vidējgraudains aleirīts – 13,5 %, smalkgraudains aleirīts – 20,8 %, ļoti smalkgraudains aleirīts – 23,1 %, māls – 37,8 %. Kopumā vērojams rupjgraudaināko daļiņu īpatsvara pieaugums salīdzinājumā ar iepriekšējo gadu.

Pārejā no ziemas uz vasaras slāni visizteiktāk izpaužas ievērojams māla frakcijas apjoma kritums un rupjgraudaina, vidējgraudaina un smalkgraudaina aleirīta frakciju īpatsvara

pieaugums (3.16. att.). Vasaras slāņa vidusdaļā redzams ļoti rupjgraudaina un rupjgraudaina aleirīta frakciju straujš pieaugums, kā arī visu smalkgraudaināko frakciju apjoma neliels samazinājums. Vasaras beigās ļoti rupjgraudaina līdz vidējgraudaina aleirīta frakciju apjoms samazinās, turpretī smalkgraudaina aleirīta līdz māla frakciju īpatsvars nedaudz pieaug. Vislielāko frakciju vasaras slānī veido smalkgraudains aleirīts (30 %).

Ziemas slāņa apakšējā daļā vislielāko samazinājumu granulometriskā sastāva sadalījumā piedzīvo rupjgraudaina un vidējgraudaina aleirīta frakcijas. Gan smalkgraudaina, gan ļoti smalkgraudaina aleirīta frakciju apjoms virzienā uz augšu arī ievērojami samazinās, tajā pašā laikā māla frakcijas īpatsvars būtiski pieaug, slāņa augšdaļā sasniedzot 87,7 %, bet slānī kopumā – 61,3 %. Tas liecina par mierīgiem nogulsnešanās vides apstākļiem, kas bijuši labvēlīgi māla daļiņu sedimentācijai (Ashley, 1995).

Divdesmit trešā varve ir 8 cm bieza. Vasaras slānī sīkākā, ritmiskā slāņojuma intensitāte pieaug virzienā uz augšu, tomēr pašā slāņa augšpusē slānīši vērojami retāk nav tik gaiši, kā vidusdaļā. Pāreja uz ziemu ļoti pakāpeniska. Vidēji varvē rupjgraudaina aleirīta frakcija sastāda 2,2 %, vidējgraudains aleirīts – 12 %, smalkgraudains aleirīts – 24,1 %, ļoti smalkgraudains aleirīts – 26,2 %, māls – 35,4 %.

Pārejā no ziemas māla frakcijas īpatsvars vasaras sākumā krītas teju piecas reizes, sastādot 19 %. Vērojama vidējgraudaina un smalkgraudaina aleirīta frakciju ievērojams pieaugums salīdzinājumā ar zemāk esošo ziemas slāni. Vasaras slānī rupjgraudains aleirīts sastāda vidēji 4,4 %, un vērojams šīs frakcijas īpatsvara pieaugums virzienā uz augšu. Citu frakciju īpatsvara izmaiņas nav nozīmīgas un saglabā apmēram vienādu līmeni visos paraugos, kas ņemti no vasaras slāņa. Māla frakcijas īpatsvars vasaras slānī samazinās tā vidusdaļā, bet palielinās slāņa beigās.

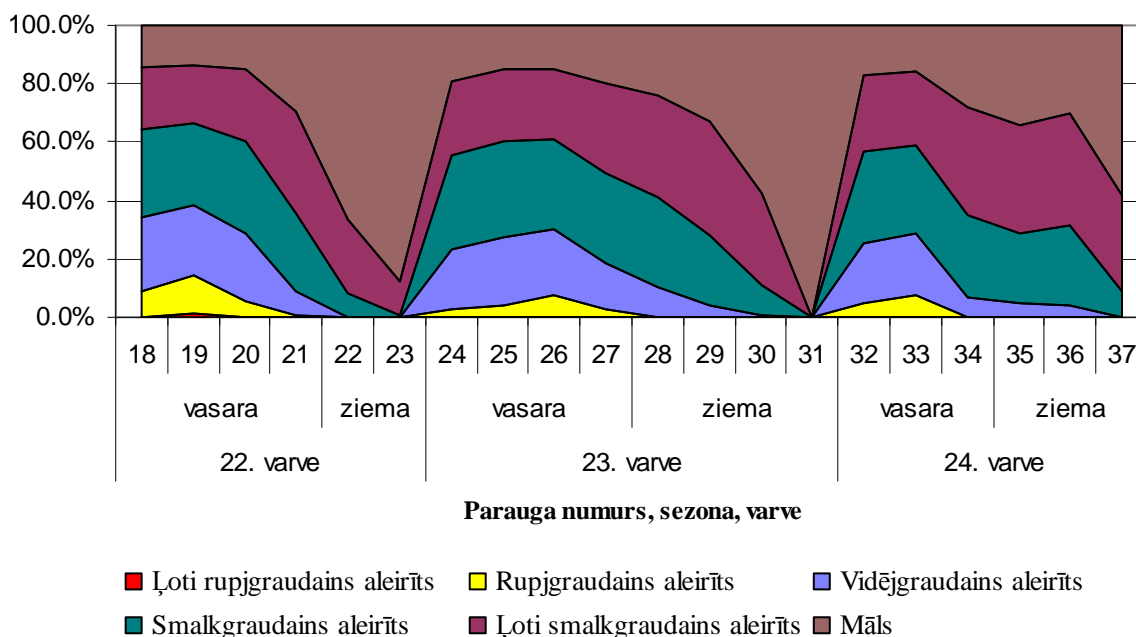
Ziemas slāņa sākumā rupjgraudaina un vidējgraudaina aleirīta frakciju īpatsvars gandrīz vienlīdzīgi samazinās, turpretī ļoti smalkgraudaina aleirīta un māla frakciju apjoms salīdzinoši nedaudz pieaug. Smalkgraudaina aleirīta frakcija ziemas slāņa sākumā ir apmēram tikpat liela, kā ziemas beigās. Visplašāk ziemas slānī pārstāvēta māla frakcija (53,6 %), kas piedzīvo ārkārtīgi lielu īpatsvara pieaugumu tieši ziemas slāņa augšdaļā, sasniedzot 99,7 %. Vidējgraudaina un smalkgraudaina aleirīta frakciju īpatsvars slānī pakāpeniski un ievērojami krītas, bet ļoti smalkgraudaina aleirīta frakcijas apjoms izteiktāko samazināšanos piedzīvo tikai ziemas slāņa beigās.

Divdesmit ceturtais varves biezums ir 6 cm. Vasaras slānis ir tumši pelēks, tā apakšējā daļā vērojamas vāji izteikti, sīkākā slānīši, kas vidusdaļā un augšpusē kļūst vienlīdz izteiksmīgas. Pāreja uz tumši brūno ziemas slāni ir visai krasa. Vidēji varvē rupjgraudaina

aleirīta frakcija sastāda 2 %, vidējgraudains aleirīts – 9,6 %, smalkgraudains aleirīts – 25 %, ļoti smalkgraudains aleirīts – 32,8 %, māls – 30,6 %.

Pāreja no iepriekšējā gada ziemas ir ārkārtīgi izteismīga, ko parāda māla frakcijas īpatsvara iespaidīgs samazinājums. Vislielāko frakciju vasaras slānī veido smalkgraudains aleirīts (vidēji 30 %). Diezgan līdzīgs īpatsvars granulometriskā sastāva sadalījumā vasaras slānī ir vidējgraudaina un ļoti smalkgraudaina aleirīta frakcijām. Lielākās izmaiņas slāņa ietvaros skar rupjgraudaina aleirīta un māla frakcijas. Rupjgraudaina aleirīta frakcijas apjoms slāņa vidusdaļā pieaug, savukārt māla īpatsvars – samazinās. Vasaras slāņa augšpusē māla frakcijas apjoms pieaug.

Divdesmit ceturtās varves ziemas slānī nav pārstāvētas ne ļoti rupjgraudaina, ne rupjgraudaina aleirīta frakcijas. Ziemas slāņa sākuma daļā, salīdzinot ar vasaras slāni, būtiski ir krities vidējgraudaina aleirīta frakcijas īpatsvars, kas ziemas slānī vidēji sastāda tikai 2,9 %. Smalkgraudaina aleirīta frakcijas īpatsvars ziemas slānī ir visai vienmērīgs līdz pat slāņa augšpusei, kur tas piedzīvo lielu samazināšanos (3.16. att.), līdz ar māla frakcijas pieaugošo īpatsvaru virzienā uz augšu. Ļoti smalkgraudaina aleirīta frakcijas apjoms atšķirībā no citu frakciju īpatsvara izmaiņām visos ziemas slāņa paraugos ir samērā nemainīgs.



3.16. attēls. Divdesmit otrā, divdesmit trešā un divdesmit ceturtā gada varvju granulometriskā sastāva sadalījums

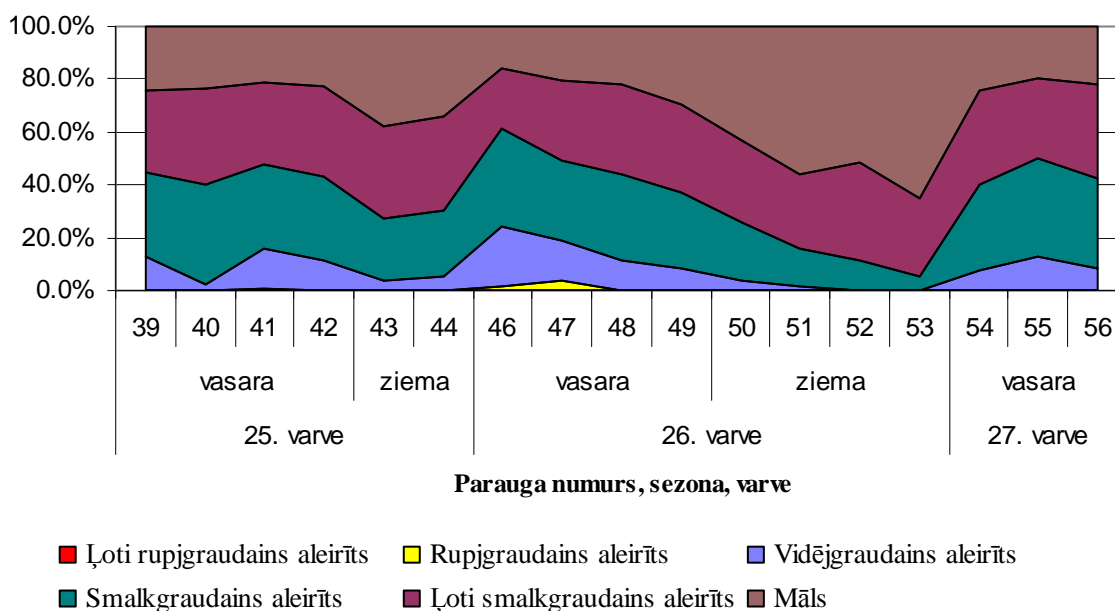
Divdesmit piektās varves biezums ir 6 cm. Vasaras slānis ir tumši pelēks ar izteiktu lamināciju tā vidusdaļā un augšpusē. Pāreja uz tumši brūno ziemas slāni ir samērā izteismīga. Vidēji varvē rupjgraudaina aleirīta frakcija sastāda 0,3 %, vidējgraudains aleirīts – 8,5 %, smalkgraudains aleirīts – 30,2 %, ļoti smalkgraudains aleirīts – 33,9 %, māls – 27,2

%. Salīdzinājumā dažu iepriekšējo gadu slāņiem varvē vērojams mazāks māla frakcijas īpatsvars un lielāks ļoti smalka aleirīta frakcijas apjoms.

Vasaras slānī dominē smalkgraudaina un ļoti smalkgraudaina aleirīta frakcijas, kas attiecīgi sastāda 33,2 % un 33 % slānī kopumā. Vasaras slāņa vidusdaļā, kur vērojams visizteiktākais sīkais slāņojums, frakciju īpatsvara pieaugumu piedzīvo rupjgraudaina un vidējgraudaina aleirīta frakcijas, savukārt sīkgraudaināko frakciju apjoms nedaudz samazinās. Slāņa beigās nedaudz pieaug māla un sīkgraudaina aleirīta frakciju apjoms. Kopumā vismazākās izmaiņas slānī skar ļoti smalkgraudaina aleirīta frakciju, bet vislielākās – vidējgraudaina aleirīta frakciju.

Ziemas slānis 25. varvē ir samērā plāns, un tā sākumu labi iezīmē paaugstinātais māla saturs (vidēji 35,7 %), kas slāņa beigās samazinās. Ļoti smalka aleirīta frakcijas īpatsvars atšķirībā no māla frakcijas turpina nedaudz pieaugt virzienā uz augšu sākot jau no vasaras slāņa vidusdaļas. Slāņa beigās pieaug arī vidējgraudaina un smalkgraudaina aleirīta frakciju īpatsvars (3.17. att.), kas varētu liecināt par salīdzinoši maigu un īsu ziemas periodu.

Divdesmit sestās varves kopējais biežums ir 8 cm. Vasaras slānis ir gaiši pelēks ar izteiktu slāņojumu vidusdaļā. Pāreja uz ziemas slāni ir pakāpeniska. Vidēji varvē rupjgraudaina aleirīta frakcija sastāda 0,6 %, vidējgraudains aleirīts – 7,9 %, smalkgraudains aleirīts – 22,7 %, ļoti smalkgraudains aleirīts – 30,8 %, māls – 38 %.



3.17. attēls. Divdesmit piektā, divdesmit sestā un divdesmit septītā gada varvju granulometriskā sastāva sadalījums

Pāreja no iepriekšējā gada ziemas slāņa ir skaidri nosakāma, tomēr nav izteikti krasa. Vasaras slānī lielāko frakciju pārstāv smalkgraudains aleirīts (32,1 %), kuras lielākais īpatsvars ir slāņa apakšējā daļā, kur nav vērojami gaišāko slānīšu ieslēgumi. Vasaras slāņa

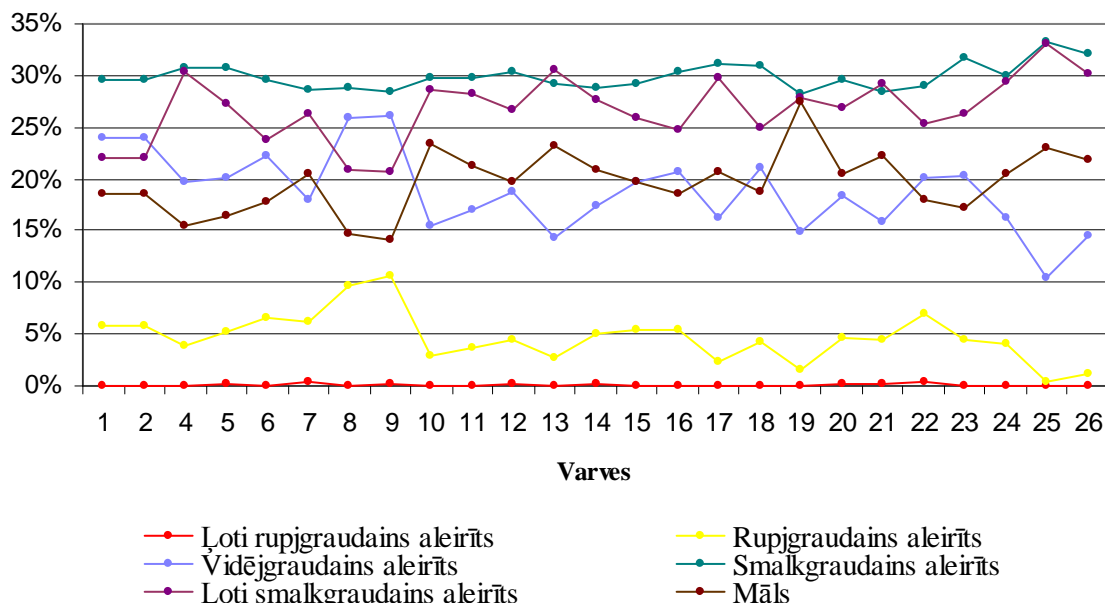
vidusdaļā pieaug rupjgraudaina aleirīta frakcijas apjoms, bet samazinās smalkgraudaina aleirīta īpatsvars. Slāņa beigās šo frakciju īpatsvara izmaiņas ir pretējas, respektīvi, rupjgraudaina aleirīta apjoms samazinās, savukārt smalkgraudaina aleirīta – pieaug. Vidējgraudaina aleirīta apjoms slānī pakāpeniski samazinās virzienā uz augšu, bet ļoti smalkgraudaina aleirīta, kā arī māla frakciju īpatsvars pakāpeniski pieaug.

26. varves ziemas slāņa sākumā, salīdzinot ar vasaras slāni, ir pieaudzis māla frakcijas apjoms un samazinājies citu frakciju īpatsvars. Māla frakcija ziemas slānī ir vislielākā, veidojot vidēji 54 %. Vidējgraudaina aleirīta apjoms slānī samazinās virzienā uz augšu un augšdaļā šī frakcija nav pārstāvēta vispār. Līdzīgs apjoma samazinājums skar smalkgraudaina aleirīta frakciju, kas vidēji ziemas slānī veido 13,2 %, bet beigu daļā tās apjoms ir vien 5 %. Māla frakcijas īpatsvars slānī pakāpeniski pieaug līdz pat ziemas slāņa otrajai pusei, kur tā apjoms nedaudz krītas (3.17. att.), kas savukārt atbilst ļoti smalka aleirīta frakcijas apjoma pieaugumam šajā vietā. Pašā ziemas slāņa augšdaļā turpinās māla frakcijas apjoma pieaugums un ļoti smalka aleirīta frakcijas īpatsvara samazināšanās.

Divdesmit septītajā varvē tehnisku iemeslu dēļ tika paņemti paraugi tikai no gaiši brūnā vasaras slāņa. Līdzīgi, kā citās apskatītā slokšņu māla intervāla augšējās daļas varvēs, vasaras slānī visplatākie un gaišākie slānīši redzami vidusdaļā. Tomēr, salīdzinot ar dažu iepriekšējo gadu varvju vasaras slāņiem, 27. varves vasaras slānī ir vairāk smalkgraudaino daļiņu un ir mazāks vidējgraudaina aleirīta frakcijas īpatsvars, kā arī vispār nav pārstāvēta rupjgraudaina aleirīta frakcija.

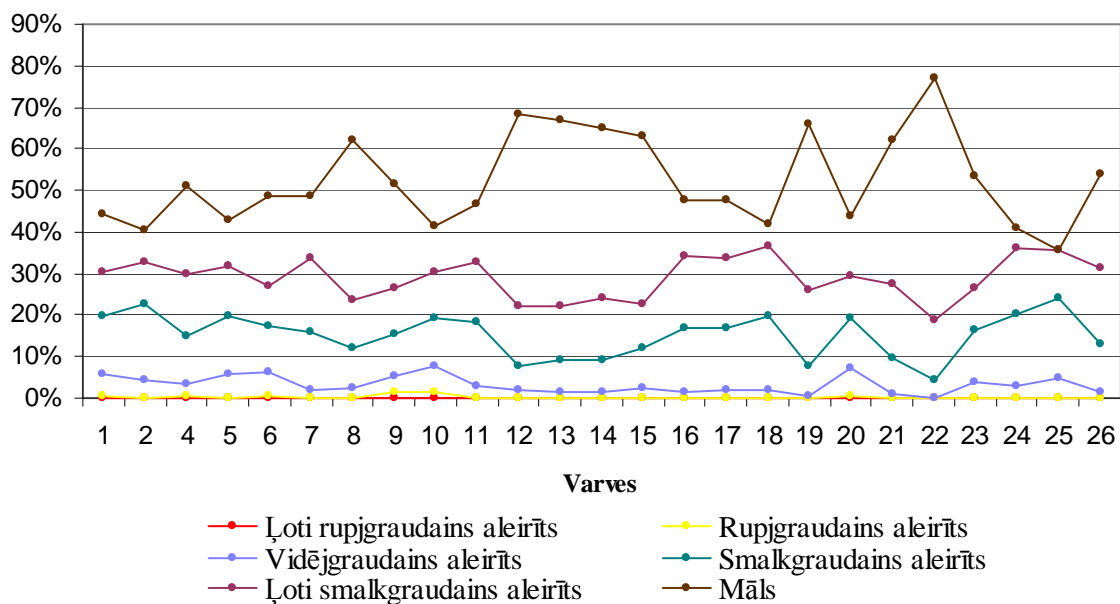
3.5. Granulometriskā sadalījuma sastāva izmaiņu kopsakarības varvēs

Vasaras slāņos līdzīgi mainās ļoti rupjgraudaina, rupjgraudaina, kā arī vidējgraudaina aleirīta frakciju īpatsvars (3.18. att.). Pretējas izmaiņas skar ļoti smalka aleirīta un māla frakcijas, kuru apjoms līdz ar rupjgraudaina un vidējgraudaina aleirīta frakciju īpatsvara pieaugumu krītas. Dominējošās smalkgraudaina aleirīta frakcijas izmaiņas vasaras slāņos ir vienmērīgas un nav tieši saistāmas ar kādas citas frakcijas īpatsvara fluktuācijām.



3.18. attēls. Granulometriskā sastāva frakciju īpatsvara izmaiņas varvju vasaras slāņos

Ziemas slāņos dominē māla frakcija, tādējādi, pieaugot vai samazinoties tās īpatsvaram, pārējo frakciju apjoms mainās pretēji (3.19. att.). Lai gan ļoti rupjgraudaina un rupjgraudaina aleirīta frakcijas ziemas slāņos ir sastopamas ļoti maz, to pieaugums vērojams slāņos, kuros kāpj vidējgraudaina un smalkgraudaina, kā arī daļēji ļoti smalkgraudaina aleirīta frakciju īpatsvars.



3.19. attēls. Granulometriskā sastāva frakciju īpatsvara izmaiņas varvju ziemas slāņos

4. DISKUSIJA

Pēc Benna un Evansa (1998) suspendētais sedimentācijas materiāls, kas ir ieplūdis ezerā, izplatās laterāli un izgulsnējas pakāpeniski ātrumā, kas ir proporcionāls daļiņas izmēram. Varves atspoguļo daļiņu izmēra mainību un ieplūstošā sedimentācijas materiāla daudzumu, kas atkarīgs no kušanas cikliem un klimata. Kā uzskata Hangs ar līdzautoriem (2007), dominējošais māla un aleirīta frakciju pārsvars liecina par galvenokārt smalkgraudaina materiāla pieplūdi.

Apskatītajā Audru apkaimes slokšņu mālu griezuma daļā var izdalīt divu veidu varves. Tādas, kurās vasaras slānī graudiņu izmēri samazinās virzienā uz augšu un tādas, kur vasaras slāņa vidusdaļā pieaug rupjāko frakciju īpatsvars. Ziemas slāņos gandrīz visās apskatītajās varvēs mālaino daļiņu īpatsvars pieaug virzienā uz augšu, savukārt rupjgraudaināko frakciju apjoms samazinās, kas, kā raksta Ešlijs (1995), parāda ūdens pakāpenisko attīrīšanos ziemas mēnešos.

Vērojams, ka pirmā veida varves (1., 4., 5., 13., 16., 26.), kuras varētu liecināt par mierīgiem un mazāk traucētiem sedimentācijas apstākļiem, ir mazāk pārstāvētas, tomēr ir atrodamas dažādās griezuma daļās. Otrā veida varvju (2., 6., 7., 8., 9., 10., 11., 12., 14., 15., 17., 18., 20., 21., 22., 23., 24., 25.), kuru granulometriskā sastāva sadalījums norāda uz periodisku pastiprinātu kušanu vai vētru norisināšanos, kas radījušas rupjgraudaināka materiāla ieplūdi baseinā, ir ievērojami vairāk. Tas liecina par sedimentācijas apstākļu mainību un cikliskumu salīdzinoši īsā laika periodā, kas norisinājies pleistocēna beigu posmā plašajā Baltijas ledus ezerā, Igaunijas teritorijas dienvidrietumu daļā.

Pirmā veida varvju vasaras slāņos nav izteiktu gaišāku slānīšu ieslēgumu, un tie ir samērā viendabīgi. Zolička (2007) norāda, ka klastiskajās varvēs vērojama graudiņu samazināšanās virzienā uz augšu, savukārt pēc Ešlija (1995) domām ilgstošas akumulācijas apstākļos šādas izmaiņas praktiski nevar novērot. Tas, ka rupjgraudainākais materiāls vairāk nogulsņējis vasaras sezonas sākumā, varētu liecināt par to, ka intensīvākā ledāja kušana un daļiņu sedimentācija ir notikusi pavasarī, kam sekojusi samērā vēsa vasara, kuras laikā daļiņas pakāpeniski un samērā netraucēti izgulsnējās no suspensijas.

Visu varvju vasaras slāņu beigās redzama smalkāko daļiņu pastiprināta nogulsnēšanās ko, kā norāda Ešlijs (1995), izraisa termālās stratifikācijas izjaukšana rudenī, kad ūdens baseina augšējā daļā ar suspendētajām smalkajām daļiņām nogrimst ezera dibenā. Smalkāko daļiņu izgulsnēšanās iespējamību vasaras beigās un rudenī nosaka arī ledāja kušanas intensitātes samazināšanās, kas ierobežo rupjgraudaināko daļiņu ieplūšanu baseinā (Bennet and Classer, 1996).

Vairumā no bakalaura darbā pētītajām varvēm ir raksturīgs rupjgraudaināko frakciju īpatsvara pieaugums vasaras slāņa vidusdaļā (otrā veida varves), kas pēc Beneta un Klasera (1996) iedalījuma atbilst vēla pavasara un agras kušanas posmiem, kad pa labi attīstīto drenāžas sistēmu ledājā izplūst lielākā daļa no gada kopējā kušanas ūdeņu daudzuma. Periodos ar maksimālu izplūdi raksturīga augstākas enerģijas apstākļi ūdenstilpnē, t. i., vēja radītās straumes, turbidītu plūsmas un dažādi sajaukšanās procesi (Hodder, 2001), līdz ar to tiek kavēta smalkgraudaināko daļiņu izgulsnēšanās. Hanga ar līdzautoriem pētījumā par Pērnavas apgabala slokšņu māliem (2007) analizēts granulometriskā sastāva sadalījums 8 varvju ietvaros. Tiek norādīts uz māla frakcijas īpatsvara pieaugumu vasaras slāņa beigās, kā arī izcelts rupjgraudaina aleirīta frakcijas pieaugums vasaras slāņa otrajā pusē. Kā norāda Sārse (1992), Rietumigaunijas zemienes slokšņu mālos šāds granulometriskā sastāva sadalījums veidojies atšķirīgās kušanas intensitātes, vētraiņo periodu un neregulāro ledāja kušanas straumju dēļ. Rudens vētru ietekme uz rupjgraudaināko daļiņu izgulsnēšanos uzsver arī Bennis un Evanss (1998).

Bakalaura darbā pētītajos Audru apkārtnes slokšņu mālos robežas starp vasaras un ziemas slāņiem ir gan pakāpeniskas, kas atspoguļo sedimentācijas materiāla izkliedi un proglaciālā ezera plašo izmēru, gan arī relatīvi krasas. Šie māli veidojušies Vislas apledojuuma beigu posmā, kad Baltijas ledus ezera dziļums uz dienvidiem no Pandiveres ledāja malas veidojumiem sasniedza 20 – 40 m (Saarse, 1992; Rosentau et al., 2008). Ešlijs (1995) norāda, ka robeža starp vasaras un ziemas slāņiem bieži vien ir arī izteikta, kas iezīmē nogulumu akumulācijas pārtraukumu vai ūdens sajaukšanos rudenī.

Izteiktā robeža starp atsevišķām varvēm veidojas, intensīvi kūstot ziemas sniegam pavasarī, kad izveidojas pastiprinātas ledāja kušanas straumes. Līdz ar to pieaug ūdens spiediens ledājā, kas savukārt izveido un paplašina drenāžas kanālu tīklu. Tā rezultātā baseinā ieplūst rupjgraudains sedimentācijas materiāls (Bennet and Classer, 1996).

Bakalaura darbā apskatītajā slokšņu mālu griezumā intervālā vasaras slāņi vidēji ir biežāki nekā ziemas slāņi, tomēr nav vērojamas kādas varves komponentes biežuma pieaugšanas vai samazināšanās likumsakarīgas tendences. Tas varētu būt skaidrojams ar samērā nelielo pētījumā iekļauto varvju skaitu. Benets un Klasers (1996) norāda, ka ledāja malas tuvumā rupjgraudainākie slāņi ir biežāki un ka varvēs vērojama vidējā daļiņu izmēra samazināšanās virzienā uz augšu. Pēc Kalma (2006) datiem ledājs Igaunijas teritorijā atkāpies ar ātrumu vidēji 110 m/gadā, līdz ar to var secināt, ka aplūkotā slokšņu mālu intervāla apakšējā daļa veidojusies apmēram 2,9 km tuvāk ledāja malai nekā augšējie slāņi. Iespējams tādēļ vērojama samērā neliela daļiņu izmēra samazināšanās griezumā virzienā uz augšu.

SECINĀJUMI

Bakalaura darba izstrādes gaitā iegūtā informācija un to salīdzinājums ar atzītu autoru pētījumu rezultātiem un viedokļiem sniedz iespēju interpretēt īslaicīgas klimatisko apstākļu izmaiņas, atkāpjoties pēdējam apledojumam, Igaunijas dienvidrietumu teritorijā.

Bakalaura darba izvirzītais mērķis ir sasniegts un izvirzītie uzdevumi izpildīti, kas ļauj no bakalaura darba pētījumā iegūtiem rezultātiem izdarīt vairākus secinājumus:

1) granulometriskā sastāva analīze ar lāzerdifrakcijas granulometru ir vairāk piemērota šāda veida pētījumiem, jo tā ir salīdzinoši ātra metode, un tās veikšanai nepieciešams neliels parauga apjoms. Lāzerdifrakcijas metodes trūkums ir iespējama mālaino daļiņu izmēra pārvērtēšana, kas rezultātos atspoguļojas kā mazāks smalkgraudaino frakciju īpatsvars;

2) hidrometra metodes kvalitatīvai veikšanai nepieciešami samērā lieli paraugi, kurus bieži vien nav iespējams iegūt nelielā urbuma serdes diametra vai varvju mazā biezuma dēļ. Detāla granulometriskā sastāva analīžu veikšana ar hidrometra metodi varvju ietvaros ir laukietilpīgs un sarežģīti realizējams process;

3) vasaras slāņos griezumā virzienā uz augšu kopumā nedaudz pieaug smalkgraudaina, ļoti smalkgraudaina aleirīta un māla frakciju īpatsvars, savukārt samazinās rupjgraudaina un ļoti rupjgraudaina aleirīta apjoms. Ziemas slāņos šīs tendences ir līdzīgas, bet nav tik izteiktas;

4) varvju vasaras slāņos līdzīgas īpatsvara izmaiņas skar ļoti rupjgraudaina, rupjgraudaina, kā arī vidējgraudaina aleirīta frakcijas. Pretējas izmaiņas notiek ļoti smalka aleirīta un māla frakciju apjomos, kuru īpatsvars līdz ar rupjgraudaina un vidējgraudaina aleirīta frakciju īpatsvara pieaugumu krītas;

5) ziemas slāņos dominē māla frakcija, tādējādi, pieaugot vai samazinoties tās īpatsvaram, pārējo frakciju apjoms mainās pretēji;

6) Audru apkaimes slokšņu mālos sastopamas divu veidu varves. 1. veids - vasaras slānī graudiņu izmēri samazinās virzienā uz augšu, kas liecina par salīdzinoši mierīgiem sedimentācijas apstākļiem. 2. veids - vasaras slāņa vidusdaļā pieaug rupjāko frakciju īpatsvars, kas varētu liecināt par periodiski pastiprinātu ledāja kušanu vai pakāpenisku sedimentāciju traucējošiem apstākļiem, piemēram, vētrām, vasarā;

7) ziemas slāņos gandrīz visās apskatītajās varvēs mālaino daļiņu īpatsvars pieaug virzienā uz augšu, savukārt rupjgraudaināko frakciju apjoms samazinās, kas norāda uz sedimentācijas materiāla pieplūduma pārtraukumu un graudiņu nogulsnešanās atkarību no izmēra.

Pētījuma rezultāti apliecina, ka, veicot detālu granulometriskā sastāva analīzi atsevišķu varvju ietvaros, iespējams vismaz daļēji rekonstruēt pagātnes vides apstākļus. Attīstot un pilnveidojot pētījumu, iespējams, varētu uzlabot varvju un sezonālo slāņu robežu noteikšanas iespējas slokšņu mālos, kur vizuāla robežu noteikšana ir problemātiska, tādējādi paverot iespējas tos labāk korelēt ar slokšņu māliem citās baseina daļās. Turpinot šo pētījumu, būtu interesanti novērot granulometriskā sastāva sadalījuma atšķirības slokšņu mālu griezumos, kas atrodas nelielā attālumā cits no cita, lai analizētu atšķirības un novērtētu iespējamību iegūtos rezultātus attiecināt uz plašāku teritoriju.

LITERATŪRAS SARAKSTS

Publicētā literatūra

- Ashley, G.M. 1995. Glaciolacustrine environments. In: Menzies, J. (ed.) *Modern Glacial Environments*. United Kingdom, Butterworth - Heinemann, Oxford, 543 p.
- Benn, D.I., Evans, D.J., 1998. *Glaciers and glaciation*. London, Arnold, 734 p.
- Bennett, M.R., Claller, N.F. 1996. *Glacial geology: ice sheets and landforms*. Chichester a.o.: Wiley, 346 p.
- Blott, S., Pye, K. 2001. Gradistat: A Grain Size Distribution and Statistics Package for The Analysis of Unconsolidated Sediments. In: *Earth Surface processes and Landforms*. (26), 1237-1248.
- Collins, D. 1990. *Seasonal and annual variations of suspended sediment transport in meltwaters draining from an Alpine glacier*. IAHS Publication (193), 439-446.
- Dolz, M., Casanovas, A., Delegido, J., Hernandez, M.J. 2004. An Experimental Setup to Verify Stokes' Law Using an Electronic Balance. In: *Revista Mexicana De Fisica*. (1), 29-30.
- Ehlers, J., 1995. *Quaternary and Glacial Geology*. Chichester, J. Wiley & Sons, 578 p.
- Eshel, G., Levy, G.J., Mingelgrin, U., Singer, M.J. 2004. Critical Evaluation of the Use of Laser Diffraction for Particle-Size Distribution Analysis. *Soil Science Society of America*. (68), 736-743.
- Hang, T. 2003. A local clay-varve chronology and proglacial sedimentary environment in glacial Lake Peipsi, eastern Estonia. *Boreas*.(32), 416-426.
- Hang, T., Talviste, P., Reinson, R., Kohv, M. 2007. *Proglacial sedimentary environment in Parnu area, western Estonia, as derived from the varved clay studies*. Geological Survey of Finland, Special Papers. (46), 79 - 86.
- Hubbard, B., Glassen, N. 2005. *Field techniques in glaciology and glacial geomorphology*, Chichester, Wiley, 400 p.
- Kalm, V. 2006. Pleistocene chronostratigraphy in Estonia, southeastern sector of the Scandinavian glaciation. *Quaternary Science Reviews*. (25), 960-975.
- Kuršs, V., Stinkule, A. 1972. *Māli Latvijas zemes dzīlēs un rūpniecībā*. Liesma, Rīga, 83 lpp.
- Raukas, A., 1993. *Pleistocene stratigraphy, ice marginal formations and deglaciation of the Baltic states: Excursion guide*. Estonian Academy of Sciences, Tallinn, 60 p.
- Raukas, A., 2008. When and how did the continental ice retreat from Estonia? *Quaternary International*. (207), 50-57.

- Rosentau, A.; Vassiljev, J.; Hang, T.; Saarse, L.; Kalm, V. 2009. Development of the Baltic Ice Lake in the eastern Baltic. Elsevier. *Quaternary International*. (206), 16-23.
- Saarse, L. 1979. *Distribution and conditions of sedimentation of limnoglacial clayey deposits in South Estonia*. Eesti NSV Teaduste Akadeemia Toimetised. Geologia. 28(4), 145-151.
- Saarse, L. 1980. *On the formation, composition and geotechnical properties of glaciolacustrine clays of South Estonia*. Rõuk, A.-M. (Toim.). Selected studies in geography (28 - 40). Tallinn: Academy of Sciences of the Estonian SSR.
- Saarse, L. 1992. *Textural and structural characteristics of the Estonian varved clays*. In: Saarnisto M., Kahra A., (Eds.), *Laminated Sediments*. Special Paper, vol. 14. Espoo, Geological Survey of Finland, 55–63.
- Zolitschka, B. 2007. Varved lake sediments. In: *Encyclopedia of quaternary science*. Ed: Elias, S.A. Amsterdam, Elsevier, 3105–3114.
- Вярсси А.Р., Каяк К.Ф., Каяк Х.В., Кирс Э.Э., Лийвранд Х.И. 1971. *Геологическая и гидрогеологическая карты СССР масштаба 1: 200 000*. Лист 0–35–XIII. Москва, 1–159.
- Раукас, А., 1978. *Плейстоценовые отложения Эстонской ССР*. Валгус, Таллин, Эстония, 309 с.

Nepublicētā literatūra

- Hodder, K.R. 2001. Holocene and recent sedimentation record from glacierfed mud lake, British Columbia, Canada: A thesis submitted in conformity with the requirements for the degree of Master of Science. Graduate Department of Geography, University of Toronto, 139 p.
- Popovs, K. 2009. Gultnes morfoloģijas un nogulumu transporta modelēšana Rīvas lejtecē: bakalaura darbs. Rīga, LU Ģeogrāfijas un zemes zinātņu fakultāte, Latvijas Universitāte, 66 lpp.

Interneta resursi

- IUPUI Department of Earth Sciences [Bez dat.] *Particle Size Determination*. Indiana University, Indianapolis. Sk. 2.02.2010. Pieejams
<http://www.geology.iupui.edu/research/SoilsLab/procedures/psd/>

Latvijas Universitāte [Bez dat.] *Fricsh Analisette 22 comapct lāzerdifrakcijas granulometrs.*

Sk. 14.03.2010. Pieejams

http://www.lu.lv/fileadmin/user_upload/lu_portal/petnieciba/strukturvienibas-infrastruktura-personals/iekartas/1_Laazerdifrakcijasgranulometrs_GZZF.pdf

Estonian Land Board 2006. *Estonian Web Map Server.* Sk. 6.01.2010. Pieejams

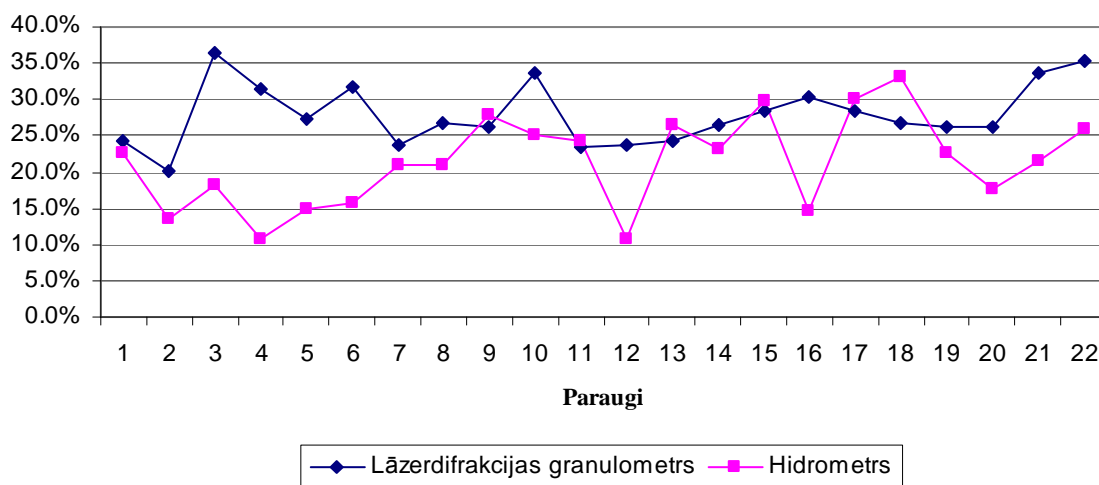
<http://geoportaal.maaamet.ee/>

Raukas, A., Teedumae, A. (eds). 1997. *Geology and Mineral Resources of Estonia.* Institute of Geology at Tallinn univercity of Technology. Sk. 7.01.2010. Pieejams

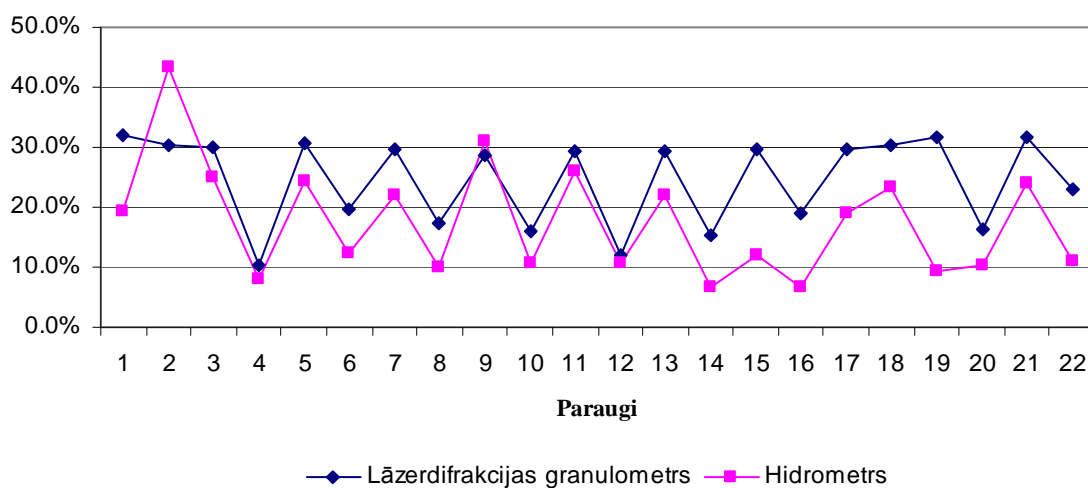
<http://sarv.gi.ee/geology/>

PIELIKUMS

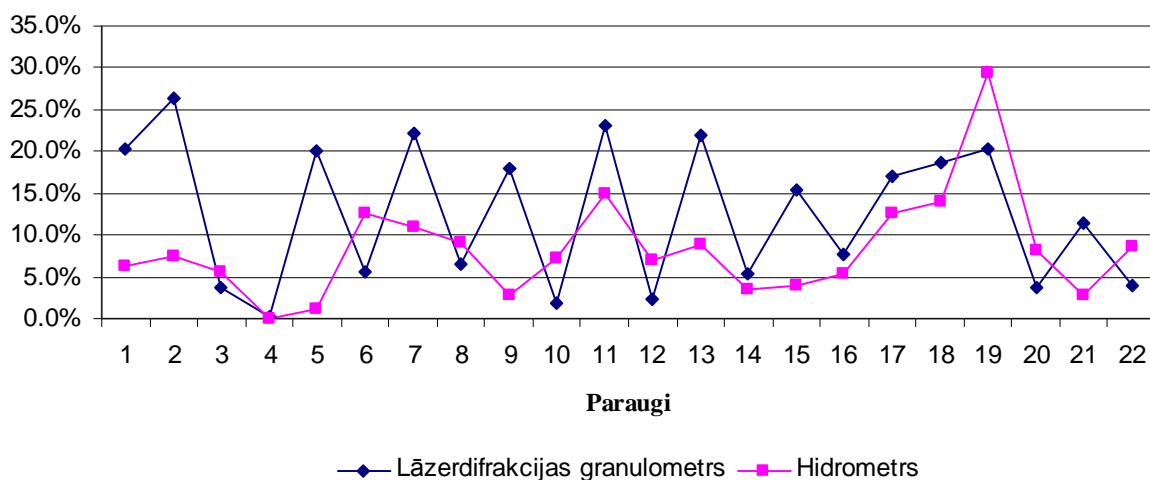
1. pielikums. Ļoti smalkgraudaina aleirīta frakcijas īpatsvara mērījumu salīdzinājums ar lāzerdifrakcijas granulometru un hidrometra metodi



2. pielikums. Smalkgraudaina aleirīta frakcijas īpatsvara mērījumu salīdzinājums ar lāzerdifrakcijas granulometru un hidrometra metodi



3. pielikums. Vidējgraudaina aleirīta frakcijas īpatsvara mērījumu salīdzinājums ar lāzerdifrakcijas granulometru un hidrometra metodi



4. pielikums. Rupjgraudaina aleirīta frakcijas īpatsvara mērījumu salīdzinājums ar lāzerdifrakcijas granulometru un hidrometra metodi

