

LATVIJAS UNIVERSITĀTES
RAKSTI

767. SĒJUMS

Zemes un vides
zinātnes

SCIENTIFIC PAPERS
UNIVERSITY OF LATVIA

VOLUME 767

Earth and
Environmental Sciences

SCIENTIFIC PAPERS
UNIVERSITY OF LATVIA

VOLUME 767

Earth and
Environmental Sciences

UNIVERSITY OF LATVIA

LATVIJAS UNIVERSITĀTES
RAKSTI

767. SĒJUMS

Zemes un vides zinātnes

LATVIJAS UNIVERSITĀTE

UDK 567(082)+554
Ze 556

Galvenais redaktors (Editor-in-Chief):

Prof. Dr. geol. **Vitālijs ZELČS**

Izpildredaktore (Executive editor):

Dr. geogr. **Zanda PENĒZE**

Redaktora vietnieki (Associate Editors):

Prof. Dr. geogr. **Agrita BRIEDE** (klimatoloģija un hidroloģija)

Prof. Dr. habil. chem. **Māris KĻAVIŅŠ** (vides zinātne)

Prof. Dr. geogr. **Zaiga KRIŠJĀNE** (cilvēka ģeogrāfija)

Prof. Dr. geol. **Ervīns LUKŠEVIČS** (pamatiežu ģeoloģija)

Prof. Dr. biol. **Viesturs MELECIS** (vides bioloģija)

Prof. Dr. geogr. **Oļģerts NIKODEMUS** (ainavu un augsnes ģeogrāfija)

Dr. geol. **Juris SOMS** (kvartāra ģeoloģija un ģeomorfoloģija)

Prof. Dr. geol. **Valdis SEGLIŅŠ** (lietišķā ģeoloģija un ģeofizika)

Dr. habil. phys. **Juris ŽAGARS** (ģeomātika)

Asoc. prof. Dr. geogr. **Pēteris ŠKIŅĶIS** (telpiskā plānošana)

Redakcijas padomes locekļi:

Prof. Emeritus, Dr. habil. geol. **Ojārs ĀBOLTIŅŠ** (Latvijas Universitāte)

Prof. Ph. D. **Lars Bengt Ake BERGMAN** (Stokholmas Universitāte)

Dr. geol. **Albertas BITINAS** (Klaipēdas Universitāte)

Ph. D. **Edmunds BUNKŠE** (Delavēras Universitāte)

Dr. geogr. **Anita DRAVENIECE** (Latvijas Zinātņu akadēmija)

Prof. Emeritus, Dr. habil. geogr. **Guntis EBERHARDS** (Latvijas Universitāte)

Dr. geogr. **Zenonas GULBINAS** (Viļņas Ģeogrāfijas institūts)

Ph.D. **Peter JOHANSSON** (Somijas Ģeoloģijas dienests)

Dr. habil. agr. **Aldis KĀRKLIŅŠ** (Latvijas Lauksaimniecības Universitāte)

Prof. Dr. geogr. **Maija ROŽĪTE** (Biznesa augstskola Turība)

Latviešu teksta literārā redaktore **Ruta Puriņa**

Angļu teksta literārais redaktors **Imants Mežaraups**

Maketu un vāka noformējumu veidojusi **Andra Liepiņa**

Visi krājumā ievietotie raksti ir recenzēti.

Pārpublicēšanas gadījumā nepieciešama Latvijas Universitātes atļauja.

Citējot atsauce uz izdevumu obligāta.

© Latvijas Universitāte, 2011

ISBN 978-9984-45-325-5

Satura rādītājs

Ivars Celiņš, Māris Nartišs

Iekšzemes kāpas Sedas līdzenumā

Inland Dunes at Seda Plain 6

Māris Dauškans

Kēmu terašu morfoloģija un uzbūves īpatnības Vidzemes augstienē

Morphology and Internal Structure of Kame Terraces, Vidzeme Upland 17

Māris Krievāns

Rauņa ielejas attīstība leduslaikmeta beigu posmā un holocēnā

Development of the River Raunis Valley During Late Glacial and Holocene 35

Kristaps Lamsters

Madlienas nolaidenuma glaciotehtoniskās reljefa formas

Glaciotectonic Landforms in the Madliena Tilted Plain 48

Jānis Prots, Valdis Segliņš, Ģirts Kuplais

Factors Determining Distribution of Sulphides in Shallow Aquifers in Natural Conditions

Faktori, kas nosaka sulfīdu sadalījumu sekļajos ūdens horizontos dabiskos apstākļos 62

Juris Soms, Laimdota Kalniņa

Daugavas senielejas vecgravu morfoloģijas un koluviāli-proluviālo nogulumu pētījumi erozijas formu vecuma noteikšanas iespēju kontekstā

Studies of Morphology and Colluvium of Old Gullies in the Daugava River Ancient Valley with Respect to the Determination of Erosion Landforms Age 75

Imants Kukuļs, Raimonds Kasparinskis, Linda Ansons

Lauksaimniecības zemju apmežošanas ietekme uz augsnes humusu

Impact of Agricultural Land Afforestation on Soil Humus 93

Eleonora Pērkone, Baiba Raga, Aija Dēliņa

Smilšaino nogulumu granulometriskā sastāva, filtrācijas koeficienta un mitruma sakarības

Correlation of Grain Size, Permeability and Moisture Content of Sandy Sediments 104

Daiga Pipira, Ģirts Stinkulis

Devona Lodes svītas uzbūve un sastāvs Liepas mālu atradnes rietumu daļā

Geological Structure and Composition of the Devonian Lode Formation in the Western Part of the Liepa Clay Deposit 117

Inga Retiķe

Baronu HES ūdenskrātuves ietekme uz gruntsūdeņu kvalitāti

Baronu HPP Reservoir Impact on Groundwater Quality 125

Ervīns Lukševičs, Ligita Lukševiča

Mūsdienu paleontoloģija: 3. Starptautiskā paleontoloģijas kongresa materiālu analīze

Contemporary Paleontology: Analysis of the Materials of the 3rd International Paleontology Congress 136

Iekšzemes kāpas Sedas līdzenumā *Inland Dunes at Seda Plain*

Ivars Celiņš, Māris Nartišs

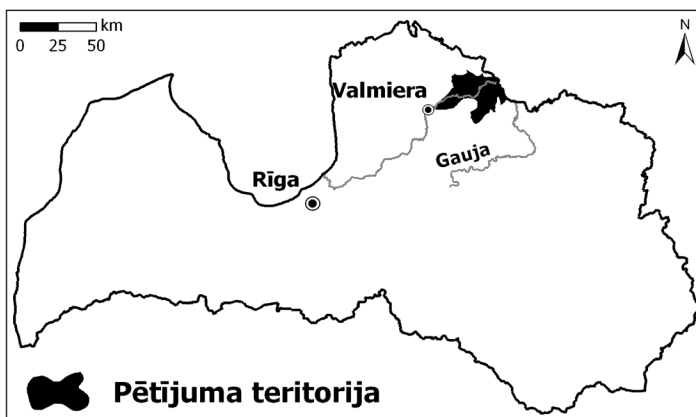
Latvijas Universitāte
Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte
Raiņa bulv. 19, Rīga, LV-1586,
E-pasts: *ivars.celins@lu.lv*; *maris.nartiss@gmail.com*

Rakstā sniegti oriģinālpētījumu rezultāti par Sedas līdzenumā sastopamo iekšzemes kāpu izplatību, telpisko sakārtojumu un morfoloģiju. Kāpu telpiskā izplatība tika noteikta un morfoloģiskie mērījumi veikti GIS vidē, izmantojot lielmēroga topogrāfiskās kartes. Pētījumu rezultāti liecina, ka teritorijā atrodas galvenokārt līdz 5 m augstas kāpas, kuras izvietušās vairākās grupās, un to stabilizācijas laikā ir dominējuši ziemeļrietumu, rietumu un rietumu–dienvidrietumu virziens vēji.

Atslēgvārdi: kāpas, morfoloģiskās īpatnības, paleovēja virziens, kāpu telpiskais sakārtojums.

Ievads

Iekšzemes kāpas ir nozīmīgs reljefa vidējformu kopums, kas veido plašu un garu joslu gar pēdējā apledošanas un tā deglaciācijas fāzes malas veidojumiem, kuri sākas Jitlandes pussalā un ar pārtraukumiem ir labi izsekojami līdz pat Urālu kalniem, tostarp arī Baltijas valstu teritorijās (Jungerius and Riksen 2010). Neskatoties uz to, iekšzemes kāpas gan Latvijā, gan kaimiņvalstu teritorijās ir



1. att. Pētījuma teritorijas ģeogrāfiskais novietojums Latvijā (izstrādāts, izmantojot Envirotech, 2004)

Fig. 1. Geographical Location of the Study Area in Latvia (Made, Using Envirotech, 2004)

nepietiekami pētītas reljefa formas, bet iekšzemes kāpas Sedas līdzenumā (1. att.) ir tikai vispārīgi pieminētas atsevišķos pētījumos (Nomals 1943; Aboltins 1971; Līcis 2006). Izpratne par iekšzemes kāpu vecumu un veidošanās apstākļiem var sniegt atbildes uz daudziem jautājumiem, kas saistīti ar kāpu aktivitātes ilgumu un klimata izmaiņām pēdējā apledošanas beigu posmā un pēclēduslaikmetā. Pēc kāpu morfoloģijas un telpiskā izvietojuma var spriest par to attīstības dinamiku, ilgstoši valdošo vēju režīma raksturu un ģeoloģiskajiem apstākļiem to izplatības teritorijā. Arī veģetācija un teritorijas topogrāfija ir nozīmīgs faktors, kas ietekmē kāpas morfoloģiju (Lancaster 2004).

Pēdējos gadus iekšzemes kāpu telpiskā izvietojuma un morfoloģijas izpētē novērojams straujš progress un starptautiska sadarbība, un tas galvenokārt skaidrojams ar aizvien pieaugošo satelītuizpētumu un ortofoto karšu pieejamību (Lancaster 2004). Aplūkojot kāpu organizāciju divdimensiju plaknē, var atklāties vides apstākļu maiņas, jo kāpu sistēmas ir ļoti jutīgas pret klimata izmaiņām un nogulumu pieejamību (Wilkins and Ford 2006).

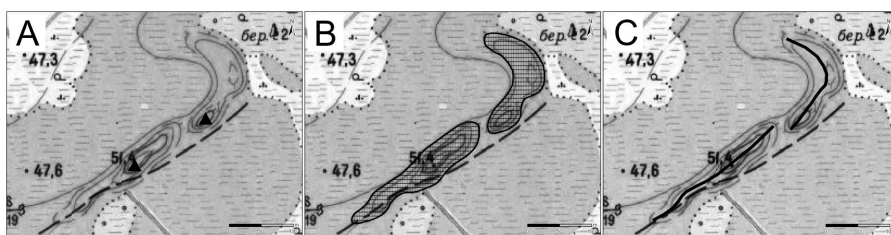
Ņemot vērā iepriekš minēto, pētījuma mērķis bija noteikt iekšzemes kāpu telpisko izplatību, morfoloģiju un veidošanās laikā dominējošos paleovēju virzienus Sedas līdzenumā, izmantojot kartogrāfiskos materiālus.

Materiāli un metodes

Kāpu izplatības noteikšana, morfoloģiskie mērījumi un rezultātu analīze

Kāpu telpiskā izplatība tika noteikta ar *ESRI ArcGis 9.2.* un *Quantum GIS* programmu, izmantojot PSRS armijas Ģenerālštāba topogrāfiskās kartes mērogā 1 : 10 000 (TOPO 10K PSRS), bet teritorijās, kur nebija pieejamas šo karšu lapas, tika lietotas PSRS armijas Ģenerālštāba topogrāfiskās kartes mērogā 1 : 25 000 (TOPO 25K63g PSRS). Lai precizētu eolo nogulumu izplatību Sedas līdzenumā, tika izmantota arī M 1 : 200 000 Latvijas kvartārģeoloģiskā karte (LVGD Kvartārģeologija).

Ņemot vērā izolīniju savstarpējo izvietojumu ĢIS vidē, tika identificēta katras kāpas pamatne un saglabāta kā laukumveida objekts vienotā vektordatu slānī



Apzīmējumi

- ▲ Kāpas virsotne ▨ Kāpas pamatnes laukums — Kāpas garenass

2. att. Vektordatu slāņu veidošanas shēma (izstrādāts, izmantojot TOPO 10K PSRS)

A – kāpas virsotne; B – kāpas laukums; C – kāpas garenass

Fig. 2. Scheme of Creating the Vector Data Layers (Derived from TOPO 10K PSRS)
A – Top of the Dune; B – Area of the Dune Base; C – Longitudinal Axis of the Dune

„Kapas” (2. B att.). Vektordatu slāņa „Kapas” datubāzē ir saglabāti 2276 kāpu laukumveida objekti.

Balstoties uz vektordatu slāni „Kapas”, tika izveidotas kāpu telpiskā blīvuma kartoshēma. Blīvuma aprēķināšanai tika radīts brīvi pozicionēts kilometru tīkls. Tika saskaitīts katrā tīkla šūnā pilnībā vai daļēji ietilpstošo kāpu pamatnes laukumu skaits.

Morfoloģiskie mērījumi ietvēra kāpu relatīvā un absolūtā augstuma, garuma un orientācijas noteikšanu, izmantojot iepriekš minētās ĢIS programmas un kartogrāfiskos materiālus.

Kāpas absolūtais augstums tika noteikts pēc augstuma atzīmēm topogrāfiskajās kartēs, bet, ja virsotnē kādas konkrētas kāpas nebija, tad, vadoties pēc tuvākās absolūtās augstuma atzīmes, tika skaitītas izolīnijas un pēc izolīniju skaita un vērtības aprēķināts augstums (2. A. att.).

Katras kāpas relatīvais augstums tika noteikts kā starpība starp virsotnes un pamatnes absolūto augstumu. Katras kāpas absolūtā augstuma un relatīvā augstuma vērtības tika saglabātas punktveida vektordatu slāņa „Virsotnes” datubāzē.

Izmantojot iegūtos kāpu relatīvos augstumus, *MS Excel* programmatūrā tika izveidots kāpu virsotņu relatīvā augstuma sadalījuma grafiks.

Katrai kāpai, balstoties uz izveidoto vektordatu slāni „Kapas” un PSRS armijas Ģenerālštāba topogrāfisko karti mērogā 1 : 10000 (TOPO 10K PSRS), tieši pa vidusdaļu tika izzīmēta garenass un saglabāta kā līnijveida objekts vienotā vektordatu slānī „Kapu_garenasis” (2. C att.). Garenasis tika izzīmētas tikai tādām kāpām, kuru platuma un garuma attiecība ir vismaz viens pret trīs. Vektordatu slāņa „Kapu_garenasis” datubāzē ir saglabātas 1529 kāpu garenasis. Papildus datubāze tika papildināta ar informāciju par kāpas garumu un garenass orientāciju pret ziemeļiem.

Kāpu klasificēšanai tika izmantota Makī (McKee 1979) izveidotā klasifikācija. Tajā tiek ņemtas vērā gan morfoloģiskās pazīmes, vēja virziena īpatnības, gan kāpas forma plāna skatījumā (Thomas 1997). Sīkāk paraboliskās kāpas tika iedalītas, pamatojoties uz Eberharda (2003) noteiktajiem parabolisko kāpu veidiem.

Jauna kartogrāfiskā materiāla izveidei tika izmantoti purvu un baseinu nogulumu vektordatu slāņi, kurus autors veidojis pēc Latvijas kvartāra nogulumu kartes (LVGD Kvartargeoloģija), un Sedas līdzenuma laukumveida vektordatu slānis, kas izveidots pēc Latvijas dabas apvidu kartes (LVGD Dabas apvidi). No *Envirotech* sastādītās GIS Latvija 9.2. datubāzes tika izvēlēti šādi datu slāņi: „pilsētas_point”, „robezas_line”, „ūdensteces_line”, „apbuve_poly” (Envirotech, SIA, 2004).

Pētījumā izmantotie vietvārdi tika izvēlēti, vadoties pēc Latvijas satelītkartē lietotajiem toponīmiem mērogā 1 : 50 000 (TOPO 50K Satelītkarte).

Kāpu garenasu analīze un rezultātu apstrāde

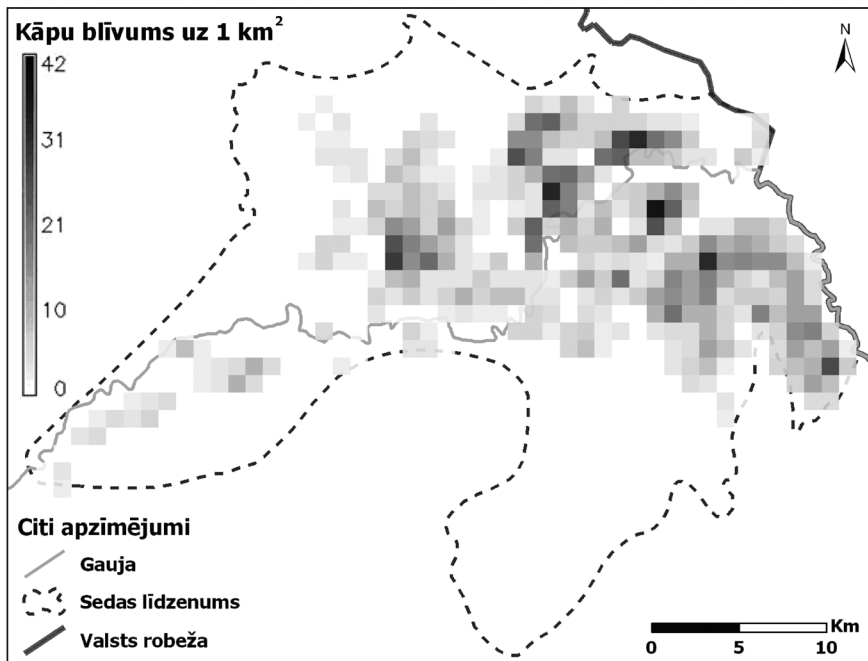
Tā kā kāpas forma un orientācija veidojas vēja un tā radītās gaisa plūsmas virziena ietekmē (Lancaster 2004), iepriekš izveidotais vektordatu slānis „Kapu_garenasis” var tikt izmantots, lai noteiktu paleovēju virzienu kāpu veidošanās laikā.

Paleovēju virzieni tika noteikti pēc kāpu garenasīm lielākajām kāpu grupām, velkot perpendikulus pret kāpu garenasīm to maksimālā izliekuma virzienā. Kopā tika iegūti 550 perpendikulu virzieni, kuri statistiski analizēti ar *StereoNet* programmu, un rezultātā tika iegūta rozes diagramma. Perpendikuli pret kāpu garenasīm tika noteikti tikai kāpām, kas garākas par 200 m, jo īsākām kāpām Sedas līdzenumā bieži nav izteikta paraboliskā izliekuma, tāpēc, nosakot perpendikula stara virzienu, varētu rasties kļūdas.

Rezultāti un interpretācija

Kāpu izplatība un morfoloģija Sedas līdzenumā

Eolie nogulumu Sedas līdzenumā izvietoti vienmērīgi un koncentrējas atsevišķās līdzenuma vietās. Kāpu izplatība sakrīt ar glaciolimnisko nogulumu izplatības areālu (LVGD Kvartargeoloģija).



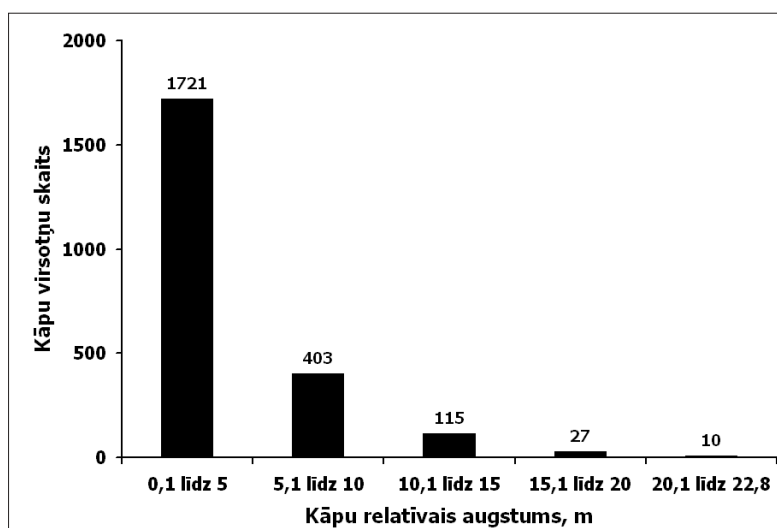
3. att. Kāpu izplatības blīvuma kartoshēma (izstrādāts, izmantojot Envirotech, 2004).
Šūnas izmērs 1 km²

Fig. 3. Schematic Map of Dune Spatial Density (Made, Using Envirotech, 2004).
Cell Size 1 km²

Kāpu koncentrācija palielinās līdzenuma vidienē un virzienā uz austrumiem, kur tās grupējas lielās grupās (3. att.), savukārt Sedas līdzenuma perifērajā daļā un rietumos kāpas ir reti sastopamas, bet dienvidos kāpu reljefs nav konstatēts. Kāpu izplatības blīvuma kartē var redzēt, ka maksimālais kāpu blīvums sasniedz 42 kāpas uz km² (3. att.).

Kāpu absolūtais augstums mainās no 46 m līdzenuma rietumu daļā līdz 98 m līdzenuma austrumu daļā. Tas, visticamāk, skaidrojams ar eolo procesu ilguma atšķirībām. Līdzenuma rietumu daļa ir topogrāfiski zemāka par austrumu daļu, tas varēja negatīvi ietekmēt drenāžas apstākļus – veģetācija varēja attīstīties straujāk, bet vēja transportam pieejamais smilšu apjoms – samazināties.

Atsevišķu kāpu relatīvais augstums sasniedz gandrīz 23 m, bet vidējais relatīvais augstums ir ap 4 m (Nartišs et. al. 2009). No kāpu kopējā skaita 75% gadījumu relatīvais augstums nepārsniedz 5 m, 17% gadījumu tas svārstās no 5,1 līdz 10 m, bet augstākas par 20 m ir tikai 10 kāpas (4. att.).



4. att. Kāpu relatīvā augstuma sadalījuma grafiks

Fig. 4. Histogram of Dunes Relative Height

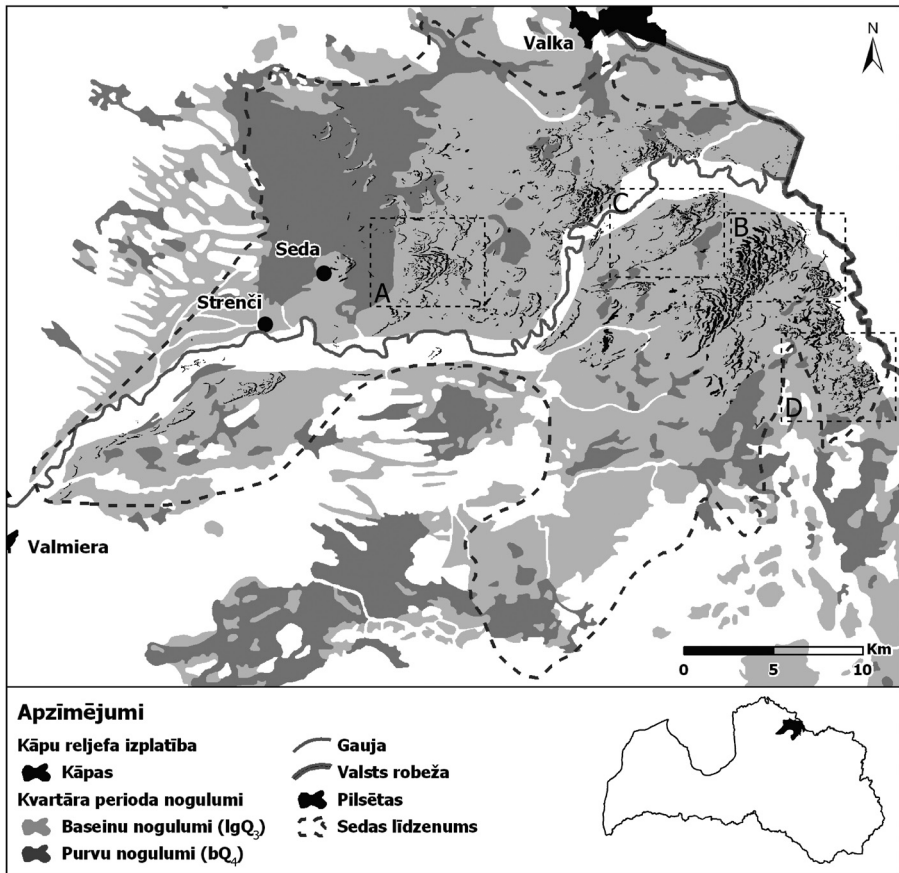
Kāpu relatīvais augstums pieaug kāpu grupās, bet vienkāršās kāpas pārsvarā ir līdz 5 m augstas. Svarīgi, ka katrā kāpu grupā, kā arī Sedas līdzenumā kopumā ir novērojama sakarība, ka kāpu relatīvie augstumi pieaug virzienā no rietumiem uz austrumiem.

Sedas līdzenumā dominē paraboliskās kāpas. Tās izvietojušās dažādās līdzenuma daļās, parasti veidojot lielākas vai mazākas grupas. Klasisku vienkāršu parabolveida kāpu ir ļoti maz. Lielākās paraboliskās kāpas Sedas līdzenumā ir apvienojušās ar citām paraboliskām kāpām, veidojot parabolisko kāpu virknes, kuras Jungeriuss un Riksens dēvē par ķemmes veida paraboliskām kāpām (Jungerius and Riksen 2010). Šādas ķemmes veida paraboliskās kāpas ir raksturīgas līdzenuma vidusdaļā un austrumu daļā, kur izplatītas lielākās iekšzemes kāpu grupas.

Zemākās paraboliskās kāpas morfoloģiski pieskaitāmas āķveida formas kāpām. Latvijā līdzīgas kāpas ir aprakstījis Eberhards (2003). Āķveida kāpas izvietojušās mazākās āķveida kāpu grupās pētāmās teritorijas rietumos un vidusdaļā. Āķveida paraboliskām kāpām ir diezgan izteiktas un garas astes.

Daudzviet starp kāpu grupām ir sastopamas zemas (līdz 5 m), vienkāršas garenkāpas. Aplūkojot šīs garenkāpas pamatīgāk, var ievērot, ka tās nereti veido atdalītas „astes” citām – āķveida – kāpām vai arī grupējas pa pāriem paralēli cita citai. Tas liecina, ka ir notikusi paraboliskās kāpas vidusdaļas izpūšana, atstājot, kā to norāda Eberhards (2003), divas zemas garenas kāpas, t. i., parabolisko kāpu spārnus.

Sedas līdzenuma dienvidaustrumu daļā ir izplatītas kāpas, kas pēc Eberharda (2003) sniegtās klasifikācijas identificējamas kā pārpūstas paraboliskās kāpas.



5. att. Sedas līdzenuma kāpu izplatības karte un izplatības saistība ar ledājkušanas ūdeņu baseina un purva nogulumiem

(izstrādāts, izmantojot LVGD Kvartargeoloģija un Envirotech, 2004).

Ar kvadrātiem A, B, C un D norādīti kartes tuvinājumi, kurus var aplūkot 6. attēlā

Fig. 5. Map of Distribution of the Inland Dunes and Distribution Relationships with Glaciolacustrine Basin and Mire Sediments at the Seda Plain (Made, Using LVGD Kvartargeoloģija un Envirotech, 2004). Cells A, B, C and D Shown in Figure 6

Salīdzinājumā ar citur Sedas līdzenumā izplatītajām paraboliskajām kāpām tām raksturīga haotiska struktūra, izrobota forma un mazāks relatīvais augstums. Sedas līdzenumā pārpūstas kāpas sastopamas arī vēl dažās citās vietās, taču pārsvarā tās neveido lielākas grupas. Izklaidus pētāmajā teritorijā, it īpaši perifērajā daļā, sastopamas arī nelielas paugurveida kāpas. Eberhards (2003) uzskata, ka tās ir pārpūstu kāpu paliekas.

Pamatojoties uz kāpu izplatības blīvuma karti (3. att.) un kāpu izplatības karti (5. att.), Sedas līdzenumā var izšķirt septiņas lielākas un vismaz 10 mazākas kāpu grupas. Tieši tajās novērojama palielināta kāpu koncentrācija.

No kāpu pamatnes hipsometriskā augstuma izmaiņām izriet, ka lielākās kāpu grupas ir veidojušās uz virsmas pacēlumiem, kas vidēji ir līdz pat 10 m augstāki nekā pieguļošā teritorija. Šādi topogrāfiski pacēlumi varēja veicināt eolo akumulāciju. Analizējot Piejūras zemienu kāpas, Eberhards (2003) norāda, ka šādos pacēlumos, iespējams, bija labāka ūdens drenāža un veģētācija attīstījās vājāk. Mūsdienās starp šiem pacēlumiem izvietojušās mitras ieplakas vai pat purvi. Šādu starpkāpu pazeminājumu un ieplaku veidošanos varētu skaidrot ar deflācijas procesiem. Vējam erodējot smilšaino materiālu no zemes virskārtas, noteiktā laika posmā izveidojās plaši padziļinājumi, bet erodētie smilšainie nogulumi, kā to līdzīgos gadījumos uzsver Jungeriuss un Riksens (Jungerius and Riksen 2010), kalpoja par izejmateriālu kāpu veidošanai. Iespējams, ka kāpu veidošanās laikā, paaugstinoties gruntsūdens līmenim, šīs ieplakas periodiski varēja kļūt par šķērslī kāpu migrācijai un darboties kā faktors, kas ierobežo vējam pieejamo smilts daudzumu. Par to liecina daudzas atsevišķas kāpas un nelielas kāpu grupas, kas sastopamas šajās ieplakās starp lielajām kāpu grupām. Nozīmīgs šķērslis kāpu migrācijai ir arī Gaujas ieleja, kas fiksē vairāku kāpu grupu robežas (5. att.).

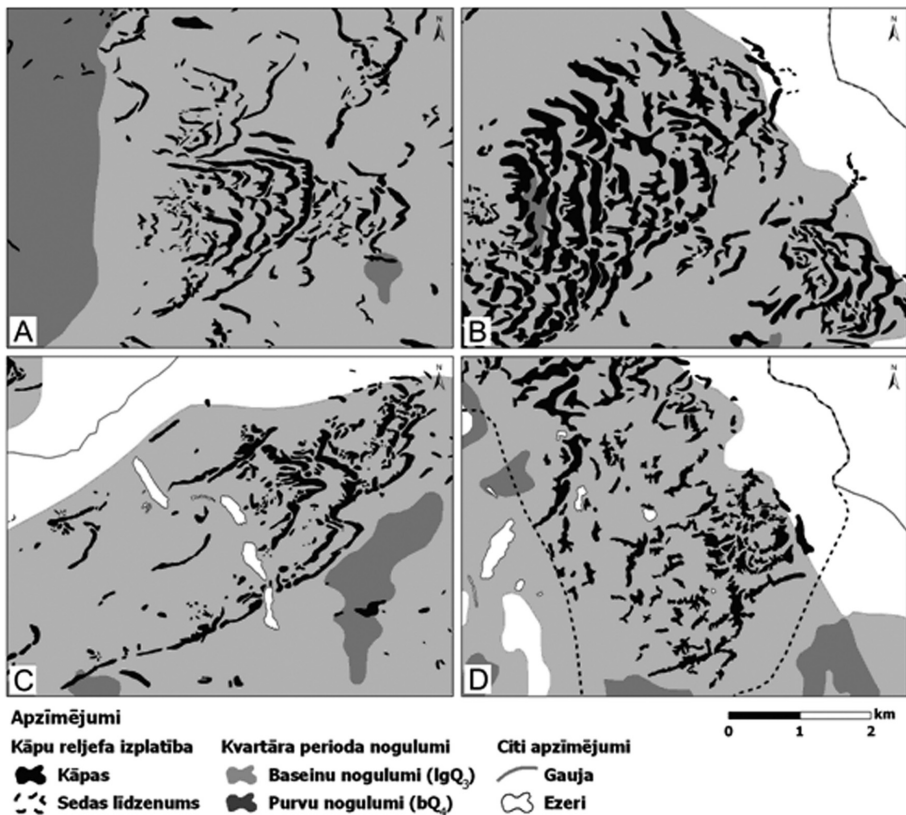
Pēc kāpu pamatnes izmēriem var ne tikai spriest par kāpu izplatību, bet arī izdarīt secinājumus par kāpu formu un apveidu plāna skatījumā. Plāna skatījumā kāpu grupas savā starpā atšķiras ar kāpu mozaīku. Katrā kāpu grupā dominē viens parabolisko kāpu tips, tāpēc var izšķirt kāpu grupas, kurās dominē ķemmes veida paraboliskās kāpas (6. A, B att.), paraboliskās āķveida kāpas (6. C att.) vai pārpūstas paraboliskās kāpas (6. D att.).

Bērzu apkārtņē (6. A att.) kāpas ir gan savienojušās savā starpā, gan arī izvietojušās cita aiz citas, veidojot vairākus lokus. Šīs kāpas pēc to formas plāna skatījumā atbilst ķemmes veida paraboliskām kāpām. Lai gan Mārkalnu ziemeļu daļā (6. B att.) kāpu forma plāna skatījumā vietām būtiski atšķiras no Bērzu apkārtnes kāpām, arī šeit sastopamas ķemmes veida paraboliskās kāpas. Šīm kāpām parabolas forma gan ir mazāk izteikta nekā Bērzu apkārtņē. Vairāk ir novērojamas taisnas kāpas, kas vērstas virzienā no dienvidiem uz ziemeļiem, izvietojušās cita citai šķērseniski un nedaudz atgādina šķērskāpas. Kāpu malas ir izrobotas ar vairākiem zariem, kas vērsti uz rietumiem. Šādas paraboliskās kāpas veidojas, ja vējam pieejamās smilts daudzums ir ierobežots (Wiggs 2004). Bet paraboliskās kāpas savienojas, kad klimats kļūst mitrāks, paaugstinās gruntsūdens līmenis un attīstās augstākā veģētācija (Wiggs 2004).

Uz ziemeļrietumiem no Mārkalnu kāpu grupas atrodas Sarkankalnu kāpu grupa (6. C att.). Tajā dominē paraboliskās kāpas ar izteikti garāku spārnu, kas vērstas uz

dienvidiem. Pamatojoties uz Eberharda (2003) klasificētajiem parabolisko kāpu veidiem, var spriest, ka Sarkankalnu kāpu grupā dominē āķveida paraboliskās kāpas. Nedaudz sastopamas arī ķemmes veida paraboliskās kāpas. Āķveida kāpu garās astes veidojas, kāpas centrālajai daļai lēnām virzoties uz priekšu pa vējam, kamēr zemāko un vēja iedarbībai mazāk pakļauto astes daļu pārņem veģetācija un aizsargā no pārpūšanas (Easterbrook 1999). Tā kā šīs garās āķveida parabolisko kāpu astes stiepjas vairāk nekā 10 km garumā un ir stingri orientētas dienvidrietumu–ziemeļaustrumu virzienā, ir pamats domāt, ka šīs kāpu astes varētu iezīmēt arī kāda šķēršļa robežu.

Pētāmās teritorijas dienvidaustrumu stūrī atrodas kāpas ar stipri izrobotām aprišēm un haotisku izvietojumu (6. D att.). Izrobotā forma un haotiskais kāpu raksts



6. att. Kāpu forma un raksts plāna skatījumā (izstrādāts, izmantojot LVGD Kvartargeoloģija un Envirotech, 2004).

Bērzū apkārtnē (A), Mārkalnu ziemeļu daļā (B), Sarkankalni (C) un Zaķu apkārtnē (D). Teritoriju telpisko izvietojumu Sedas līdzenumā var redzēt 5. attēlā

Fig. 6. Dune Shape and Pattern in Plan View

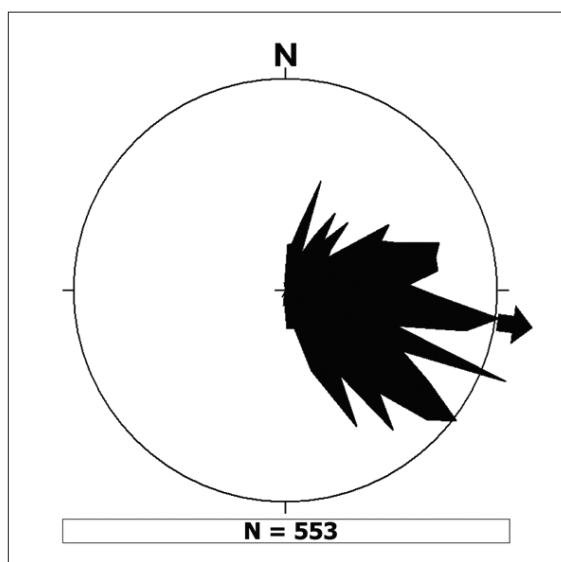
*(Made, Using LVGD Kvartargeoloģija and Envirotech, 2004).
Bērzū (A), Mārkalni North (B), Sarkankalni (C) and Zaķi Locality (D).
Location of (A), (B), (C) and (D) Shown in Figure 5*

plāna skatījumā varētu liecināt par eolo procesu atkārtotu aktivizēšanos jeb kāpu pārpūšanu. Tā kā šī ir vienīgā kāpu grupa ar tik izteiktām pārpūšanas pazīmēm, ir pamats domāt, ka kāpu pārpūšanas process aktivizējies tikai atsevišķās Sedas līdzenuma vietās, iespējams, lokāla ugunsgrēka vai cilvēka saimnieciskās darbības rezultātā.

Paleovēju virzieni, kas noteikti pēc kāpu garenasīm

Kā iepriekš tika noteikts, Sedas līdzenumā galvenokārt ir izplatītas paraboliskās kāpas, kuras ir piemērotas paleovēju rekonstrukcijai pēc to garenasīm, jo to veidošanās laikā dominē viena virziena vējš, kas ir vērsts perpendikulāri pret kāpas garenasi maksimālā izliekuma virzienā (Thomas 1997).

Rozes diagrammā (7. att.), kas izveidota, pamatojoties uz kāpu garenasu perpendikuliem, redzami vairāki izteikti virzienu maksimumi – dienvidaustrumu, austrumu un austrumu–ziemeļaustrumu virzieni, bet rezultējošais virziens ir vērsts austrumu virzienā. Šādi perpendikulu virzieni liecina par paleovēju virzieniem no ziemeļrietumiem, rietumiem un rietumiem–dienvidrietumiem.



7. att. Rozes diagramma perpendikuliem, kas izvilkti pret kāpas garenasi lielākajās kāpu grupās.

Bulta norāda paleovēja rezultējošo virzienu no rietumiem

Fig. 7. The Rose of Perpendiculars Drawn to the Dune Ridge of the Biggest Dune Groups. Paleowind Resulting Direction from W Is Shown by Arrow

Iegūto paleovēju virzienu dažādību varētu skaidrot ar lokālu vēja plūsmu sadalījumu Sedas līdzenumā. Šo dažādību ietekmē jau iepriekš izveidojies kāpu reljefs, tāpat pastāv iespēja, ka dažādie paleovēju virzieni uzrāda arī atšķirīgu laika posmu vēja režīmus, tādējādi atainojot klimata mainību pēc pēdējā apledoja ledāja atkāpšanās no Latvijas teritorijas.

Secinājumi

Veiktā pētījuma rezultāti un to interpretācija ļauj secināt, ka Sedas līdzenumā galvenokārt izplatītas parabolisko kāpu grupas.

Kāpas pārsvarā ir zemas (līdz 5 m), bet lielākajās kāpu grupās kāpu relatīvais augstums pārsniedz pat 20 m. Kāpu grupās ilgstoši varēja saglabāties apstākļi, kas bija labvēlīgi eolajiem procesiem un noveda pie augstāka eolā reljefa veidošanās salīdzinājumā ar pārējo teritoriju. Kāpu grupēšanās un saplūšana liecina, ka smilts materiāla pieejamība vēja transportam bija ierobežota.

Lielāko kāpu grupu stabilizācijas laikā dominējuši paleovēja virzieni no rietumiem, rietumiem–dienvidrietumiem un ziemeļrietumiem.

Pētāmās teritorijas dienvidaustrumos kāpas ir atkārtoti aktivizējušās, ko, iespējams, izraisījusi mežu izciršana vai mežu ugunsgrēki.

Pateicība

Pētījuma izstrāde tika finansēta no LU pētniecības projekta Nr. 2007/ZP-87 „Skandināvijas ledusvairoga dienvidu malas iekšējās zonas vēlā Vislas posma deglaciācijas notikumu hronoloģijas pilnveidošana” un ESF projekta „Doktorantu un jauno zinātnieku pētniecības darba atbalsts Latvijas Universitātē” līdzekļiem.

Autori izsaka pateicību prof. Vitālijam Zelčam par sniegto palīdzību raksta tapšanā.

LITERATŪRA

- Aboltins, O. 1971. *Razvitie dolini reki Gauja* (Evolution of the Gauja valley). Rīga: Zinatne, 16–19 (in Russian).
- Easterbrook, J. D. 1999. *Surface Processes and Landforms*. Second Edition. Prentice Hall, New Jersey, 479–485.
- Eberhards, G. 2003. *Latvijas jūras krasti*. Rīga: Latvijas Universitāte, 79.–112. lpp.
- Jungerius, P. D. and Riksen, M. J. P. M. 2010. *A Contribution of Laser Altimetry Images to the Geomorphology of the Late Holocene Inland Drift Sands of the European Sand Belt*. Baltica, v. 23 (1), 59–70.
- Lancaster, N. 2004. Dune, Aeolian. In: Goudie A. S. (eds.) *Encyclopedia of Geomorphology*, v. 1. London: Routledge, 285–291.
- LVGD Dabas apvidi. Valsts ģeoloģijas dienesta dabas apvidu karšu mozaika mērogā 1 : 500 000. LU ĢZZF WMS. Pieejams: <http://kartes.geo.lu.lv> (sk. 05.05.2010.)
- LVGD Kvartargeoloģija. Valsts ģeoloģijas dienesta kvartāra nogulumu karšu mozaika mērogā 1 : 200 000. LU ĢZZF WMS. Pieejams: <http://kartes.geo.lu.lv> (sk. 05.05.2010.)
- Nartišs, M., Celiņš, I., Zelčs, V. and Dauškans, M. 2009. Stop 8: History of the Development and Palaeogeography of Ice-Dammed Lakes and Inland Dunes at Seda Sandy Plain, North Western Vidzeme, Latvia. In: Kalm, V., Laumets, L. and Hang, T. (eds.) *Extent and Timing of Weichselian Glaciation Southeast of the Baltic Sea: Abstracts and Guidebook*. The INQUA Peribaltic Working Group Field Symposium in Southern Estonia and Northern Latvia, September 13–17, 2009. Tartu: Tartu Ülikooli Kirjastus, 79–81.

- Nomals, P. 1943. *Zemes bagātību pētīšanas institūta raksti*. Rīga: Zemes bagātību pētīšanas institūts, 12. lpp.
- Thomas, D. S. G. 1997. Sand Seas and Aeolian Bedforms. In: Thomas, D. S. G. (eds.) *Arid zone Geomorfology: Process, Form and Change in Drylands*. Wiley, Chichester, 373–406.
- TOPO 10K PSRS. Bijušās PSRS armijas ģenerālštāba 63. un 42. gada sistēmas topogrāfisko karšu mozaīka mērogā 1 : 10 000. LU ĢZZF WMS. Pieejams: <http://kartes.geo.lu.lv> (sk. 05.05.2010.)
- TOPO 25K63g PSRS. Bijušās PSRS armijas ģenerālštāba 63. gada sistēmas topogrāfisko karšu mozaīka mērogā 1 : 25 000. LU ĢZZF WMS. Pieejams: <http://kartes.geo.lu.lv> (sk. 17.09.2009.)
- TOPO 50K Satelītkarte. VZD Satelītkaršu mozaīka mērogā 1 : 50 000. LU ĢZZF WMS. Pieejams: <http://kartes.geo.lu.lv> (sk. 14.05.2010.)
- Wiggs, G. F. S. 2004. Dune, Coastal. In: Goudie, A. S. (eds.) *Encyclopedia of Geomorfology*, v. 1. London: Routledge, 291–295.
- Wilkins, E. D. and Ford, L. R. 2006. *Nearest Neighbor Methods Applied to Dune Field Organization: The Coral Pink Sand Dunes, Kane County, Utah, USA*. Geomorfology, v. 83, 48–57.

NEPUBLICĒTIE MATERIĀLI

Envirotech, SIA. 2004. GIS Latvija. Pieejams: http://www.envirotech.lv/index.php?v=1&sl_id=396 (sk. 14.05.2010.)

Līcis, A. 2006. *Strenču pieledāja baseina paleogeogrāfiskā attīstība*. Bakalaura darbs. Rīga: Latvijas Universitāte, 19 lpp.

Summary

The paper deals with problems of distribution, spatial arrangement and morphology of inland dunes at the Seda Plain. Spatial arrangement and morphological measurements were made in GIS environment using large scale topographic maps. Parabolic inland dunes in the Seda Plain are mostly less than 5m high and organized in several groups. During their formation the main palaeowind direction was from NW, W and WSW resembling the phase of dune stabilization.

Keywords: dunes, morphological features, palaeowind direction, dune spatial arrangement.

Kēmu terašu morfoloģija un uzbūves īpatnības Vidzemes augstienē

Morphology and Internal Structure of Kame Terraces, Vidzeme Upland

Māris Dauškans

Latvijas Universitāte
Raiņa bulv. 19, Rīga, LV-1586
E-pasts: *maris.dauskans@lu.lv*

Pētījums balstās uz lielmēroga kartogrāfiskā materiāla analīze rezultātiem, lauka pētījumu rezultātiem un nogulumu vecuma datējumiem ar OSL metodi. Veiktie pētījumi atsedz kēmu terašu morfoloģisko, ģenētisko un iekšējās uzbūves daudzveidību, kā arī liecina par šo reljefa formu veidošanās apstākļu dažādību. Tie ļauj klasificēt joslveida un segmentveida kēmu terašu morfoloģiskos tipus, kā arī norāda uz joslveida terašu ģenētisko saistību ar laterālajām ledājūdeņu noteces ielejām. Kēmu terašu veidošanās Vidzemes augstienē ir aizsākusies drīz pēc tās centrālās daļas zemledāja glaciotektonisko reljefa formu rašanās, bet noslēgusies pēc ledāja atkāpšanās no Vidzemes augstienes perifēriālā orientētā paugurgrēdu reljefa joslas Gulbenes deglaciācijas fāzes laikā.

Atslēgvārdi: kēmu terases, glaciofluviālie nogulumi, morfoloģija, OSL vecums.

Ievads

Kēmu terases ir ledus kontakta reljefa formas, kas radušās, ledājūdeņu slāņotajiem nogulumiem uzkrājoties joslā starp ledāja malu un pieledāja formas nogāzi. Tās ir izplatītas gan seno segledāju, gan arī mūsdienu ledāju klātajos apgabalos, kā arī Latvijā. Lai gan tām ir samērā plaša izplatība, svarīgas grants un smilts iegulas un nozīme augsnes segas un bioloģiskās daudzveidības veidošanā, tomēr līdz šim kēmu terases ir maz pētītas ledāja reljefa formas. Mūsdienās pētījumu metožu attīstība ir pavērusi plašākas iespējas izziņāt šo reljefa formu veidošanās apstākļus, kas savukārt dod iespēju pilnveidot ledāja deglaciācijas notikumu hronoloģiju (Bitinas et al. 2004).

Var uzskatīt, ka kēmu terašu pētījumi tika uzsākti 19. gs. otrajā pusē, kad zinātniekiem radās interese par kvartāra nogulumiem un to veidotajām reljefa formām. Līdz tam šie nogulumi tika uzskatīti par „nejēdzīgiem sanesumiem”, kas tikai traucē „īsto” nogulumu pētīšanu un derīgo izrakteņu izmantošanu (Danilāns 1961). Viens no pirmajiem kēmu terašu pētniekiem ir T. F. Džeimsons (Jamieson 1874). Šī zinātnieka zīmētās skices, kurās ir attēlota vienkāršota kēmu terašu veidošanās shēma, ir publicētas Ģeomorfoloģijas enciklopēdijā (*The Encyclopedia of Geomorphology*) nodaļā *Kame* (Shepps 1983). Nedaudz vēlāk šīs reljefa formas

ir pētījuši I. C. Rasels (Russell 1893) un R. D. Solsberijs (Salisbury 1893, 1902). Solsberijs ir pirmais, kas lietojis terminu *kame terrace* (Flint 1964).

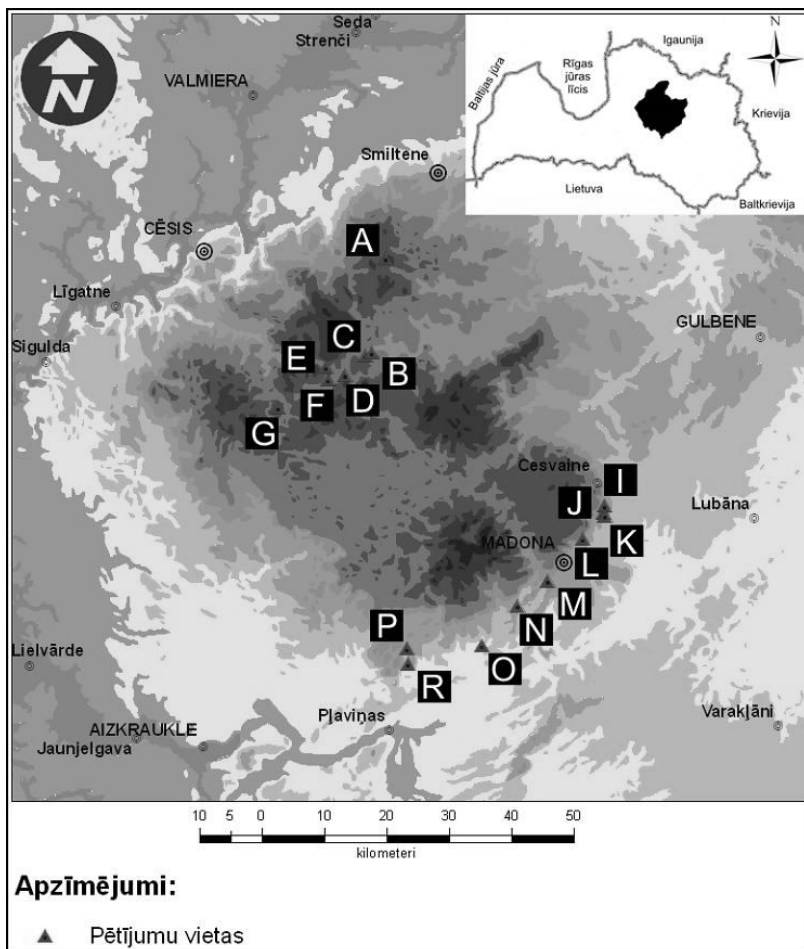
Sākotnēji tika uzskatīts, ka kēmu terases ir ar nogulumiem aizpildīti vai daļēji aizpildīti padziļinājumi sānu vai gala plaisās starp kalnu ledāja un troga nogāzi vai gala morēnu (Thornbury 1954). Vēlākos pētījumos uzsvērts, ka šādas reljefa formas var veidoties kontinentālā segledāja apstākļos (Flint 1964) un ka tās veido glaciofluviālie nogulumi (Mannerfelt 1945, 1949; Sisson 1958; Danilāns 1973; Āboltiņš et al. 1975; Meirons 1975; Āboltiņš et al. 1976; Straume 1979). Turpmākie pētījumi pierādīja, ka šīs reljefa formas veido arī glaciolimniskie nogulumi (Huddart and Lister 1981; de Jong and Rappol 1983; Levson and Rutter 1989; Bitinas et al. 2004).

Klasiskā izpratnē kēmu terases ir terasveidīgas lēzeni viļņotu līdzenumu joslas vai sīkpaugurainas akumulatīvas reljefa joslas, kas veidojušās, ledāja kušanas straumēm noguldot smilts un grants nogulumus (bieži vien ar oļu piejaukumu) (Flint 1964). Tās stiepjas gar seno aprakto ieleju, ielejveidīgo pazeminājumu vai arī gar augstieņu nogāzēm, radot uz tām pakāpienveida joslas un segmentus. Vietām virsma ir sīkpauguraina, saposmota ar glaciokarsta radītām iepakām (Hawley and Parsons 1980).

Pētījumu teritorijas ledāja reljefa un uzbūves vispārīgs raksturojums

Vidzemes augstiene (1. att.) tiek uzskatīta par tipiskāko ledāja glaciostrukturāli akumulatīvo augstieni (Āboltiņš 1989, 1995, 1998). Atšķirībā no pārējām šī tipa augstienēm Latvijā Vidzemes augstienei ir raksturīgas trīs gandrīz paralēlas, morfoloģiski labi izteiktas pauguraiņu joslas – Mežoles, Piebalgas un Vestienas josla. Tās atdala attiecīgi Augšgaujas un Augšogres pazeminājumi. Šajos pazeminājumos pēdējā apledošanas maksimālās uzvirzīšanās laikā izvietojās Augšgaujas un Ogres ledāja mēles (Zelčs and Markots 2004). Sašķēloties Burtnieka ledus lobam, izmēru ziņā mazākās Amatas, Rauņa un Abulas ledāja mēles atradās Mežoles paugurainē, bet Tirzas ledāja mēle ietekmēja reljefa veidošanos Augšogres pazeminājuma austrumu daļā starp Piebalgas un Vestienas pauguraini (Zelčs and Markots, 2004). Ledājam aprimstot un tā biežumam samazinoties, gar ledāju un reljefa formu kontaktnogāzēm veidojās lavēlīgi apstākļi, lai veidotos kēmu terases.

Salīdzinājumā ar citām Latvijas ledāja reljefa makroformām Vidzemes augstienē ir vislabāk izteikta reljefa stāvainība (Āboltiņš et al. 1975), kas izpaužas ledāja reljefa formu, pauguru pirmmasīvpauguru, zvoncu, morēnpauguru, subglaciālo vagu un tuneļieleju (subglaciālo iegultņu) atšķirīgajā hipsometriskajā novietojumā. Savukārt Aušogres un Augšgaujas, kā arī Amatas, Pīslas un citu pazeminājumu ģeogrāfiskais novietojums, hipsometriskā augstuma izmaiņas, ledāja kontakta nogāžu ekspozīciju atšķirības, kādas bija kēmu terašu veidošanās laikā, dod plašākas iespējas pētījumiem, kas saistīti ar kēmu terašu veidošanos.



1. att. Kēmu terašu pētījumu vietas

A – Kārļu kalna kēmu terase; B, C – Tauriņa kēmu terase; D, E – Bānuža–Lodes kēmu terase; F – Pīslas kēmu terase; G – Skujenes kēmu terase; I–R – Cesvaines–Vietalvas kēmu terase (karjeri: I, J, K – Bīksēre; L – Sarkaņi; M – Smeceres sils; N – Lajaskļaviņi; O – Lazdukalns; P – Vietalva; R – Jāņkalns)

Fig. 1. Geographical Location of the Study Sites in Kame Terraces

A – Kārļu hill kame terrace; B, C – Tauriņš' kame terrace; D, E – Bānuži – Lode kame terrace; F – Pīsla kame terrace; G – Skujene kame terrace; I–R – Cesvaine–Vietalva kame terrace (Gravel and sand pits: I, J, K – Bīksēre; L – Sarkaņi; M – Smeceres sils; N – Lajaskļaviņi; O – Lazdukalns; P – Vietalva; R – Jāņkalns)

Materiāli un metodes

Pētījumu materiāli ir iegūti, autoram veicot lauka pētījumus atsegumos, kas bija pieejami 14 karjeros. Pirms lauka pētījumu uzsākšanas tika analizēts lielmēroga

kartogrāfiskais materiāls. Šim nolūkam tika izmantotas topogrāfiskās kartes (mērogs (M) 1 : 10 000, 1 : 25 000, 1 : 50 000), kvartārnogulumu kartes, ģeomorfoloģiskās, ģeoloģiskās kartes, ortofotokartes un kartoshēmas (M 1 : 50 000 un 1 : 200 000). Tās nodrošināja izejas informāciju par kēmu terašu iespējamo izplatību, hipsometrisko novietojumu un morfoloģiskajām īpatnībām, kā arī deva iespēju profilēt kēmu terašu virsmu.

Tabula

Kēmu terašu pētījumu vietas
Geographical Location of the Study Sites

Karte (1. att.)	Pētījumu vieta	Koordinātas	Absolūtais augstums (m vjl.)	Veiktie pētījumi
A	Kārļu kalns	25°45'36,316"E 57°17'58,606"N	210	ka, tm, OSL
B	Lipši	25°42'54,322"E 57°9'55,706"N	180	ka, tm
C	Nadziņi	25°42'5,161"E 57°9'33,135"N	184	ka, tm
D	Lodes karjers	25°38'53,763"E 57°7'56,919"N	196	ka, tm, ogm, OSL
E	Bānuža karjers	25°35'48,762"E 57°8'42,888"N	200	ka, tm, ogm
F	Pīsla	25°35'56,439"E 57°7'33,07"N	200	ka, tm
G	Skujene	25°28'0,897"E 57°5'13,636"N	196–220	ka
I	Biksēre	26°19'1,265"E 56°55'58,952"N	140	ka, tm
J	Biksēre	26°18'58,746"E 56°55'18,321"N	130	ka, tm
K	Biksēre	26°19'3,153"E 56°55'3,711"N	130	ka, tm, OSL
L	Sarkaņi	26°15'39,44"E 56°53'5,41"N	150	ka
M	Smeceres sils	26°9'52,983"E 56°49'36,542"N	160	ka, OSL
N	Lejaskļaviņi	26°4'54,388"E 56°47'27,971"N	140	ka, tm
O	Lazdukalns	25°59'15,839"E 56°44'13,021"N	110	ka, tm
P	Vietalva	25°47'32,435"E 56°44'6,256"N	150	ka, tm
R	Jāņkalns	25°47'33,985"E 56°42'47,791"N	110	ka, tm
Saīsinājumi: ka – kartogrāfiskā materiāla analīze; tm – tekstūru mērījumi; ogm – oļu garenasu mērījumi; OSL – OSL paraugu ievākšana				

Lauka pētījumu vietas (1. att., 1. tab.) izraudzītas, lai apzinātu kēmu terašu morfoloģisko daudzveidību un uzbūves īpatnības. Parasti par lauka pētījumu vietu tika izvēlēti atsegumi karjeros, kas ierīkoti kēmu terasēs grants un smilts ieguvei. Pēc atsegumu sagatavošanas darbam tie tika fotografēti un zīmēti, tika mērīta oļu linearitāte, slāņu sagulums un slāņojums, kā arī ievākti smilts paraugi glacioakvālo nogulumu OSL vecuma noteikšanai. Pavisam veikts vairāk nekā 400 dažādu mērījumu. Lauka darbu laikā veiktie mērījumi un nogulumu granulometriskā sastāva pētījumi sniedza nozīmīgu informāciju par kēmu terašu iekšējās uzbūves īpatnībām un to veidošanās apstākļiem.

Lauka darbu laikā tika ievākti pieci glaciofluviālo nogulumu paraugi, lai ar OSL metodi noteiktu šo nogulumu uzkrāšanās laiku un laiktelpisko veidošanos.

Digitālā fotofiksēšana pētījumu laikā deva iespēju iegūt augstas kvalitātes atsegumu un ainavu attēlus un tos salīdzināt. Pēc fotoattēliem savukārt arī analizēta nogulumu slāņu rakstura maiņa. Fotogrāfijās fiksēti atsegumu kopskati un atsevišķas kēmu terašu uzbūves detaļas (saguluma apstākļi, laukakmeņu koncentrācijas joslu un bruģu novietojums, nogulumu deformācijas) atsegumos. Pētījumu vietas tika fiksētas ar GPS uztvērējiem *Magellan Triton 2000* un *Magellan Platinum*.

Rezultāti un interpretācija

Pētījumi Vidzemes augstienē deva iespēju apzināt kēmu terašu morfoloģisko tipu uzbūves dažādību. Apkopojot pētījumu rezultātus, tika konstatēta kēmu terašu konfigurācijas un virsmas saposmējuma morfoloģiskā daudzveidība. Iegūtie rezultāti par kēmu terašu uzkrāšanās laiku nozīmīgi papildina izpratni par kēmu terašu veidošanās laiktelpiskajām attiecībām Vidzemes augstienes dažādās glaciomorfoloģiskās zonās.

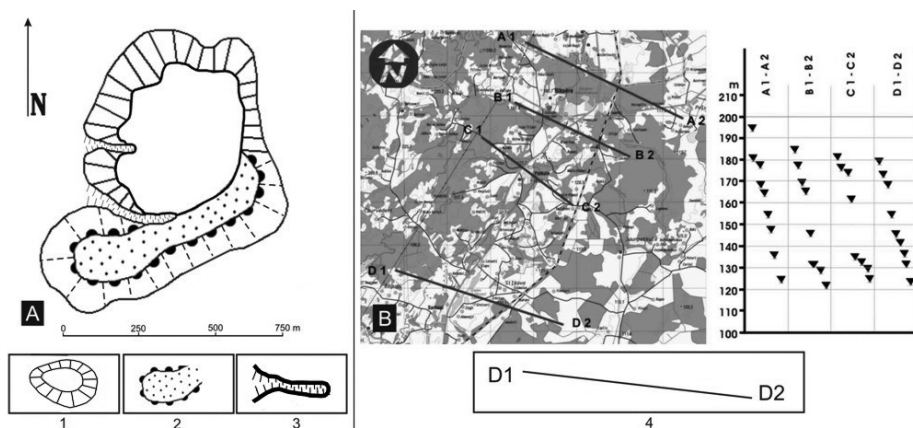
Kēmu terašu morfoloģija

Vidzemes augstienē kēmu terases ir saistītas ar ģenētiski dažādām ledāja reljefa formu nogāzēm. Vidzemes un arī Latvijas plašākā un garākā kēmu terase stiepjas gar Vidzemes augstienes dienvidaustrumu nogāzi un sastāv no vairākiem posmiem, kurus pārtrauc Vidzemes augstienes orientētais paugurgrēdu reljefs, kas savienojas ar Madonas–Trepes valni, kurš pēc O. Āboltiņa un līdzautoru (Āboltiņš et al. 1972) interpretācijas saistās ar lobveida deglaciācijas etapa sākumu Latvijā, un šis etaps sakrīt ar Gulbenes deglaciācijas fāzi (*ibid.* Zelčs and Markots 2004). Tā stiepjas gar augstienes nogāzi posmā no Cesvaines līdz Vietalvai. Tās garums pārsniedz 30 km, platums vidēji ir 3–4 km, bet dienvidu daļā pie Vietalvas tas sasniedz pat 6 km.

Savukārt pie glaciģenā reljefa mezofomām piegulditas salīdzinoši mazākas kēmu terases. Taurenes apkārtnē ir izplatītas subglaciālās iegultnes, kuru nogāzes kēmu terases padara kāpļainas. Piemēram, Bānužu–Lodes kēmu terases garums nedaudz pārsniedz 5 km, bet platums platākajā vietā ir aptuveni 1 km. Savdabīgas kēmu terases tika konstatētas arī gar lielpauguru – pirmmasīvpauguru, bet galvenokārt gar zvoncu nogāzēm. Šīs terases ievērojami atšķirās no klasiskajām joslveida kēmu terasēm pēc konfigurācijas, jo tās pamatreljefa formas ir piegulditas nogāzei kā nelieli segmenttipa veidojumi (2. att.). Piemēram, Kārļu kalna nogāzei, kas ir zvoncs

(plakanvirsmas lielpaugurs), ir pieguldīta neliela kēmu terase. Tās garums sasniedz aptuveni 0,7 km, bet platums ir līdz 0,2 km.

Pētījumu laikā konstatēts, ka daudzām kēmu terasēm ir iespējams izšķirt vairākus terašu līmeņus. Piemēram, veiktā Cesvaines–Vietalvas kēmu terases profilēšana posmā starp Cesvaini un Madonu parādīja, ka šai kēmu terasei var nošķirt 8–9 terases līmeņus (2. att.). Augstuma starpība starp augstāko un zemāko kēmu terases līmeni sasniedz 60–70 m.



2. att. A – Kārļu kalna ģeomorfoloģiskā shēma; B – Cesvaines–Vietalvas kēmu terases līmeņu salīdzinājums pa profiliem posmā no Cesvaines līdz Madonai. Līnijas parāda kēmu terases šķēršprofilu līniju vietas. Labajā pusē – kēmu terases dažādu līmeņu absolūtā augstuma izmaiņas paleostraumju tecēšanas virzienā.

1 – plakanvirsmas paugurs; 2 – kēmu terase; 3 – gravas; 4 – profila līnija

Fig. 2. A – *Geomorphologic Scheme of Kārļa Hill*; B – *Cesvaines–Vietalvas kame terrace's profile comparing in section from Cesvaine to Madona. The lines showing profile of kame terrace. The right side of picture – kame terraces surface changes to melt water flow directions.*

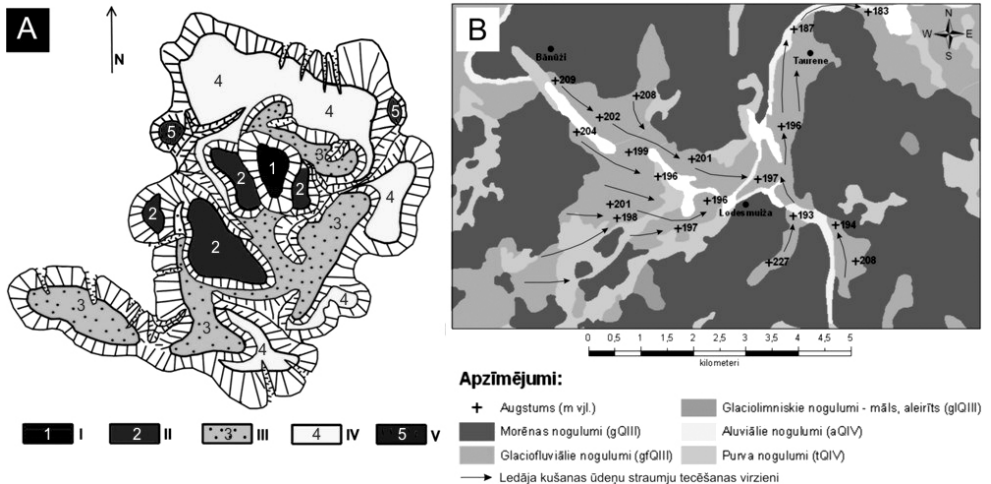
1 – *plateau-like hill*; 2 – *kame terrace*; 3 – *gullies*; 4 – *profile line*

Vairāki terašu līmeņi konstatēti arī kēmu terasei, kas veidojusies uz Skujenes platopaugura nogāzēm (3. att.). Analizējot ģeomorfoloģiskās kartes, ir konstatēti četri terašu līmeņi, kas atrodas dažādā augstumā un aptver platopaugura augstāko plakumu (Āboltiņš and Markots 1998). Starpība starp zemāko un augstāko terases līmeni sasniedz 25 m.

Veiktā profilēšana, kartogrāfiskā materiāla analīze un lauka novērojumi uzskatāmi parādīja, ka kēmu terašu virsma bieži vien ir viļņota, sīkpauguraina un saposmota ar glaciokarsta ieplakām. Cesvaines–Vietalvas kēmu terases dienvidrietumu daļas reljefa īpatnības liecina, ka šīs teritorijas virsmas saposmojums radies galvenokārt glaciokarsta procesu rezultātā. Salīdzinoši nelielā teritorijā (aptuveni platībā līdz 2 km²) ir konstatētas 98 glaciokarsta katlienes, kurām piemērots toponīms „Vietalvas katli”. Ieplaku relatīvais dziļums sasniedz 30 m, ieplaku nogāžu krituma lenķis ir

līdz 30°. Uz ieplaku nogāzēm ir sastopams saposmojums, kas raksturīgs noslīdeņa nogāzēm, turklāt ir novērojama pseidoterase un izspieduma valnis nogāzes pakājē.

Gravu veidošanās procesi ir ievērojami izmainījuši plakanvirsmas pauguriem piepildīto kēmu terašu sākotnējo morfoloģiju. Gravu erozijas procesi novēroti gan pie Kārļu kalna, gan Skujenes plakanvirsmas paugura nogāzēs. Šīs gravas iezīmē kēmu terases glaciofluviālo nogulumu un plakanvirsmas pauguru veidojošo ūdensmazcaurlaidīgo nogulumu litiskās atšķirības (2. un 3. att.).



3. att. A – Skujenes plakanvirsmas paugura morfoloģiskā shēma

(pārveidots pēc: Āboltiņš and Markots, 1998). Kēmu terašu līmeņi: I – virsas plakuma augstākais līmenis; II – 220 m vjl.; III – 216 m vjl.; IV – 209 m vjl.; V – 196 m vjl.;

B – Bānūžu–Lodes kēmu terases līmeņu hipsometriskās atšķirības un galvenie ledāja kušanas ūdeņu strauņu virzieni pēc tekstūranalīzes datiem

Fig. 3. A – Skujene Plateau-Like Hill Morphological Sketch

(modified after Āboltiņš and Markots, 1998). Hypsometric levels of kame terraces: I – the topmost part, II – 220 m; III – 216 m; IV – 209 m; V – 196 m; B – Hypsometric position of the Bānūzis–Lodes kame terrace levels and main meltwater streams direction reconstructed after data of the texture analysis

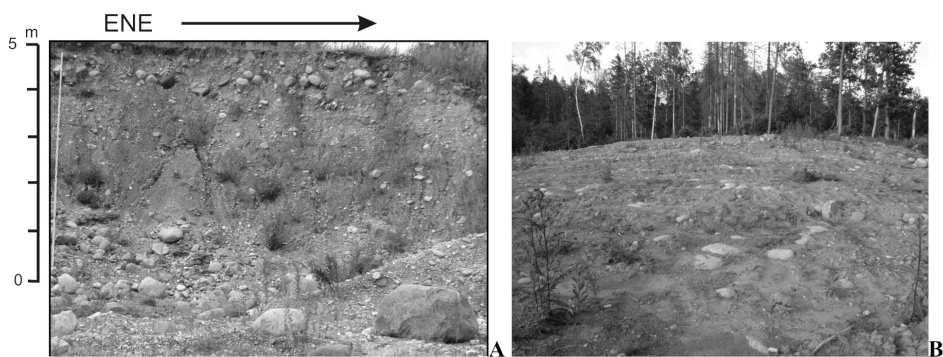
Topogrāfisko karšu (M 1 : 10000) analīzes rezultāti norāda, ka Vidzemes augstienē dažāda tipa kēmu terases atšķiras pēc hipsometriskā novietojuma. Cesvainēs–Vietalvas kēmu terases augstākie līmeņi atrodas 195 m vjl., bet zemākie – 109 m vjl. Šīs kēmu terases līmeņu hipsometriskais augstums pakāpeniski samazinās DR virzienā, tāpēc var apgalvot, ka ledāja kušanas ūdeņu straumes tecējušas DR virzienā paralēli ledāja kontakta nogāzei. Savukārt Bānūžu–Lodes kēmu terases (3. att.), kas atrodas Vidzemes augstienes centrālajā daļā, augstākie līmeņi atrodas 209 m vjl., bet zemākie – 197 m vjl. Šīs kēmu terases hipsometriskais augstums samazinās no ZR uz DA. Tas norāda, ka ledāja kušanas ūdeņu straumes, iespējams, tecējušas DA virzienā, kas sakrīt ar subglaciālās vagas garenass orientāciju.

Hipsometriski augstākos līmeņos atrodas kēmu terases, kas ir pieguldītas lielpauguru nogāzēm un pieder pie segmenttipa terašu paveida. Kārļu kalna kēmu terases virsmas hipsometriskais augstums ir 210 m vjl., bet Skujenes plakanpauguram pieguldītās kēmu terases līmeņi ir 220–196 m vjl.

Kēmu terašu uzbūve

Lauka pētījumos iegūtie dati liecina, ka kēmu terašu iekšējā uzbūve ir daudz sarežģītāka un atšķirīgāka, nekā tas tradicionāli tiek uzskatīts (Danilāns 1973; Meirons 1975; Straume 1979). Pastāv vispārīgs vienkāršots uzskats, ka kēmu terases sastāv no glaciofluviāliem nogulumiem, kurus veido ledājkūšanas ūdeņu izskalotais ledāja bazālās daļas drupu materiāls vai zemledāja erozijas rezultātā pārskalota dažāda vecuma morēna, kā arī nogulsnēti dažādas izcelsmes nogulumi un pirmskvartāra ieži. Līdz ar to šo nogulumu petrogrāfiskais sastāvs ir ļoti dažāds. Granulometriski šie nogulumi atbilst laukakmeņu, oļakmeņu, grants, rupjgraudainas vai vidēji graudainas smilts frakcijām (Meirons 1975). Kēmu terases veidojošiem nogulumiem ir raksturīgs dažāda veida slāņojums (slīpslāņojums, kūļveida un slīpslāņoti veidotas tekstūras, lēzeni paralēlais un apliecošais slāņojums). Slāņojuma raksturu nosaka ledājkūšanas ūdeņu straumju īpašības – ātrums, intensitāte un piesātinājums ar drupu materiālu, un citi lokāla rakstura apstākļi (Āboltiņš and Markots 1998; Meirons 1975).

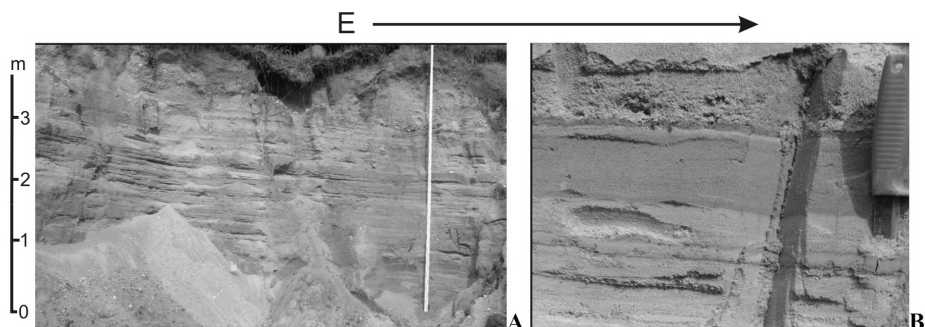
Vēlāko pētījumu rezultāti norādīja, ka kēmu terases veido arī glaciolimniskas izcelsmes nogulumi (3. att.), kuri sastāv no smalkgraudainas smilts, aleirītiskas smilts, aleirīts, kā arī mālaini nogulumi – mālaina materiāla starpkārtas, ieslēgumi un pat slokšņu māls (Bitinas et al. 2004). Taču parasti uzskata, ka kēmu terases veidojošie nogulumi ir nogulsnēti ledāja pēdējās recesijas laikā.



4. att. Cesvaines–Vietalvas kēmu terases hipsometriski augstāko līmeņu uzbūves piemēri: A – laukakmeņu koncentrācija glaciofluviālo nogulumu slāņkopas virsējā daļā Bikšeres ziemeļu karjerā; B – laukakmeņu bruģis Smeceres silā blakus karjeram pēc augsnes virskārtas novākšanas

Fig. 4. The Composition of the Cesvaine–Vietalva Kame Terrace Highest Levels. A – concentration of boulders on the top of the coarse glaciofluvial deposits in the Bikšere gravel pit; B – boulder pavement next to the Smeceres sila gravel pit after removing of soil horizons

Lauka pētījumu laikā konstatēts, ka Cesvainēs–Vietalvas kēmu terases iekšējā uzbūve ir vēl sarežģītāka. Cesvainēs–Vietalvas kēmu terases posmā no Cesvainēs līdz Aronas upei hipsometriski augstākajos līmeņos, Smeceres sila karjerā (~150 m vjl.) un Biksēres ziemeļu karjerā (~155 m vjl.) tika konstatēta laukakmeņu koncentrācija un pat bruģis (4. att.), bet vietām atsevišķi liela izmēra laukakmeņi, daži no tiem, piemēram, Ivānu Velnakmens, paceļas virs terases virsmas. Zem laukakmeņu koncentrācijas slāņa atrodas granulometriski smalkāki nogulumu – gants, oļi un smilts (4. att.).



5. att. Cesvainēs–Vietalvas kēmu terases hipsometriski zemākās daļas uzbūve Biksēres Rūpnieku karjera atsegumā. A – lēzeni paralēli slāņoti dažāda raupjuma smilts grants slāņi (atseguma Z sienas kopskats); B – aleirīta starpslānīši starp dažāda raupjuma smilts slāņiem (atseguma Z sienas fragments)

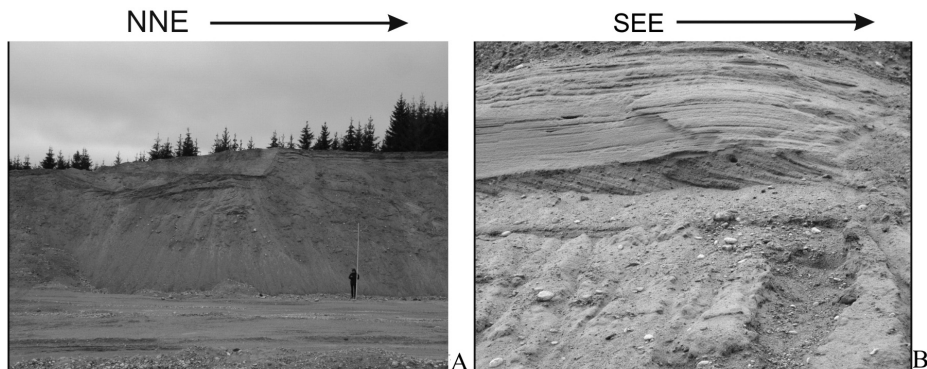
Fig. 5. Internal Composition Lower Levels of the Cesvaine – Vietalvas Kame Terrace in the Outcrop of the Biksēres Rūpnieki Sand-Gravel Pit. A – An overview of N face of the outcrop with common flat parallel bedding; B – A detail of N face of the outcrop with silt interlayers in between various grained sand

Biksēres karjera un Biksēres Rūpnieku karjera atsegumos (1. att.), kas atrodas starp Madonu un Cesvaini un atbilst kēmu terases hipsometriski zemākajiem līmeņiem (aptuveni 130–135 m), tāda laukakmeņu koncentrācija nav novērojama (5. att.). Nogulumus veido oļi, grants un smilts materiāls ar atsevišķiem izkliedētiem maziem laukakmeņiem. Turpat atsegumā ir vērojama dažāda raupjuma smilts un aleirīta slāņmija, kā arī plāni olīvzaļgana māla starpslānīši un mālaina materiāla ieslēgumi. Šī karjera atsegtais slānis raksturojams kā lēzeni slīpais slāņojums. Lēzeni slīpas sērijas krīt nogāzes virzienā, vietām redzamas vertikālas plaisas.

Lejaskļaviņu karjerā, kas atrodas uz dienvidiem no Madonas (1. att.), tika konstatēti un pētīti glaciofluviālie nogulumu, kuru granulometriskais sastāvs atbilst dažāda raupjuma smilts, grants un oļu materiālam. Veiktie nogulumu starpslāņu kontaktu un slīpslāņojuma mērījumi norāda, ka krituma azimuts mainās no 180° līdz 210° (6. att.).

Vesetas karjera atsegums atrodas 2 km uz austrumiem no Vietalvas un atspoguļo Cesvainēs–Vietalvas kēmu terases dienvidu daļas uzbūvi (1., 6. att.). Karjers atrodas aptuveni 145 m vjl. Glaciofluviālo nogulumu slāņa biezums pārsniedz 10 m, un to veido oļi, grants un dažāda granulometriskā sastāva smilts, vietām konstatēti

arī laukakmeņi. Noguluma sagulumu var raksturot kā oļainas grants slāņmiju ar grantainas smilts vai dažāda raupjuma smilts materiālu. Novērojams paralēlais slāņojums un diagonālais slīpslāņojums (6. att.).



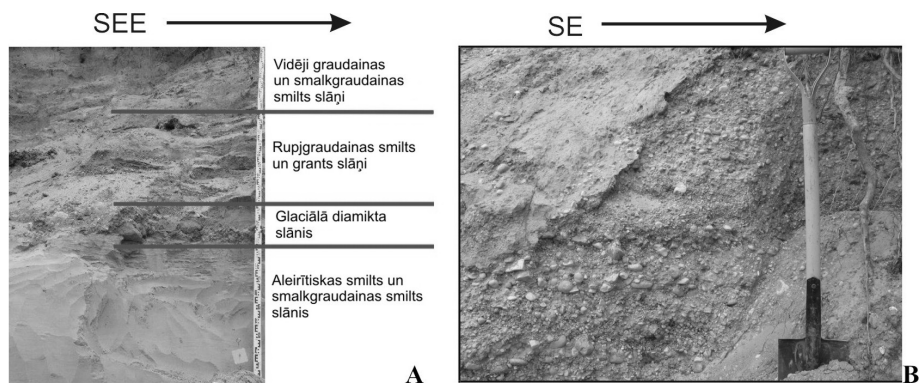
6. att. Cesvaines–Vietalvas kēmu terases iekšējā uzbūve Vietalvas karjera R sienas atsegumā. A – Vesetas karjera R sienas atseguma kopskats; B – glaciofluviālo nogulumu sagulumā paralēlais slāņojums un slīpslāņojums

Fig. 6. Internal Structure of Cesvaine–Vietalva Kame Terrace in the Outcrop of W Face of the Vietalva Gravel Pit. A – An overview of composition of the kame terrace; B – flat parallel bedding and diagonal cross bedding of glaciofluvial sediments

Veiktie nogulumu slāņu kontaktu un slīpslāņojuma mērījumi norāda, ka krituma azimuts mainās no 115° līdz pat 195° . Šie rezultāti liecina, ka ledājkušanas ūdeņu straumes ir tecējušas ieslīpi gar ledāja kontakta nogāzi, kā arī no blakus esošās augstienes teritorijas. Šajā teritorijā novērojamas dažādas deformācijas, kuru izcelsme varētu būt nogulumu glaciokarsts, kā arī nogulumu noblīvēšanās un atūdeņošanās procesi. Aptuveni 3 km uz dienvidiem no karjera, teritorijā, kuru stipri saposmojušas glaciokarsta ieplakas, tika veikti divi ģeoloģiskie urbumi ar rokas urbi. Urbuma laikā izurbtais materiāls raksturojams kā glaciofluviālas izcelsmes granšaina smilts ar oļiem aptuveni 1–1,5 m dziļumā un dažāda raupjuma smilts līdz 3 m dziļumā no zemes virsas. Urbumā konstatēti arī nelieli laukakmeņi vai lieli oļi.

Bānūžu–Lodes kēmu terases iekšējās uzbūves pētījumi tika veikti divos karjeros (1. un 7. att.). Lodes muižas karjerā, kas ierīkots šīs kēmu terases zemākajā līmenī, atseguma pamatni veido smalkgraudaina aleirītiska smilts, kuru sedz smilšaini nogulumu. Augstāk atrodas aptuveni 20–25 cm biezs glaciālā diamikta slānis, kam uzguļ grants un rupjgraudaina smilts. Nogulumiem raksturīgs paralēlais slāņojums un slīpslāņojums, vietām redzamas nelielas amplitūdas (līdz 20 cm) plaisas. Savukārt Bānūžu karjera atsegumā, kas novietots 10 m augstāk, nogulumus veido granulometriski rupjāks materiāls. Nogulumu sastāvs mainās no vidēji graudainas smilts līdz pat nelieliem laukakmeņiem, kuru garenasis sasniedz 0,4 m. Raksturīgs lēzeni paralēlais slāņojums. Nogulumu slāņu biezums mainās no 0,15 līdz 0,8 m. Šis ģeoloģiskais urbums, kas veikts kēmu terases vidusdaļā, parādīja, ka zem glaciofluviāliem nogulumiem atrodas glaciolimniskas izcelsmes nogulumu – brūns,

blīvs bezakmens māls. Tas sākas 1,5 m dziļumā. Oļu linearitātes mērījumi, kas tika veikti glaciofluviālos nogulumos Bānūžu karjerā, parāda, ka oļu garenasu dominējošais virziens ZA–DR ir perpendikulārs ledāja kontakta nogāzei.

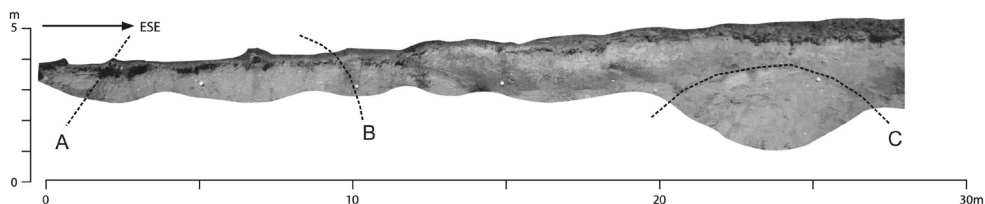


7. att. Bānūžu–Lodes kēmu terases iekšējās uzbūves īpatnības. A – Lodesmuižas karjera atseguma fragments ar slāņu raksturojumu; B – rupjgraudainas smilts, grants un oļu slāņmija Bānūžu karjera atsegumā

Fig. 7. Internal Structure of Bānūži–Lode Kame Terrace. A – A detail of the Lodesmuiža outcrop with sediment description; B – interbedding of coarse-grained sand, gravel with pebbles in the outcrop of the Bānūži quarry

Pīslas pazeminājumā pētījumi veikti atsegumā (8. att.), kas morfoloģiski atgādina kēmu terasi un atrodas 198 m vjl. Atseguma posmā no 0 līdz 10 m glaciofluviālie nogulumi atsedzas uzreiz zem augsnes horizonta, bet posmā no 10 līdz 28 m tos pārklāj smilšaini, ar oļiem bagāti brūnas morēnas nogulumi, kas pēc A. Dreimaņa (Dreimanis 1989) sniegtajām morēnas fāciju identifikācijas pazīmēm klasificējama kā bazālā morēna, ko pārveidojusi postsedimentācija. Glaciofluviālo nogulumu granulometriskais sastāvs variē no smalkgraudainas smilts ar aleirīta piejaukumu līdz pat laukakmeņiem, kuri sasniedz 0,4 m diametru. Atsegumā novērojams slīpslāņojums un nogulumu deformācijas. Nogulumu starpslāņu kontaktu mērījumu rezultāti ir ļoti atšķirīgi, tas izskaidrojams ar deformācijas radītajām izmaiņām sākotnējos nogulumu saguluma apstākļos. Atseguma posmā no 22 līdz 28 m zem morēnas nogulumiem ir novērojama krokveida deformācijas struktūra (8. att. labajā pusē).

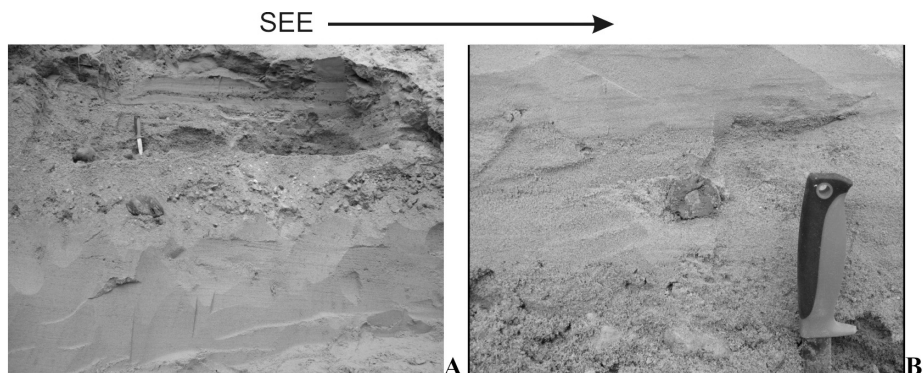
Tauriņa kēmu terases Nadziņu karjerā atsegtajam nogulumu slānim ir raksturīgs paralēlais slāņojums, ko veido dažādas graudainības smilts slāņmija ar aleirīta un oļainas grants materiālu. Lipšu karjera atsegumā nogulumu materiāls ir nedaudz rupjgraudaināks. Tā griezumā izdalās vidēji rupjgraudainas un rupjgraudainas smiltis, oļainas grants materiāls. Sastopami arī atsevišķi laukakmeņi, kas šajos nogulumos acīmredzot nonākuši nejauši, izkūstot no peldoša ledus gabaliem vai no ledāja kontakta nogāzes. Atseguma vidusdaļā tika konstatēts glaciālā diamikta lēcveida ieslēgums, ko veido aleirītisks materiāls ar oļiem. Abos atsegumos var saskatīt nogulumu saguluma nelielas nomatu tipa deformācijas.



8. att. Pīslas upes kēmu terases iekšējās uzbūves īpatnības. No līnijas A pa kreisi – glaciofluviālo nogulumu granulometriskā sastāva izmaiņas – raksturīgi smalkāku frakciju glacioakvālie nogulumi, no līnijas B pa kreisi – glaciofluviālos nogulumus sedz tikai augsnes kārtā, bet tālāk tos pārklāj postsedimentācijas procesos pārveidoti morēnas nogulumi; C līnija – krokveida deformācijas struktūra

Fig. 8. *Internal Structure of the Pīsla River Kame Terrace.* From line A to left – occurrence of finely grained glacioaquatic sediments, from line B to left – glaciofluvial deposits overlaid by soil cover: to the right glaciofluvial sediments is covered by altered till deposits; C – fold-like deformation structure

Kārļu kalna kēmu terases karjerā atsegtajam slānim raksturīgs lēzeni paralēls slāņojums, kas saposmots dažādu deformāciju rezultātā (9. att.). Atsevišķu slāņkopu kontaktus veido viļņveida slāņojums. Slāņkopu kontaktu kritumu azimuts mainās plašā diapazonā – no 52° līdz pat 316° . Nogulumu granulometriskais sastāvs ir dažāds – smalkgraudainas un vidēji graudainas smilts slāņi mijas ar oļainas grants slāņiem, bet aleirīta starpslānīši – ar grants un rupjgraudainas smilts slāņiem un diamiktona slāni. Konstatēti arī atsevišķi laukakmeņi. Atsegumā novērojams nomats, kas krīt RZR virzienā ar krituma leņķi 46° . Aptuveni 10 cm augstāk redzams vēl viens nomats ar krituma leņķi 52° RDR virzienā.



9. att. Kēmu terases uzbūves īpatnības Kārļu kalna karjerā atsegumā. A – dažāda raupjuma smilts, oļainas grants slāņu mija, vietām redzamas aleirītiskas smilts starpkārtnas; B – grants un smilts slāņu kontakts ar morēnas „oļa” ieslēgumu smilts slānī

Fig. 9. *Composition of the Kārļu hill kame terrace.* A – various grained sand and pebbly gravel with silt intercalations; B – a contact of gravel and sand layers with till clast in the sand

Pie Skujenes plakanvirsmas paugura nogāzēs ir izplatīti vairāki glaciolimnisku nogulumu kēmu terašu līmeņi (3. att.). Šos kēmu terases līmeņus veido smilts, aleirīta un māla nogulumu mainīga biežuma slāņi ar izteiktām faciālām atšķirībām.

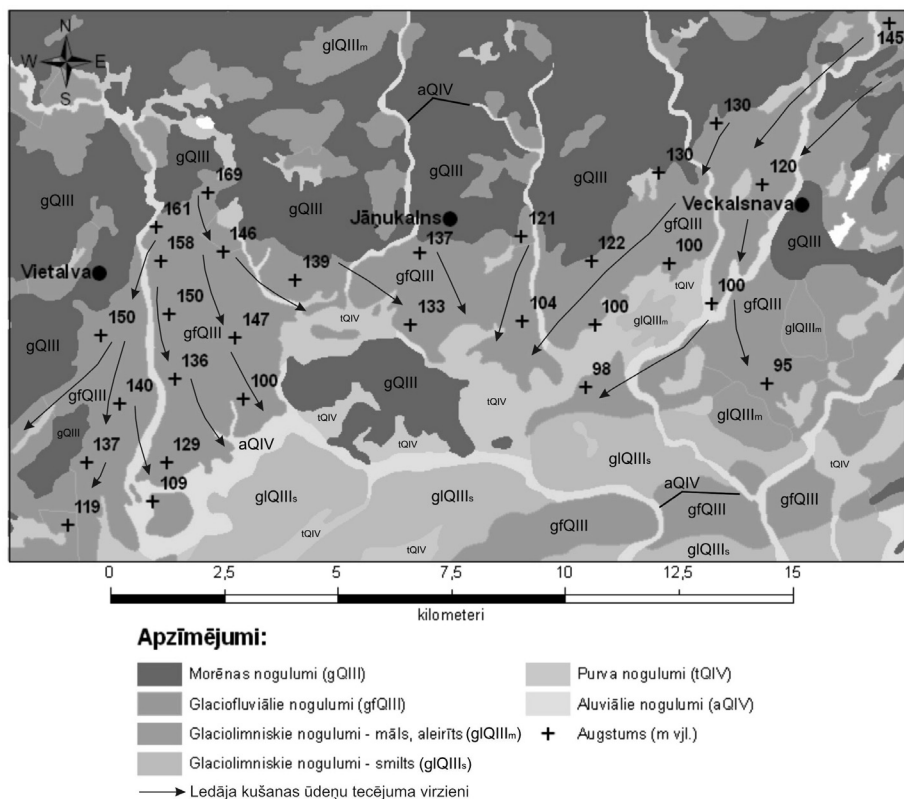
Diskusija

Vidzemes augstienes kēmu terašu pētījumi liecina, ka šo reljefa formu morfoloģijas un iekšējās uzbūves atšķirības ir savstarpēji saistītas. Pētījuma rezultātu ticamākā interpretācija norāda, ka kēmu terašu augstāko erozijas līmeņu veidošanās ir saistīta ar laterālo ledājkūšanas ūdeņu noteces ieleju veidošanos. To savā laikā ir konstatējis arī R. Praiss, veicot pētījumus Kanādā (Price 1973). Morēnas nogulumu smalkākās frakcijas tika izskalotas, tāpēc uz vietas palika tikai rupjatlūzas, kas noteica laukakmeņu bruģa rašanos uz kēmu terases virsmas vai arī laukakmeņu koncentrāciju kēmu terašu griezuma augšējā daļā. Kā liecina smilts nogulumu OSL datējumi Smeceres sila karjerā, zem laukakmeņu bruģa esošie glaciofluviālie nogulumi, kas veido Vidzemes augstienes malas zonas erozijas terases, ir sākuši uzkrāties jau vēlā Vislas ledusvairoga ledāja transgresijas laikā pirms pārsedzošās morēnas slāņkopas uzkrāšanās. Kā liecina Raukas et al. (2010) veiktais pētījums Smeceres sila atsegumā, glaciofluviālie nogulumi, kas atrodas 3–5 m dziļumā no zemes virsmas un zem laukakmens bruģa, ir nogulsņējušies pirms $19,6 \pm 1,0$ līdz $26,8 \pm 1,1$ tūkst. gadu. Augstienes iekšienē veiktie datējumi ar ^{10}Be metodi norāda, ka šīs senākās akumulatīvās terases sākušas veidoties ne agrāk kā pirms 18 tūkst. gadu, to norāda Bānūžu Velnakmens datējums uz Bānūžu–Lodes terases (Rinterknecht et al. 2006). Tomēr visticamāk, ka tas jau pirms terases veidošanās ir nonācis virs ledus, jo tā vecums atbilst Latvijas teritorijas deglaciācijas sākumstadijai, kuras laikā Austrumlatvijas salveida akumulatīvi glaciostrukturālajās augstienēs samazinājās ledāja segas biežums, bet ledus masu konverģences zonās zemledāja apstākļos veidojās ledāja gultnes deformācijas, kas pēc ledāja nokušanas eksponējas kā pirmmasīvpauguri un plakanvirsmas pauguri (Zelčs and Markots 2004).

Analizējot Cesvaines–Vietalvas kēmu terases līmeņu hipsometriskā augstuma atšķirības un nogulumu starpslāņu kontaktu mērījumu rezultātus, ir pamats uzskatīt, ka ledājkūšanas ūdeņu straumes kēmu terases Z daļā tecējušas D un DR virzienā. Vietalvas apkārtnē, kur liela nozīme ir bijusi drupu materiāla pieplūdei no augstienes, ledājkūšanas ūdeņu straumes tecējušas D, DR un DA virzienā (10. att.).

Lodesmuižas apkārtnē veiktie pētījumi parāda, ka Bānūžu–Lodes kēmu terase sākumposmā veidojusies plaša ledājkūšanas ūdeņu baseina apstākļos. Par to liecina glaciolimniskas izcelsmes nogulumi (bezakmens slokšņu māls), kas tika konstatēti pie Ilzes ezera ziemeļaustrumu ZA krasta, veicot ģeoloģisko urbšanu. Turpmākais kēmu terases attīstības posms sākās ar nelielas caurteces attīstību baseinā. Par to liecina aleirītiskie nogulumi, kuri konstatēti Lodesmuižas karjera atseguma dziļākajos slāņos. Turpmāk kēmu terases attīstījās ievērojami straujāk, iespējams, veidojās baseina ierobežojošās malas pārrāvums, tāpēc ūdens caurplūdums strauji palielinājās. Šo procesu rezultātā uzkrājās rupjāks sanesu materiāls – rupjgraudaina smilts, grants un oļi, kā arī diamiktona slānis Lodes muižas karjera atsegumā. Šajā kēmu terasē konstatēts, ka granulometriski rupjākie nogulumi nogulsņējušies tuvāk iespējamai ledāja kontakta malai, kur ūdens plūsmas spēks ir bijis vislielākais. Šīs kēmu terases

augstākajos līmeņos ir novērojama rupjgraudaināka materiāla koncentrācija. Varbūt, ka tā ir saistīta ar straujāku ledāja kušanas ūdeņu veidošanos, kas bija lielāka, kad formējās kēmu terases augstākie līmeņi.



10. att. Galvenie ledāja kušanas ūdeņu tecēšanas virzieni Cēsvalnes–Vietalvas kēmu terases posmā no Aronas ielejas līdz Vietalvai

Fig. 10. Main Meltwater Stream Directions During Formation of the Southern Portion of the Cēsvalne–Vietalva Kame Terrace

Taures pagastā Pīslas pazeminājumā veiktie iekšējās uzbūves pētījumi sniedz liecību, ka šī kēmu terase veidojusies ledājkušanas ūdeņu erodējošās darbības rezultātā, tiem noskalojot morēnas materiālu atseguma posmā starp 2 un 10 m. Šajā kēmu terases posmā glaciofluviālie nogulumu atrodas uzreiz zem augsnes horizonta. Iespējams, ka noskalotais materiāls ir noguldīts atseguma vietā, kas atbilst 0–2 m, vai arī, kā liecina ģeoloģiskās kartēšanas materiāli, ledājkušanas ūdeņu baseinā, kas ir eksistējis šajā teritorijā (Juškevčs 2000). Par to liecina glaciofluviālo nogulumu granulometriskā sastāva ievērojamās atšķirības. Atseguma daļā no 20 līdz 28 m konstatēta krokveida deformācija, kas, iespējams, veidojusies vēl glaciotektonisku

procesu ietekmē zemledāja apstākļos. Šī deformācija ir ietekmējusi glaciofluviālo nogulumu saguluma apstākļus, to apstiprināja nogulumu slāņkopu kontaktu mērījumi.

Tauriņa kēmu terasi galvenokārt veido smilts un oļainas grants materiāls. Rupjāki nogulumi, t. sk. nelieli laukakmeņi, ir sastopami hipsometriski zemākās vietās, kas bijušas tuvāk ledāja ķermenim, kur ledājkušanas ūdeņu intensitāte bijusi ievērojami stiprāka. Drupu materiāla pienese galvenokārt bijusi no ledāja puses, par to liecina veiktie nogulumu slāņkopu kontaktu mērījumi – dominējošais virziens ir no dienvidiem. Granulometrisko sastāvu varēja ietekmēt ablācijas morēnas nogulumi, kas no ledāja ķermeņa virsmas, ledāja kušanas ūdeņu daļēji pārskaloti, nonāca kēmu terases zemākajos līmeņos.

Kārļu kalna kēmu terasē novērotās deformācijas varētu būt radušās glaciokarsta, nogulumu noblīvēšanās, atūdeņošanās (nogulumu blīvuma inversijas) un slīdēšanas rezultātā. Nogulumu granulometriskā dažādība izskaidrojama ar ledājkušanas ūdeņu straumju intensitātes maiņu. Kārļu kalna nogāzes stipri saposmojuši gravu veidošanās procesi, un atsevišķas lielas gravas cieši robežojas ar kēmu terasi. Gravu veidošanās procesi, iespējams, ietekmēja kēmu terases morfoloģiju un uzbūves īpašības.

Savukārt glaciolimnisko kēmu terašu veidošanās ir saistīta ar ledāja kušanas ūdeņu baseinu attīstību. Skujenes plakanvirsas paugura virsotne veidojās, ledāja kušanas ūdeņiem uzkrājoties baseinā un izveidojoties caurkusumam. Ledājam kustot un paplašinoties, caurkusumam mainījās baseina izmēri un konfigurācija. Šo procesu rezultātā baseina ūdens līmenis hipsometriski samazinājās, tāpēc nogulumi sāka nogulsnēties uz platopaugura nogāzēm. Šādā veidā pakāpeniski veidojās vairāki kēmu terašu līmeņi, līdz ledājs izkusa pavisam vai arī izveidojās pārrāvums kādā no caurkusuma malām. Skujenes platopaugura morfoloģiskā shēma ataino ledāja kušanas ūdeņu baseina un kēmu terašu līmeņu attīstības secību – vecākie kēmu terašu līmeņi atrodas augstāk, jaunākie zemāk.

Pētījuma laikā ar OSL metodi iegūtie nogulumu datēšanas rezultāti tika salīdzināti ar ^{10}Be izotopa datējumiem (Rinterknecht et al. 2006). Nācās atzīt, ka būtiskās datēšanas kļūdas, kas raksturīgas ^{10}Be datēšanas metodei, pieļauj to, ka ar šo metodi iegūtos rezultātus var izmantot vienīgi, lai noteiktu kēmu terašu veidošanās procesu relatīvās laiktelpiskās attiecības. Veicot laukakmeņu ^{10}Be datēšanu, netiek ņemts vērā tas, ka laukakmeņi auksta klimata periodos ir segti ar sniega kārtu un šajā laikā nesaņem ievērojamu daudzumu saules radiācijas, kā arī bieži vien laukakmeņus klāj sūnas, kas arī var ietekmēt precīzu datēšanas rezultātu iegūšanu.

Secinājumi

Vidzemes augstienē veiktie pētījumi norāda, ka kēmu terašu morfoloģiskie paveidi un telpiskā izplatība ir saistīti ar to uzbūves īpatnībām. Augstākie kēmu terašu līmeņi bieži vien ir veidojušies ledājkušanas ūdeņu erozijas rezultātā. Savukārt kēmu terašu zemākie līmeņi ir radušies nogulumu uzkrāšanās rezultātā. Kēmu terašu morfoloģiskā daudzveidība un iekšējās uzbūves īpatnības atspoguļo to veidošanās apstākļu daudzveidību. Vidzemes augstienē pārsvarā ir izplatītas glaciofluviālas izcelsmes kēmu terases, retāk sastopamas glaciolimniskas izcelsmes kēmu terases. Daudzas kēmu terases veido gan glaciofluviālie, gan glaciolimniskie nogulumi. Tas

izskaidrojams ar daudzveidīgajiem un bieži mainīgajiem apstākļiem kēmu terašu veidošanās laikā. Kēmu terases nogulumu uzkrājušies samērā ilgā laika posmā, tāpēc ievērojami atšķiras pēc vecuma.

Pateicība

Pētījums veikts ar LU pētniecības projekta Nr. 2007/ZP-87 „Skandināvijas ledusvairoga dienvidu malas iekšējās zonas vēlā posma deglaciācijas notikumu hronoloģijas pilnveidošana” un ESF projekta „Atbalsts doktora studijām Latvijas Universitātē”, (Nr. 2009/0138/1DP/1.1.2.1.2/09/IPIA/VIAA/004) atbalstu. Raksta autors izsaka pateicību profesoram V. Zelčam par sniegto atbalstu pētījuma veikšanā un Mārim Nartišam un Artūram Putniņam par palīdzību lauka pētījumos.

LITERATŪRA

- Āboltiņš, O., Veinbergs, I., Danilāns, I., Stelle, V., Straume, J., Eberhards, G., Juškevičs, V., Jaunputniņš, A. 1972. Main Features of Glacial Morphogenesis and Peculiarities of Deglaciation of the Last Glaciation in the Territory of Latvia. Danilāns, I. & Āboltiņš, O. (ed.) *Putyevoditel polevogo simpoziuma III Vsesoyuznogo mezhdzvedomstvennogo soveschaniya po izucheniju krayevykh obrazovaniy materikovogo oledeneniya*, 3–16. Rīga: Zinātne (in Russian).
- Āboltiņš, O., Straume, J., Juškevičs, V. 1975. Relief Peculiarities and Main Stages of Morphogenesis of the Central Vidzeme Elevation. In: Danilans, I. (ed.) *Problems of Quaternary Geology*, 8, 31–47. Rīga: Zinatne (in Russian with English summary).
- Āboltiņš, O., Straume, J. & Juškevičs, V. 1976. The Relief and Main Stages of Glacial Morphogenesis of the Aluksne Elevation. In: Danilans, I. (ed.) *Problems of Quaternary Geology*, 9, 74–89. Rīga: Zinatne (in Russian with English summary).
- Āboltiņš, O. 1989. *Glaciotectonic Structure and Glacial Morphogenesis*. Rīga: Zinatne, 284. (in Russian).
- Āboltiņš, O. 1995. Vidzeme Highland. In: Schirmer W. (ed.) *Quaternary Field Trips in Central Europe*. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, Munchen, 159–160.
- Āboltiņš, O. 1998. Glacial Geology of the Vidzeme Upland. *Field Symposium on Glacial Processes and Quaternary Environment in Latvia, Excursion Guide*. University of Latvia, Rīga, 49–51.
- Āboltiņš, O., Markots, A. 1998. Morphology and Internal Structure of Plateau-Like Hills at Skujene. *Field Symposium on Glacial Processes and Quaternary Environment in Latvia, Excursion Guide*. University of Latvia, Rīga, 57–61.
- Bitinas, A., Karmaziene, D., Jusiene, A. 2004. Glaciolacustrine Kame Terraces as an Indicator of Conditions of Deglaciation in Lithuania during the Last Glaciation. *Sedimentary Geology*, v. 165, 3–4, 285–294.
- Danilāns, I. 1961. *Kvartāra periods un šī laika posma nogulumi Latvijā*. Rīga: LVI, 108 lpp.
- Danilans, I. 1973. *Quaternary Deposits of Latvia*. Rīga: Zinatne, 212–265 (in Russian).
- Dreimanis A. 1989. Tills: Their Genetic Terminology and Classification. In: Goldthwait, R. P., Matsch, C. L. (Eds.) *Genetic classification of Glacigenic Deposits*. A. A. Balkema, Rotterdam, 17–83.
- Flint, R. F. 1964. *Glacial and Pleistocene Geology*. USA, John Wiley & Sons, INC., 149–152.

- Hawley, J. W., Parsons, R. B. 1980. *Glossary of Selected Geomorphic and Geologic Terms. Mimeo*. USDA Soil Conservation Service. West National Technical Centre, Portland, OR.
- Huddart, D., Lister, H. 1981. The Origin of Ice Marginal Terraces and Contact Ridges of East Kangerdluarssuk Glacier, SW Greenland. *Geografiska Annaler* 63A, 31–39.
- Jamieson, T. F. (1874) *On the last stage of the Glacial Period in North Britain*. Geol. Soc. London Quart. Jour., v. 30, 317–338.
- de Jong, M. G. G., Rappol, M. 1983. *Ice-Marginal Debris Flow Deposits in Western Allgau, Southern West Germany*. Boreas 12, 57–70.
- Juškēvičs, V. 2000. Kvartārs. *Ģeoloģiskā karte M 1 : 200000*, 43. lapa – Rīga, 53. lapa – Aināži. Paskaidrojuma teksts un kartes. Rīga: Valsts ģeoloģijas dienests, 10.–30. lpp.
- Levson, V. M., Rutter, N. W. 1989. Late Quaternary Stratigraphy, Sedimentology, and History of the Jasper Townsite Area, Alberta, Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences* 26, 1325–1342.
- Mannerfelt, C. M. 1945. Nagra Glacialmorfologiska Formelement. *Geografiska Annaler* 27, 1–239.
- Mannerfelt, C. M. 1949. Marginal Drainage Channels as Indicators of the Gradients of Quaternary Ice Caps. *Geografiska Annaler* 31, 194–199.
- Meirons, Z. 1975. The Relief Peculiarities of the Latgale Elevation and the Bordering Areas of the East-Latvian Lowland. In: Danilans, I. (ed.) *Problems of Quaternary Geology*, 8, 48–81. Rīga: Zinatne (in Russian with English summary).
- Price, R. J. 1973. *Glacial and Fluvio-glacial Landforms*. Edited by Clayton, K. M. Oliver & Body. Edinburgh, 242.
- Raukas, A., Stankowski, W., Zelčs, V., Šinkunas, P. 2010. Chronology of the Last Deglaciation in the South-Eastern Baltic Region on the Basis of Recent OSL dates. *Geochronometria*, 36, 1–8, doi 10.2478/v10003-010-0011-7.
- Rinterknecht, V. R., Clark, P. U., Raisbeck, G. M., Yiou, F., Bitinas, A., Brook, E. J., Marks, L., Zelčs, V., Lunkka, J.-P., Pavlovskaya, I. E., Piotrowski, J. A., Raukas, A. 2006. The Last Deglaciation of the Southeastern Sector of the Scandinavian Ice Sheet. *Science*, 311, 10 March 2006, 1449–1452.
- Russell, I. C. 1893. Malaspina Glacier. *Journal of Geology*, v. 1, 219–245.
- Salisbury, R. D. 1893. Surface Geology-Report of Progress, 1892. *New Jersey Geol. Survey, Ann. Rept. For the year 1892* (1893), pt. 1, 33–328.
- Salisbury, R. D. 1902. The Glacial Geology of New Jersey. *New Jersey, Geological Survey. Final Report v. 5*, 802.
- Shepps, V. C. 1983. Kame. In: Fairbridge R. W. (ed.) *The Encyclopedia of Geomorphology*. Reinhold book corporation, New York, 578–579.
- Sissons, J. B. 1958. Supposed Ice-Dammed Lakes in Britain, with Particular Reference to the Eddleston Valley, Southern Scotland. *Geografiska Annaler* 40, 159–187.
- Straume, J. 1979. Geomorphology. In: Misans, J., Brangulis, A., Danilans, I. & Kuršs, V. (eds.). *Geologisches stroyenie i poleznye iskopayemye Latvii*, 302–345. Rīga: Zinatne (in Russian).
- Thornbury, W. D. 1954. *Principles of Geomorphology*. New York, John Wiley and Sons, Inc., 618 p.
- Zelčs, V., Markots, A. 2004. Deglaciation History of Latvia. In: Ehlers J., Gibbard P. L. (eds.) *Extent and Chronology of Glaciations, v. 1 (Europe)*. Elsevier, 225–244.

Summary

The paper is based on analysis of the large-scale cartographic materials, data from field studies and results of the sediment OSL age determination. This study reveals morphological, genetic, and internal composition diversity of the kame terraces, and the variety of their formation conditions. The belt-like and segment-type morphological types of the kame terraces can be distinguished. The belt-like kame terraces have a genetic relationship with the lateral meltwater channels. Formation of the kame terraces in the Vidzeme Upland started soon after the formation of the subglacial glaciotectionic bedforms in the central part of the upland, but terminated with the retreat of the glacier from marginal formations of the Gulbene deglaciation phase.

Keywords: *kame terraces, glaciofluvial deposits, morphology, OSL age.*

Rauņa ielejas attīstība leduslaikmeta beigu posmā un holocēnā

Development of the River Raunis Valley During Late Glacial and Holocene

Māris Krievāns

Latvijas Universitāte
Raiņa bulv. 19, Rīga, LV-1586
E-pasts: *maris.krievans@lu.lv*

Pētījums balstīts uz lauka pētījumu datiem, radioaktīvā oglekļa datēšanas rezultātiem, lielmēroga topogrāfisko karšu un digitālā zemes virsmas modeļa analīzi. Iegūti jauni, augstas precizitātes dati par Rauņa ielejas morfoloģiju un attīstību. Tie ļauj secināt, ka Rauņa ieleja ir salikts veidojums. Tās atsevišķi posmi un ar tiem saistītās fluviālās erozijas reljefa formas ir veidojušies dažādā laikā, sākot ar ledāja atkāpšanos no Vidzemes augstienes Mežoles pauguraines Gulbenes deglaciācijas fāzes malas veidojumiem. Jaunākais ielejas posms leļpus Veselavas gala morēnas, kas šķērso Rauņa paleoezeru, ir radies ne agrāk kā boreāla beigās.

Atslēgvārdi: terases, upes garenprofils, Rauņa paleoezers, regresīvā erozija, Veselavas gala morēna, datējumi.

Ievads

Raunis ir Raunas kreisā pieteka. Rauņa augštece atrodas Vidzemes augstienes Mežoles paugurainē Raunaiša ezera ieplakā. Upe augšteces posmā šķērso Dzirnupes ieplaku un gala morēnu. Leļpus gala morēnas tā tek pa erozijas saposmotu līdzenumu, bet lejastecē šķērso Trikātas pacēlumu. Upes kopējais garums ir 28 km, vidējais garenkritums 5,1 m/km. Tādējādi Raunis ir viena no straujākajām Latvijas upēm. Īpaši liels gultnes garenkritums ir gan augšteces posmā, kur tā tek pa augstienes ziemeļu nogāzi un šķērso Veselavas gala morēnu, gan tās lejteces posmā, kur tās lokālo erozijas bāzi veido dziļi iegrauztā Raunas ledāļkušanas ūdeņu noteces ieleja. Rauņa labajā krastā starp veco un jauno Cēsu–Madonas šosejas posmu atrodas īpaši aizsargājamais ģeoloģiskais dabas piemineklis Rauņa slāņi.

Ļoti ilgi pastāvējis uzskats, ka Rauņa ieleja kā noteces ieleja ir veidojusies leduslaikmeta beļpus posmā pēc tā sauktās Rauņa slāņu uzkrāšanās un radusies, ledāļkušanas ūdeņu paliku ezeriem noplūstot uz Raunu (Āboltiņš et al. 1972; Āboltiņš et al. 1975). Minētais viedoklis ir atspoguļojies arī ģeoloģiskās kartēšanas materiālu (M 1: 50 000) interpretācijā un upju ieleju ģenētiskajā klasifikācijā (Eberhards 1972). Tikai vēlākie ielejai pieguļošās teritorijas ģeoloģiskās uzbūves pētījumi un radioaktīvā oglekļa datējumumu rezultāti radīja šaubas par šādu ielejas attīstību (Zelčs et al. 2009).

Pētījuma mērķis bija noskaidrot Rauņa ielejas morfoloģijas īpatnības, veidošanās apstākļus un iespējamo ielejas vecumu. Galvenie pētījumu uzdevumi bija izstrādāt Rauņa un Vaives ielejas un to pieguļošo teritoriju trīsdimensionālu reljefa modeli un ģeomorfoloģiski kartēt un izvērtēt eksogēnos procesus un to veidotās reljefa formas, it īpaši Rauņa ielejā posmā no Rauņa ietekas Raunā līdz Veselavas galamorēnai. Tas ir ļoti svarīgi, jo Rauņa paleobaseina Rauņa slāņu griezumā uzbūve, paleoģeogrāfiskā situācija un vecums joprojām tiek plaši apspriesti (Ehlers et al. 1991; Ceriņa et al. 1998), īpaši jau nogulumu veidošanās apstākļi un to rašanās laiks (Danilāns 1973; Meirons and Straume 1979; Zelčs and Markots 2004; Raukas and Kajak 1995; Kalm 2005; Rinterknecht et al. 2006), taču nav skaidra priekšstata par Rauņa ielejas morfoloģiju, uzbūvi un attīstību.

Iepriekšējie pētījumi un teritorijas ģeoloģiskais raksturojums

Pētījumu apgabalā, kas ietver Rauņa ieleju un tai pieguļošo teritoriju, ir veikta M 1 : 50 000 un M 1 : 200 000 ģeoloģiskā kartēšana (Brangulis et al. 2000). Rauņa ielejas atsegumu pētījumi ar pārtraukumiem ilgst jau gandrīz 50 gadus. Rauņa slāņi tika atklāti 1960. gadā (Savvaitovs and Straume 1963) Rauņa upes labā pamatkrasta augšdaļā starp autoceļa Cēsis–Veselava veco un jauno tiltu. Agrākos pētījumos iegūtie materiāli pamatoja Rauņa laika intervāla nodalīšanu, tāpēc šie atsegumi ir leduslaikmeta beigu posma notikumu nozīmīga liecība un Rauņa slāņu stratotips. Iepriekšējos pētījumos iegūtie materiāli pamatoja Rauņa laika nodalīšanu (Danilāns, 1973). Tas tiek uzskatīts kā agrīnākais no līdz šim konstatētajiem leduslaikmeta beigu posma relatīvi siltajiem laika intervāliem Latvijā un Austrumeiropas līdzenuma ziemeļrietumu daļā. Tāpēc tas tiek pieņemts par leduslaikmeta beigu posma sākumu, kad izbeidzās arī ledājkūšanas ūdeņu notece no Skandināvijas ledusvairoga uz Melno jūru (Zelčs et al. 2009).

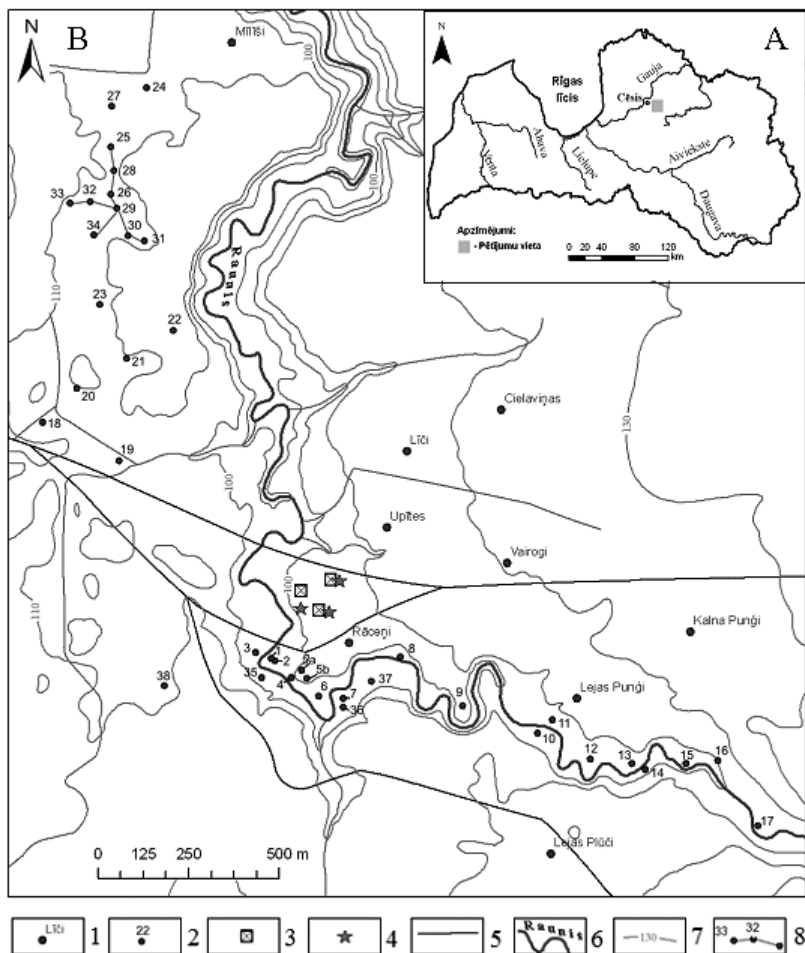
Intensīvi pētījumi iepriekš minētajā griezumā un skatrakumos, kā arī urbumos notika 60. un 90. gados, kā arī 2008. un 2010. gadā. Plašas pētnieku diskusijas ir izraisījis tieši nogulumu veidošanās laiks un apstākļi. Kopumā raugoties, plašāki pētījumi ir veikti Rauņa labā pamatkrasta atsegumā (Savvaitov and Straume 1963; Danilāns 1973; Meirons and Straume 1979; Ceriņa et al. 1998; Jakubovska et al., 1999; Kalniņa et al. 2009; Zelčs et al. 2009), tomēr informācijas par pašu Rauņa ielejas veidošanos ir maz. Vispārīgs ielejas apraksts ir veikts M 1 : 50 000 ģeoloģiskās kartēšanas laikā (Straume et al. 1981).

Rauņa ielejai pieguļošajā teritorijā ir ievērojama ģeoloģiskā un ģeomorfoloģiskā dažādība, kas kopumā raksturīga teritorijām, kuras atrodas zemes virsas reljefa lielformu – ledāja zemieņu un augstieņu – pārejas joslā. Zemkvartāro virsmu veido devona nogulumieži. Rauņa lejtēcē ielejas pamatkrastā atsedzas Franā stāva Gaujas svītas smilšakmens, kas veido pat līdz 30 m augstus atsegumus.

Kvartāra nogulumu slāņkopas lielāko daļu veido pleistocēna nogulumi, kuru biezums pētāmajā teritorijā sasniedz 20–30 m. Veselavas grēdā un Vidzemes augstienes ziemeļu nogāzē to biezums palielinās līdz 60–80 m. Visbiežāk izplatīti ir glaciģēnie nogulumi, kuri pārsedz ledāja dislocētos glaciofluviālos nogulumus. Rauņa ielejas tuvumā tā augštecē, kā arī pie Veselavas un samērā plašā teritorijā upes lejtēcē zemes virspusē atsedzas glaciofluviālie nogulumi, bet platības ziņā nelielajā Rauņa paleoezera līdzenumā – limniski aluviālie nogulumi.

Materiāli un metodes

Pētījumu teritorija atrodas Vidzemes augstienes Mežoles pauguraines ziemeļu daļā un Trikātas pacēluma galējos dienvidos, 9 km uz austrumiem no Cēsīm, Priekuļu novadā (1. att.). Rauņa krastos un tiem pieguļošajā teritorijā lauka pētījumi tika veikti divos posmos 2008. un 2009. gadā.



1. att. Pētījumu teritorijas novietojums. A – Latvijas teritorijā, B – ģeoloģisko urbumu, skatrakumu un ^{14}C datējumu vietu izvietojums Rauņa vidustecē. Apzīmējumi: 1 – māju nosaukumi; 2 – urbumu vietas; 3 – skatrakumi; 4 – ^{14}C datējumi; 5 – ceļi; 6 – ūdensteces; 7 – horizontāles, izvilktas ik pēc 10 m; 8 – ģeoloģiskais griezum

Fig. 1. Location of the Study Area. A – Position in Latvian territory, B – position of the boreholes, position of the ^{14}C dating samples and sondages in the River Rauņa middle course. Legend: 1 – name of farmhouses; 2 – boreholes; 3 – sondages; 4 – ^{14}C dating; 5 – road; 6 – watercourses; 7 – contour lines, the contour interval is 10 meter;

8 – geological cross section

Lauka pētījumu pirmajā posmā bija jānoskaidro Rauņa paleozera nogulumu izplatība un to raksturs Rauņa labā un kreisajā krasta teritorijā. To laikā tika izdarīti ģeoloģiskie urbumi ar rokas urbi, veikta urbumu ģeotelpiskā piesaiste ar GPS uztvērēju, sastādīts pētījuma vietu ģeodēziskais plāns, ierīkoti šurfi paleobaseina dziļākajā daļā nogulumu paraugu ņemšanai un to palinoloģiskai un karpoloģiskai izpētei, kā arī nogulumu vecuma noteikšanai ar ^{14}C metodi. Tajā pašā gadā tika rekonstruēta un iepazīta Rauņa ielejas vidustece un tās morfoloģija, kā arī ar GPS fiksēti noslīdeņu un sengravu un Rauņa pieteku gravieļu lokalizācija.

Otrajā posmā tika noskaidrota Rauņa kreisajā krastā atklātā baseina nogulumu izplatība, kā arī ievākti paraugi palinoloģiskai un karpoloģiskai izpētei tā dziļākajā daļā. Tajā pašā gadā tika sīki izpētīta Rauņa lejteces un augšteces morfoloģija un uzbūve leļpus Vidzemes šosejas.

Izmantojot M 1 : 10 000 topogrāfiskās kartes, tika izstrādāts Rauņa un Vaives ielejas un to pieguļošo teritoriju trīsdimensionālais reljefa modelis (turpmāk tekstā – 3D modelis). Modelis tika izveidots, lietojot *ESRI ArcGIS* programmu saimes *ArcGIS Desktop* programmatūras aplikācijas *ArcCatalog version 9.3*, *ArcMap version 9.3* un *ArcScene version 9.3*. Turpmākos kamerālos darbos no aerofotogrāfijām, topogrāfiskajām kartēm un izveidotā modeļa ir izveidota teritorijas ģeomorfoloģiskā karte, kurā ir atzīmētas terases, gravas un to izneses konusi. Aerofoto uzņēmumu apstrādē izmantota datorprogramma *StereoPhoto Maker ver. 4.0*.

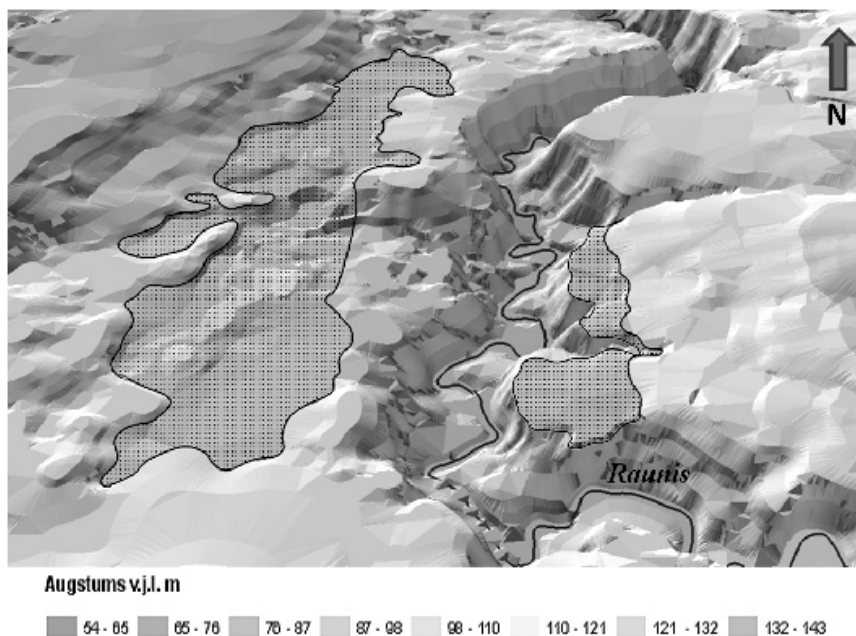
Modelis tika izveidots, lai ne tikai vizualizētu teritoriju un kartētu fluviālo un nogāžu procesu radītās reljefa formas, bet arī lai veiktu pētījumu teritorijas ģeotelpisko, tajā skaitā ģeostatistisko, reljefa analīzi. Tika analizēts upes gultnes garenprofils, šķērsprofili un šķērsriezuma laukuma izmaiņas upes garumā un veikta to salīdzinošā analīze starp dažādiem ielejas posmiem. Šajā pētījumu posmā tika apvienota informācija, kas ir iegūta no aerofotogrāfijām, 3D reljefa modeļa un dabā veiktajiem reljefa formu pētījumiem, lai varētu izvērtēt netiešo metožu lietošanas iespējas reljefa formu dešifrēšanā.

Rezultāti un interpretācija

Noskaidrota Rauņa ielejas labā krasta paleozera nogulumu izplatība, veikta Rauņa ielejas morfoloģiskā analīze un raksturota paraugu ievākšanas vieta radioaktīvā oglekļa analīzēm.

Rauņa ielejas labā krasta paleozera nogulumu izplatība

Ņemot par pamatu Rauņa paleozera nogulumu izplatību ielejas labajā krastā, kas sakrīt ar 110 m horizontāli, tika modelēta iespējamā paleobaseina izplatība iepriekš minētās horizontāles robežās. Spriežot pēc modeļa datiem, tika secināts, ka Rauņa paleozers, iespējams, ir bijis krietni lielāks, nekā tas tika uzskatīts līdz 2008. gada lauka pētījumiem. Aplūkojot modeli (2. att.), redzams, ka baseina nogulumu ir izplatīti arī samērā plašā teritorijā Rauņa ielejas kreisajā krastā. Ģeoloģiskās urbšanas rezultāti (26., 32., 33. un 34. urbums) apstiprināja hipotēzi par iespējamo baseina nogulumu izplatību ielejas kreisajā krastā līdz 110 m līmenim.



2. att. Rauņa paleozera nogulumu izplatība. Paleozera nogulumu izplatība ir parādīta kā punktoti laukumi

Fig. 2. Prevalence of the Rauņa Palaeolake Sediments. Occurrence of the palaeolake sediments is marked as dotted areas

Lauka pētījumos tika konstatēts, ka aptuveni 1 km ZR virzienā no Upīšu mājām un 450 m uz DR no Mīlīšu mājām ielejas kreisajā krastā zem kūdras nogulumiem paguļ sapropelis. Ieplakās starp pacēlumiem sapropelis satur gliemju čaulas. Sapropēļa biežums kopumā nepārsniedz 1,5 m. Vairākos urbemos tas ir nedaudz smilšains. Uz sapropēļa uzguļ vāji līdz vidēji labi sadalījusies kūdra, kas griezumā uz augšu pāriet labi sadalījušās kūdrā. Kūdras kopējais biežums izpētītajā teritorijā nepārsniedz 2 m. Paleozera nogulumu izplatīti DDR–ZZA virzienā stieptā 350–400 m garā un 150 m platā joslā. Jāpiemin, ka organogēno nogulumu biežums palielinās virzienā uz ZZA.

Ņemot vērā modeļa datus, kā arī lauka pētījumu rezultātus, pastāv liela varbūtība, ka iepriekš minētie nogulumu ir Rauņa paleozera nogulumu turpinājums, jo topogrāfiski tie abi atrodas vienā līmenī (110 m vjl.) un starp tiem nav reljefa pacēlumu, kas tos nošķirtu. Tomēr pagaidām nav zināms kreisā krasta paleozera nogulumu vecums.

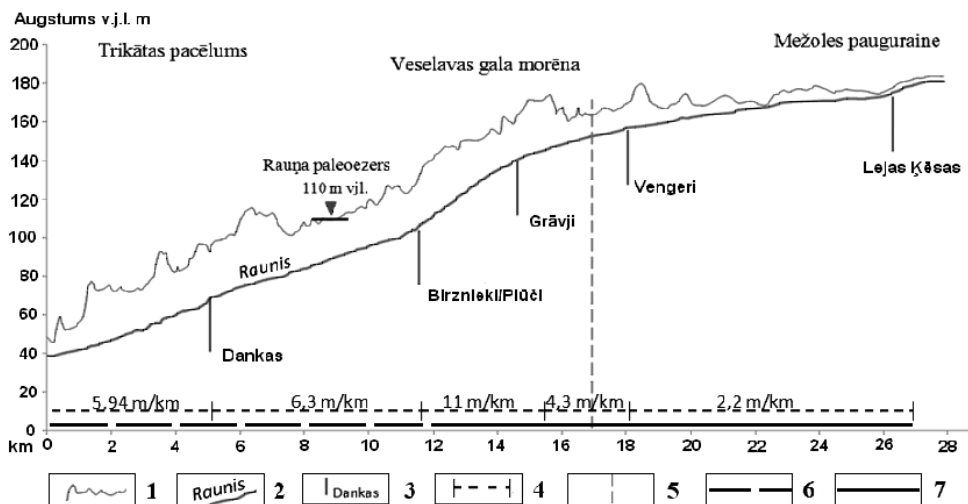
Rauņa ielejas garenprofils un terases

Rauņa ielejas garenprofils (3. att.) tika iegūts, savietojot M 1 : 10 000 lauka pētījumus, tajā skaitā nivelēšanas datus, un trīsdimensionālo zemes virsmas modeli. Vidējais aprēķinātais upes kritums ir 5,1 m/km, maksimālais kritums sasniedz 12 m/km. Profilā redzami vairāki posmi, kur strauji mainās upes garenkritums.

Nošķirto posmu kritums tika aprēķināts promilēs jeb m/km pēc B. Sarma sniegtās formulas (Sarma, 1960):

$$I = (\Delta H/L) \times 1000,$$

kur I – upes relatīvais kritums (m/km); ΔH – ūdens līmeņa atzīmju starpība apskatāmajos punktos (m); L – attālums starp apskatāmajiem punktiem (m).



3. att. Rauna ielejas garenprofils. Vertikālais mēroga pārspīlējums 65 : 1

Apzīmējumi: 1 – zemes virsas topogrāfiskais profils gar upes ielejas pamatkrasta augšējo kroti; 2 – Rauna gultnes garenprofils; 3 – māju nosaukumi; 4 – gultnes garenprofila krituma lūzumpunkti; 5 – litiskā robeža starp terīgēnajiem un karbonātiskajiem nogulumiežiem; 6 – ieteka Raunā–Dankas–Birznieki/Plūči; 7 – Birznieki/Plūči–Grāvji–Vengeri–Lejas Ķēsas

Fig. 3. Longitudinal Profile of the River Raunis. Vertical Exaggeration is 65 : 1

Legend: 1 – earth surface topographical profile along the river valley bank; 2 – longitudinal profile of the bed; 3 – name of farmhouses; 4 – places where a stream gradient abruptly changes; 5 – a lithic border between terrigenous and carbonatic Devonian sedimentary rock; 6 – the River Raunis mouse–Dankas–Birznieki/Plūči; 7 – Birznieki/Plūči–Grāvji–Vengeri–Lejas Ķēsas

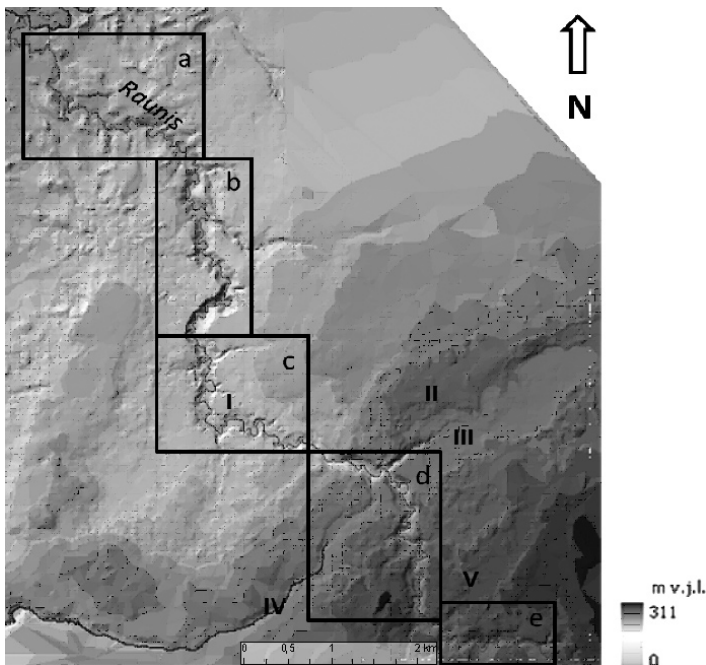
Aprakstot Rauna ielejas terases, tika nošķirti pieci dažādi upes ielejas posmi (4. att.). Posmu sadalīšanai jau sākotnēji par pamatu tika ņemts vērā ielejas platums, dziļums un krituma izmaiņas upes garenprofilā. Pakārtota loma tika piešķirta gravām un citiem ielejas elementiem, piemēram, gultnes platumam vai dziļumam. Virspalu terases kartē ir ievietotas manuāli, izmantojot topogrāfiskos datus un lauka novērojumus.

Posmos no ietekas līdz Dankām un no Dankām līdz Birznieku un Plūču mājām, kur novērojami divu līmeņu virspalu terašu fragmenti, abas terases atrodas praktiski vienā un tajā pašā līmenī virs mūsdienu upes līmeņa. Tāpat izdalās divi savstarpēji gandrīz paralēli palienes līmeņi. Atšķirīga situācija veidojas nākamajā posmā no

Birznieku un Plūču mājām līdz Grāvjiem, kur straujais garenkrituma pieaugums atgādina pārgāzni. Paliene ir šaura, un novērojami viena līmeņa terašu fragmenti.

Savienojumā ar posmu ieteka Raunā–Dankas–Birznieki/Plūči kopējais garenprofils atgādina upes augšteces un vidusteces posma garenprofiliem raksturīgo morfoloģiju. Tāpat, apvienojot garenprofila posmu Birznieki/Plūči–Grāvji un Grāvji–Vengeri līdz Lejas Ķešu mājām, iegūstam līdzīgu garenprofilu iepriekš apskatītajam (3. att.).

Posmā no Rauņa ietekas Raunā līdz Vengeru mājām konstatēti 54 terašu un pseidoterašu fragmenti, kuru augstums virs upes līmeņa ir no 2 līdz 14 m. 30 terašu fragmentu augstums nepārsniedz 3,5 m virs upes līmeņa.



4. att. Rauņa ieleja pēc garenprofila nošķirto posmu izvietojuma uz digitālā zemes virsmas modeļa

Apzīmējumi: a – ieteka Raunā–Stallī, b – Stallī–Cielaviņas, c – Cielaviņas–Birznieki/Plūči, d – Birznieki/Plūči–Vilkupurvs, e – Vilkupurvs–augštece; I – Rauņa paleozers; II – Veselavas gala morēnas valnis; III – Dzirnaupe ieplaka; IV – Augšvaive ieplaka ar marginālo ledājkūšanas ūdeņu noteces leju; V – Mežoles pauguraines Gulbenes deglaciācijas fāzes malas veidojumi

Fig. 4. Location of Longitudinal Profile Sections of the River Raunis Valley on the Terrain Digital Model.

Legend: a – the River Raunis mouse–Stallī, b – Stallī–Cielaviņas, c – Cielaviņas–Birznieki/Plūči, d – Birznieki/Plūči–Vilkupurvs, e – Vilkupurvs–riverhead; I – Raunis paleolake; II – Veselava end moraine; III – Dzirnaupe depression; IV – Augšvaive depression with marginal meltwater drainage channel; V – ice marginal formations of the Gulbenes deglaciation phase in the Mežole hilly area

Paraugu ievākšanas vietu radioaktīvā oglekļa analizēm raksturojums

Tallinas Tehnoloģiju universitātes Ģeoloģijas institūtā un Maiami *Beta Analytic* laboratorijā veiktie nogulumos izklaidēto organisko makroatlieku datējumi uzrāda šādu ^{14}C vecumu (1. tabula). Organiskais materiāls vecuma noteikšanai tika noņemts no atseguma sienas (Latvija – 1 un RAU1) un skatrakumiem (Raunis Nr. 4, 5, 6 un Veselava Nr. 1) (Kalniņa et al. 2009; Zelčs et al. 2009).

Tabula
Table

Radioaktīvā oglekļa datēšanas rezultāti

The Results of the Radiocarbon Dating

Parauga Nr.	Intervāls, m no zemes virsmas (m)	Vecums, pirms mūsdienām	^{14}C datējuma nr.	Datējamais materiāls	Koordinātas
Raunis Nr. 6	1,99–2,05	9450 ± 80 BP	Tln3114	aleirīts	25°26'4,054" E 57°17'38,618"N
Raunis Nr. 5	2,0–52,15	9517 ± 80 BP	Tln3113	kūdra	25°26'4,054" E 57°17'38,618"N
Raunis Nr. 4	2,18–2,36	9624 ± 90 BP	Tln3112	aleirīts	25°26'4,054" E 57°17'38,618"N
Latvia-1	0,75–1,5	8925±120 BP	Beta-70902	kūdra	25°25'59,857"E 57°17'36,605"N
Veselava Nr. 1	0,60–0,72	3321±60 BP	Tln3111	kūdra	25°29'13,919"E 57°17'28,9"N
RAU 1	1,5–1,7	9,709 ± 78 BP	AA53593 LAT	kūdra	25°25'59,857"E 57°17'36,605"N

Diskusija

Kvartāra nogulumu un reljefa veidošanās Rauņa ielejas apkārtnē cieši jāsaieta ar Linkuvas ledāja oscilācijas fāzes deglaciācijas posmu un ledājukušanas ūdeņu noteces veidošanos gar Veselavas gala morēnas valni. Neapšaubāmi, ka tagadējā upes augšteces posma veidošanās augšpus Dzirnavupes un Augšvaives pazeminājuma aizsākās jau ledāja Gulbenes fāzes deglaciācijas laikā (Āboltiņš et al. 1972). Šajā darbā iegūtie pētījumu rezultāti par Rauņa ielejas morfoloģiju norāda, ka pret agrāk izteiktajiem pieņēmumiem (Āboltiņš et al. 1972; Āboltiņš et al. 1975; Eberhards 1972) par Rauņa ielejas gandrīz vienlaicīgu izveidošanos visā tās garumā un saistībā ar Gaujas ielejas attīstību, sākot ar leduslaikmeta beigu posmu, ir jāizturas ar lielu piesardzību.

Nozīmīgs faktors, kas nosaka pastāvīgās ūdenstece garenprofila izmaiņas, ir īpaši kritumu sadalījumu un arī fluviālo procesu attīstības virzību, ir mūsdienu upju mantotie ielejveida pazeminājumi un subglaciālās iegultnes. G. Eberhards (2006) norāda, ka, plūstot pa šīm mantotajām fluviālo procesu maz pārveidotajām formām, upēm ir lēzeni garenprofili – pretēji tām, kas blakus posmos plūst pa erozijas ceļā izveidotām ielejām. Tāpēc viņš uzskata, ka Rauņa ieleja ir radusies erozijas rezultātā kā ūdeņu noteces leja. Viņa uzzīmētais profils to arī it kā apliecina, jo tas ir gandrīz

taisns ar savstarpēji paralēlu terašu virsmu teju visā upes garumā. Kā viņš raksta (Eberhards, 1972), tāds tas ir raksturīgs augstieņu nogāžu ūdeņu noteces lejām, kur upes iegrauššanās noris sinhroni ar vienādu intensitāti visā tās garumā. Autora iegūtie dati liecina par nevienmērīgu Rauņa ielejas morfoloģiju.

O. Āboltiņš (Āboltiņš 1971) uzskata, ka, atkāpjoties Vidusgaujas mēlei (Ziemeļvidzemes ledusmēlei – pēc Straume 1979 un Meirons et al. 1976; Burtnieka leduslobam – pēc Zelčs and Markots 2004) no Veselavas gala morēnas, Vidzemes augstienes ziemeļu daļā ilgi saglabājās lieli aprimuša ledus lauki, kas Rauņa ielejas apkārtnē bija sastopami līdz pat laikam, kad izveidojās Silciema piededāja baseins. Šī slēdziena kontekstā J. Straume (Straume 1979) norāda, ka Vidzemes augstienes ziemeļu perifērijas zonu starp Līgatni un Brantiem šķērso virkne ledājkūšanas ūdeņu noteces leju, un min Raunas, Vaives, Līgatnes u. c. upju ielejas.

Pēc O. Āboltiņa (Āboltiņš 1971) domām, izveidojoties Silciema baseinam, sākās intensīva aprimušo ledus masīvu kušana Līgatnes un Braslas upes apkārtnē. Savukārt, veidojoties Gaujas ielejai Līgatnes–Siguldas posmā, sākās aprimušā ledus kušana Rauņa ielejas apkārtnē un Raunas ielejas veidošanās (Āboltiņš 1971). Pēc O. Āboltiņa datiem (*ibid.*), ledāja malai atkāpjoties līdz līnijai Pabaži–Sēja, Silciema baseina līmenis kritās līdz 38 m (bija 60 m). Šajā laikā veidojās Raunas augstākā terase un Vaives augstecē piededāja baseinā uzkrājās slokšņu māli. Noslēdzotajā fāzē Valmieras un Raunas apkārtnē izkusa pēdējais aprimušais ledus, tāpēc baseins, kas atradās Vidusgaujas pazeminājumā, varēja noplūst rietumu virzienā un turpinājās Raunas un Vaives ielejas attīstība (Āboltiņš 1971).

Tomēr šajā darbā iegūtie dati par Rauņa upes terašu izplatību un garenprofilu, kā arī ģeoloģisko urbumu dati par Rauņa paleoezeru nogulumu izplatību un Rauņa ielejai piegulošās paleoezera teritorijas pārpurvošanās laiku liek domāt, ka šāds attīstības scenārijs ir pieļaujams tikai Rauņa ielejas lejasposmam – no ietekas Raunā līdz Staļļu mājām (4. att.).

Aplūkojot Rauņa lejteci posmā ietece Raunā–Staļļu mājas, kā arī Raunas kreiso krastu augšpus Rauņa un Raunas sateces rajona, redzams, ka to izrobo vairākas lielas gravielejas (gravu ielejas (pēc J. Soma (Soms 2010) dotās terminoloģijas)). Svarīgi atzīmēt, ka šīs gravielejas, kas atrodas starp erozijas palikšņiem Rauņa lejtecē, ir gandrīz paralēlas apskatāmajam Rauņa ielejas posmam. Iespējams, ka tieši kāda no lielākajām gravām, kas pakāpeniski palielināja savu ūdensguves baseinu (arī uz blakusesošo erozijas formu rēķina regresīvās erozijas rezultātā) un sasniedza pazemes ūdeņu līmeni, arī veido upes ielejas apakšējo posmu.

Kā tiek atzīmēts zinātniskajā literatūrā (Charlton 2009), gultnē plūstošo ūdeņu un nogāžu procesu rezultātā pakāpeniski mazās fluviālās formas, pastāvot labvēlīgiem apstākļiem, var pārveidoties lielākās formās. Izskalojumvagai augot dziļumā un garumā, var izveidoties grava. Turpinoties vai arī atsākoties dziļumerozijai, ko var izraisīt zemes garozas celšanās vai, kā tas, visticamāk, bija šajā gadījumā, – lokālās erozijas bāzes pazemināšanās, īslaicīga sezonāla notece var kļūt pastāvīga un grava vai pat sengrava var pārvērsties morfoloģiski savdabīgā upes ielejā. Tas notiek tikai tad, ja dziļumerozijas rezultātā tiek atsegts gruntsūdeņu horizonts un, izplūstot tā ūdeņiem, izveidojas patstāvīga upīte (Eberhards 1978).

Līdzīgi, iespējams, attīstījās arī Rauņa ielejas lejtece. Tā kā augšpus gravām atradās Rauņa paleoezers, tad varbūt lietusgāžu vai spēcīgāku pavasara palu vai plūdu laikā izveidojās lielāka straume, kas savienoja Rauņa paleoezeru ar kādas lielākas gravas augšgalu. Tā, kā gravai nebija izveidojies dinamiskā līdzsvara profils, tad palielinātā notece visā tās posmā izraisīja intensīvu dziļumeroziju, kas tālāk padziļināja paleoezera izteku un pazemināja tā līmeni vai pat izraisīja gandrīz pilnīgu tā noplūšanu. To apliecina arī abu Rauņa garenprofila lejasposmu ieteka Raunā – Dankas un Dankas–Birznieki/Plūči izplatīto divu līmeņu terašu fragmentu novietojums vienādā augstumā virs tagadējā Rauņa gultnes līmeņa. Tas norāda uz upes sinhronu iegraušanos abos šajos posmos visā to garumā līdz vietai, kur profilā sākās pārgāzne.

Purva nogulumu uzkrāšanās sākums pirms 9624±90 g. p. m. liecina, ka ezera līmeņa pazemināšanās vai noplūšana sekmēja pārpurvošanas procesu sākumu paleoezera aizņemtās teritorijas pazeminājumos. Regresīvā erozija, kas turpinājās, vēl vairāk pastiprināja drenāžu, tāpēc kūdras uzkrāšanās notika salīdzinoši īslaicīgi. Kā liecina 14C dati, kūdras uzkrāšanās beidzās pirms apmēram 8925±120 g. p. m. (Zelčs et al. 2009). Strauji pazeminoties Rauņa paleoezera līmenim, strauji pazeminājās arī erozijas bāze tērcītēm, kas, iespējams, plūda no Veselavas galamorēnas uz paleoezeru. Sākoties arī regresīvajai erozijai ne tikai Rauņa lejtecē, bet arī augštecē, tika pārtverta Vaives augštece vai tās pieteka augšpus Veselavas gala morēnas. Tas varēja notikt aptuveni pirms 3321±60 g. p. m., kad sākās kūdras uzkrāšanās Veselavas ieplakā.

Rauņa augšteces posms augšpus Veselavas gala morēnas grēdas sākotnēji ir attīstījies kā paleoezers, kas izveidojās kādreizējā pieledāja sprostezera drenāžas rezultātā. Sprostezers aizņēma Veselavas galamorēnas distālajai nogāzei pieguļošo Dzirnupes un Augšvaives ieplaku. Šo ieplaku, kā tas redzams digitālajā zemes virsmas modelī (4. att.), drenēja Vaive, kuras augštece veidojās kā ledājkūšanas ūdeņu marginālā (laterālā) noteces leja. Par šāda sprostezera pastāvēšanu norāda arī O. Āboltiņš (1998). Iespējams, ka ledāja sprostezeram noplūstot, šis tagadējais Rauņa augšteces posms varēja būt vai nu Vaives augštece vai pieteka.

Secinājumi

Balstoties uz veiktajiem lauka pētījumiem, radioaktīvā oglekļa, lielmēroga topo-grāfisko karšu un autora izstrādātā digitālā zemes virsmas modeļa datiem, ir iegūti jauni, augstas precizitātes dati par Rauņa ielejas morfoloģiju un attīstību. Tie pierāda, ka Rauņa ieleja ir salikts veidojums. Tās atsevišķi posmi un ar tiem saistītās fluviālās erozijas formas ir veidojušies dažādā laikā, sākot ar Gulbenes deglaciācijas fāzi.

Pētījuma rezultāti un ģeoloģisko urbumu dati liek secināt, ka Rauņa paleoezera nogulumi ir izplatīti krietni plašākā teritorijā – arī ielejas kreisajā krastā. Tomēr šis secinājums ir balstīts uz ģeoloģisko griezumų uzbūves analogiju, tāpēc, lai gūtu drošu pārliecību, ir nepieciešams noteikt kreisā krasta paleoezera absolūto nogulumu vecumu.

Rauņa paleoezerā nogulumu uzkrāšanās notikusi, sākot no ledāja atkāpšanās no Veselavas galamorēnas līdz pat gandrīz boreāla beigām (8925±120 g. p. m.). Tas liecina, ka Rauņa ielejas posms, kas šķērso paleoezera ieplaku, ir jaunāks.

Upes gultnei ir salikts garenprofils, kurā izšķir divus posmus. Katrs no tiem noslēdzas ar garenkrituma strauju palielināšanos. Augšējais relatīvi viennmērīgais posms, kas pārveidots meliorācijas rezultātā, stiepjas no Lejas Ķēsām līdz upes iztekai no Rauņa ezera.

Upes ielejā terases ir izsekojamas fragmentāri. Samērā drošas liecības ir tikai par diviem fragmentāriem terašu līmeņiem, kas vislabāk izsekojami upes ielejas posmā Cielaviņas–Birznieki/Plūči un ieteka Raunā–Stalji. Terašu līmenis abpus Dzirnnavupes–Augšvaives pazeminājuma liecina par intensīvāku dziļumeroziju attiecīgu upes posmu augšteces virzienā.

Rauņa posms augšpus Veselavas gala morēnas ir radies Vaives upes augšteces pārtveršanas rezultātā regresīvās erozijas ceļā. Tas varēja notikt aptuveni pirms 3321 ± 60 ^{14}C g. p. m., un to apliecina ezera kūdras uzkrāšanās sākums Dzirnnavupes iepakā pēc ezera noplūšanas.

Ledāja augstieņu nogāžu un to pakājei pieguļošo zemieņu apvidu hidrogrāfiskā tīkla attīstības izpēte var sniegt nozīmīgu ieguldījumu leduslaikmeta beigu posma un pēcleduslaikmeta paleoģeogrāfisko apstākļu un zemes virsmas procesu norises noskaidrošanā.

Pateicība

Radioaktīvā oglekļa datējumi un dažas citas izmaksas ir segtas no LU granta Nr. 2007/ZP-87 „Skandināvijas ledusvairoga dienvidu malas iekšējās zonas vēlē Vislas posma deglaciācijas notikumu hronoloģijas pilnveidošana” līdzekļiem.

LITERATŪRA

- Āboltiņš, O. 1971. *Formation of the River Gauja Valley*. Rīga: Zinātne, 105 (in Russian).
- Āboltiņš, O. 1998. Stop 11. End Moraine at Veselava. In: Zelčs V. (eds.) *Field Symposium on Glacial Processes and Quaternary Environment in Latvia. Excursion Guide*. University of Latvia, Riga, 66–73.
- Āboltiņš, O., Straume, J., Juškevičs, V. 1975. Relief Peculiarities and Main Stages of Morphogenesis of the Central Vidzeme Elevation. In: Danilāns, I. (eds.) *Problems of Quaternary Geology*, 8. Rīga: Zinātne, 31–47 (in Russian).
- Āboltiņš, O., Veinbergs, I., Danilāns, I., Stelle, V., Straume, J., Eberhards, G., Juškevičs, V., Jaunputniņš, A. 1972. Main Features of Glacial Morphogenesis and Peculiarities of Deglaciation of the Last Glaciation in the Territory of Latvia. In: Danilāns, I., Āboltiņš O. (eds.) *Putyevoditel' polevogo simpoziuma III Vsesoyuznogo mezhdvedomstvennogo soveschaniya po izucheniyu kravevykh obrazovaniy materikovogo oledeneniya*. Rīga: Zinātne, 3–16 (in Russian).
- Brangulis, A. J., Juškevičs, V., Kondratjeva, S., Gavēna, I., Pomeranceva, R. 2000. *Latvijas ģeoloģiskā karte, mērogs 1 : 200 000, 43. lapa – Rīga, 53. lapa – Ainaži, paskaidrojuma teksts un kartes*. Rīga: Valsts ģeoloģijas dienests, 68 lpp.
- Cerina, A., Danilāns, I., Dreimanis, A., Jakobovska, I., Stelle, V., Zelčs, V. 1998. Stop 12. Raunis Late Glacial Deposits Southeaster from Cesis. In: Zelčs, V. (eds.) *Field Symposium on Glacial Processes and Quaternary Environment in Latvia. Excursion Guide*. Riga: University of Latvia, 66–73.

- Charlton, R. 2008. *Fundamentals of Fluvial Geomorphology*. New York: Routledge, 234.
- Daniļāns, I. 1973. *Quaternary Deposits of Latvia*. Rīga: Zinātne, 312 (in Russian).
- Eberhards, G. 1972. *Structure and Development Valleys of Catchment Area of the River Daugava*. Rīga: Zinātne, 132 (in Russian).
- Eberhards, G. 1978. *Fluviālā ģeomorfoloģija 2 D.* Rīga: LVU, 52 lpp.
- Eberhards, G. 2006. *Pēdējā apledošana apgabalā upju ieleju veidošanās un mūsdienu gultnes procesi (Baltijas reģions)*. Rīga, 186 lpp. (Manuskripts.)
- Ehlers, J., Gibbard, P., Rose, J. 1991. Glacial Deposits of Britain and Europe: General Overview. In: Ehlers, J., Gibbard, P., Rose, J. (eds.) *Glacial Deposits in Great Britain and Ireland*. Balkema, A. A. Rotterdam, 493–503.
- Jakubovska, I., Savvaitov, A., Veinbergs, I., Stelle, V. 1999. Stratigraphical Position of Raunis Interstadial in Glaciation Curve of Late Pleistocene in Latvia. In: Kirsimāe, K., Ainsaar, L. (eds.) *Field Symposium on Pleistocene Stratigraphy and Glacial Chronology – Southern Estonia. Abstract Volume*. Institute of Geology University of Tartu. Tartu, 28–29.
- Kalm, V. 2006. Pleistocene Chronostratigraphy in Estonia, Southeastern Sector of the Scandinavian Glaciations. *Quaternary Science Reviews*, 25, 960–975.
- Kalniņa, L., Ceriņa, A., Goroņeva, I., Apsīte, L. 2009. Paleoveģetācijas liecības par Rauņa paleobaseina attīstības apstākļiem leduslaikmeta beigu posmā un holocēnā. *Latvijas Universitātes 67. zinātniskā konference. Ģeogrāfija, ģeoloģija, vides zinātne. Referātu tēzes*. Rīga: Latvijas Universitāte, 194.–196. lpp.
- Meirons, Z., Straume, J. 1979. Cenozoic group. In: Misāns, J., Brangulis, A., Daniļāns, I., Kuršs, V. (eds.) *Geologicheskoe strojenje i poleznye iskopayemye Latvii*. Rīga: Zinātne, 176–268 (in Russian).
- Meirons, Z., Straume, J., Juškevičs, V. 1976. Main Varieties of the Marginal Formations and Retreat of the Last Glaciation in the Territory of Latvian SSR. In: Daniļāns, I. (eds.) *Problems of Quaternary Geology, 9*. Rīga: Zinātne, 50–73 (in Russian with English summary).
- Raukas A., Kajak K. 1995. Quaternary Stratigraphy in Estonia. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences, Geology*, 44 (3), 149–162.
- Rinterknecht, V. R., Clark, P. U., Raisbeck, G. M., Yiou, F., Bitinas, A., Brook, E. J., Marks, L., Zelčs, V., Lunkka, J.-P., Pavlovskaya, I. E., Piotrowski, J. A. and Rauka, A. 2006. The Last Deglaciation of the Southeastern Sector of the Scandinavian Ice Sheet. *Science*, 311, 1449–1452.
- Sarma, B. 1960. *Upju hidroloģija: noteces un hidrometrijas pamati*. Rīga: Latvijas Valsts izdevniecība, 204 lpp.
- Savvaitov, A., Straume, J. 1963. On the Problem of Two Till Units of the Valdaian Glaciation in the Area between the Lower Reaches of the Rivers Daugava and Gauja. In: Daniļāns, I. (eds.) *Questions of Quaternary Geology, 2*. Rīga: Zinātne, 71–86 (in Russian).
- Soms, J. 2010. *Gravu morfoloģija, to veidošanās un erozijas tīkla izvietojuma likumsakarības dienvidaustrumu Latvijā*. Rīga: Latvijas Universitāte, 175 lpp. (Promocijas darbs.)
- Straume, J. 1979. Geomorphology. In: Misāns, J., Brangulis, A., Daniļāns, I., Kuršs, V. (eds.) *Geologicheskoe strojenje i poleznye iskopayemye Latvii*. Rīga: Zinātne, 297–439 (in Russian).
- Straume, J., Bendrups, L., Venska, V., Arhanova, T., Rubens, I., Zīverts, A., Fisunova, O. 1981. *The Gauja National Park Geological Map on the Scale of 1 : 50 000*. Explanatory Text with Geological Maps. Rīga: LĢF, Nr. 9855, 380 (in Russian).

- Zelčs, V., Markots, A. 2004. Deglaciation History of Latvia. In: Ehlers, J., Gibbard, P. L. (eds.) *Extent and Chronology of Glaciations, v. 1 (Europe)*. Elsevier, 225–244.
- Zelčs, V., Nartišs, M., Celiņš, I., Markots, A., Strautnieks, I., Krievāns, M., Saks, T., Kalvāns, A. 2009. Raunis paleoezera nogulumu, to izplatība un raksturs. *Latvijas Universitātes 67. zinātniskā konference. Ģeogrāfija, ģeoloģija, vides zinātne. Referātu tēzes*. Rīga: Latvijas Universitāte, 263.–265. lpp.

Summary

This study is based upon the field investigation data, radiocarbon dating results and analysis of large scale topographic maps and digital terrain model (DTM). As a result new accuracy and precision data are obtained regarding to morphology and development of the River Raunis. These data reveal a complex and multistep formation of the River Raunis valley and related landforms of fluvial erosion starting with glacier retreat from the Gulbene deglaciation phase marginal formations at the Mežole hilly area of the Vidzeme Upland. The youngest span of the valley downstream of the Veselava end moraine, that crosses the Raunis paleolake crossing span was formed in Post-Boreal time.

Keywords: *terraces, river longitudinal profile, Raunis paleolake, regressive erosion, Veselava end moraine, radiocarbon datings.*

Madlienas nolaidenuma glaciotehtoniskās reljefa formas *Glaciotectonic Landforms in the Madliena Tilted Plain*

Kristaps Lamsters

Latvijas Universitāte
Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte
Raiņa bulv. 19, Rīga, LV-1586
E-pasts: kristaps.lamsters@gmail.com

Šajā pētījumā ir aplūkots Madlienas nolaidenuma reljefs, galvenokārt glaciotehtoniskās ledāja reljefa formas, to morfoloģijas un telpiskās izplatības īpatnības. Reljefa formas tika digitizētas pēc PSRS armijas Ģenerālštāba topogrāfiskajām kartēm mērogā 1 : 25 000, izmantojot *ArcView* programmu. Kopā identificētas 1353 reljefa formas, tajā skaitā 858 konverģentie drumlini, 307 Linkuvas galamorēnas un recesionālā tipa veidojumi, kā arī 188 pārējās formas. Reljefa veidošanos noteica Zemgales ledus lobs, kurš bija sadalījies vairākās ledus mēlēs; ledāja plūsmas laterālās kompresijas Vidzemes augstienes tuvumā un kvartāra un pamatiežu zemās ūdens caurlaidības dēļ bija piemēroti apstākļi konverģento drumlinu un citu glaciotehtonisko reljefa formu izveidei.

Atslēgvārdi: glaciotehtoniskās ledāja reljefa formas, Madlienas nolaidenums, konverģentie drumlini, Linkuvas galamorēna, recesijas morēnas.

Ievads

Ledāja reljefa formu veidošanās Madlienas nolaidenumā galvenokārt notika vēlā Vislas (vietējais apzīmējums – Latvijas) apledošanas deglaciācijas gaitā, kad Gulbenes un Linkuvas stadiju laikā notika Zemgales ledusloba reaktivizācija un radās glaciotehtoniskās reljefa formas. Nozīmīgākās no tām ir konverģentie drumlini (turpmāk tekstā – krumlini) un ar Linkuvas gala morēnu saistītie ledāja malas veidojumi (Āboltiņš 1970). Sekojošo deglaciācijas fāžu laikā radās recesionālā tipa veidojumi (turpmāk tekstā – recesijas morēnas) un osi.

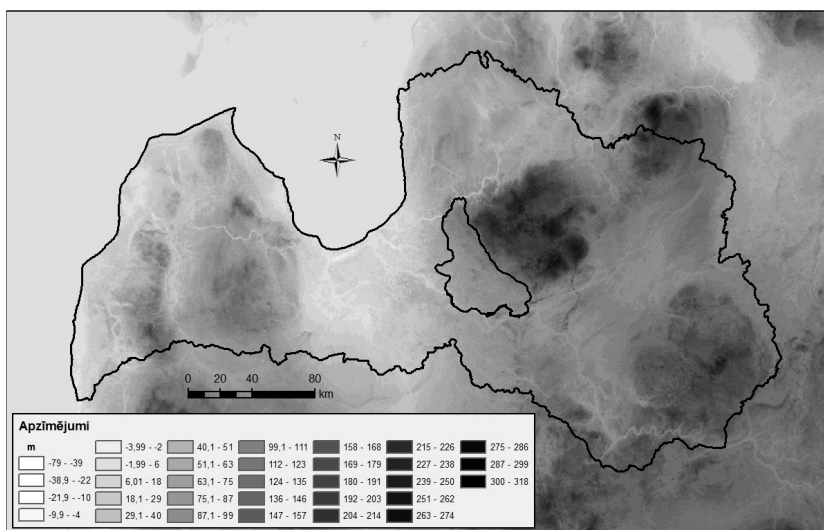
Pētījuma mērķis ir izpētīt ledāja reljefa attīstību Madlienas nolaidenumā, lielāko uzmanību pievēršot glaciotehtoniskajām reljefa formām. Pētījuma gaitā tika digitizētas ledāja reljefa formas, iegūti krumlinu un galamorēnu morfoloģiskie parametri, izpētītas to telpiskās izplatības īpatnības.

Pētījuma aktualitāte ir saistāma ar mūsdienu glaciotekonikas pētījumu attīstību, tie īpašu uzmanību pievērš procesiem ledāja gultnes kontaktzonā. Krumlini kā viens no drumlinu paveidiem ir relatīvi maz izpētīti veidojumi gan Latvijā, gan arī pasaulē, tādēļ, lietojot jaunas glaciotekonikas atziņas, ir nepieciešams noskaidrot šo ledāja reljefa savdabīgo formu un to telpiskā sakopojuma veidošanās īpatnības Madlienas krumlinu laukā. Agrāk šīs reljefa formas Latvijā tika dēvētas par morēnas uvāliem (Straume 1979; Zelčs 1993a, b), un tikai vēlāk tie tika klasificēti kā viens no glaciotekonisko drumlinu paveidiem (Zelčs 1998a, 2001). Ļoti aktuāli ir arī

jautājumi par sānu bīdes morēnām, kas pasaulē ir nesen atklātas un liecina par relatīvi ātru ledus plūsmu (Stokes and Clark 2002; Stokes et al. 2007; Hindmarsh and Stokes 2008), gala un recesijas morēnu ģenēzi. To atrisināšana var palīdzēt noskaidrot būtiskus ledāja dinamikas aspektus un rekonstruēt ledāja atkāpšanās gaitu.

Pētāmās teritorijas raksturojums

Pētāmā teritorija atrodas Viduslatvijas zemienes ziemeļaustrumu daļā un ietver Madlienas nolaidenumu (1. att.), kas robežojas ar Gaujas senieleju ziemeļos un Lejasdaugavas senieleju dienvidos. Rietumos robeža ir ar Ropažu līdzenumu, kas aptuveni atbilst Silciema sprostezera nogulumu izplatības austrumu robežai. Ropažu līdzenumā aktīva ledāja radītie veidojumi jau ir pārskaloši un pārsegti ar Silciema un Zemgales spostezeru un Baltijas ledus ezera smilšainajiem nogulumiem. Ievērojamākās reljefa formas šajā teritorijā ir Kangaru osi, kuru distālie gali iesniedzas arī Madlienas nolaidenumā. Pētāmā teritorija austrumos robežojas ar Vidzemes augstieni. Šo robežu iezīmē augstienes perifēriālās zonas orientētā ledāja malas veidojumu reljefa ledus kontakta nogāze (Āboltiņš et al. 1975). No Austrumlatvijas zemienes Aronas paugurlīdzenuma Madlienas nolaidenumu šķir Pļaviņu valnis.



1. att. Pētāmās teritorijas novietojums digitālajā augstuma modelī (izstrādājis autors, izmantojot SRTM digitālo augstuma modeli (pieejams: <http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp>))

Fig. 1. Location of the Research Area (prepared using Shuttle Radar Mission Model (SRTM) (Available: <http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp>))

Pamatiežu virsa pētāmajā teritorijā pazeminās no 85 līdz 30 m vjl. virzienā no ziemeļaustrumiem uz dienvidrietumiem ziemeļu daļā un no austrumdienvidaustrumiem uz rietumziemeļrietumiem dienvidu daļā. Galējā ziemeļaustrumu stūrī pamatiežu virsā izdalās lokālais paaugstinājums ar augstāko atzīmi 112 m vjl. Kā to

norāda V. Zelčs (1998b), sastopami arī citi sīkāki lokālpaaugstinājumi: „Viduslatvijas nolaidenuma dienvidaustrumu daļā Ķeipenes, Zādzenes, Vecbebru un Rīteru apkaimē pamatiežu virsu saposmo lokāli paaugstinājumi un palikšņi.” Pamatiežu virsu saposmo arī apraktās ielejveida formas – Gaujas senieleja posmā no Līgatnes līdz Murjāņiem, Daugavas senieleja posmā augšpus Skrīveriem, neliela apraktā ieleja ir dienvidos no Suntažiem, kur pamatiežu vīrsas sasniedz zemāko hipsometrisko atzīmi: –81 m. Teritorijā sastopamas arī mazākas apraktās lejas – Ogres, Lielās Juglas, Tumsupes un Krievupes leja. Apvidū vīrs Jaunjelgavas vērojams iegarens pamatiežu vīrsas pazeminājums ar kritumu ziemeļaustrumu–dienvidrietumu virzienā, kur tas krustojas ar aprakto ieleju.

Madlienas nolaidenumā pamatiežu vīrsā atsedzas Gaujas, Amatas, Katlešu un Ogres svītu terīgēnie ieži, kā arī Pļaviņu, Salaspils un Daugavas svītu karbonātiem (Brangulis et al. 1998). Gaujas svītas augšdaļā iegul māla, smilšakmens un aleirolīta mija. Amatas svītu veido smilts, smilšakmens un aleirolīta slāņkopa. Ogres svītas augšdaļa sastāv no māla un dolomītmerģeļa ar smilšakmens starpslāņiem. Pļaviņu svītu galvenokārt veido dolomīts un dolomītmerģelis ar plānām māla starpkārtām. Salaspils svīta sastāv no māla, dolomītmerģeļa, mālaina dolomīta un ģipsakmens. Daugavas svītu veido dolomīts un dolomītmerģelis (Liepiņš 1961).

Augšdevona terīgēnajiem iežiem, kas iegul zem kvartāra nogulumiem, varētu būt zema ūdens caurlaidība, daļēji tie pat ir ūdensnecaurlaidīgi. Gaujas svītas augšējā daļā aleirolīts un māls veido ūdensnecaurlaidīgu joslu starp Gaujas un augstāk guļošo Amatas ūdens horizontu; Salaspils svītas apakšējā un augšējā daļa parasti sastāv no māla un merģeļa, kas ir ūdensnecaurlaidīgi ieži; Ogres svītā mālainie ieži sastopami kā svītas apakšējā, tā arī augšējā daļā un izveido horizonta ūdensnecaurlaidīgo slēdzējslāni (Lavriniči 1961).

Lielākā daļa Madlienas nolaidenuma glaciotektonisko reljefa formu atrodas Ogres svītas iežu izplatības areālā, kas ir ūdens mazcaurlaidīgi. Zemā pamatiežu ūdens caurlaidība varēja sekmēt krumlinu veidošanos, jo kvartāra nogulumos tika uzturēts augsts porūdeņu spiediens, kas sekmēja morēnas horizontālās bīdes pretestības samazināšanos un veicināja deformāciju rašanos (Āboltiņš 1999; Rattas and Piotrowski 2003; Rattas 2004). Augsts porūdeņu spiediens izraisīja arī glaciotektonisko formu kodolos esošo ledājkūšanas ūdeņu nogulumu deformēšanos. Pastāvot augstam porūdeņu spiedienam, efektīvais spiediens tuvojas nullei, nogulumu piesātinās ar ūdeni un ļoti ātri deformējas (Menzies et al. 2002).

Glaciotektoniskās darbības rezultātā veidotās reljefa formas kopumā ir izplatītas gan terīgēno, gan karbonātisko pamatiežu vietās. Lai gan iežu litoloģiskais sastāvs ir ļoti atšķirīgs (smilšakmens, aleirolīts, māls, domerīts, dolomīts, ģipsis, turklāt sastopami dažādi starpslāņi), tiem varētu būt līdzīga ūdenscaurlaidība (piemēram, karbonātiem ūdenscaurlaidība var krietni variēt atkarībā no to plaisainības un plātņainības), kas izskaidro glaciotektonisko reljefa formu izplatību neatkarīgi no gultnes iežu veida, tomēr jāņem vērā arī kvartāra nogulumu nozīmīgā ietekme.

Kvartāra nogulumu segkārtas biezums Madlienas nolaidenumā mainās no 10 m (vietām tie ir plānāki) līdz 60 m un kopumā pieaug austrumu virzienā. Vidējais kvartāra nogulumu biezums ir 20 m robežās (Meirons et al. 2002). Kvartāra nogulumus galvenokārt veido vēlā Vislas (Latvijas) leduslaikmeta sarkanbrūna

morēna ar dažāda biezuma granšainas smilts, retāk aleirīta vai māla starpslāņiem un ieslēgumiem; vaļņveida formu kodolos šis materiāls ir glaciotehtoniski dislocēts un veido lineāras izspieduma tipa krokas, vietām izspiežoties cauri pārsedzošās morēnas slāņkopai (Zelčs 1993a; Meirons et al. 2002). Glaciofluviālie un glaciolimniskie nogulumi pētāmajā teritorijā veido glaciotehtonisko reljefa formu kodolus. Tie arī sastopami attiecīgi osos, to deltās, ledāja kušanas ūdeņu noteces ielejās, sandru līdzenumos un Silciema un Daudzevas ledāja sprostezeru, kā arī Līgatnes un Lobes distālo ledājūdeņu baseinu smilšainajos un puteklainajos līdzenumos, kas izplatīti teritorijas rietumu daļā, kā arī galējos ziemeļos un dienvidaustrumos.

Madlienas nolaidenumā kvartārsegas virsdaļā dominē morēnas nogulumi, kur tie bieži vien kopā ar senākiem ledājkušanas straumju nogulumiem galvenokārt veido glaciotehtoniskās reljefa formas – krumlinus (Zelčs 1993a, b), Linkuvas gala morēnai atbilstošo Lielvārdes–Jūdažu malas veidojumu joslu (Straume 1979) un recesijas morēnas. Kā norāda A. Savvaitovs un J. Straume (Savvaitov and Straume 1963), posmā starp Daugavas un Gaujas lejteci var izšķirt divus morēnas horizontus, precīzāk – slāņkopas, kas atbilst pēdējam apledojumam. Apakšējā morēnas slāņkopa veidojās saistībā ar pirmo ledāja uzvirzīšanos, kas iznīcināja ne tikai iepriekšējo apledojumu nogulumus, bet arī erodēja pamatiežus. Augšējā morēnas slāņkopa veidojās vēlāk, nākamajā ledāja uzvirzīšanās stadijā, kad ledāja erodējošā darbība bija krietni mazāka. Par to liecina apakšējā morēnas slāņkopas labā saglabātība un pamatiežu ietekmes trūkums uz augšējā morēnas horizonta sastāvu. Apakšējai morēnas slāņkopai ir raksturīgs lielāks blīvums un mālainība salīdzinājumā ar augšējo horizontu, pārsvarā sastopams morēnas smilšmāls, lielākie morēnas biežumi pārsniedz 4,85 m urbumā „Zemzari” (*ibid.*, 73–82). V. Zelčs un A. Markots (2004) norāda, ka divas minētās morēnas slāņkopas ir veidojušās attiecīgi Dagdas un Gulbenes oscilāciju laikā, vēlāk notika to fragmentācija aktīvas ledāja malas un zemledāja glaciotehtoniskajos procesos.

Tā kā bieži vairāku metru biezumā virs pamatiežiem atrodas blīvs morēnas smilšmāls, var pieņemt, ka glaciotehtonisko reljefa formu veidošanās laikā apakšējās morēnas slāņkopas smilšmāls, kam ir zema ūdens caurlaidība, vietām sekmēja augstu porūdeņu spiedienu. Kā atzīmē M. Lavrinoviča (Lavrinoviča 1961), „dziļākie morēnas horizonti ir ļoti blīvi un praktiski ūdensnecaurlaidīgi”.

Mazcaurlaidīgie pamatieži un morēna radīja labvēlīgu vidi augsta porūdeņu spiediena pastāvēšanai, kas sekmēja glaciotehtonisko deformāciju veidošanos epizodēs, kad ledājs bija sakabinājies ar gultni, kā arī bazālo slīdēšanu, ledājam atraujoties no gultnes ļoti augsta porūdēns spiediena dēļ.

Materiāli un metodes

Pētījuma gaitā tika identificētas un digitizētas ledāja reljefa formas pēc PSRS armijas Ģenerālštāba topogrāfiskajām kartēm (mērogs (turpmāk tekstā – M) 1 : 25 000), kā arī Valsts ģeoloģijas dienesta atjaunotajām kvartāra nogulumu kartēm (M 1 : 200 000), izmantojot *ArcView* programmu, lai analizētu reljefa formu morfoloģiskos parametrus un izvērtētu to kompleksu teritoriālās izplatības likumsakarības. Kopā identificētas 1353 reljefa formas, tajā skaitā 858 krumlini, 307 gala morēnas un recesijas morēnas, kā arī 188 dažādas citas reljefa formas.

Veicot morfoloģisko analīzi, galvenā uzmanība tika pievērsta krumliniem. Tika noteikti tādi krumlinu morfometriskie parametri kā garums, platums, laukums, perimets, izstiepuma koeficients un Čorlija (*Chorley*) parametrs. Čorlija parametrs ir ļoti līdzīgs izstiepuma koeficientam, kas tiek rēķināts, attiecinot reljefa formas garumu pret platumu, bet, rēķinot Čorlija parametru, tiek izmantots garums un perimets, līdz ar to precīzāk tiek raksturota krumlina forma (Rattas and Piotrowski 2003; Rattas 2004).

Čorlija parametrs k tika izrēķināts, izmantojot formulu:

$$k = l^2\pi/4A$$

k – čorlija parametrs;

l – krumlina garums km;

A – krumlina perimets km².

Laukums un perimets tika iegūti automātiski, izmantojot *ArcView* programmu, pēc kuriem, savukārt, Eilera elipses formulu, kas veiksmīgi lietota C. D. Klārka un citu autoru (Clark et al. 2009) pētījumā, tika noteikts krumlinu garums un platums.

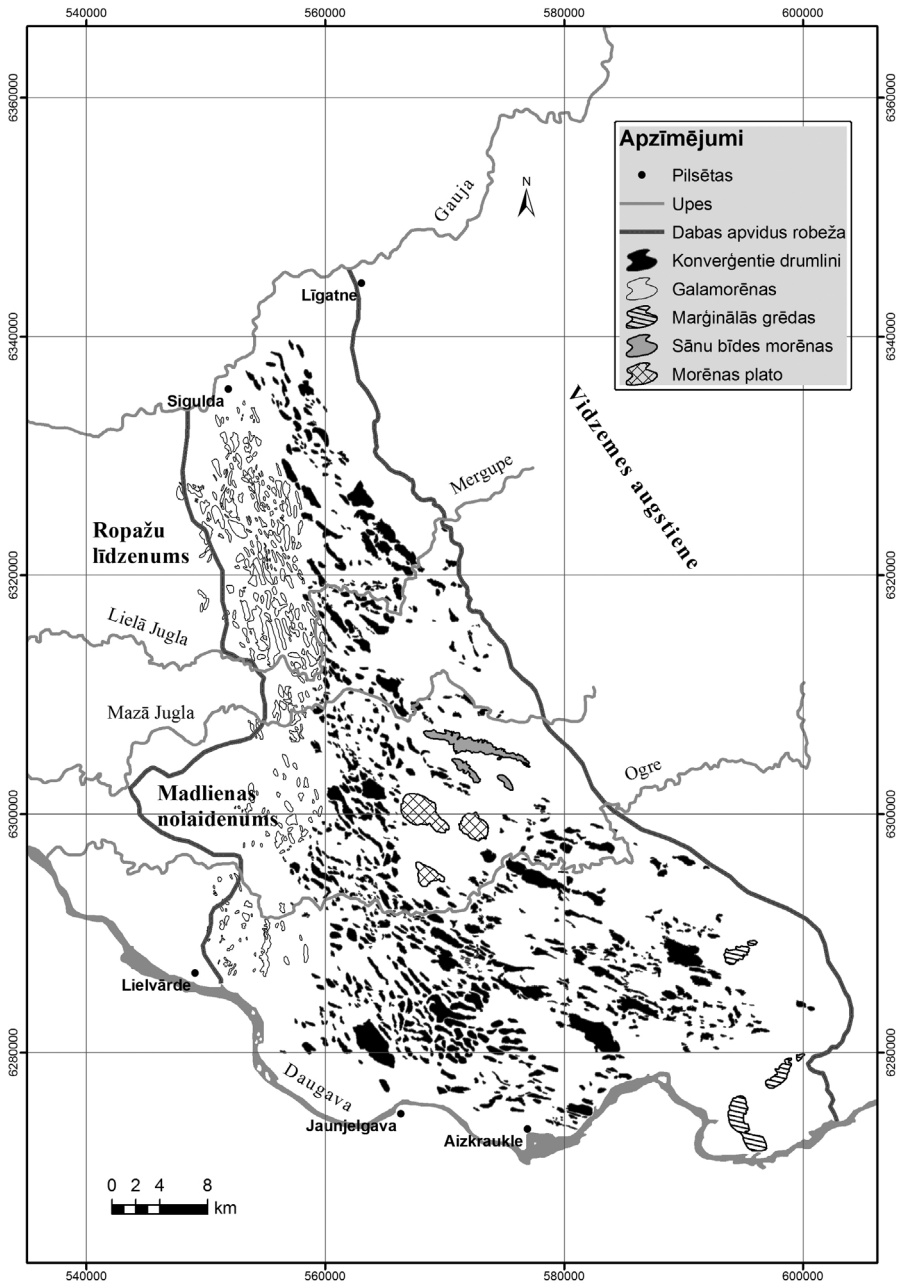
Šie parametri var tikt izrēķināti precīzi pēc Eilera formulas, jo parasti drumlinu un arī krumlinu forma ir pietuvināta elipsei. Tomēr Madlienau lauka krumlinu formas ir ļoti dažādas, tādēļ lielākā daļa krumlinu garumu un platumu tika noteikta, izmērot manuāli. Šie parametri tika aprēķināti tiem krumliniem, kas vizuāli visvairāk līdzinājās elipsei. Iepriekš formula tika pārbaudīta, salīdzinot manuāli izmērītos un aprēķinātos parametrus noteiktam skaitam krumlinu. Tas liecināja, ka šādi iegūtie aprēķinātie parametri ir pietiekami precīzi (kļūda ir ne vairāk kā par 20 m, kas ir pieļaujama, jo, pat manuāli mērot, ir viegli kļūdīties par pārdesmit metriem). Platums un garums tika noteikts 231 krumlinam (pavisam bija 858), izmantojot formulu, pārējiem izmērīts manuāli. Noslēgumā tika veikta korelācija, salīdzinot visus izmērītos parametrus ar aprēķinātajiem (visiem manuāli mērītajiem krumliniem garums un platums tika izrēķināts arī pēc formulas). Korelācija parāda (korelācijas koeficients r ir 0,976 garumiem un 0,903 platumiem), ka formula var tik veiksmīgi lietota visu krumlinu garuma un platumu aprēķināšanai, neskatoties uz to, ka daudzu krumlinu forma ir komplicētāka par vienkāršu elipsi.

Lai noskaidrotu reljefa formu uzbūvi, tika veikti lauka darbi, apsekojot aptuveni 30 karjerus, diemžēl neliels atsegumu daudzums glaciotekoniskajās reljefa formās neļauj nopietni spriest par reljefa formu iekšējās uzbūves īpatnībām.

Lai precizētu ledāja plūsmas virzienu pētāmajā teritorijā, tika meklētas glaciālās skrambas trijos dolomīta karjeros (Gaitiņi, Remīne, Tūrkalne). Ledāja skramba tika atrasta tikai Tūrkalnes karjerā, kur tika izdarīti 55 skrambu mērījumi ar ģeoloģisko kompasu „Silva”. Mērījumu dati tika statistiski apstrādāti ar programmu *StereoNet* un vizualizēti sektordiagrammas veidā.

Rezultāti un diskusija

Pētāmajā teritorijā izplatītās ledāja reljefa formas (2. att.) galvenokārt pieder pie glaciotekoniskā reljefa formu ģenētiskā tipa. Tās ir formas, kuru uzbūvē liela nozīme ir ledāja nešķīrotajiem nogulumiem – morēnai (īpaši reljefa formu augšējā daļā), kā



2. att. Glaciotekoniskās ledāja reljefa formas Madlienas nolaidenumā (sastādīts, izmantojot Latvijas Universitātes karšu servisa kartes.geo.lu.lv slāni TOPO 25K63g PSRS)

Fig. 2. Glacioteconic Landforms in the Madliena Tilted Plain (compiled using Latvian University map service kartes.geo.lu layer TOPO 25K63g PSRS)

arī ledāja šķirotajiem nogulumiem, kas parasti veido glaciotehtonisko reljefa formu kodolus. Šīs reljefa formas var iedalīt radiālajās (krumlini un sānu bīdes morēnas) un frontālajās (gala un recesijas morēnas, marģinālās grēdas) formās. Madlienas nolaidenumā ir sastopamas arī glaciofluviālās un glaciolimniskās reljefa formas, no kurām nozīmīgākās attiecīgi ir osi un to deltas, sandru līdzenumi, ledājkušanas ūdeņu noteces ielejas un ledāja sprostezeru un distālo ledājūdeņu baseinu līdzenumi.

Īpaši savdabīgas ir formas, kuras var dēvēt par morēnas plato – tie ir ieapaļi pauguri ar plakanu virsu un samērā stāvām nogāzēm. To platība ir no 2,5 līdz 7 km². Morēnas plato augšējo daļu veido morēna, zem tās atrodas glacioakvālie (pārsvarā smilts) nogulumi. Izsteiksmīgākajā Zādzenes morēnas plato tika konstatēta divu ģenerāciju deformācijas morēna, ko nodalīja laukakmeņu bruģis. Augšējā daļā atrodas sīkplātņaina, bet apakšējā daļā – slāniska morēna, kuru kopējais biežums ir līdz 2 m. Zem morēnas tika konstatēti pārsvarā nedeformēti smalkgraudainas smilts nogulumi.

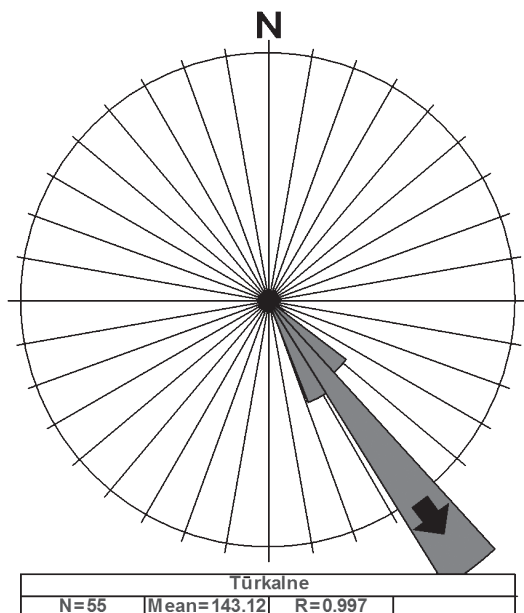
Pētāmās teritorijas ledājā reljefa formas galvenokārt veidojās pēdējā apledojuuma deglaciācijas un ar to saistīto oscilāciju gaitā. Uz to norāda arī A. Dreimanis un V. Zelčs (Dreimanis and Zelčs, 1995), uzsverot, ka lielākā daļa glaciģēno reljefa formu veidojās ledāja izzušanas etapā, ledāja oscilāciju laikā, kad Rīgas ledus lielplūsmas bija sadalījusies atsevišķos vairāk vai mazāk neatkarīgos ledus lobos vai mēlēs.

Kā norāda V. Zelčs (1993a), „ledāja erozijas, akumulācijas un tektonikas procesi sākās un norisinājās jau pēdējā apledojuuma transgresīvajā etapā. Tomēr šīs agrā etapa glaciotehtoniskās struktūras tika iznīcinātas ledāja eksarācijas un laterālā saspieduma (saplacināšanas) ietekmē, jo, apledojumam paplašinoties, glaciodepresiju zemienēs dominēja ledāja gultnes nelīdzenumu izlīdzināšana jeb planācija”.

Ledāja plūsmas virzienu pētāmajā teritorijā iespējams noteikt pēc šādiem plūsmas tiešajiem indikatoriem – glaciālajām skrambām un radiālajām reljefa formām (krumliniem), savukārt kā netiešos indikatorus var izmantot osu orientāciju, lokālo spriegumu rekonstrukcijai – oļu linearitāti. Arī galamorēnas un recesijas morēnas, kas vērstas perpendikulāri ledāja kustības virzienam, liecina par plūsmas virzienu. Vēsturiski dati par glaciālo skrambu mērījumiem tieši pētāmajā teritorijā raksta autoram nav zināmi, bet dati par glaciālajām skrambām blakus esošajā Ropažu līdzenumā ir pieejami V. Zāna (1935) darbā, kur aprakstītas divas mērījumu vietas – Ogrē un Ķegumā. Ogrē, Ogres upes krastā, ir konstatētas ļoti vājas ZR–DA virziena skrambas. Ķegumā, Daugavas labajā krastā, uzņēmītas skrambas ar azimutu no 115° līdz 120°. Ogres glaciālo skrambu aptuvenais virziens atbilst Ogres Kangaru osu orientācijai, kas caurmērā arī ir ZR–DA virzienā, savukārt Ķeguma glaciālās skrambas atspoguļo nedaudz citādāku orientāciju nekā Ogres Kangari, novirzoties līdz 20° pretēji pulksteņrādītāja virzienam, šajā gadījumā glaciālās skrambas, iespējams, veidojās lokālos ledāja sprieguma apstākļos.

Šī pētījuma laikā izdevās izmērīt glaciālās skrambas Tūrkalnes dolomīta karjera A galā uz dolomīta virsas. Karjers atrodas Rīgas–Ērgļu ceļa labajā pusē, divus kilometrus uz DA no Vāverkroga. Rezultējošais vērsuma azimuts ir 143° (3. att.), tas raksturo lokālu ledus plūsmas virzienu no ZR uz DA. Šis virziens ir novirzīts aptuveni par 20° pulksteņrādītāja virzienā no Lielo Kangaru osa vaļņa orientācijas,

kas atrodas vienu kilometru uz Z no Tūrkalnes karjera. Glaciālo skrambu virziens ir līdzīgs krumlinu orientācijai, kas atrodas uz DA no Tūrkalnes karjera.



3. att. Tūrkalnes dolomīta karjera glaciālo skrambu mērījumu vizualizācija sektordiagrammā

Fig. 3. Stereonet Plot of Glacial Striations in Tūrklane Dolomite Pit

Teritorijas mūsdienu reljefa veidošanā izšķiroša nozīme bija divām ledāja reaktivizācijas fāzēm – Gulbenes un Linkuvas fāzei. Gulbenes fāzes laikā ledājs atkārtoti uzvirzījās un izveidojās Madlienas krumlinu lauks, kā arī vairākas sānu bīdes morēnas. Jaunākā Linkuvas oscilācija norisinājās pirms vairāk nekā 14 000 kalendārajiem gadiem vai arī vairāk nekā pirms 13200 ¹⁴C gadiem (Zelčs and Markots 2004). Tās nozīmīgākie veidojumi ir galamorēnu vaļņi un grēdas, kā arī recesijas fāzē veidotās recesijas un rievotās morēnas. Ledājkūšanas ūdeņu veidotās formas ir sandru līdzenumi un ledājkūšanas ūdeņu noteces ielejas, kā arī zemledāja apstākļos veidotās Kangaru osu sistēmas un to deltas. Ledum pamazām nokūstot, radās ledāja sprostezeri un distālie ledājūdeņu baseini, kuru smilšainie nogulumu vēlāk tika pārpušti, veidojot iekšzemes kāpu masīvus.

Madlienas krumlinu lauks

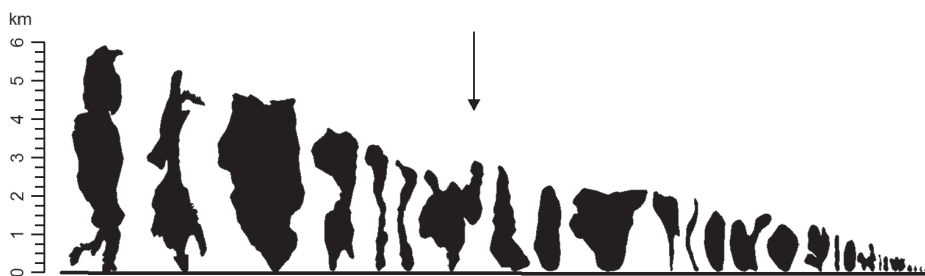
Krumlini, kā norāda V. Zelčs (1997), ir „iegareni, nereti nedaudz līkumoti vaļņi ar līdzenu vai viļņotu, dažkārt paugurotu virsu, kuri orientēti ledāja kustības virzienā. Krumlini parasti sastopami grupās un veido sakopojumus jeb laukus, kuros tie vēdekļveidīgi sakļaujas ledāja kustības (distālā) virzienā”. Krumlini pētāmajā teritorijā veido Madlienas krumlinu lauku (2. att.), tā garums ir aptuveni 70 km, platums pieaug no 5 km ziemeļdaļā līdz 33 km nedaudz leļpus no vidusdaļas un samazinās līdz 18 km dienviddaļā. Kopā ir identificēti un digitizēti 858 krumlini, kas

aizņem 228,1 km² lielu platību. Kopējā krumlinu lauka platība ir aptuveni 1248 km². Krumlinu blīvums vidēji ir 0,7 uz km². Lielākais blīvums ir lauka dienvidrietumu daļā, kur tas pārsniedz vienu krumlinu uz km².

Madlienas krumlinu garenasis teritorijas pašā ziemeļu daļā orientētas ZZR–DDA virzienā, vidusdaļā ZR–DA virzienā, bet DA daļā RZR–ADA virzienā. Krumlinu garenasu telpiskās orientācijas īpatnības veidojās vairāku faktoru ietekmē, no tiem būtiskākais bija Madlienas nolaidenuma zemkvartāra virsas slīpums pret ledāja kustību, kā arī Vidzemes augstienes pacēlums, kas bremsēja un ierobežoja ledus plūsmu. Orientācijas variācijas, iespējams, noteica Zemgales ledus loba kustības virziena izmaiņas deglaciācijas laikā.

Madlienas krumlinu lauka veidošanos sekmēja jau iepriekš norādītie apstākļi, bet nozīmīgākais faktors, protams, bija aktīvā ledāja mēļu glaciotektoniskā darbība. Uz to norāda V. Zelčs (1993a): „[...] ledāja aprīmšana blakusesošajos augstieņu rajonos uzlaboja ledus masu bilanci zemienēs. Sakarā ar ledus masu nevienmērīgu bremsēšanos pārejas zonā uz Vidzemes augstieni un Augstozes paugurvalni, Viduslatvijas zemienes austrumu malā analogiskā glaciodynamiskā situācijā izpaudās ledus masu tecējuma sāniskais saspiedums un radās Viduslatvijas un Limbažu morēnuvālu lauki.”

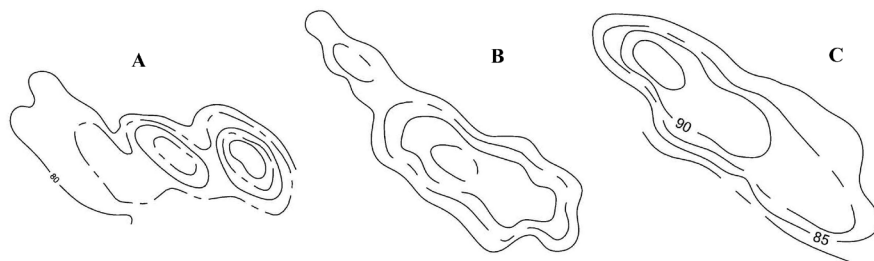
Pēc veiktās morfometriskās analīzes var secināt, ka garākais krumlins ir 5,76 km garš un 1,26 km plats, savukārt platākais krumlins ir 2,04 km plats un 4,49 km garš. Šis krumlins arī aizņem lielāko platību – 7 km². Pēc garuma visbiežāk sastopami 400 m gari krumlini, bet pēc platuma – 200 m plati. Pārsvārā sastopami 0,2 līdz 1,5 km gari un 0,1 līdz 0,6 km plati krumlini, kas šo parametru ziņā īpaši neatšķiras no parametriem, kuri minēti zinātniskajā literatūrā. Vidējais aritmētiskais krumlinu garums ir 0,81 km, bet platums – 0,32 km. Vidējais izstiepuma koeficients jeb L/W attiecība ir 2,62. Tas variē no viena līdz 11,4. Čorlija parametrs ir starp 1,1 un 9,6, vidējais – 2,8.



4. att. Madlienas nolaidenuma konverģento drumlinu formu piemēri (sastādīts, izmantojot Latvijas Universitātes karšu servisa kartes.geo.lu.lv slāni TOPO 25K63g PSRS).
Ar bultu parādīts ledāja kustības virziens

*Fig. 4. Examples of Convergent Drumlin Shapes in the Madliena Tilted Plain (derived from Latvian University map service kartes.geo.lu layer TOPO 25K63g PSRS).
Arrow indicates ice – movement direction*

Ir diezgan sarežģīti izšķirt krumlinu morfoloģiskos tipus. Kā norāda J. Menzijs (Menzies 2002), drumliniem ir tik plaša formu un iekšējās uzbūves daudzveidība, ka ir gandrīz neiespējami raksturot, kas tad ir ideāls drumlins. Arī Madlienas krumlinu laukā ir sastopamas ļoti atšķirīgas formas (4. att.). Tomēr var izšķirt atsevišķus krumlinu tipus, piemēram, tipiskos, reversos un saliktos krumlinus (5. att.).



5. att. Madlienas nolaidenuma konverģento drumlinu morfoloģisko tipu piemēri: A – salikts krumlins; B – reverss krumlins; C – tipisks drumlins. Attālums starp pamathorizontālēm – 5 m (sastādīts, izmantojot Latvijas Universitātes karšu servisa kartes.geo.lu.lv slāni TOPO 25K63g PSRS)

Fig. 5. Examples of Convergent Drumlin Morphological Types in the Madliena Tilted Plain: A – complex drumlin; B – reverse drumlin; C – typical drumlin. Interval between basic contour lines – 5 m (derived from Latvian University map service kartes.geo.lu layer TOPO 25K63g PSRS)

Krumlini pēc to uzbūves īpatnībām atšķiras no drumliniem. „Krumlinu kodolus veido lineāras izspieduma tipa glaciostruktūras – krokas no zemledāja gultnes materiāla (senākas morēnas, ledāja kušanas ūdeņu nogulumi un pamatieži – smilšakmeņi un citi), kas bieži izspiežas cauri pēdējā apledojuma pamatmorēnas slāņkopai.” (Zelčs 1997) Krumlinu nogāzes klāj pamatmorēna (Zelčs 1998a, b). Lauka darbu gaitā autoram izdevās atrast atseguma karjera sienā krumlina centrālajā daļā. Karjers „Brencēni” atrodas Kokneses–Ērgļu ceļa kreisajā pusē 1,5 km uz D no Vecbebiem un 0,5 km uz R no Brencēniem. Vidēji 6 m stāvā atseguma sienā tika konstatēti pārsvarā smalkgraudainas smilts nogulumi ar raksturīgām bīdes deformācijas zonām. Morēnas segkārtā atseguma sienas augšdaļā netika novērota, bet netālu esošajā griezumā tā tika konstatēta.

Madlienas krumlinu lauka ZA daļā tika konstatēts arī viens no radiālo reljefa formu veidiem, ko pārstāv sānu bīdes morēnas. Raksturīgākā šī tipa reljefa forma šajā teritorijā ir Ņeipenes valnis. Tā garums ir aptuveni 9 km, bet platums svārstās no 0,5 līdz 1,5 km. Kā norāda V. Zelčs (1995), Ņeipenes valni veido smilts un grants nogulumi, ko nogāzēs pārsedz pamatmorēna. Nogulumiem raksturīgas ledāja radītas dislokācijas.

Sānu bīdes morēnas veidojas zonā starp aktīvu un pasīvu ledāja plūsmu. Ņeipenes vaļņa gadījumā pret Vidzemes augstieni vērstajā zonā varēja būt aprimis ledus, savukārt pretējā pusē – aktīva ledus plūsma. Lai veidotos sānu bīdes morēnas, kā norāda viens no R. Hindmarša un C. Stouksa (Hindmarsh and Stokes 2008)

modeļiem, ledus plūsmā ir jāpastāv diferencētiem erozijas ātrumiem, kas saistīti ar plūsmas laterālām ātruma izmaiņām.

Galamorēnas

Tipiskas Madlienas nolaidenuma frontālās reljefa formas ir Linkuvas gala morēnas vaļņi un grēdas, kas lokveidīgi stiepjas no Lielvārdes gandrīz līdz Siguldai 50 km garumā, to orientācija nedaudz svārstās no ziemeļu–dienvidu virziena, tādējādi piekļaujoties nedaudz atšķirīgā šaurā leņķī Madlienas lauka krumliniem. Uz šo „nogriešanas” efektu jau norādīja O. Ābolts (1970) un G. Eberhards (1972), nodalot galamorēnu un krumlinu (pēc agrāk lietotā apzīmējuma – morēnuvālu) kompleksus. Z. Meirons un citi pētnieki (1976) šīs formas dēvē par galamorēnas uvāliem, kas no galamorēnas vaļņiem atšķiras ar mazākiem izmēriem. Linkuvas galamorēna pārklāj Gulbenes fāzes laikā veidoto krumlinu proksimālās daļas, kā jau norādījis V. Zelčs un A. Markots (2004).

Reljefa formas, kas atrodas uz rietumiem no Linkuvas galamorēnas vaļņiem un īpaši no tiem morfoloģiski neatšķiras, ir radušās ledāja recesijas laikā, tāpēc tās var dēvēt par recesijas morēnām. Tās veidojušās deglaciācijas gaitā ar ierobežotu ledāja reaktivizāciju vai bez tās (Menzies 2002). Var pieņemt, ka katra nākamā recesijas morēnas vaļņu sērija proksimālā virzienā ir veidojusies viena gada laikā, līdz ar to attālums starp recesijas morēnas vaļņiem norāda uz ledāja atkāpšanās ātrumu gada laikā, un tā varētu būt vairāki simti metru. Recesijas morēnu lokveidīgā telpiskā orientācija liek domāt, ka to veidošanās laikā ledājs bija sadalījies vairākās mikromēlēs.

Pagaidām ir identificēti 250 gala morēnu un recesijas morēnu vaļņi un grēdas, kam pretēji krumliniem lielākais blīvums ir teritorijas ziemeļu daļā, kur tie veido līdz 8,5 km platu joslu. Dienvidu daļā vaļņi kļūst mazāk izteiksmīgi, jo tos daļēji pārklāj ledāja sprostezeru nogulumi. Morēnas vaļņu garums ir no dažiem simtiem metru līdz pieciem kilometriem, platums – no dažiem desmitiem metru līdz vienam kilometram, pārsvarā vairāki simti metru.

Secinājumi

Teritorijas ledāja reljefa formu veidošanā deglaciācijas gaitā izšķiroša nozīme bija divām ledāja reaktivācijas fāzēm – Gulbenes un Linkuvas fāzei. Gulbenes fāzes laikā notika atkārtota ledāja uzvirzīšanās un izveidojās Madlienas krumlinu lauks, kā arī sānu bīdes morēnas un marģinālie malas veidojumi Vidzemes augstienes rietumu nogāzē. Linkuvas oscilācijas nozīmīgākie veidojumi ir galamorēnu vaļņi un grēdas, kā arī recesijas fāzē veidotās recesijas rievotās morēnas un osi.

Glaciotektonisko reljefa formu izplatība pētāmajā teritorijā norāda uz īpašiem apstākļiem gultnes un ledāja kontaktzonā, kas nodrošināja glaciotektonisko deformāciju rašanos. Ledāja plūsmā Vidzemes augstienes tuvumā pārsvarā bija konverģents raksturs, kas noteica krumlinu veidošanos. Glaciotektonisko deformāciju rašanos veicināja arī pamatiežu un kvartāra glacigēno nogulumu zemā ūdens caurlaidība, kas uzturēja augstu porūdēnu spiedienu, sekmējot deformāciju

veidošanos epizodēs, kad ledājs bija sakabinājies ar gultni, kā arī bazālo slīdēšanu, ledājam atraujoties no gultnes ļoti augsta porūdēns spiediena dēļ.

Krumlinu morfoloģiskā analīze liecina, ka pārsvarā sastopami 0,2 līdz 1,5 km gari un 0,1 līdz 0,6 km plati krumlini, vidējā garuma un platuma attiecība ir 2,62. Diemžēl šie parametri neļauj nodalīt atsevišķas drumlinu zonas, līdz ar to ir nepieciešami papildu pētījumi, lai noskaidrotu drumlinu uzbūves likumsakarības.

Pateicība

Pētījums realizēts ar Eiropas Sociāla fonda projekta atbalstu „Atbalsts maģistra studiju programmu īstenošanai Latvijas Universitātē” (vienošanās Nr. 2009/1062/1DP/1.1.2.1.1/09/IPIA/VIAA/004). Autors pateicas profesoram Vitālijam Zelčam par vērtīgiem padomiem un diskusijām šī darba tapšanas gaitā.

LITERATŪRA

- Āboltiņš, O. 1970. Marginal Formations of Middle Latvian Tilted Plain and Their Correlation to Linkuva (North Lithuanian) and Moraine. In: Danilāns, I. (ed.) *Problems of Quaternary Geology, V*. Rīga: Zinātne, 95–107 (in Russian with English summary).
- Āboltiņš, O., Straume, J., Juškevičs, V. 1975. Relief Peculiarities and Main Stages of Morphogenesis of the Central Vidzeme Elevation. In: Danilāns, I. (ed.) *Problems of Quaternary Geology, 8*. Rīga: Zinātne, 31–47 (in Russian with English summary).
- Āboltiņš, O. (1999) *Struktūrģeoloģijas pamati*. Rīga: Latvijas Universitāte, 136 lpp.
- Brangulis, A. J., Kuršs, V., Misāns, J., Stinkulis, Ģ. 1998. *Latvijas ģeoloģija, 1 : 500 000 mēroga ģeoloģiskā karte un pirmskvartāra nogulumu apraksts*. Rīga: Valsts ģeoloģijas dienests, 70 lpp.
- Clark, C. D., Hughes, A. L. C., Greenwood, S. L., Spagnolo, M., Feliks, S. L. 2009. Size and Shape Characteristics of Drumlins, Derived from a Large Sample, and Associated Scaling Laws. *Quaternary Science Reviews, 28*, 677–692.
- Dreimanis, A., Zelčs, V. 1995. Pleistocene Stratigraphy of Latvia. In: Ehlers, J., Kozarski, S., Gibbard, P. (eds.) *Glacial Deposits in North-East Europe*. Balkema, A. A. Rotterdam, Brookfield, 105–113.
- Eberhards, G. 1972. *Structure and Development Valleys of Catchment Area of the River Daugava*. Rīga: Zinātne, 132 (in Russian).
- Hindmarsh, R. C. A., Stokes, C. R. 2008. Formation Mechanisms for Ice – Stream Lateral Shear Margin Moraines. *Earth Surface Processes and Landforms, 33*(4), 610–626.
- Lavrinoviča, M. 1961. Hidroģeoloģija. Grām.: *Latvijas PSR ģeoloģija*, atbild. red. Sprinģis, K. Rīga: Latvijas PSR Zinātņu akadēmijas izdevniecība, 366.–382. lpp.
- Liepiņš, P. 1961. Devona sistēma. Grām.: *Latvijas PSR ģeoloģija*, atbild. red. Sprinģis, K. Rīga: Latvijas PSR Zinātņu akadēmijas izdevniecība, 122.–143. lpp.
- Meirons, Z., Straume, J., Juškevičs, V. 1976. Main Varieties of the Marginal Formations and Deglaciation of the Last Glaciation in the Territory of the Latvian SSR. In: Danilāns, I. (ed.) *Problems of Quaternary Geology, 9*. Rīga: Zinātne, 50–74 (in Russian with English summary).

- Meirons, Z., Misans, J., Mūrnieks, A. 2002. *Latvijas ģeoloģiskā karte, mērogs 1 : 200000, 33. lapa – Ogre, paskaidrojuma teksts un kartes*. Rīga: Valsts ģeoloģijas dienests, 52 lpp.
- Menzies, J. (eds.) 2002. *Modern and Past Glacial Environments – A Revised Student Edition*. Butterworth-Heinemann, Oxford, etc., 543.
- Straume, J. 1979. Geomorfologija. In: Misāns, J., Brangulis, A., Danilāns, I., Kuršs, V. (eds.) *Geologicheskoe strojenje i poleznye iskopayemye Latvii*, Rīga: Zinātne, 297–439 (in Russian).
- Rattas, M., Piotrowski, J. A. 2003. Influence of Bedrock Permeability and Till Grain Size on the Formation of the Saadjärve Drumlin Field, Estonia, under an East – Baltic Weichselian Ice Stream. *Boreas*, 32 (1), 167–177.
- Rattas, M. 2004. Subglacial Environments in the Formation of Drumlins – The Case of the Saadjärve Drumlin Field, Estonia. *Dissertationes Geologicae Universitatis Tartuensis*. Tartu: Tartu University Press, 116.
- Savvaitov, A. S., Straume, J. A. 1963. On the Question of Twin Strata in the Moraine of Valdai Glaciation in the Area between the Lower Reaches of the Rivers Daugava and Gauja. In: Danilāns I. (ed.) *Problems of Quaternary Geology*. Rīga: Academy of Sciences of Latvian SSR, II, 71–86 (in Russian with English summary).
- TOPO 25K63g PSRS. *Bijušās PSRS armijas ģenerālštāba 63. gada sistēmas topogrāfisko karšu mozaīka mērogā 1 : 25 000*. LU ĢZZF WMS. Pieejams: <http://kartes.geo.lu.lv> [sk. 01.10.2010.]
- Stokes, C. R., Clark, C. D. 2002. Ice Stream Shear Margin Moraines. *Earth Surface Processes and Landforms*, 27, 547–558.
- Stokes, C. R., Clark, C. D., Lian, O., Tulaczyk, S. 2007. Ice Stream Sticky Spots: A review of Their Identification and Influence Beneath Contemporary and Palaeo – Ice Streams. *Earth Science Reviews*, 81, 217–249.
- Zāns, V. 1935. Glaciālās skrambas un frikcijas parādības Latvijas pamatiežos. *Ģeogrāfiski raksti*, V. Rīga, 63.–84. lpp.
- Zelčs, V. 1993a. Diverģentā tipa glaciodepresiju zemieņu glaciotehtoniskās reljefa formas. *Disertācijas rakstu sērijas kopsavilkums*. Rīga: Latvijas Universitāte, 105 lpp.
- Zelčs, V. 1993b. The Middle Latvia Uval Moraine Area. In: Raukas, A. (eds.) *Pleistocene Stratigraphy, Ice Marginal Formations and Deglaciation of the Baltic States*. Tallinn: Estonian Academy of Sciences, 44–46.
- Zelčs, V. 1995. Ņeipenes valnis. Grām.: *Latvijas daba: enciklopēdija*, 3. sēj., red. Kavacs, G. Rīga: Latvijas enciklopēdija, 58. lpp.
- Zelčs, V. 1997. Morēnūvāli, krumlini. Grām.: *Latvijas daba: enciklopēdija*, 4. sēj., red. Kavacs, G. Rīga: Preses nams, 13. lpp.
- Zelčs, V. 1998a. Glaciotectionic Drumlin Types in Latvia. In: The INQUA Commission on Glaciation Peribaltic Group Field Symposium on Glacial Processes and Quaternary Environment in Latvia. *Abstracts of Papers and Posters*. University of Latvia, 25–31 May, Rīga, 63–65.
- Zelčs, V. 1998b. Viduslatvijas nolaidenums. Grām.: *Latvijas daba: enciklopēdija*, 6. sēj., red. Kavacs, G. Rīga: Preses nams, 70.–71. lpp.
- Zelčs, V. 2001. Main Varieties of Glaciotectionic Drumlins in Latvia. *Abstracts of the 6th International Drumlin Symposium*. Nicholas Copernicus University, June 17–23, Toruń, 37–38.

Zelčs, V., Markots, A. 2004 Deglaciation History of Latvia. In: Ehlers, J., Gibbard, P. L. (eds.) *Extent and Chronology of Glaciations*, Elsevier B. V. The Netherlands, etc., v. 1 (Europe), 225–244.

Summary

This paper focuses on the morphology and spatial distribution of the glacioteconic landforms. The study area includes the NE part of the Central Latvian Lowland – Madliena Tilted Plain. The elevation data for digitization of the glacial topographic features were derived from the topographical maps of scale 1 : 25 000. There were identified 1353 glacial landforms such as convergent drumlins or crumlins, end moraines, recessional moraines and others. Most of the landforms were formed during the Gulbene and Linkuva deglaciation phases of the Late Weichselian glaciation. Then the Zemgale ice lobe split into several tongues with a mostly convergent ice flow pattern. Due to lateral compression along the western slope of the Vidzeme Upland and the low permeability of bedrock and Pleistocene strata formation of convergent drumlins were common in the study area.

Keywords: *glacioteconic landforms, Madliena Tilted Plain, convergent drumlins, Linkuva end moraine, recessional moraines.*

Factors Determining Distribution of Sulphides in Shallow Aquifers in Natural Conditions

Faktori, kas nosaka sulfīdu sadalījumu sekļajos ūdens horizontos dabiskos apstākļos

Jānis Prols*, Valdis Segliņš**, Ģirts Kuplais***

*, „Geo Consultants” Ltd.
Olīvu street 9, Rīga, LV-1004, Latvia
E-mail: prols@geoconsultants.lv

** University of Latvia
Raina Boulevard 19, Rīga, LV-1586, Latvia
E-mail: valdis.seglins@lu.lv

*** Riga Technical University
Kronvalda Boulevard 1, Rīga, LV-1010, Latvia
E-mail: girts.kuplais@rtu.lv

Factors determining distributions of sulphides ($H_2S^0+HS^-$) in groundwater aquifers are analysed. They are divided into three groups of factors: 1) geological and hydro geological, 2) hydro chemical factors, 3) hydro microbiological. A short overview on recent investigations in this field is provided. Stated that maximal velocity of sulphate reduction and sulphide content is found in the „Kemerī–Jaunkemerī” occurrence: $0.071\text{ mg L}^{-1}\text{ d}$ and 74 mg L^{-1} . Those values for the „Hilovo” and „Baldone” are: velocity of sulphate reduction – $0.032\text{ mg L}^{-1}\text{ d}$ and $0.019\text{ mg L}^{-1}\text{ d}$; sulphides content – 29 mg L^{-1} and 16 mg L^{-1} correspondingly. It is concluded that the factor limiting the velocity of sulphate reduction is too low concentration of organic matter acceptable for sulphate reduction bacteria.

Keywords: sulphides, aquifers, factors for sulphides generation.

Introduction

Distribution of sulphide containing groundwater normally is analysed from two, in fact opposite viewpoints:

- 1) Mineral water, including sulphide-containing groundwater from shallow aquifers, is one of natural resources necessary for the provision of human life. This is a positive aspect of distribution of sulphides containing groundwater, because water may be used for different balneological applications,
- 2) Drinking water, especially from well-protected underground sources, is a natural resource of high importance increasing from year to year. In this case the presence of sulphides in groundwater has a negative role, because it causes a decrease of water quality making it to be non-usable for drinking

needs or, in the best case – requiring water treatment, i.e. removal of sulphides.

Nevertheless, the reasons are causing and regularities determining sulphides distribution in the particular aquifer should be clarified in both bases. Therefore methodology for the investigation of sulphide containing groundwater distribution is similar, because obtained results have to provide a basis for the elaboration of measures for protection of the aquifer, if water is used for balneological purposes, or purification – if removal of sulphides is required.

Distribution of sulphides in groundwater in Latvia and neighbouring countries is investigated in relation with occurrences of sulphide containing groundwater used for balneological purposes. There are four such occurrences investigated in the mentioned area (see Figure), which includes Latvia, Lithuania and the Pskov Region of the Russian Federation with a total area of 185.1 thousand km²: „Kemerī–Jaunkemerī” and „Baldone” in Latvia, „Smardone” (later renamed as „Likeneai” – (Juodkakis and Klimas, 2006) in Lithuania and „Hilovo” in the Pskov region. The largest is „Kemerī–Jaunkemerī” occurrence with a total area 246 km² and sulphide content up to 74 mg L⁻¹ (Prols *et al* 2009). Results and experience obtained during investigations of mentioned occurrences have provided a base for the analysis of methodology of investigations of the sulphide distribution in shallow groundwater aquifers. Additionally, a short analysis of the worldwide research status in this field was shortly reviewed, and has been taken into consideration elaborating the optimal complex foreseen for the investigation of sulphide containing groundwater. Therefore this paper includes three main parts:

- 1) a short overview on investigations status in the world,
- 2) analysis of approaches and results obtained during investigation of fourth mentioned occurrences of the sulphides containing groundwater,
- 3) synthesis part, where the optimal complex of investigations is determined based on analysis of the first two items.



Fig. Location of Occurrences of Sulphides Containing Groundwater

Att. Sulfīdus saturošo pazemes ūdeņu atradņu novietojums

1 A short review of research devoted to sulphides containing groundwater

Nowadays processes determining the origin or presence of sulphides in groundwater are revised looking from four aspects (Ehrlich and Newman 2008; Odom 1993; Yamanaka *et al* 2007; etc.):

- 1) Role of the sulphides in origin of various minerals,
- 2) Hydrogen sulphide as a problem in oil-bearing formations or its origin during oil abstraction,
- 3) Hydrogen sulphide as a polluting substance looking from different environmental and communal survey aspects,
- 4) Sulphides containing groundwater as source health rehabilitation needs.

The origin of sulphides in groundwater is analysed in details in a number of studies (Belenitskaya 2000; Chapelle 2001; Hose *et al* 2000; Stambuck-Giljanovic 2008; Stoessel *et al* 1993; Yamanaka, 2007 *et al*; etc.), including generation of sulphides during microbiological sulphate reduction and characterization of related reactions ongoing in aquifers, as well as analysis of preconditions and consequences of sulphides presence in aquifers.

About 300 places are recognized worldwide as occurrences of groundwater containing sulphides, including 35 areas at the territory of the former USSR (Plotnikova 1981). Those occurrences have been the objects for scientific research for a long time basically from the health rehabilitation viewpoint.

It is determined during different investigations that sulphate reduction bacteria are acting in anaerobic media and sometimes also in anaerobic-aerobic media (Chapelle 2001; Ehrlich and Newman 2008; Plotnikova 1981, etc.). The following generalized equation describes the reaction (Plotnikova 1981):



Simultaneously it is discovered that the main role in sulphate reduction process in groundwater, where water temperature does not exceed 20 °C, has culture *Desulfovibrio desulfuricans* (Ehrlich and Newman 2008; etc.). Sulphate reduction bacteria, according to the study (Bass Becking *et al* 1960), can act in media characterized by the following parameters:

- pH – from 4,15 to 9,92,
- Eh – from +115 mV to -450 mV.

Taking into consideration the equation (1.1) and assuming that water media conditions are suitable for acting of the sulphate reduction bacteria, it was concluded that a limiting role during process of the origin of $\text{H}_2\text{S} + \text{HS}^-$ is had by the concentration of the SO_4^{2-} and the value of the C_{org} . Origin of $\text{H}_2\text{S} + \text{HS}^-$ in a microbiological way, according to (Plotnikova 1981), is possible only in case of fulfilment of the following preconditions:

- SO_4^{2-} content has to be at least 10 mg*L⁻¹,
- Water shall contain high enough concentrations of dissolved organic matter available for sulphate reduction bacteria. It is assessed that the lack of

organic matter in water takes place, when concentrations of organic matter are less than 0.1-0.01% of TDS found in the water.

Both parameters are characterised in different ways – one of them is certainly quantified whilst another has only quantitative-qualitative character, i.e. the minimal content of organic matter, depending on particular conditions, may differ up to 10 times and even more – there is no specification to any particular compound. In fact – the question – which organic matter is the most suitable for the sulphate reduction bacteria – is still very disputable. Two definitely opposite opinions exist, and in general terms they may be formulated as follows:

- 1) Bacteria can use any organic matter, including ones distributed in boggy sediments (fulvic and humic acids). This opinion is dominating,
- 2) Bacteria can use small size compounds which may be easily destroyed, for example, volatile acids, carbonic acids and others. For a moment it is the opinion of a minority of scientists mainly offered by microbiologists, but more and more supported one by other scientists especially during the last years.

Authors of this paper support the second opinion, because it was proved by experiments carried out at the „Kemerī–Jaunkemerī” occurrence of sulphide containing groundwater. Boggy water does not contain oxygen, but is rich organic matter having large size molecular structure (basically fulvic and humic acids). The productive Salaspils aquifer is recharged by this water at places where presence of active sulphate reduction bacteria in water media is stated. Nevertheless, this did not influence the velocity of sulphate reduction.

In general it is considered that full destruction of the hydrocarbons takes place up to C₁₀, while others are destroyed only partly and different cyclic compounds are observed as the end product of the transformation.

All researchers agree that destruction of sulphides is caused by reason that oxidizing substance, the most frequently – oxygen, is getting access to a system where sulphides are distributed. The following equations indicated in the study (Juodkakis and Klimas 2006) characterise the oxidation process for the most typical case, i.e. when oxygen got access to a system containing sulphides:



A secondary role have tion-bacteria generating the elementary sulphur (Ehrlich and Newman 2008; Linde and Kaleja, 1960; etc.) and Fe²⁺, which in the presence of O₂ in water reacts with H₂S+HS causing the creation of the makiawite in reaction zones (Juodkakis and Klimas 2006).

It is ascertained that the origin of sulphides at all occurrences („Baldone”, „Kemerī–Jaunkemerī”, „Likenai”, „Hilovo”) is ongoing in a biochemical way when sulphate reduction bacteria use sulphates dissolved in water and organic matter for sulphides generation. J. Kupcis, based on investigations of Kemerī hydrogen

sulphide containing springs and laboratory experiments carried out in 1925, was the first one in Latvia who has proved that the origin of hydrogen sulphide in Kemerī has a microbiological character (Kupcis 1926). Later this theory was developed more in details by Linde and other researchers (Linde and Kaleja 1960; Freimane 1983; etc.).

2 Pre-conditions for sulphides genesis in shallow aquifers

There are a number of pre-conditions that have to be fulfilled in order to have generation of sulphides in aquifer (Barton and Hamilton 2009; Chapelle 2001; Ehrlich and Newman 2008; Plotnikova 1981; etc.). Taking into account that generation of sulphides in shallow aquifers takes place during microbiological processes, all pre-conditions may be divided into three main groups:

1) Geological and hydro geological factors:

- Water bearing sediments contain sulphates and, in optimal cases, organic matter accessible for sulphate reduction bacteria,
- Sediments have good enough filtering properties,
- A productive aquifer is rather well insulated, i.e. access of oxygen containing water is limited, and – sooner or later – oxygen dissolved in water is completely exhausted,
- Presence of „hydro geological windows” providing limited hydraulic connection among the productive aquifer and inflowing water containing limited amounts of oxygen, that are enough to destroy the existing oxidation–reduction equilibrium, but not to establish oxidizing conditions in the aquifer,
- Good insulation of the productive aquifer at areas where generation and accumulation of sulphides is taking place.

2) Hydro chemical factors:

- Presence of sulphates dissolved in water,
- Presence of organic matter dissolved in water,
- Absence of any strong oxidising substances in the aquifer.

3) Hydro microbiological factors:

- Presence of anaerobic or, if this type of water media cannot be created, anaerobic-aerobic water media, moved towards the anaerobic conditions, in the productive aquifer,
- Presence of active sulphate reduction bacteria in the aquifer,
- Presence among organic matter compounds acceptable for the sulphate reduction bacteria,
- Absence of bacteria competitive to sulphate reduction bacteria, i.e. ones which utilise same organic compounds as sulphate reduction bacteria.

Taking into account a number of factors determining the possibility of the process in aquifer, a lot of different combinations are possible. Evidently this determines the fact that generation of sulphides in a microbiological way in shallow

aquifers in natural conditions (absence of contaminants or oil/gas occurrences) takes place very rarely. Therefore a knowledge of those factors has a determinant role in order to understand the processes of generation, accumulation, transportation and degradation of sulphides in shallow aquifers.

2.1 Geological and hydro geological factors

The optimal source for sulphates in the system „sediments-water” is gypsum, but filtration properties of the gypsum are rather low. Taking into account that minimal concentration of sulphates in order to start microbiological reduction of sulphate is 10 mg L^{-1} (Plotnikova 1981), practically any sediment including some gypsum may serve as a source of sulphides. Dolomites, containing enclosures and thin inter beddings of gypsum, serve as a source of sulphates in all four occurrences mentioned in the introduction. Normally inter beddings of gypsum do not exceed 10–20 cm, rarely reaching 0.5–0.8 m. The distribution and amount of gypsum in those sediments is very unequal even in borders of one occurrence.

The amount of organic matter in sediments of the Salaspils aquifer, which is the productive aquifer at the „Kemerī–Jaunkemerī” occurrence, according the (Prols and Prole¹, 1989), is the following (% of total mass):

- in gypsum: 0.01–0.14 %,
- in dolomitic gypsum: 0.11–0.52 % (more gypsum – less organic matter),
- in dolomite: 0.37–0.97 %,
- in marl: 0.42–1.14 %, (more clayey – more organic matter),
- in clay: 0.85–2.31 %.

Re-calculating those amounts to organic carbon, the maximal concentrations are following: 0.65 g kg^{-1} for dolomite, 0.76 g kg^{-1} for marl and 1.50 g kg^{-1} for clay. Those concentrations, especially ones for marl and clay, are high enough in order to serve as a source of organic matter for sulphate reduction bacteria.

Dolomites are very frequently fractured and cavernous, providing the high value of the transmissivity coefficient. For example, it varies from $100 \text{ m}^2 \text{ d}^{-1}$ to $3775 \text{ m}^2 \text{ d}^{-1}$ in the „Kemerī–Jaunkemerī” occurrence of the sulphide containing groundwater. The maximal value is stated for fracture zones, although the most frequent values among $300 \text{ m}^2 \text{ d}^{-1}$ and $1000 \text{ m}^2 \text{ d}^{-1}$ are fixed (Prols and Prole, unpublished data). The presence of fracture porosity and cavernous weathering determine such high transmissivity.

All shallow aquifers at areas of their formation are recharged by the atmospheric precipitation and / or surface water rich with oxygen. Hereto, sulphate reduction does not occur in those conditions. Time is required in order to consume oxygen

¹ Prols, Prole, 1989. Rezultati detalnoj razvedki mineralnix serovodorodnix vod uchastka Jaunkemerī kurorta Kemerī (gorod Jurmala). In Russian // Results of detailed investigations of hydrogen sulphide containing water in Jaunkemerī area of the resort Kemerī (Jurmala City). Hydro geological Expedition of the Geological Board of Latvian SSR, Skrunda, vol. 1 and 2. Archive of the Latvian Environment, Geology and Meteorology Center on Maskavas Street 165 in Riga, Latvia.

for chemical and microbiological processes, and if an aquifer performs as a closed system, sooner or later, water media conditions will be stable aerobic – anaerobic, where all processes will be in equilibrium (Prols *et al* 2009).

In all three occurrences („Kemerī–Jaunkemerī”, „Baldone” and „Hilovo”) the productive aquifer, before the start of generation of sulphides, has aerobic – anaerobic conditions, where oxidation – reduction potential (Eh) varies from +5 mV to +50 mV, i.e. there are no strong oxidants or reductants, including oxygen and sulphides, in the aquifer. All chemical and microbiological processes are ongoing very slowly in this water media, because equilibrium governs in the system „sediments – water” (Odum 1993; Prols *et al* 2009; etc.) Those conditions exist whilst they are not disturbed by any external factor-causing disturbance of the existing equilibrium.

Therefore, if an aquifer is closed, generation of sulphides will never take place. The only factor, in case of the mentioned occurrences, causing changes of equilibrium, may be inflow of water disturbing the existing equilibrium in the system „sediments–water”, i.e. recharge of the productive aquifer by water from the Quaternary aquifer shall take place. Two completely different scenarios are possible (Prols *et al* 2009):

- 1) The system becomes open, and productive aquifer and Quaternary multi-aquifer are in close hydraulic connection. In this case same conditions as an initial stage of the formation of the aquifer are established, and water media are definitely aerobic,
- 2) The system is still closed in general, but opened at very limited areas determining inflow of a small amount of different types of water causing disturbance of the existing equilibrium in limited areas. In this case the existing system is disturbed very locally via so called „hydro geological windows”, and oxygen depletion takes place very fast. The main result is that the composition of the organic matter is changed, i.e. part of it is simplified. It is most likely that there are new compounds acceptable for sulphate reduction bacteria, which causes the start of sulphides generation in the aquifer in conditions of absence of its recharge by other aquifers, where water has different oxidation–reduction conditions.

There are thousands of places in the area analysed (185.1 thousand km²), where stabilised oxidation – reduction conditions (equilibrium conditions) in the productive aquifer are observed and where those aquifers are recharged by oxygen containing water from the Quaternary multi-aquifer, but only at four places the content of sulphides in groundwater exceeds 5 mg L⁻¹ (of course, possibility that some place is still not discovered always exists). About other 20 places are discovered, where the concentration of sulphides does not exceed 1.0 mg L⁻¹. This process in details is analysed in papers (Prols *et al* 2009), but basic conclusions are the following in respect to the „Kemerī–Jaunkemerī” occurrence of the sulphide containing groundwater:

- 1) Oxygen content in the water recharging the productive aquifer cannot exceed 0.5–1.0 mg L⁻¹, if recharge volume does not exceed 8–10% of average specific yield of the aquifer. Those conditions exist in the case of „Kemerī–Jaunkemerī” occurrence.

- 2) Content of oxygen may be higher, but volume of recharging water must be proportionally smaller. Those conditions are typical for „Baldone” and „Hilovo” occurrences.
- 3) Content of oxygen in recharging water cannot be less than 0.3–1.0 mg L⁻¹, because the lower concentration does not cause real disturbance of the equilibrium existing in the system „sediments–water”. This conclusion is proved by investigations done at the south-western part of the „Kemerī–Jaunkemerī” occurrence, where the amount of recharging water reaches 20–25% of average specific yield of the productive aquifer, but generation of sulphides does not take place. Only content of salts is decreasing from 2.3÷2.6 g L⁻¹ to 1.7÷ 2.0 g L⁻¹, while Eh still does not exceed +30 ÷ +60 mV.

One more aspect has to be mentioned – boggy sediments are distributed at all places, where groundwater contains sulphides. Water from boggy sediments causes a decrease of oxygen content in water distributed in sandy sediments, which leads to lowered concentration of oxygen in the water of the Quaternary multi-aquifer in general. Simultaneously it has to be mentioned that organic matter distributed in boggy sediments, as it was proved by experiments, is not suitable for sulphate reduction bacteria due to the large size of molecules (Prols and Prole, unpublished data). Hereto the possibility that a mixing of boggy water, rich with organic matter, and water from Quaternary sediments, rich with oxygen, determines a destruction of organic matter and creation of new compounds, both in a chemical and microbiological way, acceptable for sulphate reduction bacteria. For a moment this question is uncertain, and has to be investigated in the future, but theoretically it is possible that sulphate reduction bacteria use some part of transformed (simplified) organic matter from the boggy sediments described below exists. In fact, water from sandy deposits, mixed before with water from boggy deposits, causes a generation of sulphides in „Kemerī–Jaunkemerī” and „Hilovo” occurrences in places, where it recharges the productive aquifer via „hydro geological windows”. Simultaneously, it must be emphasized that the reason for the start of sulphides generation is not inflow of water rich with organic matter in the productive aquifer, but the disturbance of existing equilibrium of oxidation – reduction conditions of the water media.

The generation of sulphides takes place only in areas where productive aquifers are insulated both from the top and base. Theoretically there are no problems, because the lower and upper parts of the Salaspils formation („Kemerī–Jaunkemerī” and „Baldone”) or analogous formation in „Hilovo” (Dubnikovskaja Formation) consist of clayey sediments. Hereto, it is not so simple in the case of „Kemerī–Jaunkemerī” and „Hilovo” occurrences, where the upper clayey part of formations is eroded. Till deposits have high importance in both cases, because they are practically impermeable. Aerial configuration of groundwater, containing sulphides, is very complicated due to the reason that till deposits are developed fragmentary in both occurrences.

2.2 Hydrochemical factors

The sulphate reduction bacteria in all four occurrences generate sulphides in groundwater. The process takes place both in anaerobic and anaerobic aerobic conditions. The maximal velocity of sulphate reduction is found in the „Kemerī–Jaukemerī” (-195 mV), but in the „Hilovo” and „Baldone” maximal velocity of sulphate reduction is -125 mV and 76 mV correspondingly (Prols and Prole, unpublished data).

Maximal content of sulphates dissolved in groundwater is very high – it varies from 587 mg L⁻¹ in „Likenai” (Juodkazis and Klimas 2006) to 1836 mg L⁻¹ in „Kemerī–Jaunkemerī”. Also the average content of dissolved sulphates exceed 1 g L⁻¹ in all occurrences, excluding „Likenai”. Thus the content of sulphates cannot limit the velocity of sulphate reduction, because the minimum required concentration is 10 mg L⁻¹ (Plotnikova 1981).

There are three possible sources of organic matter in the productive aquifer:

- 1) Organic matter, which was in the water of the productive aquifer during the equilibrium phase, i.e. before the recharge of the aquifer with water from the Quaternary multi – aquifer. There are two initial sources of organic matter – water bearing sediments and organic matter brought outside by recharging water within a formation zone of the aquifer. Hereto, this organic matter is transformed (simplified) in the aquifer before the equilibrium conditions have been reached in the system „sediments–water”,
- 2) Organic matter brought from other aquifers which are in hydraulic connection with the productive aquifer, basically from the Quaternary multi-aquifer,
- 3) Organic matter washed out from the water bearing sediments, when the water aggressive against dolomite and gypsum recharges the productive aquifer.

Total organic carbon ($C_{org/tot}$) value and composition of organic matter are different not only for various aquifers, but also within one aquifer depending on oxidation – reduction conditions. The lowest concentrations of organic matter are stated for the productive aquifer, where equilibrium governs in the system „sediments–water”, and varies from 7.7 mg L⁻¹ to 9.8 mg L⁻¹ (Prols and Prole, unpublished data). Organic acids are dominating performing 89–100% of $C_{org/tot}$. Volatile organic acids present 21–52% of organic acids. Accordingly (Barton and Hamilton 2009) the volatile organic acids, taking into account low-molecular structure, are utilised by sulphate reduction bacteria. Asphaltens are always present in water, sometimes also bitumens and resins, very rarely – fulvic and humic acids in concentrations less than 1 mg L⁻¹ (Prols and Prole, unpublished data).

Content of $C_{org/tot}$ increases significantly in the productive aquifer; it is recharged by water from the Quaternary multi-aquifer. The highest concentrations are observed when the productive aquifer is recharged by water of boggy sediments. $C_{org/tot}$ reaches 38.7 mg L⁻¹ in this case. Different is composition of organic matter – a part of fulvic and humic acids increases significantly, but volatile organic acids disappear in the major part of cases (Prols and Prole, unpublished data).

The water of the Quaternary multi – aquifer is aggressive to dolomites and gypsum, which leads to the conclusion that some organic matter should be leached out from sediments when the productive aquifer is recharged from the Quaternary multi – aquifer (Prols *et al* 2009). This organic matter has a more simple structure than organic matter from the boggy sediments. Therefore, according the 1st rule of thermodynamics, the simplest structures are transformed first of all – in our case organic matter leached from the sediments. It has to be emphasized that volatile organic acids, sooner or later, completely disappear from the aquifer in cases when sulphate reduction takes place. Simultaneously the velocity of sulphate reduction decreases as well. This leads to the following important conclusions:

- 1) Volatile organic acids, most likely, are consumed by sulphate reduction bacteria, because those acids, sooner or later, disappear in groundwater of the anaerobic zone,
- 2) Simultaneously the sulphate reduction velocity decreases, but the process is still ongoing. Thus – bacteria use different organic matter in cases when volatile organic acids are not available,
- 3) The maximal velocity of sulphate reduction is observed on the border of anaerobic zones, where Eh normally varies from –120 mV to – 160 mV. Afterwards the velocity of the process decreases even when Eh is lowering down to –195 mV,
- 4) The mentioned three observations allow giving the final conclusion: the limiting factor for the velocity of sulphate reduction is organic matter.

Apart from carbon, the metabolism of micro organisms requires also for nitrogen and other elements. Carbon compounds also are used as sources of energy (Barton and Hamilton 2009; Chapelle 2001, etc.). It is assumed that the optimal rate among carbon and nitrogen is (20÷25)/1 (Barton and Hamilton 2009;etc.). Calculations made for the „Kemerī–Jaunkemerī” occurrence proves that the actual rate is 7.6÷15.1 (Prols and Prole, non-published), i.e. it once more confirms that some shortage of organic carbon is observed in the water of a productive aquifer. Additionally the value of $C_{org/tot}$ includes fulvic and humic acids, which cannot be directly used by the sulphate reduction bacteria. Thus the deficit of carbon is increasing essentially. Thus in the future it has to be investigated in details – which groups (compounds) of organic matter, supplementary to volatile organic acids, are used by bacteria for sulphides generation. Only in this case an answer will be received – which organic compounds are utilised by the sulphate reduction bacteria and, consequently, what is the source of the particular organic matter.

2.3 Microbiological factors

The process of sulphate reduction by bacteria, as it was mentioned before, can start only in a case, when water of the aquifer does not contain oxidising substances (Barton and Hamilton 2009; Ehrlich 1998; etc.). Such conditions are existing at all four occurrences, and the maximal velocity of sulphate reduction and sulphides content is (Prols and Prole, unpublished data):

- „Kemerī–Jaunkemerī”: 0.071 mg L⁻¹ d and 74 mg L⁻¹,

- „Hilovo”: 0.032 mg L⁻¹ d and 29 mg L⁻¹,
- „Baldone”: 0.019 mg L⁻¹ d and 74 mg L⁻¹.

Generation of sulphides takes place both in aerobic and aerobic-anaerobic zones. Nevertheless, parameters characterising the process are different.

Eh varies in anaerobic-aerobic zone from -70 mV to +80 mV (pH = 6.9–7.2), sulphides content from 0 mg L⁻¹ to 20 mg L⁻¹. Simultaneously with activity of sulphate reduction bacteria a number of other bacteria groups' activity are observed as well. The average velocity of sulphate reduction is 0.030 mg L⁻¹ d, the maximal observed value - 0.041 mg L⁻¹ d. The average content of sulphides is rather low – 5.65 mg L⁻¹, but in cases of increase of anaerobity the maximum content - 20 mg L⁻¹ – may be reached. Rather low average concentration of sulphides, most likely, is caused by activity of tionic bacteria (titre is 0.01 or even higher) (Prols and Prole, unpublished data).

Only two occurrences – „Kemerī–Jaunkemerī” and „Hilovo” have anaerobic zones, where Eh varies from -70 mV to -195 mV (pH = 6.9–7.2), and the content of sulphides changes from 20 mg L⁻¹ to 74 mg L⁻¹ (Prols and Prole, unpublished). The maximal velocity of sulphate reduction is ascertained in this zone and it is 0.071 mg L⁻¹ d (average velocity – 0.048 mg L⁻¹ d), but with time, even in the absence of recharge from the Quaternary multi-aquifer, velocity decreases down to 0.040 mg L⁻¹ d. At areas where limited recharge from the Quaternary multi-aquifer is observed (conditions still remain as anaerobic), velocity decreases down to 0.020 mg L⁻¹ d.

The question on organic matter is analysed above, but it is obviously clear that bacteria feel a lack of acceptable organic matter. Bacteria competitive to sulphur reduction bacteria, according to references (Chapelle 2001; Ehrlich and Newman 2008; etc.), exist, and methane bacteria were found in active form in the „Kemerī–Jaunkemerī” occurrence (Prols and Prole, unpublished data). Nevertheless, this problem is not analysed in details, and it must be done in the future.

Conclusions

- 1) Generation of sulphides takes place due to microbiological sulphate reduction at occurrences „Kemerī–Jaunkemerī”, „Hilovo” and „Baldone „Likenai”.
- 2) The possibility of sulphate reduction by bacteria in an aquifer is determined by a number of factors, which can be divided into three groups: geological – hydro geological, hydro chemical and hydro microbiological.
- 3) In different occurrences the velocity of sulphate reduction varies from 0.019 mg L⁻¹ d to 0.071 mg L⁻¹ d, but content of sulphides – from 16 mg L⁻¹ to 74 mg L⁻¹.
- 4) Volatile organic acids, where available, are utilised by bacteria for sulphate reduction. In the case when those acids are not available, other organic compounds are used for sulphate reduction. The velocity of sulphate reduction is decreasing in this case.

- 5) A lack of available organic matter is a factor limiting the velocity of sulphate reduction and, consequently, sulphides content.

REFERENCES

- Baas Becking, L. G. M., Kaplan, I. R., Moor D. 1960. Limits of Natural Environment in Terms of pH and Oxidation-Reduction Potential. *Journal of Geology*, v. 63, no. 3, 243–284.
- Barton, L. L., Hamilton W. A., editors 2009. *Sulphate-Reducing Bacteria*. Cambridge University Press, Cambridge, 562.
- Belenitskaya, G. A. 2000. Distribution Pattern of Hydrogen Sulphide-Bearing Gas in the Former Soviet Union. *Petroleum Geoscience*, v. 6, no. 2, 175–187.
- Chapelle, F. H. 2001. *Ground-Water Microbiology and Geochemistry*. John Willey, New York, 477.
- Ehrlich, H. L., Newman, D. K. 2008. *Geomicrobiology*. Taylor & Francis, New York, 606.
- Freimane, S. O. 1983. Intensivnostj procesa obrazovaniya serovodoroda v mineralnix vodax kurorta Kemeru. In: *Voprosi kurortologii*. In Russian // *Intensity of the process of the generation of hydrogen sulphide in minerals waters of the resort Kemeru*. In: *Questions of Balneology*. V. XII. Riga: Avots, 27–30.
- Hose, L. D., Palmer, A. N., Palmer, M. V., Northup, D. E. et al. 2000. Microbiology and Geochemistry in a Hydrogen-Sulphide Rich Karst Environment. *Chemical Geology*, v. 169 (3–4), 399–423.
- Juodkazis, V., Klimas, A. 2006. Theodor Grotthus and Modern Hydrogeochemistry. In: *Geologija*, v. 53, 38–46.
- Kupcis, J. 1926. *Sērūdenraža cēlonis Ķemeru sēravotos un dažu vēl neizpētītu sēravotu ķīmiskais sastāvs*. Latvijas Farmācijas žurnāls. Rīga, 12.–14. lpp.
- Linde, Ē., Kalēja, E. 1960. *Ķemeru un Baldones sērūdenraža mikroflora un tās bioloģiskās īpašības*. Rīga: LPSR Zinātņu akadēmijas izdevniecība, 113 lpp.
- Odom, J. M. 1993. Industrial and Environmental Activities of Sulphate-Reducing Bacteria. In: *The Sulphate-Reducing Bacteria: Contemporary Prospectives*. Springer-Verlag Inc., New York, 189–210.
- Plotnikova, G. N. 1981. Serovodorodnije vodi SSSR. In Russian // *Hydrogen Sulphide Waters in USSR*. Moscow, Nedra, 132.
- Prols, J., Dēliņa, A., Segliņš, V. 2009. *Starphorizontu ūdens pārteces ietekme uz sulfīdu veidošanos Salaspils ūdens horizontā*. Rīgas Tehniskās Universitātes Zinātniskie raksti: Materiālzinātne un lietišķā ķīmija, 1. sēr., 19. sēj., 150.–158. lpp.
- Stambuck-Giljanovic, N. 2008. Characteristics and Origin of the Hydrogen Sulphide Spring Water from the Split Spa (Southern Croatia). *Environmental Monitoring and Assessment*, no. 1–3, 109–117.
- Stoessell, R. K., Moore, Y. H., Cike J. G. 1993. The Occurrence and Effect of Sulphate Reduction and Sulphide Oxidation on Coastal Limestone Dissolution in Yucatan Cenotes. *Groundwater*, v. 31, no. 4, 566–575.
- Yamanaka, M., Nakano, T., Tase, N. 2007. Sulphate Reduction and Sulphate Oxidation in Anoxic Aquifers in the Northeast Osaka Basin, Japan. *Journal of Hydrogeology*, no. 335, 55–67.

Kopsavilkums

Analizēti faktori, kas nosaka sulfīdu ($H_2S^0+HS^-$) sadalījumu seklajos ūdens horizontos. Tie sadalīti trijās faktoru grupās: 1) ģeoloģiskie un hidroģeoloģiskie, 2) hidroķīmiskie, 3) hidromikrobioloģiskie. Izskatīti pēdējā laika pētījumi šajā jomā. Noteikts maksimālais sulfātu reducēšanās ātrums un sulfīdu saturs „Ķemeru–Jaunķemeru” atradnē: $0.071 \text{ mg L}^{-1} \text{ d}$ un 74 mg L^{-1} . „Hilovo” un „Baldones” atradnēs šo lielumu maksimālās vērtības attiecīgi ir šādas: sulfātu reducēšanās ātrums $0.032 \text{ mg L}^{-1} \text{ d}$ un $0.019 \text{ mg L}^{-1} \text{ d}$; sulfīdu saturs – 29 mg L^{-1} un 16 mg L^{-1} . Secināts, ka sulfātu reducēšanas baktērijām piemērotu organisko vielu trūkums ir sulfātu reducēšanās ātrumu limitējošais faktors.

Atslēgvārdi: sulfīdi, ūdens horizonti, sulfīdu veidošanās faktori.

Daugavas senielejas vecgravu morfoloģijas un koluviāli-proluviālo nogulumu pētījumi erozijas formu vecuma noteikšanas iespēju kontekstā

Studies of Morphology and Colluvium of Old Gullies in the Daugava River Ancient Valley with Respect to the Determination of Erosion Landforms Age

Juris Soms, Laimdota Kalniņa

Daugavpils Universitāte

Parādes iela 1, Daugavpils, LV-5401

E-pasts: juris.soms@du.lv, laimdota.kalnina@lu.lv

Pētījumi par gravu erozijas formu attīstību pagātnē un klimatiskajiem un hidroloģiskajiem faktoriem, kas ietekmē to veidošanos, ir nozīmīgi holocēna dabas procesu izziņāšanā, kā arī mūsdienās notiekošo globālo klimata izmaiņu seku novērtēšanā. Daugavas senielejas vecgravu morfoloģija un tajās akumulētie proluviālie nogulumi ir būtisks paleoģeogrāfiskās informācijas avots un savdabīgs ģeoloģisko procesu arhīvs, kas rakstā izklāstītajā pētījumā tika izmantots erozijas formu vecuma noteikšanai. Balstoties uz proluviālo nogulumu uzkrāšanās empīriski noteikto ātrumu, ¹⁴C un sporu putekšņu analīzi, var secināt, ka pētījumu teritorijā vecgravas veidojušās pirms intensīvas lauksaimnieciskās darbības uzsākšanas un Daugavas senielejā un tai pieguļošajā teritorijā to atmiršana notika subatlantiskā laika vidus posmā pirms apmēram 2000 gadiem. Rakstā atspoguļotais pētījums iezīmē Latvijā jaunu metodoloģisku pieeju gravu erozijas tīkla vecuma noteikšanā.

Atslēgvārdi: Daugavas senielejas gravas, karengravas, vecgravas, proluviālie nogulumi, putekšņu analīze.

Ievads

Zināšanas par gravu erozijas formu attīstību pagātnē, šo procesu palaidējmehānismiem un faktoriem, kas ietekmē to veidošanos, ir nozīmīgas gan holocēna vēstures izziņāšanā, gan mūsdienās notiekošo globālo klimata izmaiņu iespējamās ietekmes uz ainavvidi novērtēšanā (Poesen et al. 2003; Vanwalleghem et al. 2005a). Mūsdienās iegūt informāciju par vairākus tūkstošus gadu senā pagātnē notikušām temperatūras un nokrišņu sadalījuma variācijām un to inducētajām eksogēno procesu norises izmaiņām var tikai ar netiešām pētījumu metodēm. Piemēram, ūdens vidē akumulēto nogulumu – slokšņu mālu, ezeru un purvu nogulumu, upju palieņu nogulumu – sedimentācijas apjomu un uzkrāšanās intensitātes izpēte ļauj noskaidrot ūdensteču un ūdenstilpju baseinos notikušo erozijas procesu pastiprināšanās cikliskumu saistībā ar klimata izmaiņām holocēnā un cilvēka izraisītām vides pārmaiņām (Segliņš et al. 1999; Edwards and Whittington 2001; Zolitschka et al. 2003; Kalnina 2006; Macklin et al. 2006; Enters et al. 2008).

Pēdējā desmitgadē ievērojami pieaudzis arī to pētījumu skaits, kuri veltīti gravu gultnēs akumulētajiem nogulumiem kā erozijas procesus kvantificējošiem, ainavides izmaiņas un paleoklimatisko situāciju raksturojošiem informācijas avotiem (Dotterweich 2005; Rommens et al. 2005; Diodato 2006; Smolska 2007). Latvijā šādu pētījumu skaits ir neliels (Saltupe 1982), tāpēc globālo vides izmaiņu kontekstā, klimatam kļūstot siltākam un izmainoties nokrišņu sezonālajam sadalījumam un intensitātei arī Baltijas reģionā (BACC Author Team 2008; Senņikovs et al. 2008), nav pietiekamu datu, lai izpētītu erozijas procesu, tajā skaitā gravu erozijas atjaunošanās un pastiprināšanās, iespējamo palaidējmehānismu un novērtētu sekas, balstoties uz aktuālisma principu ģeomorfoloģijā (Thornbury 1969). Proluviālo nogulumu absolūto un relatīvo datējumu nepietiekamais skaits Latvijā (Soms un Kalniņa 2007) arī neļauj sniegt atbildi uz jautājumu, vai Latvijā gravu tīkla izveidē holocēnā galvenā nozīme ir antropogēnajiem vai klimatiskajiem faktoriem (Soms 2006).

Ņemot vērā iepriekš minēto, darba mērķis bija pētīt Daugavas senielejas Slutišķu–Sandarišķu posma labā krasta vecgravu morfoloģijas un proluviālo nogulumu un erozijas formu vecumu.

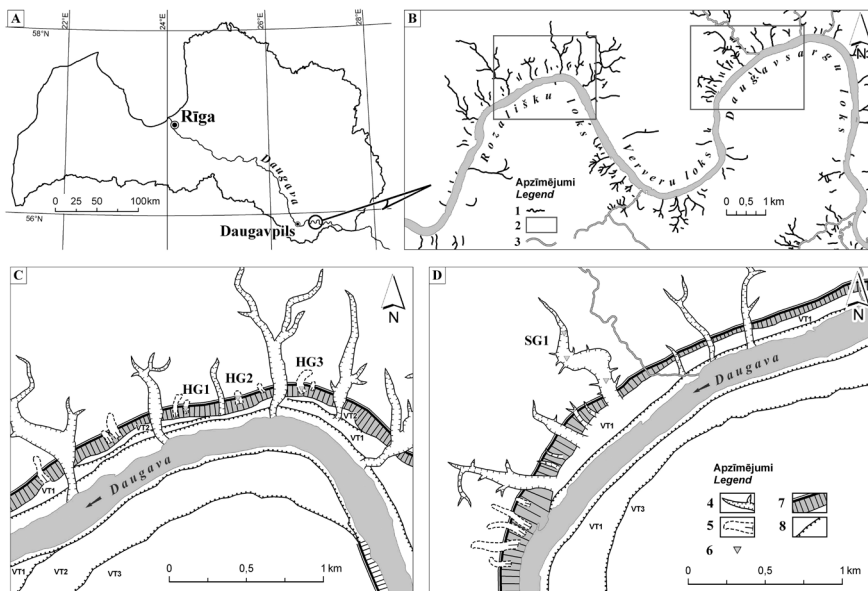
Lai gan zinātniskajos pētījumos, kas publicēti angļu valodā, visbiežāk gravu gultnēs akumulēto nogulumu apzīmēšanai tiek lietots jēdziens „kolūvijs” (Vanwalleghem et al. 2005b; Leopold and Völkel 2006), tādējādi akcentējot šo nogulumu veidošanās komplekso mehānismu un poliģenētisko cilmi, tomēr šajā rakstā autori lieto terminu „proluviāli-koluviālie nogulumi”, kas ģeoloģiskajā literatūrā ir vēsturiski nostiprinājies.

Veiktie pētījumi ir nozīmīgi arī tāpēc, ka Latvijā erozijas reljefa zonās gravu izneses konusus (Danilāns 1997) un gultnēs sastopamo prolūvija nogulumu izpēte, kā to norāda V. Segliņš (2001a), līdz šim notikusi tikai vispārējos vilcienos.

Materiāli un metodes

Pētījumam Latvijas dienvidaustrumu daļā, Augšdaugavas pazeminājumā (1. A att.), tika izvēlēts Daugavas senielejas Slutišķu–Sandarišķu posms (1. B att.), kas ietver trīs no desmit iegrauztajiem meandriem (Eberhards 1994). Šo fluviālo reljefa veidojumu attiecīgie nosaukumi ir Daugavsargu loks, Ververu loks un Rozališķu loks (Nikodemusa 1994). Balstoties uz iepriekšējos pētījumos iegūtajiem datiem par šīs teritorijas gravu morfoloģiju (Soms 2006) un papildus veikto gravu attīstības stadiju rekognosciju *in situ*, Ververu loka virsotnē esošajās senajās lineārās erozijas formās netika veikti ģeoloģiski ģeomorfoloģiskās izpētes darbi, jo lielākajā daļā vecgravu tika konstatēta dziļumerozijas atjaunošanās un dziļu V-veida iegrauzumu attīstība. Tādējādi pētījumi tika koncentrēti tīk divos lokos, t. i., Daugavsargu loka un Rozališķu loka virsotnēs, kur upes labo pamatkrastu vietām saposmo ne tikai daudzas gravas un vecgravas, bet arī karengravas (1. C, D att.).

Pētījumu gaitā tika apsekotas un uzmērītas vairāk nekā 30 vecgravas, tajā skaitā arī 14 karengravas, kas ir morfoģenētiski savdabīgs vecgravu tips. Gravu morfometriskie raksturlielumi – gravu platums GW_t (m), to gultnes platums GW_b (m) un dziļums GD (m) – tika noteikti saskaņā ar ģeomorfoloģijas standartmetožu (Goudie et al. 1998), šim mērķim izmantojot divas T-veidā savienotas 50 m stiklšķiedras mērlentes



1. att. Pētījumu teritorijas ģeogrāfiskā lokalizācija Latvijā (A) un Daugavas senielejā (B) un pētījumu vietu ģeomorfoloģiskās shēmas Rozālišķu lokā (C) un Daugavsargu lokā (D)

1 – gravu ievalkas; 2 – pētījumu vietu ģeomorfoloģisko shēmu (1. att. C un D) novietojums; 3 – pastāvīgās ūdensteces; 4 – gravas un vecgravas; 5 – karengravas; 6 – urbumu sēriju veikšanas un paraugu ņemšanas vietas; 7 – senielejas pamatkrasts; 8 – virspalu terašu krotēs; VP1 – virspalu terase un tās indekss; SG1 – vecgrava un tās numurs; HG1 – karengrava un tās numurs

Fig. 1. Geographical Location of the Study Area in Latvia (A) and the Daugava River Valley (B), and Geomorphological Sketches of Study Sites in the Rozālišķu Meander (C) and Daugavsargu Meander (D)

1 – gully thalwegs; 2 – location of geomorphological sketches (Fig. 1. C and D) of study sites; 3 – permanent streams; 4 – gullies and old gullies; 5 – hanging gullies; 6 – sites of hand boring series and sampling; 7 – bluff of the spillway valley; 8 – edges of the terraces; VP1 – terrace and its index; SG1 – old gully and its number; HG1 – hanging gully and its number

(mērījumu precizitāte $\pm 1\text{cm } 10\text{ m}^{-1}$). Šāda metodika ļāva paralēli noteikt vecgravu platumu un dziļumu. Ja atsevišķu vecgravu platums pārsniedza 50 m, mērījumos tika izmantots lāzertālmēris *Bushnell Yardage Pro 500* (mērījumu precizitāte $\pm 5\text{cm } 100\text{ m}^{-1}$). Vecgravu gultņu detalizētu šķēršprofilu konstruēšanai lauka pētījumos pēc A. Janga un autoru aprakstītās nogāžu profilu uzmērīšanas metodikas (Young et al. 1974) ar digitālo klinometru *DigiPas DWL-80G* (mērījumu precizitāte $\pm 0,1^\circ$) šķēršām vecgravas ievalkai tika mērīts nogāžu krituma leņķis α , iegūtos skaitliskos lielumus noapaļojot līdz veseram skaitlim. Klinometrs tika balstīts uz 1,0 m garas ēvelētas lates, lai mērījumos mazinātu nogāžu nelīdzenumu radīto izkliedi. Validācijas nolūkos katrs divdesmitais mērījums tika veikts paralēli gan ar digitālo, gan ar analogo bezinerces pašlīdzinošo klinometru *TrickTools AngleLevel 3* (mērījumu

precizitāte $\pm 0,5^\circ$). Tādējādi tika iegūtas mērījumu sērijas, kur profils ir sadalīts 1 m garos nogriežņos un kur katram ir zināms nogāzes krituma leņķis. Tas savukārt ļāva šos datus integrēt datorprogrammas *AutoCAD 2008 LT* polārajā koordinātu sistēmā un konstruēt šķērsprofilus.

Vecgravu morfometriskie parametri šajā pētījumā tika izmantoti, lai, lietojot zinātniskos pētījumos aprobētu metodiku (Vanwalleghem et al. 2005a), modelētu paleoģeogrāfisko situāciju, t. i., iespējamās klimatiskās un hidroloģiskās apstākļus, kādos norisinājusies šo gravu veidošanās. Proti, izmantojot fluvialās erozijas veidotām formām piemērojamu vienādību (Torri et al. 2006):

$$W = aQ^b, \quad (1.)$$

kur W – fluvialās erozijas veidotas formas platums (m);

Q – šo formu veidojošās ūdensplūsmas maksimālais caurplūdums ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$);

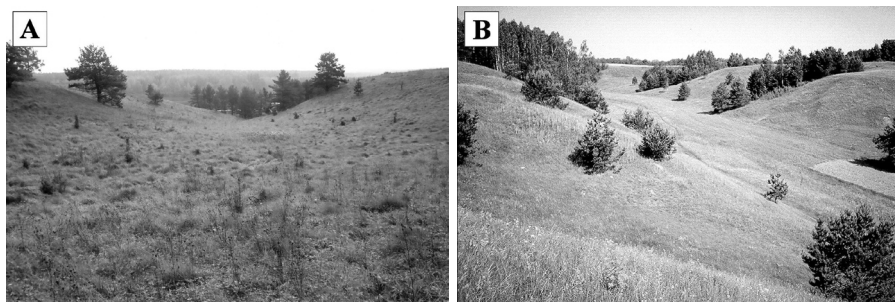
a ir empīriskais koeficients un eksponenta b vērtība mainās robežās no 0,3 (izskalojumvagām) līdz 0,6 (upēm), un, izmantojot no vienādības (1.) regresijas analīzes gaitā vecgravām empīriski pielāgotu vienādojumu (Vanwalleghem et al. 2005a):

$$Q = 0,1072 GW_b^{2,427}, \quad (2.)$$

kur GW_b – gravas gultnes platums (m);

Q – caurplūdums ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$),

ir iespējams modelēt paleohidroloģiskos parametrus, kādos varēja veidoties vecgravu gultnes ar platumu GW_b .



2. att. Viena no Rozališķu loka karengravām – HG2 pie Sandarišķiem (A) un vecgrava SG1 Aleksandrin rov pie Slutišķiem (B). Foto J. Soms, 2006. Gravų novietojumu sk. 1. attēlā

Fig. 2. Examples of the Hanging and Old Gullies of the Rozališķu Meander – HG2 at Sandarišķi (A) and Old Flat-Bottom Dry Gully SG1 Aleksandrin Rov Near Slutišķi.

Photo J. Soms, 2006. See Figure 1 for location of the gullies

Līdztekus ģeomorfoloģiskajiem pētījumiem tika veikti arī ģeoloģiskās zondēšanas darbi un rakti šurfi, lai noskaidrotu vecgravās akumulētā prolūvija uzbūvi un slāņa biezumu. Šim mērķim pēc lauka rekognoscijas datiem tika atlasītas četras vecgravas, kuru gultnēs nebija nesenu iegrauzumu pēdu un kuru lēzenais U-veida šķērsprofils un velēnu sega liecināja par gultnes aizpildīšanos ar prolūviju. Trīs no atlasītajām formām (HG1; HG2 un HG3 1. C att. un 2. A att.) bija karengravas, kurām hipotētiski

bija jābūt senākajām lineārās erozijas formām Daugavas senielejā, savukārt ceturkā vecgrava (SG1 1. D att. un 2. B att.), kurai ir lokāls toponīms *Aleksandrin rov*, tika izvēlēta tās iespaidīgo izmēru dēļ (Soms 2006).

Minētajās vecgravās šķērsām ievalkas līnijai ar *AMS MudAuger* rokas ģeoloģisko urbi (\varnothing 4 collas) tika veikta piecu līdz sešu urbumu sērija. Urbumos tika noteikts dziļums, kādā atrodas robeža starp šajā teritorijā kvartāra virsmu veidojošiem augšpleistocēna glacigēnajiem akmeņainā smilšmāla nogulumiem (Juškevičs et al. 2003) un vecgravas gultni aizpildošajiem proluviālajiem aleirītiskajiem un smilšainajiem nogulumiem. Maksimālais prolūvija biežums ļāva identificēt vecgravas gultnes dziļāko daļu pirms aizpildīšanās. Saskaņā ar prasībām par paraugu iegūšanu palinoloģiskajām analizēm (Moore et al. 1991) apmēram 0,5 m attālumā no urbuma, kurā tika konstatēts maksimālais prolūvija slāņa biežums, ar *AMS* kameras ģeoloģisko urbi, kam ir ievietojams plastikāta konteiners (konteiners \varnothing 50 mm, augstums 204 mm), no gultnes–prolūvija robežas zonas tika ņemti netraucēti monolīti to laboratoriskai izpētei un sporu un putekšņu sastāva noteikšanai, kas tika veikta Latvijas Universitātes Kvartārvides laboratorijā. Šādas metodikas mērķis bija pārbaudīt, vai pēc vecgravas gultnes–prolūvija robežas zonā apraktā sporu un putekšņu sastāva iespējams noteikt, kad ir sākusies erozijas aprimšana un gravas aizpildīšanās. Zinātniskās literatūras analīze (Schmitt et al. 2006; Dotterweich 2008) parādīja, ka, sākoties gravas atmiršanai un tās gultnei aizpildoties ar prolūvijū, tieši akumulēto nogulumu griezuma apakšējā daļā jābūt tādām sporu un putekšņu spektram, kas atspoguļo lokālās teritorijas floristisko sastāvu gravas attīstības beigu posmā. Tātad hipotētiski, iegūstot vecgravas gultnes–prolūvija robežas zonas sporu un putekšņu sastāva diagrammu un to salīdzinot ar griezumiem (Segliņš 2001b), būtu iespējams noteikt prolūvija akumulācijas sākumu.

Katrs analizējamais monolīts sporu un putekšņu analīzei tika sadalīts 5 cm biezos paraugos. Putekšņi tika koncentrēti paraugos ar dažādiem ķīmiskās un mehāniskās attīrīšanas paņēmieniem, lai izšķīdinātu vai izskalotu minerālo grunti un citas cilmes organisko materiālu. Sporu un putekšņu apstrādei un koncentrēšanai tika izmantota O. Kondratienes (Petrova et al. 1986) uzlabotā Gričuka sporu un putekšņu atdalīšanas metode, lietojot augsta blīvuma ($\delta = 2,22 \text{ g cm}^{-3}$) KJ/CdJ₂ šķīdumu. Sporu un putekšņu diagrammas tika konstruētas ar *TILIA 2.00* un *TGView 2.0.2* datorprogrammu.

Proluviālie nogulumi granulometriski tika analizēti, izmantojot *Retsch AS 200* sijāšanas vibroiekārtu (sietu acu izmēri: 0,05; 0,1; 0,16; 0,25; 0,5; 0,63; 1 un 2 mm), kas piemērota šādu nogulumu daļiņu izmēra noteikšanai (Blatt et al. 1972).

SG1 vecgravas lejtecē veiktajos urbumos no gultnes–prolūvija robežas zonas tika iegūti arī apraktas koksnes fragmenti, kuri tika ievietoti hermetizētā, gaismas necaurīdīgā augstspiediena polietilēna (HDPE) konteinerā un nosūtīti *AMS* ¹⁴C (*accelerated mass-spectrometry*) datēšanai uz Radiooglekļa laboratoriju Erlangenes Universitātē, Vācijā (*AMS Radiokarbonlabor, Universität Erlangen-Nürnberg*). Saņemtie dati par paraugu absolūto vecumu (lab. Nr. Erl-10456), saskaņā ar laboratorijas sniegto informāciju, tika koriģēti pēc $\delta^{13}\text{C}$ pie 25‰ un kalibrēti ar plaši izmantojamo *Calib 5.0* datorprogrammu (Stuiver and Reimer 1993), kas ļāva noteikt apraktās koksnes vecumu un pārrēķināt to kalendārajos gados.

Rezultāti

Vecgravu un karengravu morfoloģija un paleohidroloģisko apstākļu modelēšana

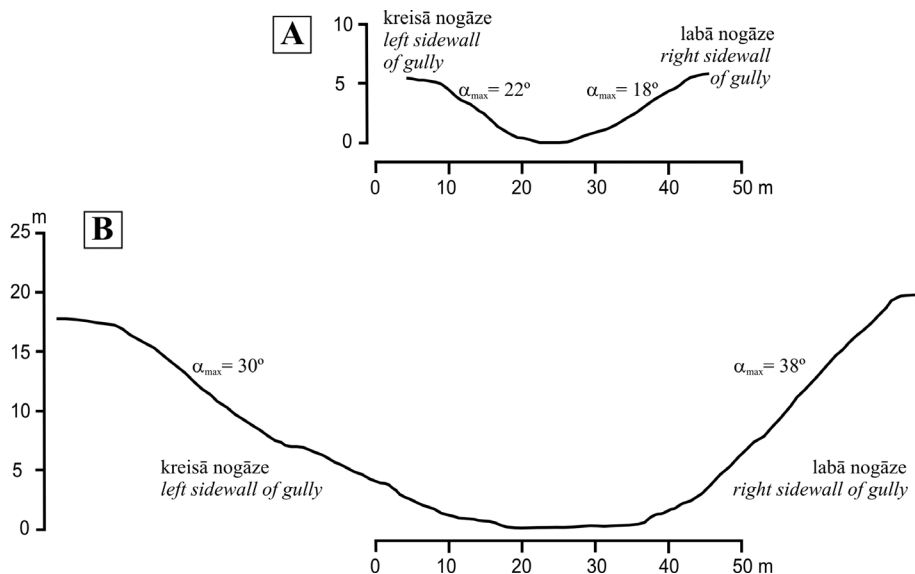
Ģeomorfoloģisko pētījumu gaitā tika noskaidroti morfometriskie raksturlielumi visām vairāk nekā 30 vecgravām, tajā skaitā 14 karengravām, kuras morfoloģiskā un ģenēzes ziņā ir savdabīgs vecgravu tips. Terminu „karengrava” pirmais lietoja G. Eberhards (1991), raksturodams gravu erozijas veidotās formas, kas atrodas dabas parkā „Daugavas loki” un kam ir īpatnēja morfoloģija un novietojums ielejas nogāzēs. Šīs gravas, tāpat kā tipiskās gravas, izvietotas un ģenētiski saistītas galvenokārt ar dziļu upju ieleju pamatkrastu vai jūras stāvkrastu nogāzēm, un, pateicoties tieši upju ieleju vai jūras piekrastes vai krasta attīstības un pārveidošanās eksogēnajiem procesiem, karengravas ir izveidojušās un ieguvušas mūsdienu izskatu. Morfoloģiski tās ir līdzīgas tipiskām gravām, jo to virsotnes tāpat šķēļ augšējo nogāzes kroti un gravas gultnes lielākā daļa izvietojas ārpus nogāzes, t. i., krastam vai ielejai pieguļošajā teritorijā, un tām ir morfoloģiski izteikti pastāvīgi ūdensguves baseini. No iepriekšējā tipa tās atšķiras ar to, ka tās ir atmirušās gravas, kurās izveidojusies velēnu sega un kuras morfoloģiski atbilst IV attīstības stadijas gravām jeb vecgravām, taču tām nav reliktu izneses konusu un arī lejteces daļas, kas ir noskalota erozijas gaitā.

Daugavas senielejas posmā starp Krāslavu un Naujēni karengravas morfoloģiski viziteiktākās ir Rozališķu loka virsotnē starp Rudāniem un Ļesovščiznu, kur tās saposmo Daugavas ielejas labā pamatkrasta nogāzi un daļu tam pieguļošās teritorijas. Šajā posmā ielejas labā pamatkrasta nogāzē izveidojušās 10 karengravas un 6 gravveida ielejas (1. att.). Karengravas ģeomorfoloģiski un ainaviski ir ļoti savdabīgs gravu tips. Šīs vecgravas var raksturot kā ļoti izteiktus, pret Daugavu atvērtus silesveida pazeminājumus (2. att.) ar noapaļotām krotēm, lēzenām nogāzēm un ievalku, kura, nesasniedzot upi, izbeidzas ielejas pirmajā vai otrajā virspalu terasē, respektīvi, augstu virs tagadējā lokālās erozijas bāzes līmeņa.

Pētījumu teritorijā Rozališķu lokā pēc nepārdomātas meliorācijas grāvju vai slēgtās drenāžas sistēmas kolektoru ievadīšanas atsevišķās vecgravās, atjaunojoties dziļumerozijas procesiem, tikuši atsegti gruntsūdeņu horizonti, tāpēc pazemes ūdeņi, nonākdami šo gravu gultnēs, izveidojuši pastāvīgas ūdensteces – strautus. Minētā pazīme ir raksturīga lineārās erozijas formu ģenētiskās rindas augstākai pakāpei – ielejām, tomēr morfoloģiski šādai strauta ielejai saglabājas gravas pazīmes, tāpēc šīs lineārās erozijas formas pareizāk būtu saukt par gravveida ielejām.

Tieši gravveida ielejas un daudzās garās un dziļās vecgravas Rozališķu un Daugavsargu loka virsotnēs (1. C, D att.) nosaka šī senielejas posma krastu augsto saposmotības pakāpi, kur erozijas tīkla blīvums sasniedz 2 līdz 2,5 km km⁻² (Soms 2006). Lielās vecgravas šai senielejas posmā morfoloģiski krasi atšķiras no karengravām. Pētījumos noteiktais lielo vecgravu garums ir 1,4–0,6 km, bet karengravu vidējais garums mainās no 200 līdz 250 m, retākos gadījumos sasniedzot 300–350 m garumu. Līdzīgi var raksturot gravu maksimālo dziļumu: 26–14 m vecgravām, 4–8 m karengravām. Atšķirīgi ir arī gravu šķērsprofili un garenprofili: karengravām raksturīgs ieliekts („izstrādāts”) līdzsvara garenprofils un sekli, lēzeni U-veida šķērsprofili (2. A att.; 3. A att.), bet vecgravām un gravveida ielejām –

U-veida vai trapecveidīgi šķērsprofili ar stāvām nogāzēm un plakanu dibenu (2. B att.; 3. B att.) un kāpļaini garenprofili.



3. att. HG2 (A) karengravas un SG1 (B) vecgravas šķērsprofils. Profili konstruēti pēc lauka mērījumu datiem. Gravų novietojumu sk. 1. attēlā

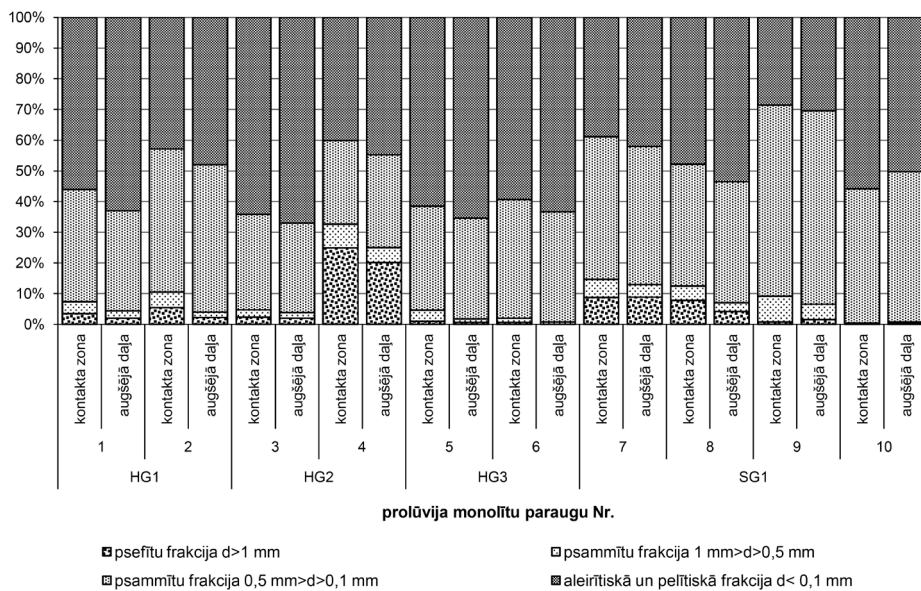
Fig. 3. Cross Profiles of Hanging Gully HG2 (A) and Relic Flat-Bottom Dry Gully SG1 (B). Profiles Constructed from Field Survey Data. See Figure 1 for location of the gullies

Izmantojot 2. formulu, tika modelēti paleohidroloģiskie apstākļi un aprēķināti caurplūdumi, kādos varēja veidoties lielo vecgravu gultnes ar platumu GW_b 12–16 m. Lai gan mūsdienās vecgravās nevar tieši izmērīt to parametru, kas raksturo gravas gultnes platumu aktīvās erozijas stadijā, tomēr, lietojot aprobētas metodikas (Vanwalleghe et al. 2005a), aproksimācijas ceļā varēja iegūt GW_b raksturlielumus vecgravām. Tuvinātās GW_b vērtības tika izmantotas tikai modelēšanas vajadzībām, un, ņemot vērā iespējamo kļūdu ± 3 m, caurplūduma aprēķini tika veikti ar GW_b min., GW_b max. un GW_b vid. vērtībām. Modelēšanas rezultāti parāda, ka iepriekš minētā platuma gultnes varēja veidoties pie Q vērtībām no $28 \text{ m}^3 \text{ s}^{-3}$ līdz $76 \text{ m}^3 \text{ s}^{-3}$ (vid. apm. $48 \text{ m}^3 \text{ s}^{-3}$ ja $GW_b = 12 \text{ m}$). No šiem rezultātiem izriet, ka holocēnā šāda apjoma noteces veidošanās gravās klimatisko faktoru ietekmē ir ļoti maz ticama. Tādā gadījumā, iespējams, garo un dziļo vecgravu veidošanās saistīta ar ledāja kušanas ūdeņu straumju erodējošo darbību leduslaikmeta beigu posmā, kad no augstieņu apvidiem pēkšņu uzplūdienu veidā uz Daugavas senieleju noplūda lokālu sprostezeru ūdeņi. Uz morfoloģisku līdzīgu formu iespējamo pleistocēna vecumu norāda arī vairāki citi zinātnieki, kuri pētījuši vecgravas Rietumeiropā (Langohr and Sanders 1985), Polijas ZA daļā (Smolska 2007) un Krievijas centrālajā daļā (Panin et al. 2009). Tā kā šāda morfoģenētiskā tipa gravas veidojušās jau leduslaikmeta beigu posmā īslaicīgu un intensīvu ledājkūšanas ūdeņu straumju erodējošās darbības

ietekmē, bet vecgravas attīstības stadiju sasniegušas holocēnā, raksta autori pēc analogijas ar terminu „senieleja” ierosina šādu formu apzīmēšanai lietot terminu „sengrava”.

Proluviālo nogulumu pētījumu rezultāti

Urbumu sērijas, kas veiktas HG1, HG2 un HG3 karengravā un SG1 vecgravā, parādīja, ka proluviālo nogulumu maksimālais biezums karengravās svārstās no 1,15 līdz 1,85 m, savukārt *Aleksandrin rov* vecgravā tas ir robežās no 1,95 m augštecē līdz 2,75 m lejtecē. Balstoties uz publicētajiem datiem (Smolska 2007) par vidējo ātrumu $0,001\text{--}0,0013\text{ m a}^{-1}$, ar kādu notiek erozijas formu aizpildīšanās ar proluviālajiem nogulumiem fiziogēogrāfiski līdzīgā ainavīdē, var aprēķināt, ka akumulācijas procesi un vecgrāvju atmiršana sākusies pirms 1100 līdz 2500 gadiem. Iegūtie dati par laika posmu, kādā varēja izveidoties lauka pētījumos konstatētais prolūvija slāņa biezums, saskan arī ar augsnes erozijas modelēšanas gaitā noteiktajām plakniskās noskalošanas vērtībām, kas Daugavas senielejā var sasniegt $0,0078\text{ m}^2\text{ a}^{-1}$, bet vidēji ir robežās no $0,001$ līdz $0,0022\text{ m}^2\text{ a}^{-1}$ (Soms un Grišanovs 2010). Aprēķinātie skaitļi, kas limitē vecgrāvju atmiršanas laiku, sniedz priekšstatu par šo erozijas formu iespējamo vecumu.



4. att. Vecgravās akumulētā prolūvija paraugu (Nr. 1.–10.) granulometriskais sastāvs. HG1, HG2 un HG3 karengravas un SG1 vecgravas novietojumu sk. 1. attēlā

Fig. 4. Granulometric Composition of Samples of Colluvium Accumulated within Channels of Old Gullies. See Figure 1 for location of the hanging gullies (HG1, HG2, HG3) and the old gully (SG1). Numbers 1 to 10 denote numbers of colluvium samples from the gully bed-proluvium contact zone (left diagram) and upper part of the colluvium sequence (right diagram)

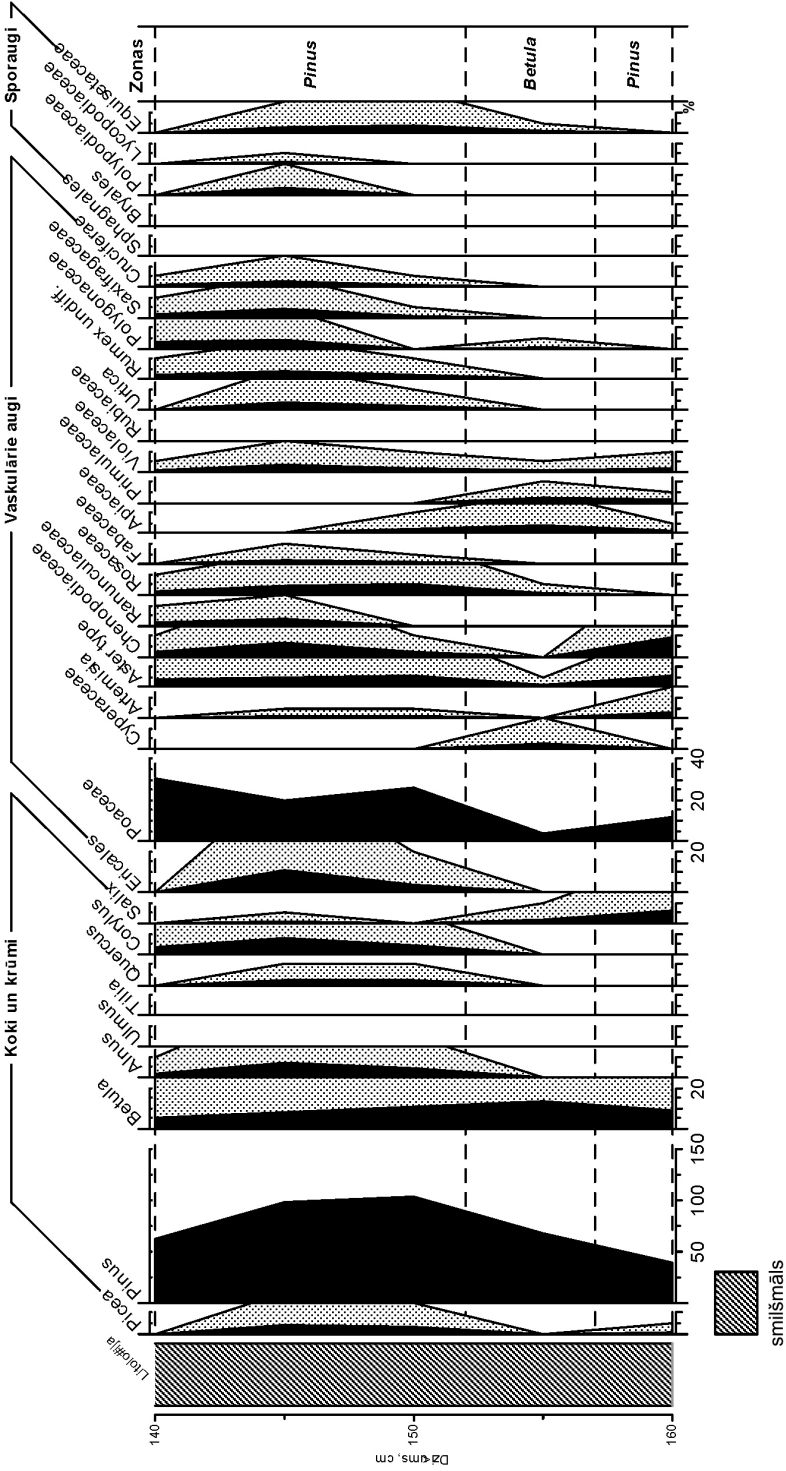
Prolūvija paraugu granulometriskās analīzes rezultāti parāda, ka vecgravās akumulētos nogulumus pamatā veido smalkgraudainas smilts un aleirītiski vai smilšmāla nogulumi (4. att.). Katram paraugam granulometriskais sastāvs tika noteikts atsevišķi monolīta apakšējai daļai (gravas gultnes–prolūvija robežas zona) un augšējai daļai. Lai gan vizuāli monolītu paraugu apakšējās un augšējās daļas būtiski neatšķirās, tomēr sastāva ziņā tika konstatētas atšķirības, respektīvi, robežas zonā ir nedaudz lielāks rupjgraudainu un mazāks aleirītisko nogulumu īpatsvars (4. att.), kas saistīts ar gravas gultnes fācijas jeb pārskalotu psefītu frakcijas drupiežu klātbūtni.

Monolītiem Nr. 3; 6; 7 un 10, kas tika iegūti HG2 un HG3 karengravas un SG1 vecgravas augšteces un lejteces gravu gultnes–prolūvija robežas zonā, tika veikta sporu un putekšņu sastāva analīze (4. att.). Analīzes mērķis bija pārbaudīt hipotēzi, vai pēc vecgravas gultnes–prolūvija robežas zonā apraktā sporu un putekšņu sastāva iespējams noteikt, cik seni ir nogulumi.

HG2 karengravas prolūvija nogulumu monolītu galvenokārt veido smilšains māls, izņemot apakšējo daļu, kura pārstāvēta ar smilšainu aleirītu. Putekšņu koncentrācija visos analizētajos paraugos ir neliela, tikai 15–20 putekšņu uz 1 g nogulumu (p g^{-1}), tomēr tā sastāvs salīdzinoši labi atspoguļo apkārtējo veģetāciju. Koku putekšņu sastāvā dominē priedes, bet lakstaugi ir bagātīgi pārstāvēti ar graudzālēm (*Poaceae*). Diagrammā nodalītas 3 putekšņu zonas, un augšējā un apakšējā zona norāda uz to, ka nogulumu uzkrāšanās laikā šajos intervālos bijusi atklāta ainava. Diagrammas apakšējā putekšņu zona *Pinus*–lakstaugi liecina par pļavas veģetāciju karengravas apkārtnē, ko raksturo bagātīgs lakstaugu sastāvs, starp tiem ir ievērojams daudzums arī ruderālo augu (*Chenopodiaceae*, *Urtica*, *Polygonaceae* u. c.). Vidējā *Betula*–*Alnus* zona iezīmējas ar ievērojamu koku putekšņu īpatsvara palielināšanos, kas, iespējams, liecina par klimatisko apstākļu izmaiņām un teritorijas apmežošanu. Uz vides apstākļu izmaiņām norāda arī nogulumu granulometriskā sastāva izmaiņas – smilšmālu tajos nomaina aleirītiska smilts. Diagrammas augšējā daļā putekšņu zonas *Pinus*–*Poaceae* intervālā atkal palielinās lakstaugu īpatsvars. To sastāvā dominē *Poaceae*, *Artemisia*, kā arī ieviesušies ēriku dzimtas sīkkrūmi. Putekšņu spektri diagrammā kopumā atspoguļo subatlantiskajam laikam raksturīgu veģetāciju, kas mainījies klimatisko apstākļu un, iespējams, arī cilvēka darbības ietekmē.

HG3 karengravas prolūvija nogulumu monolīta granulometriskās analīzes dati liecina, ka to veido smilšains aleirīts, turklāt tā apakšējā daļā pieaug rupjgraudainas frakcijas īpatsvars, t. i., aleirīta sastāvā palielinās smilts un pat atsevišķu grants graudiņu klātbūtne, kas arī norāda uz proluviālo nogulumu robežu ar morēnu. Monolīta apakšējā daļā intervālā 1,56–1,60 m ir ļoti maza putekšņu koncentrācija, tikai 10 putekšņu uz 1 g nogulumu (p g^{-1}). Tā krasi atšķiras no pārējā parauga un, iespējams, liecina par dažādas cilmes nogulumu uzkrāšanos monolīta pašā apakšējā daļā un augšējā daļā, un tas skaidrojams ar to, ka karengravas gultne ir iegrauzta pamatmorēnas nogulumos.

Monolīta apakšējā daļā (5. att.) nodalītai zonai *Pinus* raksturīga zema putekšņu koncentrācija, un te ievērojami pieaug vaskulāro augu putekšņu daudzums (*Chenopodiaceae*, *Ranunculaceae*). Intervālā 1,51–1,56 m nodalītā putekšņu zonā *Betula* putekšņu koncentrācija ($100\text{--}120 \text{ p g}^{-1}$) ir tikai nedaudz zemāka nekā nākamajā zonā, tomēr putekšņu sastāvs tajā ir atšķirīgs: ievērojami samazinās priežu, nedaudz



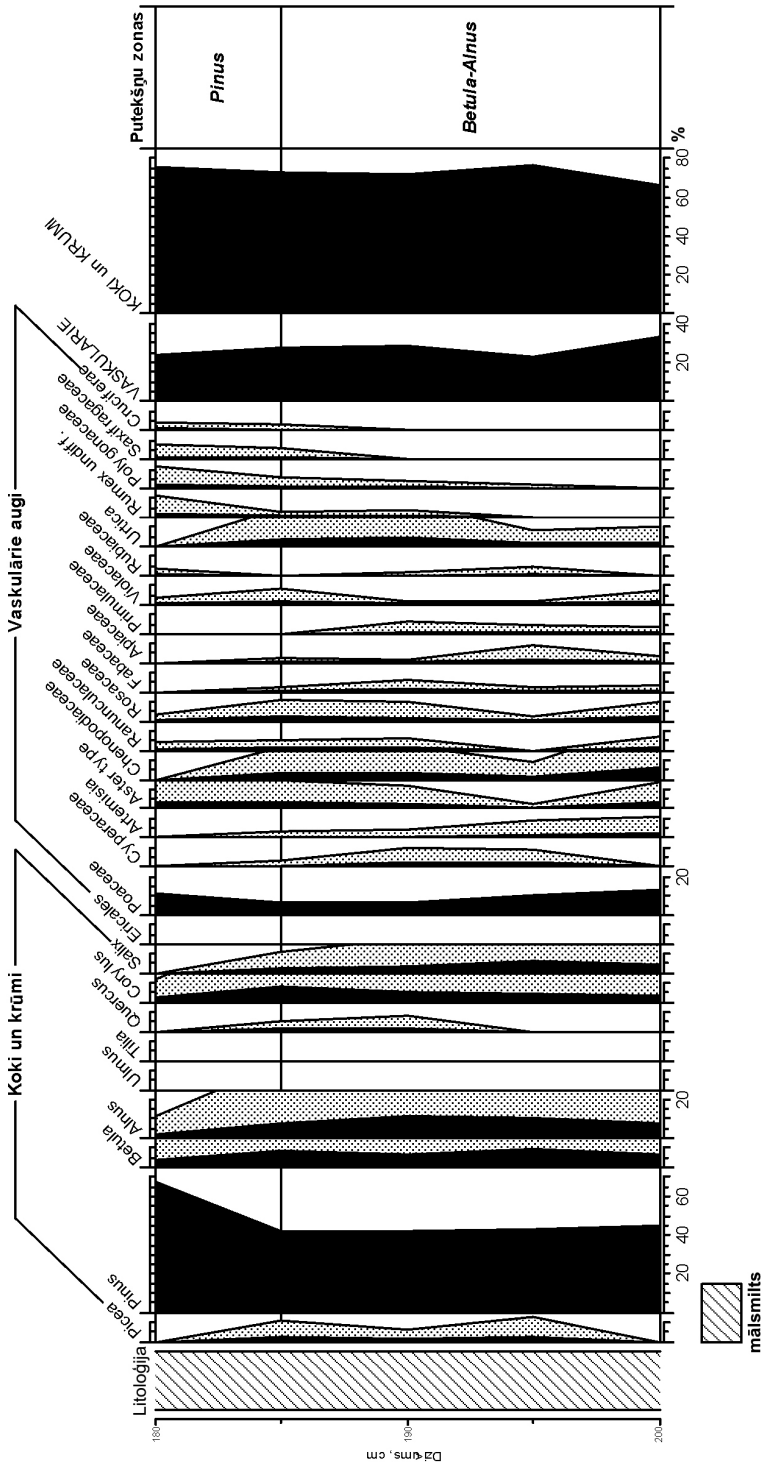
5. att. HG3 karengravas prolūvija nogulumu sporu un putekšņu diagramma (monolīts Nr. 6). HG3 karengravas novietojumu sk. 1. attēlā
 Fig. 5. Pollen and Spore Diagram of the HG3 Hanging Gully Colluvial Sediments (boring No. 6). See Figure 1 for location of hanging gully HG3

palielinās bērzu putekšņu daudzums. Zonas vidusdaļā (1,54–1,55 m) putekšņu koncentrācija samazinās līdz 30 p g⁻¹, vienlaikus samazinās arī sugu daudzveidība. Putekšņu koncentrācija parauga augšējā daļā intervālā 1,4–1,55 m ir neliela, 120–300 p g⁻¹. Putekšņu sastāvu nogulumu šajā monolīta daļā (zona – *Pinus*) raksturo ievērojama priežu putekšņu dominance (līdz 80%), kā arī neliels egļu, alkšņu, bērzu un lazdu putekšņu daudzums. Jāatzīmē salīdzinoši liels vaskulāro augu putekšņu daudzums (līdz 20%), kuros galvenokārt konstatētas dažādas graudzāļu sugas, tai skaitā arī kultivēto zemju sugas. Šāds putekšņu sastāvs norāda uz salīdzinoši atklātu teritoriju nogulumu veidošanās laikā. Kopumā putekšņu diagramma ļauj secināt, ka proluviālie nogulumi veidojušies salīdzinoši nesen – augšējā subatlantiskā laikā (SA3), jo izmaiņas putekšņu sastāvā diagrammas augšējā daļā ir nelielas un praktiski atspoguļo mūsdienu veģētāciju.

Vecgravas SG1 augšteces nogulumi monolītā Nr. 7 pēc granulometriskās analīzes rezultātiem ir vāji šķīrota māslmils. Putekšņu koncentrācija visā monolītā ir neliela (100–300 p g⁻¹). Kopumā putekšņu spektri diagrammā ir līdzīgi un lokālās putekšņu zonas nodalītas visai nosacīti, izmantojot tikai nelielas atšķirības. Diagrammas apakšējā daļā nosacīti (jo maza putekšņu koncentrācija 10 p g⁻¹) nodalīta lokālā putekšņu zona *Pinus*, kuras sastāvā dominē priedes putekšņi. Zona *Quercus-Corylus* nodalīta intervālā 2,08–2,21 m, kur salīdzinājumā ar iepriekšējo zonu palielinās ozolu un lazdu putekšņu daudzums, kā arī vaskulāro augu putekšņu un kosu sporu daudzums. Šāds putekšņu sastāvs, iespējams, vai nu norāda uz lokāliem apstākļiem, vai arī raksturo veģētācijas sastāvu dzelzs laikmeta beigū posmā, tomēr mazā putekšņu koncentrācija neļauj korekti apstiprināt šo pieņēmumu. Augšējā intervālā 2,05–2,08 m nodalīta zona *Pinus-Poaceae* raksturo veģētācijas sastāvu gravas apkārtnē.

Vecgravas SG1 lejteces nogulumi monolītā Nr. 10 pēc granulometriskās analīzes rezultātiem ir smilšmāls ar koksnes gabaliņiem, tajā skaitā mālā ieslēgtiem kārkļu zariņiem, un organisko vielu piemaisījumu. Putekšņu koncentrācija visā monolītā ir vidēja (1200–2000 p g⁻¹). Kopumā putekšņu spektri diagrammā ir līdzīgi un diagrammā nodalītas divas lokālās putekšņu zonas, izmantojot tikai nelielas atšķirības (6. att.). Diagrammas apakšējā daļā (1,85–2,00 m) nodalīta lokālā putekšņu zona *Betula-Alnus*, kuras sastāvā blakus dominējošiem priedes putekšņiem konstatēti arī bērzu, alkšņu, lazdu, ozolu un vaskulāro augu putekšņi. Putekšņu spektrs zonas robežās kopumā atspoguļo veģētācijas sastāvu, kas raksturīgs siltākiem klimatiskiem laika apstākļiem nekā mūsdienās. Griezumā augšdaļā (zona *Pinus*) palielinās priežu putekšņu īpatsvars, samazinoties ozolu un lazdu putekšņu daudzumam, un kopumā raksturo mūsdienu veģētāciju gravas apkaimē.

Tā kā monolīti tika iegūti no ģeogrāfiskā ziņā tuvu izvietotām vecgravām, teorētiski tajās akumulētajos prolūvija nogulumos sporu un putekšņu sastāvam ir jābūt līdzīgam. Tomēr iegūtie rezultāti šo pieņēmumu neapstiprina, piemēram, salīdzinot HG2 un HG3 karengravas sporu putekšņu diagrammas vai salīdzinot *Aleksandrin rov* SG1 vecgravas augšteces un lejteces daļu sporu putekšņu diagrammas, ir redzamas kvantitatīvas un kvalitatīvas atšķirības. Šīs atšķirības nevar tikt izskaidrotas ar veģētācijas sastāva dažādību, bet drīzāk ar sporu un putekšņu materiāla sekundāru pārgulsnēšanu prolūvija uzkrāšanās gaitā.



6. att. SG1 vecgravas lejteces daļas prolīvija nogulumu sporu un putekšņu diagramma (monolīts Nr. 10). SG1 novietojumu sk. 1. attēlā
 Fig. 6. Pollen and Spore Diagram of Colluvial Sediments Obtained in Lower Reaches of the SG1 Old Gully (boring No. 10). See Figure 1 for location of old gully SG1

Apraktās koksnes paraugu (šie paraugi iegūti no urbama, kas veikts blakus monolītam Nr. 10) ^{14}C datējums (lab. Nr. Erl-10456) parāda, ka to vecums un attiecīgi vecgravas gultnes aizpildīšanās vecums ir 193 g. p. m. ē. līdz 175 g. m. ē. (95,4% varbūtība pie 2 σ) jeb apmēram 2000 kalendārie gadi. Šie gadskaitļi saskan ar to vecumu, kas netiešā veidā tika noteikts pēc prolūvija slāņa biezuma. Konkrētajam urbamam izskaitļotais vidējais ātrums, ar kādu notikusi aizpildīšanās ar prolūviālajiem nogulumiem, ir 0,0011 m a $^{-1}$. Nedz sporu putekšņu sastāva iezīmes, nedz ^{14}C datējums tomēr neapstiprina paleohidroloģiskās modelēšanas gaitā izvirzīto pieņēmumu par pētījumu gravu pleistocēna beigu posma vecumu.

Diskusija

Kopumā pasaulē nav izstrādāta unificēta metodoloģija, lai noteiktu senākā pagātnē atmirušu gravu veidošanās vecumu pēc tajās akumulētajiem nogulumiem. Pašreizējās pieejas šī jautājuma risināšanā parāda, ka datu iegūšanas process ir complicēts (Dotterweich 2005; Leopold and Völkel 2006; Panin et al. 2009) un dažos gadījumos metodiskā ziņā pat problemātisks (Dotterweich 2008). Izmantojot tādas holocēna nogulumu datēšanai piemērotas metodes (Roberts 2002) kā ^{14}C , termoluminiscence, optiski stimulētā luminiscence un sporu un putekšņu analīze prolūviālo nogulumu vecuma noteikšanai, tiek iegūti rezultāti, kas ne vienmēr atspoguļo reālo erozijas formas veidošanās laiku (Lang and Hönscheidt 1999). Iemesli tam ir vairāki, kā galvenos varētu minēt šādus: (1) prolūviālie nogulumu veidojas gravā vai tās izneses konusā, akumulējoties materiālam, (i) kas ir izskalots vai pārskalots gultnes dziļumerozijas un sānu erozijas gaitā, (ii) kas nonācis gultnē gravigēno procesu un plakniskās noskalošanās rezultātā no gravas nogāzēm vai arī (iii) ir transportēts no sateces baseina virsmas. Līdz ar to vienā stratigrāfiskā slānī var tikt izgulsnēti gan ļoti jauni, gan daudz vecāki dažāda granulometriskā sastāva sanešu materiāli. Tas pats attiecas arī uz sporām, putekšņiem, augu makroatliekām un cita veida organiskas izcelsmes materiālu, ko var izmantot datēšanai; (2) vecgravās atjaunojoties dziļumerozijas procesiem ekstrēmu hidrometeoroloģisko faktoru ietekmē, prolūviālajos nogulumos ļoti īsā laikā var veidoties iegrauzumi, kuri sekundāri var tikt aizpildīti ar ievērojami jaunāku materiālu (Vanwalleghem et al. 2005b; Soms 2010), tādējādi „atjauninot” prolūviālos nogulumus; (3) minētie ekstrēmie hidrometeoroloģiskie faktori var izraisīt noslīdeņu nosprostojumus veidošanos gravu gultnēs un ar to pārraušanu saistītas īslaicīgas, bet intensīvas ūdens straumes (Soms 2010) jeb *first flush* (angl.), kuras pa gultni pārvieta sanesas, tajā skaitā lielu daudzumu gravā iekritušu koku zaru un pat stumbru fragmentu (*woody debrys* angl.). Šim materiālam nonākot iegrauzumā un tiekot apraktam zem prolūviālajiem nogulumiem, ^{14}C datēšana uzrādīs nevis faktisko gravas veidošanās vecumu, bet gan pēdējo intensīvās erozijas notikumu laiku.

Rezultātus ar augstāku ticamības pakāpi būtu iespējams iegūt, datējot organiskās atliekas, kas ieslēgtas gravu izneses konusu pamatnē vai apraktas zem izneses konusa nogulumiem. Datēšanai vispiemērotākie ir tie gadījumi, kad zem iznesu konusa nogulumiem atrodas aprakta augsne vai ar kūdru aizpildīta pārpurvota ieplaka. Atšķirībā no Gaujas senielejas, kur šādi uz virspalu terasēm esoši izneses konusi tiek atsegti upes sānu erozijas norises gaitā (Saltupe 1982), Daugavas

senielejā, pētījumu teritorijā reljefu rekonoscējot lauka apstākļos, diemžēl šādi veidojumi netika konstatēti. Nākotnē ir nepieciešams veikt papildu lauka pētījumus, lai identificētu šādus virs biogēniem vai eluviālajiem nogulumiem lokalizētus vecgravu izneses konusus arī Daugavas senielejā. Ja šādi veidojumi tiks konstatēti, būs iespējama gan ^{14}C datējumu sērija, gan sporu un putekšņu analīze, kas ļaus korelēt ar dažādām metodēm iegūtos datējumus, turklāt atsevišķos gadījumos tos var salīdzināt ar arheoloģiskiem datiem (noteiktam vēsturiskam posmam raksturīgas trauku lauskas vai citu saimniecības priekšmetu fragmenti) vai vēsturiskām liecībām (kartogrāfiskais materiāls, rakstītās vai mutvārdu liecības). Tādā veidā iegūtos datus turklāt būs vēlams korelēt ar datiem par gravu erozijas formu veidošanās vecumu reģionos un valstīs, kuras, līdzīgi kā Latvija, atradušās pēdējā (Vislas) kontinentālā apledošanas perifēriālās segas klātajā teritorijā un kurās ir sastopamas morfoloģiski līdzīgas formas, piemēram, Polijas un Vācijas ziemeļos, Krievijas Federācijas Eiropas daļā.

Karengravas ir ģeomorfoloģiski un paleoģeogrāfiski nozīmīgi dabas objekti, kas atspoguļo lineāro erozijas procesu rezultātu un iezīmē Daugavas ielejas veidošanās holocēna sākuma etapu īpatnības (Eberhards 1972; Soms 2001). Tās sākušās veidoties kā pastāvīgas nogāžu gravas laikā, kad paliene jeb senais erozijas bāzes vietējais līmenis bija augstāks un atbilda mūsdienu 2. virspalu terases virsmas līmenim. Saskaņā ar G. Eberharda (1972) veiktajiem pētījumiem par Daugavas ielejas attīstības gaitu upi uztverošā Gaiļu paleobaseina ūdeņiem strauji noplūstot, īsā laika posmā pazeminājās Daugavas lokālā erozijas bāze. Dziļumerozijas procesā bijusi paliene, uz kuras virsmas tajā laikā atradās gravu reliktie izneses konusi, pārveidojās par virspalu terasi. Gravas līdz tam jau bija izgājušas pilnu attīstības ciklu, t. i., sasniegušas vecgravas stadiju, un tajās pēc erozijas bāzes pazemināšanās neatjaunojās erozijas procesi. Daugavas turpmākās sānu erozijas un meandrēšanas gaitā vecgravu lejteces daļas kopā ar virspalu terases fragmentiem tika noskalotas, un izveidojās karengravas. Upes dziļumerozijas gaitā veidojoties zemāk novietotai virspalu terasei, karengravas ieguva mūsdienu izskatu. Balstoties uz zinātniskās literatūras datiem (Eberhards 1972; Eberhards 1996), ar otro virspalu terasi ģenētiski saistītās karengravas var novērtēt kā 9000–11 000 gadus vecus veidojumus.

Secinājumi

Pētījumos iegūtie dati par proluviālo nogulumu biežumu un to uzkrāšanās ātrumu, kā arī sporu un putekšņu un ^{14}C datējumi norāda, ka vecgravu atmiršana un to aizpildīšanās sākusies vēlajā holocēnā, subatlantiskajā laikā, pirms apmēram 2000 gadiem. Lai gan iegūtie gadskaitļi neatspoguļo vecgravu izveidošanās laiku, bet raksturo pēdējā dziļumerozijas cikla aprimšanas hronoloģiju, tomēr tie apliecina, ka Daugavas senielejā gravu tīkla veidošanās nav saistāma ar līdumu zemkopības un saimnieciskās darbības periodu, kas saskaņā ar arheoloģiskām liecībām ir attiecināms uz vidējo dzelzs laikmetu, t. i., no 5. līdz 9. m. ē. gadsimtam. Turklāt paleohidroloģiskās modelēšanas gaitā iegūtie caurplūdumi, kādos varēja veidoties ļoti garas un dziļas vecgravas ar gultnes platumu virs 10 m, liek apšaubīt šādu lineārās erozijas formu attīstības iespējamību klimatisko faktoru ietekmē holocēnā.

Tādā gadījumā šo formu ģenēze ir saistāma ar ledāja kušanas ūdeņu straumju erodējošo darbību leduslaikmeta beigū posmā.

Tādējādi, domājams, ka vecgravu attīstībā Daugavas senielejā galvenā nozīme ir ģeoloģiskiem un ģeomorfoloģiskiem, nevis antropogēniem vai klimatiskiem faktoriem.

Pateicība

Pētījums veikts ar ESF projekta „Atbalsts doktora studijām Latvijas Universitātē” (vienošanās Nr. 2009/0138/1DP/1.1.2.1.2/09/IPIA/VIAA/004, LU reģistrācijas Nr. ESS2009/77) atbalstu. Raksta autori izsaka pateicību D. Kursītim un E. Iliško par palīdzību lauka pētījumu veikšanā.

LITERATŪRA

- BACC Author Team, 2008. *Assessment of Climate Change for the Baltic Sea basin. Series: Regional Climate Studies*. Springer, Berlin, Heidelberg, Germany. 474.
- Blatt, H., Middleton, G. and Murray, R. 1972. *Origin of Sedimentary Rocks*. Prentice Hall Inc: 634.
- Daniļāns, I. 1997. Prolūvijs. Grām: Kavacs, G. (red) *Enciklopēdija „Latvija un latvieši”*. *Latvijas daba*. 4. sēj. Rīga: Preses Nams, 176. lpp.
- Diodato, N. 2006. Modelling Net Erosion Responses to Enviroclimatic Changes Recorded upon Multisecular Timescales. *Geomorphology*, 80(3–4), 164–177.
- Dotterweich, M. 2005. High-Resolution Reconstruction of a 1300 Year Old Gully System in Northern Bavaria, Germany: a Basis for Modelling Long-Term Human-Induced Landscape Evolution. *The Holocene*, 15(7), 994–1005.
- Dotterweich, M. 2008. The History of Soil Erosion and Fluvial Deposits in Small Catchments of Central Europe: Deciphering the Long Term Interaction between Human and Environment – a Review. In: Hudson, P., Butzer, K., Beach, T. (eds.) *Fluvial Deposits and Environmental History. Fluvial Systems*. Proceedings of 39th Binghamton Geomorphology Symposium. *Geomorphology*, 101 (1–2), 192–208.
- Eberhards, G. 1972. *Strojenije i razvitije dolin baseina reki Daugava*. Rīga: Zinatne, 131 (in Russian).
- Eberhards, G. 1991. Dabas parka „Daugavas loki” reljefa raksturojums. Grām.: *Dabas parka „Daugavas loki” attīstības ģenerālskāme*. Jelgava, 1991.
- Eberhards, G. 1994. Daugavas ieleja. Grām.: Kavacs, G. (red.) *Enciklopēdija „Latvija un latvieši”*. *Latvijas daba*. 1. sēj. Latvijas enciklopēdija. Rīga, 217.–218. lpp.
- Eberhards, G. 1996. Senākā ieleja Latvijā. Grām.: Villeruša, V. (red.) *Daugavas raksti. No Koškovciem līdz Daugavpilij*. Rīga: Latvijas kultūras fonds, 35.–41. lpp.
- Edwards, K. J., Whittington, G. 2001. Lake Sediments, Erosion and Landscape Change During the Holocene in Britain and Ireland. *Catena* 42, 143–173.
- Enters, D., Dörfler, W., Zolitschka, B. 2008. Historical Soil Erosion and Land-Use Change During the Last Two Millennia Recorded in Lake Sediments of Frickenhauser See, Northern Bavaria, Central Germany. *The Holocene*, 18(2), 243–254.

- Goudie, A., Anderson, M., Burt, T., Lewin, J., Richards, K., Whalley, B., Worsley, P. 1998. *Geomorphological Techniques*. 2nd ed. Routledge, London. 570.
- Juškevičs, V., Misāns, J., Mūrmieks, A., Skrebelis, J. 2003. *Latvijas ģeoloģiskā karte mērogā 1 : 200 000*. 34. lapa – Jēkabpils un 24. lapa – Daugavpils. 4. lapa „Kvartāra nogulumu” un paskaidrojuma teksts. Rīga: Valsts ģeoloģijas dienests.
- Kalnina, L. 2006. Paleovegetation and Human Impact in the Surroundings of the Ancient Burtnieks Lake as Reconstructed from Pollen Analysis. In: Larsson, L., Zagorska, I. (eds.) *Back to the Origin. New Research in the Mesolithic-Neolithic Zvejnieki Cemetery and Environment, Northern Latvia*. Acta Arheologica Lundensia, Series in 8°, No. 52. Almqvist & Wiksell International, Stockholm, 53–74.
- Lang, A., Hönscheidt, S. 1999. Age and Source of Soil Erosion Derived Colluvial Sediments at Vaihingen-Enz, Germany. *Catena*, 38(2), 89–107.
- Langohr, R., Sanders, J. 1985. The Belgium Loess Belt in the Last 20,000 Years: Evolution of Soils and Relief in the Zonien Forest. In: Boardman J. (ed.) *Soils and Quaternary Landscape Evolution*. Wiley, Chichester, 359–371.
- Leopold, M., Völkel, J. 2006. Colluvium: Definition, Differentiation, and Possible Suitability for Reconstructing Holocene Climate Data. *Quaternary International*, 162–163, 133–140.
- Macklin, M. G., Benito, G., Gregory, K. J., Johnstone, E., Lewin, J., Michczyn'ska, D. J., Soja, R., Starkel, L., Thorndycraft, V. R. 2006. Past Hydrological Events Reflected in the Holocene Fluvial Record of Europe. *Catena*, 66, 145–154.
- Moore, P. D., Webb, J. A., Collinson, M. E. 1991. *Pollen Analysis* (2nd edit.). Blackwell Scientific Publications, London. 216.
- Nikodemusa, A. 1994. Daugavas loki. Grām.: Kavacs, G. (red.) *Enciklopēdija „Latvija un latvieši”*. *Latvijas daba*. 1. sēj. Latvijas enciklopēdija. Rīga, 218.–219. lpp.
- Panin, A. V., Fuzeina, J. N., Belyaev, V. R. 2009. Long-Term Development of Holocene and Pleistocene Gullies in the Protva River Basin, Central Russia. *Geomorphology*, 108 (1–2), 71–91.
- Petrova, I. V., Kondratiene, O. P., Dedovitch, G. S. 1986. *Methodological Recommendations to Treatment of Sedimentary Rocks for Pollen Analysis*. State University of Leningrad. 67 (in Russian).
- Poesen, J., Nachtergale, J., Verstraeten, G., Valentin, C. 2003. Gully Erosion and Environmental Change: Importance and Research Needs. *Catena*, 50(2–4), 91–133.
- Roberts, N. 2002. *The Holocene. An Environmental History*. 2nd edit. Blackwell Publishers, Oxford, 316.
- Rommens, T., Verstraeten, G., Poesen, J., Govers, G., Van Rompaey, A., Peeters, I., Lang, A. 2005. Soil Erosion and Sediment Deposition in the Belgian Loess Belt during the Holocene: Establishing a Sediment Budget for a Small Agricultural Catchment. *The Holocene*, 15(7), 1032–1043.
- Saltupe, B. 1982. Osobennosti morfologii, strojenija i formirovanija prolyuvija krupnogo konusa vinosa v drevnej doline reki Gauja. In Eberhards, G. (ed.) *Sovremennije ekzogenije processi i metodi ih issledovanija*. Rīga: Latvian State University press, 115–125 (in Russian).
- Schmitt, A., Rodzik, J., Zgłobicki, W., Russok, C., Dotterweich, M., Bork, H.-R. 2006. Time and Scale of Gully Erosion in the Jedliczny Dol Gully System, South-East Poland. *Catena*, 68 (2–3), 124–132.

- Segliņš, V., Kalniņa, L., Lācis, A. 1999. The Lubans Plain, Latvia, as a Reference Area for Long Term Studies of Human Impact on the Environment. *PACT*, 57, 105–129.
- Segliņš, V. 2001a. *Holocēna nogulumu stratigrāfija Latvijā un to starpreģionālā korelācija*. Rīga: Latvijas Universitāte, 193 lpp.
- Segliņš, V. 2001b. *Latvijas holocēna sporu un putekšņu diagrammas*. Rīga: Latvijas Universitāte, 95 lpp.
- Senņikovs, J., Bethers, U., Timuhins, A. 2008. Dažas nākotnes klimata iezīmes. Krāj.: *LU 66. zinātniskās konferences rakstu krājums „Klimata mainība un ūdeņi”*. Rīga: LU Akadēmiskais apgāds, 118.–119. lpp.
- Smolska, E. 2007. Development of Gullies and Sediment Fans in Last-Glacial Areas on the Example of the Suwałki Lakeland (NE Poland). *Catena*, 71(1), 122–131.
- Soms, J. 2001. Gully Erosion Landforms as Geomorphological Nature Monuments in SE Latvia. In: *The European Association for the Conservation of the Geological Heritage (PROGeo) Meeting*. Rīga, Latvija. 24–27 May, 2001. Rīga: University of Latvia, 38–39.
- Soms, J. 2006. Regularities of Gully Erosion Network Development and Spatial Distribution in South-Eastern Latvia. *Baltica*, 19(2), 72–79.
- Soms, J., Kalniņa, L. 2007. Sedimentācijas procesi gravu gultnēs – nogulumu uzkrāšanās raksturs un datēšanas iespējas. Krāj.: *Ģeogrāfija. Ģeoloģija. Vides zinātne*. Referātu tēžu krājums. Latvijas Universitātes 65. zinātniskā konference. 01.02.2007. Rīga: LU Akadēmiskais apgāds, 194.–196. lpp.
- Soms J. 2010. Reactivation of Erosion Processes in Permanent Gullies as a Geomorphic Response to Extreme Rainfall Events. *Folia Geographica ser. Geographica-Physica*, 41, 35–47.
- Soms, J., Grišānovs, A. 2010. Erozijas procesu iespējamības novērtēšana un modelēšana saistībā ar prognozēto klimata izmaiņu virzību dienvidaustrumu Latvijā. Krāj.: Plikša I. (red.) *Klimata mainība un ūdeņi*. Rakstu krājums. Rīga: LU Akadēmiskais apgāds, 99.–111. lpp.
- Stuiver, M., Reimer, P. J. 1993. Extended ¹⁴C Database and Revised CALIB Radiocarbon Calibration Program. *Radiocarbon*, 35, 215–230.
- Thornbury, W. D. 1969. *Principles of Geomorphology*. John Wiley & Sons, New York, 594.
- Torri, D., Poesen, J., Borselli, L., Knapen, A. 2006. Channel Width–Flow Discharge Relationships for Rills and Gullies. *Geomorphology*, 76(3–4), 273–279.
- Vanwalleghem, T., Poesen, J., Van Den Eeckhaut, M., Nachtergaele, J., Deckers, J. 2005a. Reconstructing Rainfall and Land-Use Conditions Leading to the Development of old Gullies. *The Holocene*, 15(3), 378–386.
- Vanwalleghem, T., Bork, H. R., Poesen, J., Schmidtchen, G., Dotterweich, M., Nachtergaele, J., Bork, H., Deckers, J., Brusch, B., Bungeneers, J., De Bie, M. 2005b. Rapid Development and Infilling of a Buried Gully under Cropland, Central Belgium. *Catena*, 63(2–3), 221–243.
- Young, A., Brunnsden, D., Thornes, J. B. 1974. Slope Profile Survey. *British Geomorphological Research Group Bulletin*, No. 11. Geo Abstracts, Norwich, 52.
- Zolitschka, B., Behre, K. E., Schneider, J. 2003. Human and Climatic Impact on the Environment as Derived from Colluvial, Fluvial and Lacustrine Archives – Examples from the Bronze Age to the Migration Period, Germany. *Quaternary Science Reviews*, 22, 81–100.

Summary

Studies of the gully erosion development in the remote past, as well climate and hydrological factors affecting their formation, are important in the process of cognition of the Holocene history and estimation of consequences of recent global climate changes. Morphology of the old gullies located in the Daugava River spillway valley and colluvial sediments within gullies are an essential source of paleogeographic information and original geoarchive that were used in this study to timing the gullies origin. According to the empirically estimated mean annual rates of colluvium deposition, ¹⁴C dates and pollen analysis, it can be concluded that in the study area old gullies have been formed before the beginning of intensive agricultural activities in the Daugava River valley and its surrounding area. The infilling of them took place during Subatlantic time ca 2000 ka BP. The new methodological approach for determination of gully erosion network age in Latvia is outlined in this paper.

Keywords: *Daugava spillway valley gullies, hanging gullies, old gullies, colluvial sediments, pollen analysis.*

Lauksaimniecības zemju apmežošanas ietekme uz augsnes humusu

Impact of Agricultural Land Afforestation on Soil Humus

Imants Kukuļs, Raimonds Kasparinskis, Linda Ansone

Latvijas Universitāte
Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte
Raiņa bulv. 19, Rīga, LV-1586

E-pasts: *imants.kukuls@inbox.lv, raimonds.kasparinskis@lu.lv, linda_ansone@inbox.lv*

Pētījumā tiek aplūkoti augsnes organiskā oglekļa daudzums un organisko vielu humifikācijas pakāpe dažādās lauksaimniecības zemju ainavu aizaugšanas sukcesijas stadijās un dažāda vecuma meža zemēs.

Pētījuma rezultāti parāda, ka lauksaimniecībā izmantojamās zemes apmežošana būtiski ietekmē organisko vielu saturu augsnes minerālslānī līdz 10 cm dziļumam, kā arī organisko vielu humifikācijas pakāpi augsnes A horizontā.

Atslēgvārdi: augsnes organiskās vielas, apmežošana, humifikācija.

Levads

Latvijā pēdējās desmitgades laikā ir vērojama meža platību palielināšanās. Kopš 1995. gada apmežošanas, aizaugšanas un citu procesu dēļ lauksaimniecībā izmantojamo zemju platība ir samazinājusies par 1,4%, bet mežu platības īpatsvars palielinājies par 0,8%. Zemkopības ministrijas pētījumi – meža monitoringa dati liecina, ka 2007. gada sākumā mežu platības varētu būt palielinājušās pat līdz 56% no kopējās valsts teritorijas (pieejams: *www.zm.gov.lv*, skatīts 2009. gadā).

Svarīgi atzīmēt faktu, ka arvien vairāk lauksaimniecībā izmantojamo zemju (turpmāk tekstā – LIZ) netiek lietotas saimnieciskajai darbībai un kā viena no turpmākajām alternatīvām lauksaimnieciskai ražošanai tiek piedāvāta neizmantoto LIZ platību apmežošana (Zemes politikas pamatnostādnes, 2008). Saskaņā ar valsts SIA „Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs” datiem kopš 2000. gada lauksaimniecībā izmantojamo zemju apmežošana ir pieaugusi piecas reizes (LVĢMC 2008).

Šāda zemes lietojuma veida maiņa ietekmē dažādus dabas komponentus un procesus, tanī skaitā augsni un tās organiskās vielas, kā arī augsnes veidošanos un attīstību. Pētot LIZ apmežošanas ietekmi uz augsnes organisko vielu daudzumu, zinātnieki noskaidrojuši, ka augsne ilgtermiņā uzkrāj oglekli, bet tas nenotiek meža attīstības pirmajos gados. Mainot zemes lietojuma veidu, augsnes organiskā oglekļa daudzums nemainās vai pat nedaudz samazinās (Paul et al. 2002; Vesterdal et al. 2002; Gabour et al. 2008). Oglekļa samazināšanās pēc meža iestādīšanas galvenokārt tiek skaidrota ar augsnē uzkrāto organisko vielu mineralizācijas ātruma palielināšanos, augu nobiru daudzuma un veida izmaiņām, kā arī ar barības vielu nepieciešamību jaunajiem meža augiem (Paul et al. 2002; Cerli et al. 2006) vai ar

to, ka pēc apmežošanas lauksaimniecības zemju ogleklis A horizontā kļūst mobilāks un lielākos daudzumos sāk pārvietoties uz augsnes dziļākajiem slāņiem (Cerli et al. 2008). Oglekļa intensīvāka uzkrāšanās augsnē sākas pēc vairākiem gadiem. Dažādās mežaudzēs šis laika posms var atšķirties, bet parasti tas ir brīdis, kad ikgadējais oglekļa pieplūdums no pirmprodukcijas pārsniedz zudumus, kas rodas augsnes organisko vielu sadalīšanās rezultātā (Paul et al. 2002; Vesterdal et al. 2002).

Bez organisko vielu palielināšanas LIZ apmežošana ietekmē arī organisko vielu struktūru, sastāvu, humifikāciju un sadalījumu augsnē (Cerli et al. 2008). Zemes lietojuma veida maiņa organiskās vielas augsnē var ietekmēt dažādi, piemēram, attīstoties mežaudzei, mainās augsnes mitruma un temperatūras apstākļi, kas ietekmē organisko vielu sadalīšanās ātrumu (Paul et al. 2002), vai arī, palielinoties skujkoku daudzumam, mainās augsnes pH, kas noved pie augsnes faunas izmaiņām (Cerli et al. 2006). Izmaiņas notiek gan augsnes organiskajā slānī, gan minerālslānī. Pieaugot mežaudzes vecumam, augsnē pieaug fulvoskābju un humīnskābju daudzums un mainās to savstarpējā attiecība (Cerli et al. 2008). Līdz šim šādi pētījumi nav veikti Latvijai raksturīgos dabas apstākļos boreālnemorālajā dabas zonā mērenā klimatā un augsnēs, kas veidojušās uz dažādiem glaciģēniskajiem nogulumiem.

Darba mērķis ir noskaidrot lauksaimniecības zemju apmežošanas ietekmi uz augsnes humusu: organiskā oglekļa daudzuma izmaiņas un organisko vielu humifikācijas procesus dažāda vecuma meža zemēs Latvijā.

Materiāli un metodes

Pētījuma izstrādāšanai laika posmā no 2009. gada jūlija līdz 2009. gada oktobrim Zaubes, Ērgļu, Ierīķu, Siguldas, Zvārdes un Mālpils apkārtnē tika ievākti 28 augsnes paraugi. Parauglaukumi tika izvēlēti teritorijās ar atšķirīgu meža zemju vecumu. Parauglaukumos galvenokārt bija sastopamas velēnu podzolaugsnis, velēnpodzolētās glejotās un virsēji glejotās augsnes (1. tab.).

Lauka pētījumos tika noteikts parauglaukumu novietojums reljefā, mitruma apstākļi, zemes izmantošanas veids, kā arī veģetācija. Augsnis dziļrakumi tika izdarīti raksturīgāko biotopu centrālajā daļā. Pēc dziļrakumiem tika aprakstīti augsnes dziļrakumu profili atbilstoši Latvijas (Kārklīš u. c. 2009) un starptautiskajai FAO WRB augšņu klasifikācijai (IUSS Working Group WRB 2007). Pēc augsnes dziļrakumu morfoloģiskajām pazīmēm tika noteikti diagnosticējošie horizonti, to dziļums, krāsa, granulometriskais sastāvs, struktūra, augsnes pH reakcija, kā arī fotofiksēti augsnes dziļrakumu profili. No katra augsnes horizonta tika ievākti augsnes paraugi (līdz 1 kg) turpmāko fizikālo un ķīmisko analīžu veikšanai laboratorijās apstākļos.

Organiskā oglekļa noteikšanai laboratorijā augsnes paraugi tika ekstrahēti ar 0,1 N NaOH, augsnes-šķīduma attiecība 1 : 10. Iegūtais šķīdums tika filtrēts. Iegūtajiem šķīdumiem tika mērīta sorbcija 410 nm, 465 nm un 665 nm viļņu garumā. 48 paraugiem tika noteikts arī kopējā organiskā oglekļa daudzums (Total Organic Carbon – TOC, mg/l) ar *Shimadzu TOC-Vcsn* kopējā organiskā oglekļa analizatoru. Atlikušajiem paraugiem TOC daudzums tika aprēķināts, izmantojot lineāro sakarību starp gaismas sorbciju pie 410 nm un TOC daudzumu šķīdumā.

Pētāmo etalonteritoriju un augšņu raksturojums
Characteristics of the Studied Etalon Territories and Soils

Etalon-teritorija	Mežaudzes vecums	Kokaudzes formula	Augšnes apakštīps atbilstoši Kārklīņš u. c., 2009	Māls, %		Putekļi, %		Smilts, %	
				0–10 cm	20–30 cm	0–10 cm	20–30 cm	0–10 cm	20–30 cm
Zaube 1	LIZ	–	Velēnpodzolētā virsēji glejotā augsne	19	34	26	30	55	36
Zaube 2	25	10E	Velēnu podzolaugsne	15	19	16	27	69	54
Zaube 3	70	8E2B	Velēnpodzolētā virsēji glejotā augsne	17	31	28	30	55	39
Zaube 4	70	5E3B2Ba+Ap	Velēnpodzolētā virsēji glejotā augsne	12	9	24	28	64	63
Zaube 5	100	9E1B	Velēnpodzolētā virsēji glejotā augsne	12	23	20	27	68	50
Zaube 6	100	9E1B	Velēnpodzolētā virsēji glejotā augsne	11	26	26	23	63	51
Zaube 7	150	9E1B	Velēnpodzolētā virsēji glejotā augsne	13	28	23	32	64	40
Zaube 8	200	8E1B1A	Velēnu podzolaugsne	16	12	24	27	60	61
Zaube 9	200	8A1B1E	Velēnu podzolaugsne	14	10	21	24	65	66
Ieriķi 1	LIZ	–	Velēnglejotā augsne	11	11	25	25	64	64
Ieriķi 2	< 10	10B	Velēnpodzolētā virsēji glejotā augsne	12	14	34	30	54	56
Ieriķi 3	< 10	10B	Velēnpodzolētā pseidoglejotā augsne	11	8	27	29	62	63
Ieriķi 4	< 10	10B	Ortšteina podzols	10	11	27	24	63	65
Sigulda 1	LIZ	–	Velēnpodzolētā glejotā augsne	14	14	37	37	49	49
Sigulda 2	< 10	10B	Velēnu glejaugsne	14	14	50	50	36	36
Sigulda 3	< 10	10B	Velēnu glejaugsne	16	16	36	36	48	48
Nurmiži 1	LIZ	–	Velēnpodzolētā glejotā augsne	14	15	45	65	41	20
Nurmiži 2	LIZ	–	Velēnu podzolaugsne	16	16	55	55	29	29
Nurmiži 3	15	10B	Velēnpodzolētā glejotā augsne	12	12	34	34	54	54
Mālpils 1	40	10E	Iluviālā humusa podzols	9	6	16	3	75	91
Mālpils 2	40	10E	Velēnu podzolaugsne	11	12	25	26	64	62
Ērgļi 1	60	6E4B+P	Tipiskais podzols	10	11	33	45	57	44
Ērgļi 2	60	7B2A1E	Velēnu podzolaugsne	19	20	49	55	32	25
Ērgļi 3	140	8E2A	Velēnu podzolaugsne	11	10	16	20	73	70
Zvārde 1	LIZ	–	Velēnpodzolētā glejotā augsne	14	22	30	27	56	51
Zvārde 2	20	10B	Velēnu podzolaugsne	14	15	30	29	56	56
Zvārde 3	50	6A4E	Velēnu glejaugsne	27	31	22	32	51	37
Zvārde 4	70	9E1B	Velēnpodzolētā virsēji glejotā augsne	15	40	19	20	66	40

Aprēķinātais TOC daudzums mg/l tika izmantots augsnes organiskā oglekļa (OC – *organic carbon*) mg/g aprēķināšanai katrā augsnes horizontā. Zinot OC daudzumu augsnes horizontā, kā arī augsnes horizonta biezumu, tika aprēķināts vidējais OC mg/g daudzums augsnes virsējā slānī līdz 30 cm dziļumam (nedzīvā zemsega un minerālaugsne), kā arī OC daudzums augsnes minerālslāņa virsējos 10 cm (Paul et al. 2002). Augsnes slānis līdz 30 cm dziļumam raksturo augsnes organisko vielu izmaiņas augsnes aramkārtā, bet minerālaugsnes slānis līdz 10 cm dziļumam raksturo ar organiskām vielām bagātāko slāni.

Organisko vielu humifikācijas pakāpes noteikšanai tiek lietota fluorescences spektrometrija, kā humifikācijas indekss tiek lietota fluorescences intensitātes attiecība starp mazāku, piemēram, 460 nm, un lielāku, piemēram, 510 nm, viļņu garumu (Kalbitz et al. 1999; Kalbitz, Geyer 2001). Tādēļ visiem iegūtajiem šķīdumiem ar fluorescento spektrofotometru *Perkin Elmer Fluorescence Spectrometer LS 55* tika reģistrēti fluorescences spektri un spektru apstrāde veikta ar programmu *FL Winlab*. Fluorescences emisijas spektru uzņemšanas apstākļi – spektru reģistrēšanas intervāls 380–650 nm, skenēšanas ātrums 500 nm/min, spraugas platums ir 10 nm un ierosināšana – 350 nm. Humifikācijas pakāpes rādītāja aprēķināšanai tika nolāstīti rādītāji no fluorescences intensitātes līknes pie 460 nm un 510 nm. Intensitāte pie 460 nm tika izdalīta ar fluorescences intensitāti pie 510 nm, un iegūta fluorescences intensitātes attiecība I460/I510.

Datu statistiskajai apstrādei tika izmantota *PASW Statistics SPSS 18.0* programmatūra, ar kuru tika analizēta vienfaktora dispersija.

Rezultāti un diskusija

Lauksaimniecības zemju apmežošanas ietekme uz augsnes organiskā oglekļa daudzumu

Lai novērtētu lauksaimniecībā izmantojamo zemju apmežošanas ietekmi uz augsnes organiskā oglekļa daudzumu, visi parauglaukumi tika iedalīti sešās vecuma grupās. Pirmā grupa ietver parauglaukumus, kas atrodas apsaimniekotās vai neapsaimniekotās lauksaimniecības zemēs, kurās vēl nav novērojams apmežošanās process. Minētā parauglaukumu grupa raksturo organisko vielu daudzumu augsnēs pirms apmežošanas.

Otrā grupa ietver parauglaukumus, kuros koki nav vecāki par 10 gadiem. Tā raksturo ainavu ekoloģiskās sukcesijas sākuma stadiju. Šajā laika posmā vērojama uzkrātā oglekļa daudzuma samazināšanās (Paul et al. 2002).

Trešajā grupā tika iekļauti parauglaukumi, kuros mežaudžu vecums ir 10–30 gadu. Šāda vecuma audzēs parasti sāk veidoties augsnes nedzīvās zemsegas (O) horizonts.

Ceturtajā grupā tika iekļauti parauglaukumi, kuros mežaudzes ir 30–50 gadus vecas. Šajās mežaudzēs oglekļa daudzums, kas augsnēs ienests ar meža nobirām, pārsniedz oglekļa zudumus, kas rodas organisko vielu mineralizācijas un izneses rezultātā (Paul et al. 2002; Vesterdal et al. 2002).

Piektā vecuma grupa ietver parauglaukumus, kuros mežaudzes ir 50–75 gadus vecas. Sestā grupa ietver parauglaukumus, kas atrodas mežos, kuru vecums pārsniedz 75 gadus.

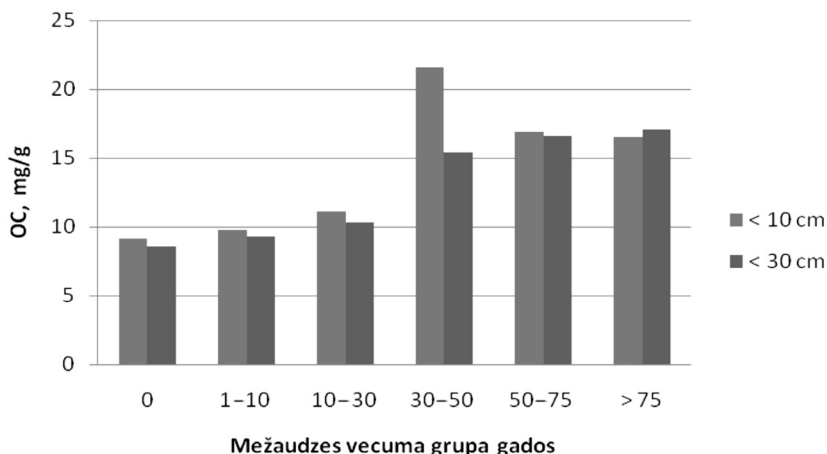
Pētījumā aplūkotajās teritorijās zemākais oglekļa saturs ir LIZ augsnēs. Organiskā oglekļa saturs augsnes slānī līdz 30 cm dziļumam mainās robežās no 6,6 līdz 10,8 mg/g, bet OC daudzums augsnes slānī līdz 10 cm dziļumam – no 7,4 līdz 10,8 mg/g (2. tab.).

2. tabula

Organiskā oglekļa daudzums (mg/g) un fluorescences intensitātes attiecība (I460/I510) pētāmajās augsnēs
Amount of Organic Carbon (mg/g) and Ratio of Fluorescence Intensities (I460/I510) in Studied Soil

Etalon-teritorija	Mežaudzes vecums	Augsnes apakštīps atbilstoši Kārklīņš u. c. 2009	OC, mg/g, < 30 cm	OC, mg/g < 10 cm	I460/I510 Ap/Ah
Zaube 1	LIZ	Velēnpodzolētā virsēji glejotā augsne	8,6	9,5	1,58
Ieriķi 1	LIZ	Velēnglejotā augsne	10,8	10,8	1,58
Sigulda 1	LIZ	Velēnpodzolētā glejotā augsne	10,1	10,1	1,74
Nurmiži 1	LIZ	Velēnpodzolētā glejotā augsne	6,8	8,4	1,71
Nurmiži 2	LIZ	Velēnu podzolaugsne	8,3	8,3	1,69
Zvārde 1	LIZ	Velēnpodzolētā glejotā augsne	6,6	7,4	1,60
Ieriķi 2	< 10	Velēnpodzolētā virsēji glejotā augsne	5,9	6,8	1,84
Ieriķi 3	< 10	Velēnu podzolētā pseidoglejotā augsne	7,4	8,2	1,80
Ieriķi 4	< 10	Ortšteina podzols	11,7	12,3	1,78
Sigulda 2	< 10	Velēnu glejaugsne	11,0	11,0	1,73
Sigulda 3	< 10	Velēnu glejaugsne	10,7	10,7	1,67
Nurmiži 3	15	Velēnpodzolētā glejotā augsne	9,1	9,1	1,55
Zvārde 2	20	Velēnu podzolaugsne	13,2	13,8	1,52
Zaube 2	25	Velēnu podzolaugsne	8,5	10,3	1,73
Mālpils 1	40	Iluviālā humusa podzols	17,8	27,1	0,86
Mālpils 2	40	Velēnu podzolaugsne	11,7	14,1	1,63
Zvārde 3	50	Velēnu glejaugsne	16,7	23,7	1,05
Ērgļi 1	60	Tipiskais podzols	13,5	7,9	1,08
Ērgļi 2	60	Velēnu podzolaugsne	10,1	11,7	1,53
Zaube 3	70	Velēnpodzolētā virsēji glejotā augsne	33,0	36,7	1,64
Zaube 4	70	Velēnpodzolētā virsēji glejotā augsne	20,3	21,9	1,37
Zvārde 4	70	Velēnpodzolētā virsēji glejotā augsne	7,9	14,5	1,62
Zaube 5	100	Velēnpodzolētā virsēji glejotā augsne	28,3	22,2	1,30
Zaube 6	100	Velēnpodzolētā virsēji glejotā augsne	8,8	14,7	1,55
Ērgļi 3	140	Velēnu podzolaugsne	7,7	10,8	1,50
Zaube 7	150	Velēnpodzolētā virsēji glejotā augsne	18,1	17,3	1,29
Zaube 8	200	Velēnu podzolaugsne	15,7	14,8	1,43
Zaube 9	200	Velēnu podzolaugsne	15,6	17,8	1,43

Apskatot katras mežaudžu vecuma grupas vidējo OC daudzumu augsnes slāņos līdz 10 cm un 30 cm dziļumam (1. att.), redzams, ka OC daudzums augsnē palielinās līdz ar mežaudzes vecumu.



1. att. OC izmaiņas augsnē atkarībā no meža zemes vecuma

Fig. 1. OC Changes in Soil under Different Forest Land Age

Pirmajos 30 gados pēc LIZ apmežošanas augsnē nav vērojams būtisks OC pieaugums ne minerālaugsnes slānī līdz 10 cm dziļumam, ne augsnes slānī līdz 30 cm dziļumam. Šādi rezultāti saskan ar citu pētījumu rezultātiem – 30 gados pēc apmežošanas augsnē nav konstatēts būtisks OC pieaugums (Gabour et al. 2008; Cerli et al. 2006; Paul et al. 2002).

Mežaudzēm sasniedzot 30–50 gadu vecumu, augsnēs vērojams straujāks OC daudzuma palielinājums gan augsnes virsējā slānī līdz 30 cm dziļumam, gan augsnes minerālslānī līdz 10 cm dziļumam. OC daudzuma pieaugums šāda vecuma meža augsnēs bija vērojams arī citos pētījumos (Paul et al. 2002; Gabour et al. 2008; Vesterdal et al. 2008). Latvijas apstākļos mežaudzes vecums 30–50 gadi, iespējams, ir robeža, kurā organisko vielu akumulācija augsnēs pārsniedz to degradācijas un izneses daudzumu. Šajā vecuma grupā īpaši straujš OC daudzuma pieaugums vērojams augsnes minerālslāņa augšējos 10 cm un, iespējams, ir saistīts ar pieaugošo organiskā materiāla ienesi augsnes minerālajā daļā – veidojas ar organiskajām vielām bagātāks augsnes minerālais akumulācijas (A) horizonts.

Pieaugot mežaudžu vecumam virs 50 gadiem, OC daudzuma pieauguma tempi augsnēs samazinās.

Kopumā, balstoties uz vienfaktora dispersijas analīzi, jāsecina, ka būtisks ($p < 0,05$) OC daudzuma pieaugums, pieaugot meža vecumam, konstatēts tikai augsnes minerālslānī līdz 10 cm dziļumam. Tas skaidrojams ar augsnes procesu atjaunošanos. Sākotnējais LIZ augšņu trūdu akumulācijas horizonta (A) biezums ir liels, bet organisko vielu daudzums salīdzinoši neliels (3. tab. A). Sukcesijas attīstības rezultātā notiek trūdvielu uzkrāšanās. Pieaugot meža vecumam, izveidojas augsnes O horizonts, samazinās A horizonta biezums, bet pieaug OC saturs tajā (3. tab. B).

3. tabula

OC daudzums (mg/g) un attiecība I460/I510

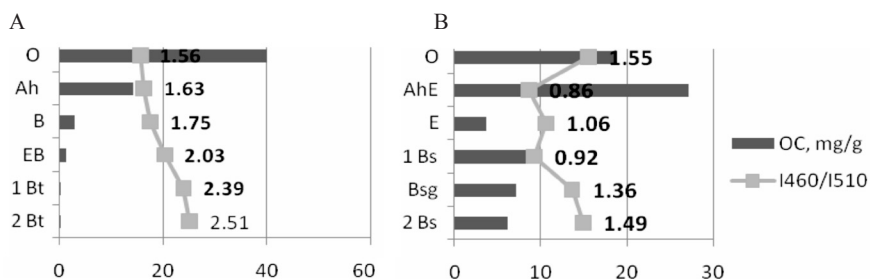
A – LIZ, velēnpodzolētā virsēji glejotā augsne, B – 150 gadus vecs mežs, velēnpodzolētā virsēji glejotā augsne; Zaubes etalonteritorija

Amount of OC (mg/g) and Ratio I460/I510

A – Agricultural Land, B – 150 Years Old Forest; Zaube Etalon Territory

A				B			
Augsnes horizonts	Slāņa dziļums, cm	I460/I510	OC, mg/g	Augsnes horizonts	Slāņa dziļums, cm	I460/I510	OC, mg/g
Ap	0–27	1,58	9,51	O	0–6	1,56	44,16
Bes	27–42	2,13	0,39	Ah	6–12	1,29	21,74
Bts	42–73	2,38	0,24	EB	12–22	1,53	10,63
1 Bkgt	73–100	2,52	0,23	Ebg	22–36	1,89	5,10
2 Bkgt	> 100	2,57	0,23	Btsg	36–65	2,31	2,90

OC daudzumu augsnē nosaka arī daudzi citi faktori. Kā nozīmīgākie dabiskie faktori, kas ietekmē augsnes OC daudzumu, zinātniskajā literatūrā tiek minēti mežaudzes tips, koku sugas un augsnes granulometriskais sastāvs (Paul et al. 2002; Grigal, Berguson 1998). Lai arī dažādu koku sugas dod dažāda daudzuma un veida nobiras, pētījuma rezultāti neuzrādīja būtisku ietekmi uz augsnes OC saturu. Jaukta tipa mežos dažādas koku nobiras aprūtinā noteikt kādas konkrētas sugas ietekmi uz oglekļa akumulāciju (Sanborn 2001).



2. att. OC daudzums mg/g un attiecība I460/I510. A – velēnu podzolaugsne, B – iluviālā humusa podzols; Mālpils etalonteritorija, 40 gadus vecs mežs

Fig. 2. Amount of OC (mg/g) and Ratio I460/I510; Mālpils Etalon Territory, 40 Years Old Forest

Arī augsnes granulometriskais sastāvs būtiski ($p > 0,05$) neietekmē augsnes OC daudzumu. Augsnes granulometriskajam sastāvam lielāka ietekme ir uz organisko vielu sadalījumu augsnes profilā. Augsnēs ar augstāku māla daļiņu saturu OC daudzums augsnes dziļākajos slāņos (> 30–40 cm) parasti ir ļoti zems, nereti tas ir mazāks par 1,0–2,0 mg/g. Piemēram, Mālpils etalonteritorijas velēnu podzolaugsnē māla saturs ir 10,9–22,5%, OC daudzums 35–130 cm dziļā augsnes slānī nepārsniedz 2 mg/g (2. att. A).

Citādāka situācija ir augsnēs ar zemu māla daļiņu saturu – OC daudzums ir salīdzinoši liels lielākajā profila daļā. Tā, piemēram, Ieriķu etalonterritorijas ortšteina podzolā augsnes māla saturs mainās robežās no 8,1 līdz 10,6%. OC daudzums 46–97 cm dziļā augsnes slānī ir 7,45 mg/g. Vēl augstāks OC saturs visā augsnes profilā ir Mālpils etalonterritorijas iluviālā humusa podzolā (2. att. B). Māla daļiņu saturs šajā augsnē ir tikai 3,8–8,9%, bet OC daudzums 30–102 cm dziļā augsnes slānī mainās robežās no 6,09 līdz 8,66 mg/g. Podzolēšanās procesi, kas attīstījušies mālsmilts un smilts augsnēs, veicina augsnes organisko vielu pārnēsi uz augsnes dziļākajiem slāņiem.

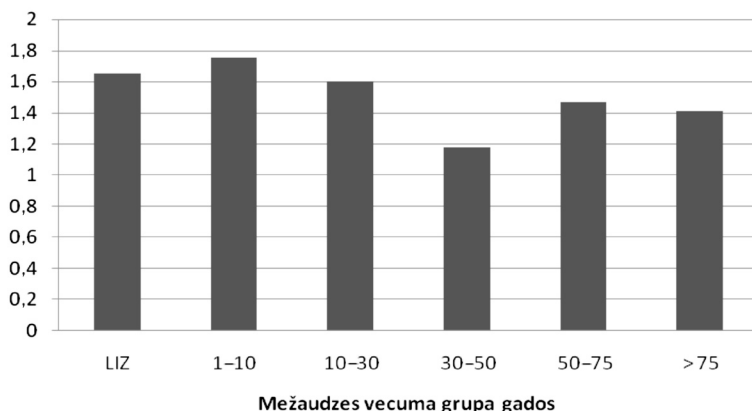
Lauksaimniecības zemju apmežošanas ietekme uz augsnes organisko vielu humifikācijas procesiem

Pētījumā aplūkotajās augsnēs augstākā organisko vielu humifikācijas pakāpe (zemākā attiecība I460/I510) pārsvarā ir minerālajā trūdvielu akumulācijas (Ap/Ah) horizontā. Lauksaimniecībā izmantojamo zemju augsnēs humifikācijas rādītāja attiecība I460/I510 Ap horizontā mainās no 1,58 līdz 1,71.

Pētāmajās teritorijās, kur bija sastopami līdz 10 gadus veci koki, I460/I510 attiecība augsnes Ap horizontā mainījās no 1,67 līdz 1,80. Augstāka organisko vielu humifikācijas pakāpe bija augsnes Ap horizontu dziļākajos slāņos.

Pieaugot mežaudžu vecumam (10–30 gadi), palielinās arī organisko vielu humifikācijas pakāpe augsnes Ap/Ah horizontos, attiecības I460/I510 vērtības samazinās un ir no 1,41 līdz 1,55.

Visaugstākā organisko vielu humifikācijas pakāpe augsnes Ah horizontos vērojama 30–50 gadus vecās meža audzēs. I460/I510 attiecība augsnes Ah horizontos mainās robežās no 1,05 līdz 1,56. Meža audzēs, kuras vecākas par 50 gadiem, organisko vielu humifikācijas pakāpe Ah horizontā samazinās. I460/I510 attiecība Ah horizontos ir no 1,29 līdz 1,62.



3. att. I460/I510 izmaiņas augsnes A horizontā atkarībā no meža zemes vecuma
 Fig. 3. I460/I510 Ratio Changes in Soil A Horizon under Different Forest Land Age

Apskatot vidējās I460/I510 vērtības pa meža vecuma grupām (3. att.), redzams, ka organisko vielu humifikācijas pakāpe augsnes A horizontā ir augstāka vecākām meža zemēm. Arī Zviedrijā, pētot minerālaugsnes slāni līdz 15 cm dziļumam, tika konstatēts, ka, pieaugot meža zemes vecumam, pieaug arī augsnes organisko vielu humifikācijas pakāpe (Cerli et al. 2008).

Minerālaugsnes dziļākajos slāņos nebija vērojamas būtiskas attiecības I460/I510 izmaiņas līdz ar meža vecuma pieaugumu. Attiecības vērtības palielinājās līdz ar augsnes slāņa dziļumu.

Nedzīvās zemsegas (O) horizonts bija izveidojies teritorijās, kur meža zemes vecums pārsniedza 30 gadus, un Zaubes etalonteritorijā 25 gadus vecā stādītā egļu audzē. Apskatot attiecību I460/I510 augsnes O horizontā pa meža zemes vecuma grupām, nebija nekādu sakarību. Attiecība bija mainīga gan vecuma grupās, gan vienā mežaudžu vecuma grupā: 25 gadus vecā stādītā egļu audzē attiecības I460/I510 vērtība bija 1,74; 30–50 gadus vecās meža zemēs vidējā vērtība bija 1,56; 50–75 gadus vecās audzēs vērtības mainījās no 1,45 līdz 1,71; teritorijās, kur meža zemes vecums pārsniedza 75 gadus, O horizontā tā mainījās robežās no 1,41 līdz 1,63.

Arī mežaudžu koku sastāvs nebija būtiski ietekmējis organisko vielu humifikācijas pakāpi augsnes nedzīvās zemsegas horizontā (O). Piemēram, 60 gadus vecās meža zemēs Ērgļu etalonteritorijā attiecība I460/I510 O horizontā bija 1,65 gan audzēs, kur dominēja skujkoki, gan audzēs, kur dominēja lapu koki.

Šādi mainīgi rezultāti liecina, ka organisko vielu humifikācijas pakāpe augsnes nedzīvās zemsegas horizontā ir atkarīga no vairākiem faktoriem: meža vecuma, koku sastāva, nobiru daudzuma, augsnes procesiem, mikroklimata un citiem faktoriem.

Nozīmīgs faktors, kas ietekmē organisko vielu humifikācijas pakāpi, ir arī augsnes granulometriskais sastāvs. Augsnēs ar augstāku smilts saturu augsta organisko vielu humifikācijas pakāpe vērojama visā augsnes profilā (2. att. B). Nogulumi ar augstāku smilts saturu veicina organisko vielu humifikāciju. Attīstoties podzolēšanās procesam, organiskās vielas ar augstu humifikācijas pakāpi tiek ieskalotas augsnes dziļākajos slāņos.

Secinājumi

Lauksaimniecībā izmantojamo zemju apmežošana ietekmē augsnē esošo organisko vielu un organiskā oglekļa saturu. LIZ apmežošanai ir būtiska ietekme tikai uz augsnes organiskā oglekļa daudzumu augsnes minerālajā daļā līdz 10 cm dziļumam.

LIZ apmežošana būtiski ietekmē arī organisko vielu humifikācijas pakāpi. Augstāka organisko vielu humifikācijas pakāpe augsnes minerālajā trūdvielu augsnes horizontā ir vecākās meža zemēs.

Augsnes granulometriskais sastāvs būtiski neietekmē organiskā oglekļa uzkrāšanos un tā kopējo daudzumu augsnē. Augsnes granulometriskais sastāvs ietekmē organiskā oglekļa sadalījumu augsnē, smilšainākās augsnēs notiek intensīvāka organisko vielu pārnese augsnes dziļākajos horizontos.

Pateicība

Pētījums veikts par Latvijas Zinātnes padomes granta „Lauksaimniecībā izmantojamo zemju apmežošanas ainavekoloģisks vērtējums (09.1118)” līdzekļiem. Darba autori izsaka lielu pateicību visiem, kas palīdzējuši šī pētījuma īstenošanā, īpaši LU Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultātes profesoram *Dr. geogr.* Oļģertam Nikodemus, profesoram *Dr. habil. chem.* Mārim Kļaviņam, kā arī *Dr. chem.* Lindai Eglītei par palīdzību un sniegtajiem padomiem pētījuma izstrādes gaitā.

LITERATŪRA

- Cerli, C., Celi, L., Johansson, M.-B., Kögel-Knabner, I., Rosenqvist, L., Zanini, E. 2006. Soil Organic Matter Changes in a Spruce Chronosequence on Swedish Former Agricultural Soil: i. Carbon and Lignin Dynamics. *Soil Science*, 171, 837–84.
- Cerli, C., Celi, A., Kaiser, K., Guggenberger, G., Johansson, M.-B., Cignetti, A., Zanini, E. 2008. Changes in Humic Substances along an Age Sequence of Norway Spruce Stands Planted on Former Agricultural Land. *Organic Geochemistry*, 39, 1269–1280.
- Gabouru, S., Boucher, J.-F., Villeneuve, C., Lord, D., Gagnon, R. 2008. Estimating the Net Carbon Balance of Boreal Open Woodland Afforestation: A Case Study in Quebec's Closed-Crown Boreal Forest. *Forest Ecology and Management*, 257, 483–494.
- IUSS Working Group WRB (2007) World Reference Base for Soil Resources 2006, first update 2007. World Soil Resources Reports No. 103. FAO, Rome (sk. 05.05.2009.). Pieejams: http://www.fao.org/ag/agl/agll/wrb/doc/wrb2007_corr.pdf
- Kalbitz, K., Geyer, W., Geyer, S. 1999. Spectroscopic Properties of Dissolved Humic Substances – a Reflection of Land Use History in a Fen Area. *Biogeochem*, 47, 219–238.
- Kalbitz, K., Geyer, W. 2001. Humification Indices of Water-Soluble Fulvic Acids Derived from Synchronous Fluorescence Spectra – Effects of Spectrometer Type and Concentration. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 164, 259–265.
- Kārkliņš, A., Gemste, I., Mežals, H., Nikodemus, O., Skujāns, R., 2009. *Latvijas augšņu noteicējs*. Jelgava: LLU, 240 lpp.
- Konsultāciju pakalpojumu centrs 2008. „Meža īpašnieki var pieteikties ES atbalstam lauksaimniecībā neizmantojamo zemju apmežošanai” (sk. 24.04.2009.). Pieejams: http://www.kpc.gov.lv/index.php?option=com_content&task=view&id=153&Itemid=41
- LVGMA 2006. Ilgtspējīgas attīstības indikatoru pārskats (sk. 05.05.2009.). Pieejams: http://www.lvgma.gov.lv/produkti/liaip2006/Vide/zemes_apaugums_un_lietosana.htm#_ftn2
- Paul, K. I., Polglase, P. J., Nyakuengama, J. G., Khanna, P. K. 2002. Change in Soil Carbon Following Afforestation. *Forest Ecology and Management*, 168, 241–257.
- Polak, J., Sułkowski, W. W., Bartoszek, M., Papież, W. 2005. Spectroscopic Studies of the Progress of Humification Processes in Humic Acid Extracted from Sewage Sludge. *Journal of Molecular Structure*, 744–747, 983–989.
- Sanborn, P. 2001. Influence of Broadleaf Trees on Soil Chemical Properties: A Retrospective Study in the Sub-Boreal Spruce Zone, British Columbia, Canada. *Plant and Soil*, 236, 75–82.
- Stevenson, F. J. 1994. *Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions*. New York: Wiley, 443.

- Vesterdal, L., Ritter, E., Gundersen, P., 2002. Change in Soil Organic Carbon Following Afforestation of Former Arable Land. *Forest Ecology and Management*, 169, 137–147.
- Vesterdal, L., Schmidt, I. K., Callesen, I., Nilsson, L. O., Gundersen, P. 2008. Carbon and Nitrogen in Forest Floor and Mineral Soil Under Six Common European Tree Species. *Forest Ecology and Management*, 255, 35–48.
- Zemes politikas pamatnostādnes 2008.–2014. gadam (informatīvā daļa). Rīga, 2008. (sk. 26.05.2009.). Pieejams: http://www.zm.gov.lv/doc_upl/pamatnostadnes.pdf

Summary

In this article the impact of agricultural land afforestation on soil organic carbon and humification rate of organic matter are analysed. Agricultural land afforestation significantly impacts the amount of organic carbon in the <10 cm layer of mineral soil and humification rate of organic matter in soil A horizon. In the first 30 years after afforestation in soil there was not observed a significant organic carbon increase. In forests older than 30 years the amount of organic carbon in soil increases with forest age. Distribution of organic matter in soil changes with forest age. In soils of older forests there are higher organic matter humification rates in soil A horizon.

Keywords: soil organic matter, afforestation, humification.

Smilšaino nogulumu granulometriskā sastāva, filtrācijas koeficienta un mitruma sakarības *Correlation of Grain Size, Permeability and Moisture Content of Sandy Sediments*

Eleonora Pērkone, Baiba Raga, Aija Dēliņa

Latvijas Universitāte

Raiņa bulv. 19, Rīga, LV-1586

E-pasts: el.perkone@inbox.lv, baibaraga@inbox.lv, aija.delina@lu.lv

Rakstā pētīta smilšaino nogulumu filtrācijas koeficienta un dabiskā mitruma atkarība no nogulumu granulometriskā sastāva. Abi pētītie parametri ir nozīmīgi smilšaino nogulumu raksturlielumi gan hidroģeoloģiskajos, gan inženierģeoloģiskajos pētījumos. Pētījumā galvenā uzmanība pievērsta aleirīta un māla daļiņu (< 0,006 mm) piejaukuma ietekmei uz filtrācijas koeficienta un dabiskā mitruma izmaiņām. Analizējot iegūtos rezultātus, trīs nogulumu veidiem – aleirītam, smalkgraudainai un vidēji graudainai smiltij – noteiktas sakarības starp nogulumu granulometrisko sastāvu, filtrācijas koeficientu un mitrumu.

Atslēgvārdi: dielektriskās caurlaidības konstante, filtrācijas iekārta, granulometriskais sastāvs, kvartāra nogulumi.

Ievads

Smilšaino nogulumu fizikālās īpašības ir svarīgi zināt, veicot hidroģeoloģiskos un inženierģeoloģiskos pētījumus, kā arī būvniecībā un citās lietīšķās jomās. Nogulumu granulometriskais sastāvs ir nozīmīgs faktors. Tas ietekmē tādas nogulumu fizikālās īpašības kā porainība, filtrācijas koeficients, mitrums, ūdens ietilpība un ūdens atdeve. Pētījumā ir apskatīti divi smilšaino nogulumu parametri – filtrācijas koeficients un mitrums, analizējot, kā māla un aleirīta daļiņu piejaukums dažāda granulometriskā sastāva nogulumos ietekmē šo parametru vērtības. Ir zināms, ka mālaino daļiņu piejaukums smilšainos nogulumos samazina nogulumu filtrācijas koeficienta vērtības, palielina porainību un dabiskā mitruma saturu (Todd and Mays 2005; Aysen 2005). Tomēr nav detalizētu pētījumu par to, kāds ir kritiskais māla un aleirīta daļiņu īpatsvars nogulumos, lai būtiski mainītos nogulumu filtrācijas koeficienta un dabiskā mitruma vērtības. Filtrācijas koeficienta vērtības analizētas gan netraucētas, gan traucētas struktūras paraugiem, lai fiksētu arī citu faktoru ietekmi.

Pētījumu gaitu var iedalīt divās daļās. Pirmajā tika pētītas likumsakarības starp nogulumu granulometrisko sastāvu un filtrācijas koeficientu, apskatot arī nogulumu blīvuma ietekmi, un izmantotas smilts–grants atradnes „Mazie Kangari”, „Ezeri”, „Pāvuli” un māla atradne „Progress”. Pētījuma otrajā daļā tika izzināta nogulumu granulometriskā sastāva un mitruma kopsakarības smilts–grants atradnēs „Mazie Kangari”, „Ezeri”, „Kurzemnieki” un māla atradnē „Progress”. Tā kā pētījumos

izmantoto trīs karjeru – „Mazie Kangari”, „Ezeri” un „Progress” – nogulumu slāņi bija vieni un tie paši, tika veikts kopīgs šo trīs parametru salīdzinājums.

Pētījuma mērķis ir noteikt, kā un cik būtiski mainās nogulumu ar atšķirīgu aleirīta un māla īpatsvaru filtrācijas koeficients un dabiskais mitrums, un raksturot to izmaiņas noteiktā laika posmā.

Agrākie pētījumi

Jau citi agrāk veiktie pētījumi apraksta saistību starp smilšaino nogulumu daļiņu izmēriem, filtrācijas koeficientu un mitruma saturu. Tā, piemēram, *L. M. Arya* un *J. F. Paris* savā fiziski empīriskajā metodē (Frenlund et al. 2002), kas ļāva novērtēt nogulumu mitruma saturu un graudu izmēra savstarpējo raksturlīkni, pieņēma, ka poru izmēri un granulometriskais sadalījums iežos ir savstarpēji cieši saistīti, jo lielākas daļiņas savā starpā veido lielākus tukšumus nekā mazākas. Taču jāņem vērā arī fakts, ka lielākos tukšumus aizpilda mazākas daļiņas, kas līdz ar to samazina rupjāko daļiņu īpatsvaru uz nogulumu žūšanas raksturlīkni. Tāpat ir veikti arī pētījumi, kur, izmantojot nogulumu porainās vides un tajos esošā ūdens attiecību mijiedarbību jeb nogulumu mitruma saglabāšanas līkni (šis mitrums cieši saistīts ar nogulumu granulometrisko sastāvu), mēģina aprēķināt nogulumu filtrācijas koeficientu (Vogel and Cislerova 1988). Lai šādi aprēķini būtu veiksmīgi, nepieciešams diezgan precīzi zināt, kādas likumsakarības pastāv starp nogulumu poraino vidi un tajā esošo ūdeni.

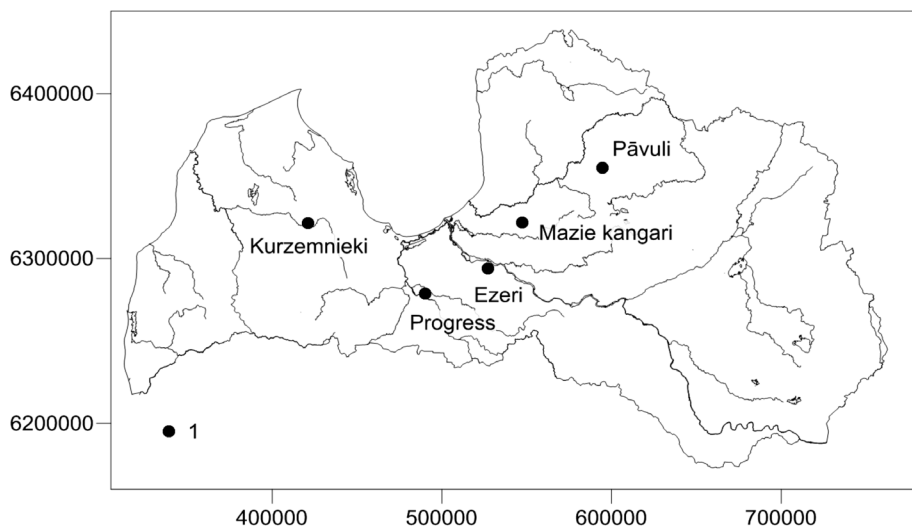
Salīdzinoši vairāk ir pētīta tieši filtrācijas koeficienta un nogulumu granulometriskā sastāva saistība. Ir izdalītas aptuvenās filtrācijas koeficienta vērtības, kas atbilst noteiktam nogulumu tipam (Brassington 1988; Shvartsev 1996; Maslov i Komov 1871), bet pētījumi, kur precīzi būtu noskaidrots, kāds attiecīgā nogulumu tipa smalko daļiņu daudzums būtiski spēj ietekmēt filtrācijas koeficienta vērtības, nav pieejami.

Materiāli un metodes

Pētījums tika veikts vairākos posmos – lauka darbi, kamerālie darbi un datu apstrāde un interpretācija. Lauka darbi tika veikti 2009. gada vasarā četros smiltsgrants karjeros („Mazie Kangari” Siguldas novada Allažu pagastā, „Ezeri” Ķekavas novada Daugmales pagastā, „Kurzemnieki” Kandavas novada Kandavā, „Pāvuli” Raunas novada Raunas pagastā un vienā māla atradnē „Progress” Ozolnieku novada Cenu pagasta Ānē (1. att.).

Lauka darbos tika apsekots karjers un izvēlēta paraugošanas vieta tā, lai griezumā būtu iespējami lielāka nogulumu dažādība. Pēc atseguma attīrīšanas tas tika uzmērīts un uzzīmēts lauka grāmatiņā, kā arī tika uzņemts tā uzbūves foto. Atseguma dokumentēšanas laikā tika aprakstīts arī atsegto nogulumu sastāvs un izvērtēts, no kura slāņa tiks ņemti paraugi tālāko analīžu veikšanai. Parasti tika attīrīta atseguma siena aptuveni 1,5 × 2 m lielā laukumā un paraugojamā slāņa virsma. Atkarībā no pētāmā parametra izvēlētajos slāņos tika ņemti paraugi nogulumu granulometriskā sastāva un filtrācijas koeficienta noteikšanai un mērīts nogulumu dabiskais mitrums. Granulometriskā sastāva analīzēm visā slāņa izplatības posmā atsegumā tika ievākts traucētas struktūras paraugs. Filtrācijas koeficienta noteikšanai tika ievākti netraucētas struktūras paraugi, izmantojot paraugu gredzenus (diametrs 5 cm,

augstums 5 cm) un tos vienmērīgi iespiežot nogulumu slānī. No katra paraugojamā slāņa vidēji tika ņemti četri paraugi – divi perpendikulāri (no augšas) un divi paralēli slāņa virsmai (no atseguma plaknes). Kopumā lauka darbos filtrācijas koeficienta noteikšanai tika ievākti vairāk nekā 65 paraugi no 17 dažādu nogulumu slāņiem. Mitruma daudzums tika mērīts 12 dažāda sastāva nogulumu slāņos, kopumā veicot vairāk nekā 2000 mērījumus. Kopīgai parametru analīzei tika ņemti dati par 6 dažādu nogulumu slāņiem, kuri ir savstarpēji nesaistīti un paraugoti smilts grants atradnēs „Mazie Kangari”, „Ezeri” un mālu karjerā „Progress” un kuros kopumā ņemti 24 paraugi filtrācijas koeficienta noteikšanai un izdarīti vairāk nekā 1000 mitruma mērījumi. Smilts–grants atradnēs pērtie nogulumi pamatā ir glaciofluviālas (fQ_3/tv) un, iespējams, glaciolimniskas (lgQ_3/tv) izcelsmes dažāda rupjuma smiltis (Bernāns 1999; Ābolts 2004), bet māla atradnē paraugotie nogulumi pārstāvēti ar glaciolimniskiem slokšņu māliem (Vasil’eva 1959).



1. att. Pētījumu vietu novietojums (sastādījusi A. Dēliņa)

Apzīmējumi: 1 – pētījumu vieta, tās nosaukums

Fig. 1. Location of Investigation Sites (compiled by A. Delina)

Legend: 1 – investigation site, its name

Nogulumu mitruma mērīšanas process ietvēra daudzas procedūras. Pēc atseguma attīrīšanas tika izvēlēts paraugošanai piemērotais slānis. Tas tika atsegts, lai uz tā horizontālās virsmas izveidotu 1×1 m lielu laukumu. Tika izvēlēti viendabīgi slāņi, kuru biezums ir vismaz 20 cm. Nogulumu biezums bija svarīgs tāpēc, ka mitruma mērītāja sensoru adatu garums ir 5 cm un pēc slāņa horizontālās atsegšanas un virsmas nolīdzināšanas slāņa biezums nedrīkst būt mazāks. Tāpat tika novērtēts, vai slāņi nav pārāk blīvi un nesatur lielu daudzumu grantainā un oļainā materiāla, kas apgrūtinātu sensoru adatu ievadīšanu slānī.

Pēc slāņa atsegšanas vairākās vietās, izmantojot līmeņrādi, tika pārbaudīts, vai virsma ir līdzena, lai varētu papildus pievadīt ūdeni un tas vienmērīgi noklātu visu

laukumu, radot vienlīdzīgu mitruma sadalījumu slānī un ļaujot izvairīties no kļūdainiem rezultātiem. Tad uz slāņa virsmas tika uzzīmēts 1×1 m liels kvadrāts, kas tika vēl sadalīts 20×20 cm lielos laukumos. Lai pēc laistīšanas robežas neizzustu, līniju krustpunktī tika atzīmēti ar spilgtiem mietiņiem (2. att). Parauglaukumos notika slāņu papildus mitrināšana ar 10 l ūdens. Izņēmums bija „Mazo Kangaru” 1. laukums, kas tika laistīts ar 1 l ūdens. Tas bija eksperimentālais laukums, lai precizētu un veiktu nepieciešamos uzlabojumus tālākā metodes izmantošanā.



2. att. 2. parauglaukums smilts–grants karjerā „Ezeri” (fotografējusi B. Raga)

Fig. 2. Sampling Plot in Sand–Gravel Pit „Ezeri” (photo by B. Raga)

Pēc tam, izmantojot ΔT mitruma mērītāju HH2, kas papildināts ar datu uzkrāšanas bloku un sensoru SM-200 (adatu garums 51 mm, mērīšanas diapazons 0–50%, precizitāte $\pm 3\%$), tika noteikti mitruma tilpuma procenti pirms laistīšanas. Ar šo mēraparātu nosaka mitruma saturu gruntī, izmantojot dielektriskās caurlaidības konstantes metodi, ar kuru tiek mērīta nogulumu, ko uzskata par nevadītāju, kapacitāte, raidot augstas frekvences elektromagnētiskos viļņus vai impulsus, kad sensors ir ievadīts gruntī. Impulsu izplatības ātrums ir atkarīgs no tā, kāda ir caurlaidība starp iezi un sensoru adatām. Rezultātus kalibrējot, nosaka mitruma saturu nogulumos. Metodes pamatā ir fakts, ka sausiem nogulumiem dielektriskās caurlaidības vērtības ir robežās no 2 līdz 5, bet ūdenim 80, mērījumus izdarot frekvencēs starp 30 MHz un 1 GHz (Prichard T. L. [S. a]; Smith and Mullins 2000).

Katrā 20×20 cm lielajā laukumā pa diagonāli tika veikti trīs instrumentāli mērījumi. Kopā laukumā tika veikti 75 mērījumi, lai vēlāk, tos statistiski apstrādājot, noteiktu mitruma daudzumu slānī pirms laistīšanas.

Pēc tam, kad tika noteikts slāņa mitrums pirms laistīšanas, atsegtais laukums tika lēnām laistīts ar 10 l ūdens no lejkannas ar sietiņu, pēc iespējas vienmērīgi nosedzot visu laukumu. Pirms laistīšanas tika noteikts laiks, cikos tā tiek uzsākta.

Pēc laukuma laistīšanas tika mērīts mitruma saturs, izmantojot to pašu mitruma mērītāju, tikai šoreiz katrā mazajā laukumā veicot vienu mērījumu, kopumā vienā mērījumu ciklā tika veikti 25 mērījumi. Laika intervāls starp mērījuma reizēm bija 3 un 5 minūtes „Mazo Kangaru” 1. laukumā, 15 minūtes „Mazo Kangaru” 3. laukumā un „Ezeru” 2. laukumā. „Mazo Kangaru” 1. laukumā, lai noskaidrotu optimālāko

laika intervālu, tika veikti atkārtoti mērījumi sākumā ik pēc 3, bet vēlāk pēc 5 minūtēm. Pēc šī laukuma paraugošanas tika izvēlēts laika intervāls – 15 minūtes, ko lietot nākamajiem paraugiem. Lai raksturotu, kādi meteoroloģiskie apstākļi bija lauka darbu veikšanas laikā, tika izmantoti tuvāko meteoroloģisko staciju dati par faktisko gaisa temperatūru, maksimālo un minimālo gaisa temperatūru, vēja ātrumu un relatīvo mitrumu.

Laboratorijā tika analizēts paraugu granulometriskais sastāvs un noteikts filtrācijas koeficients filtrācijas iekārtā, kā arī veidoti jauktas struktūras paraugi, lai fiksētu blīvuma ietekmi uz filtrācijas koeficientu, un noteikts nogulumu blīvums traucētas un netraucētas struktūras paraugiem.

Jauktas struktūras paraugi tika izveidoti, lai fiksētu, kā, mainoties paraugu blīvumam, mainās to filtrācijas koeficienti, un noskaidrotu, kā blīvuma izmaiņas saistītas ar nogulumu mitruma izmaiņām laikā. Jauktas struktūras paraugi tika izveidoti blīvēšanas iekārtā, kas sastāv no 1,05 m garas caurules ar 7 cm diametru un 2 kg smaga metāla cilindra, kas iesiets 1,5 m garā auklā. Paraugi ar blīvēšanas cilindru tika blīvēti 20 reizes, un tika aprēķināts paraugu blīvums. Blīvums noteikts gan traucētas, gan netraucētas struktūras paraugiem „Ezeri 2 jeb 2.3.”, „Ezeri 3 jeb 1.2” un „Pāvuli 1.2., 2.6., 3.8., 3.1.”. Paraugi pirms blīvēšanas papildus netika apstrādāti.

1. tabula

Smilšaino nogulumu granulometriskais sastāvs
(frakciju robežas un nosaukumi pēc Aysen, 2005)
Grain Size of Sandy Sediments
(Margins of Groups and Name after Aysen, 2005)

Paraugs	Frakciju (mm) sadalījums, %						
	Smilts frakcija			Aleirītu frakcija			Māls
	Rupja	Vidēji rupja	Smalka	Rupja	Vidēji rupja	Smalka	
	2–0,6	0,6–0,2	0,2–0,06	0,06–0,02	0,02–0,006	0,006–0,002	< 0,002
„Mazie Kangari” 1. laukums	9,37	86,04	4,49	0,1			
„Mazie Kangari” 2. laukums	1,1	68	29,61	1,29			
„Mazie Kangari” 3. laukums	15,19	79,78	4,89	0,14			
„Ezeri” 2. laukums	0,01	7,15	90,67	2,15			
„Ezeri” 3. laukums		1,73	70,82	24,35	1,63	1,43	
„Progress” 1. laukums			7,49	38,41	31,5	4,8	18,52

Granulometriskā sastāva analīze tika veikta, izmantojot sietu metodi (Aysen 2005) un sietu metodi kopā ar hidrometra metodi (Aysen 2005) paraugiem, kur daļiņas, kas mazākas par 0,05 mm, bija vairāk nekā 10% no parauga kopējās masas. Granulometriskā sastāva klasifikācijai tika lietots *A. Aysen* (2005) piedāvātais sadalījums (1. tab.).

Nogulumu filtrācijas koeficients tika noteikts, izmantojot laboratorijas filtrācijas iekārtu *Eijkelkamp* ar gredzenu diametru 5 cm, kurā caur paraugiem tika filtrēts ūdens, lietojot patstāvīgā un mainīgā līmeņa metodes (*Eijkelkamp agrisearch equipment* 2008). Laboratorijas filtrācijas iekārtā filtrācijas koeficientus iespējams noteikt praktiski visiem irdenajiem nogulumiežiem, sākot ar ļoti rupjgraudainu materiālu, piemēram, granti, un beidzot ar ūdens vāji caurlaidīgiem nogulumiem, tādiem kā aleirīts un māls. Tik daudzveidīgu nogulumu apstrādāšanai filtrācijas iekārtā lieto divas tās darbības metodes – nogulumiem, kas labi filtrē ūdeni (grants, smiltis), izmanto pastāvīgā ūdens līmeņa metodi (mērījuma precizitāte ± 1 mm). Ar šo metodi tiek fiksēts noteikts ūdens daudzums, kas izfiltrējas caur paraugu laika vienībā (mērījuma precizitāte ± 1 ml, ± 1 s). Turpretim nogulumiem, kas vāji filtrē ūdeni (aleirīts, māls), lieto mainīgā ūdens līmeņa metodi, lai fiksētu parauga piesātināšanos ar ūdeni un ūdens līmeņa izmaiņas filtrācijas gredzena ietvarā (*Eijkelkamp agrisearch equipment* 2008).

Kamerālo darbu posmā tika apstrādāti un analizēti visi iegūtie dati. Datu apstrādāšanai tika izmantota *Microsoft Excel* datorprogramma. Nogulumu filtrācijas koeficienti tika aprēķināti pēc Darsī vienādojuma (Todd and Mays 2005). Darbā lietotais kartogrāfiskais materiāls tika sastādīts, izmantojot datorprogrammu *ArcMap9*.

Rezultāti un interpretācija

Granulometriskais sastāvs un filtrācijas koeficients

Analizējot lauka darbu laikā iegūtos aleirītiski smilšaino nogulumu paraugus, pēc granulometriskā sastāva tie tika iedalīti četrās grupās: aleirīts, smalkgraudaina smiltis, vidējgraudaina smiltis un rupjgraudaina smiltis. Nogulumu filtrācijas koeficientu un granulometriskā sastāva sakarības tika analizētas pa nogulumu grupām pēc dominējošās granulometriskās frakcijas (2. tab.).

Analizētie aleirītisko nogulumu paraugi pēc granulometriskā sastāva ir ļoti līdzīgi, un viendabīguma koeficients nepārsniedz 3 (Indāns et al. 1986), aleirīta frakcijas saturs ir 74–77%, un māla frakcijas saturs ir 18,5–21%. Filtrācijas koeficienta vērtības kopumā ir līdzīgas ($n \times 10^{-3}$ m/dnn), tomēr novērojams, ka, palielinoties māla frakcijas īpatsvaram tikai par 2–3%, filtrācijas koeficienta vērtības mainās 2–3 reizes.

Pētot analizēto smalkgraudainās smiltis paraugu filtrācijas koeficientu vērtību un to granulometriskā sastāva kopsakarības, konstatēts, ka šim nogulumu tipam vislielāko ietekmi uz filtrācijas koeficienta vērtībām rada aleirīta frakcijas daļiņu piejaukums. Izmainoties aleirīta rupjo daļiņu daudzumam, ievērojami mainās arī filtrācijas koeficientu vērtības. Skaitliski vizuāli šī sakarība ir paraugiem „Ezeri” 3.3. un „Pāvuli” 3.8., kur, pieaugot aleirīta rupjajai frakcijai par aptuveni 6%, filtrācijas koeficients samazinās vairāk nekā par 2 m/dnn. Salīdzinot aleirīta

frakcijas īpatsvara un filtrācijas koeficienta vērtību sakarības pārējos paraugos, var secināt, ka aleirīta daļiņu daudzuma palielināšanās virs 8% no kopējās parauga masas smalkgraudainas smilts materiālā būtiski samazina filtrācijas koeficienta vērtības.

2. tabula

Smilšaino nogulumu granulometriskā sastāva, vidējo filtrācijas koeficientu un blīvumu dati (sastādījusi E. Pērkone)

Grain Size Distribution, Average Values of Hydraulic Conductivity and Density of Sandy Sediments (compiled by E. Perkone)

Parauga Nr. / Nr. kopīgajā analizē	Dominējošā granulometriskā frakcija (Aysen 2005)	Aleirīta saturs paraugā, %	Māla saturs paraugā, %	Filtrācijas koeficients, m/dnn	Nogulumu blīvums, kg/m ³
„Ezeri” 1.2./3	Smilts smalkgr.	27,41	0,00	1,62	1430,2
„Ezeri” 1.1.	Smilts vidēji gr.	0,04	0,00	34,57	1395
„Ezeri” 2.3./2	Smilts vidēji gr.	0,40	0,00	34,07	1380,2
„Ezeri” 3.3.	Smilts smalkgr.	2,15	0,00	5,17	1576,8
„Mazie Kangari” 1.2./3	Smilts vidēji gr.	0,10	0,00	31,48	
„Mazie Kangari” 1.1./1	Smilts vidēji gr.	0,14	0,00	50,82	
„Mazie Kangari” 2.2.	Smilts smalkgr.	18,34	1,40	2,38	
„Mazie Kangari” 2.1./2	Smilts vidēji gr.	1,29	0,00	16,38	
„Mazie Kangari” 3.7.	Smilts smalkgr.	22,91	3,00	1,92	
„Mazie Kangari” 3.6.	Smilts vidēji gr.	0,44	0,00	14,80	
„Pāvuli” 1.2.	Smilts rupjgr.	0,09	0,00	236,69	1483,5
„Pāvuli” 2.6.	Smilts rupjgr.	0,30	0,00	131,31	1558,9
„Pāvuli” 3.8.	Smilts smalkgr.	8,34	0,00	2,51	1521,8
„Pāvuli” 3.1.	Smilts vidēji gr.	0,75	0,00	44,13	1478,8
„Progress” 1.7./1	Aleirīts	74,71	18,52	0,0037	
„Progress” 1.5.	Aleirīts	74,08	21,12	0,0013	
„Progress” 1.3.	Aleirīts	76,73	20,15	0,0020	

Vidējgraudainas smilts grupas paraugiem pēc filtrācijas koeficienta vērtību un granulometriskā sastāva sadalījuma ir iespējams izšķirt divas likumsakarības:

- 1) ja smiltī ir ļoti līdzīgs aleirīta un māla daļiņu procentuālais sadalījums, bet atšķirīgs rupjo daļiņu sadalījums, filtrācijas koeficienta vērtības būtiski ietekmē rupjo daļiņu daudzuma izmaiņas. Piemēram, „Mazo Kangaru” 1.1. un 1.2. paraugam aleirīta un māla daļiņu īpatsvars irniecīgs (attiecīgi 0,14%

un 0,1%), bet rupjgraudainās smilts frakcijas īpatsvars atšķiras par 6%, tāpēc paraugam ar lielāko rupjgraudaino daļiņu saturu („Mazie Kangari” 1.1.) filtrācijas koeficienta vērtības ir 1,6 reizes augstākas nekā otram paraugam („Mazie Kangari” 1.2.);

- 2) ja smiltī rupjgraudainās smilts frakcijas veidoniecību procentu (1–2%) no kopējās masas, filtrācijas koeficientu būtiski ietekmē smalkgraudainās smilts frakcijas masas pieaugums par 15–20%. Piemēram, „Mazo Kangaru” 2.1. un 3.6. paraugam smalkgraudainās smilts frakcijas īpatsvars ir 30–46%, bet „Ezeru” 1.1. paraugam tikai 6,5 %, bet filtrācijas koeficienta vērtība šim „Ezeru” paraugam ir divas reizes augstāka nekā abiem „Mazo Kangaru” paraugiem.

Rupjgraudaino smilšu grupā kopumā tika analizēti tikai divi paraugi, kas ņemti smilts–grants atradnē „Pāvuli”. Lai gan abi paraugi ir viendabīgas rupjgraudainas smiltis, pēc granulometriskā sastāva tie tomēr ir visai atšķirīgi, un tas ietekmē arī to lielo filtrācijas koeficientu vērtību starpību, kas ir aptuveni 100 m/dnn (2. tab.). Šādi filtrācijas koeficientu lielumi un to starpības rupjgraudainās smilts paraugiem ir dabiskas, jo šādas frakcijas nogulumiem filtrācijas koeficients var svārstīties robežās no 20 līdz 200 m/dnn (Brassington 1988; Shvartsev 1996). Šajā gadījumā, analizējot doto rupjgraudainās smilts paraugu filtrācijas koeficientus un granulometriskā sastāva sakarības, var izvirzīt tikai hipotēzi, ka šīs frakcijas nogulumu filtrācijas koeficientus spēj būtiski ietekmēt vidēji rupjas smilts daļiņu daudzuma izmaiņas par 30%, jo, lai rezultāti būtu uzskatāmi un droši, ar divu paraugu datiem ir krietni par maz.

Mitruma un granulometriskais sastāvs

Lai labāk raksturotu smalko daļiņu (< 0,05 mm) ietekmi uz nogulumu mitruma daudzuma izmaiņām, saistība starp mitruma daudzumu nogulumos un to granulometriskā sastāvu tika novērtēta divreiz: gan pirms, gan pēc nogulumu papildu mitrināšanas.

Nosakot visiem paraugotajiem slāņiem dabisko mitruma saturu (3. tab.), konstatēts, ka dažāda rupjuma un šķirotības smilts nogulumiem tas ir robežās no 9 līdz 15%, bet aleirīta nogulumos tas palielinās līdz 33–51%, turklāt šis mitruma satura pieaugums ir cieši saistīts ar māla daļiņu daudzuma palielināšanos. Analizējot dabiskā mitruma satura sakarības katrā pētījumu vietā (karjerā), var secināt, ka stabila saistība starp dominējošo nogulumu frakciju, māla frakcijas īpatsvaru un dabisko mitrumu nav novērojama. Acīmredzot šīs vērtības ietekmē vēl citi faktori, piemēram, paraugotā slāņa ieguluma dziļums.

Astoņi parauglūkumi tika papildus mitrināti, un pēc iegūtajiem datiem var novērot, ka starp mitruma saturu un laiku pastāv negatīva lineāra korelācija. Savukārt, ja savstarpēji salīdzina parauglūkumu mitruma satura palielināšanos pēc laistīšanas (3. tab.), tad jāņem vērā arī granulometriskais sastāvs. Tā kā mērījumi tika veikti zonā, kas nav piesātināta ar ūdeni, tad, pievadot papildu ūdeni, tas strauji infiltrējas dziļāk slānī. Ūdens daudzums, kas ir „aizkavējies” aerācijas zonā, ir atkarīgs no iežu daļiņu izmēriem, jo ūdens aerācijas zonā noturas vai nu kapilārā efekta ietekmē, vai arī tad, ja tas tiek absorbēts uz māla daļiņu virsmas (Brassington 1988). Vislielākais mitruma satura pieaugums (12%) ir novērojams „Ezeru” 3. lūkumam, kur frakcija,

kas mazāka par 0,05 mm, veido 27,41%. Vismazākais mitruma daudzums novērojams „Kurzemnieku” 2. laukumā, kur pēc papildu mitrināšanas ūdens saturs pieauga par 5,7%. Ja aplūko šajā laukumā sastopamo nogulumu granulometrisko sastāvu, tad procentuāli vislielāko daļu veido rupjgraudainas smilts (43,88%) un grants (5,71%) frakcijas, savukārt smalkgraudainas smilts frakcijas, kas aizpilda tukšumus starp rupjākām daļiņām, – tikai 1,1%.

3. tabula

Dabiskā mitruma daudzums un mitruma daudzuma pieaugums pēc parauglaukuma papildu laistīšanas (sastādījusi B. Raga)

Moisture Content and its Increase after Sampling Plot Sprinkling (Compiled by B. Raga)

Paraugs	Nogulumu tips (Aysen 2005)	Mitruma daudzums, uzsākot mērījumus, %	Mitruma daudzuma pieaugums pēc laistīšanas, %	Dominējošā frakcija, mm	Frakcija < 0,05 mm, %
„Progress” 1. slānis	mālainis aleirīts	51			31,9
„Progress” 2. slānis	aleirītiska smalkgraudaina smilts	33			17,4
„Mazie Kangari” 1. laukums	rupjgraudaina smilts, viendabīga	15	9	0,6–0,2	0,1
„Mazie Kangari” 2. laukums	smalkgraudaina smilts, viendabīga	10	8	0,2–0,006	1,29
„Mazie Kangari” 3. laukums	vidējgraudaina smilts, viendabīga	15	9	0,6–0,2	0,14
„Ezeri” 1. laukums	vidējgraudaina smilts, viendabīga	9	10	0,6–0,2	2,83
„Ezeri” 2. laukums	smalkgraudaina smilts, viendabīga	10	11	0,2–0,006	2,15
„Ezeri” 3. laukums	putekļaina smilts, neviendabīga	15	12	0,2–0,006	27,41
„Kurzemnieki” 1. laukums	grantaina smilts, neviendabīga	13			
„Kurzemnieki” 2. laukums	rupjgraudaina smilts, viendabīga	11	6	0,6–0,2	0,07
„Kurzemnieki” 3. laukums	grantaina smilts, ļoti neviendabīga	10	10	2,0–0,6	0,21
„Kurzemnieki” 4. laukums	smalkgraudaina smilts, viendabīga	26	7	0,2–0,006	6,7

Diskusija

Tā kā rupjgraudainās smilts nogulumu paraugu skaits ir neliels, turpmāk (pēc dominējošā granulometriskā sastāva) analizētas trīs nogulumu grupas: aleirīts, smalkgraudaina smilts un vidējgraudaina smilts (1. tab.). Saistība starp filtrācijas

koeficienta vērtībām, mitruma saturu un nogulumu granulometrisko sastāvu tika analizēta iepriekš minētajām nogulumu grupām, īpašu uzmanību pievēršot tieši smalko daļiņu īpatsvaram. Kopumā izvērtēti seši nogulumu slāņu paraugi: viens aleirīta paraugs, ņemts no māla atradnes „Progress”, divi smalkgraudainas smilts paraugi no „Ezeru” smilts–grants atradnes 2. un 3. parauglaukuma un trīs vidējgraudainas smilts paraugi no smilts–grants atradnes „Mazie Kangari” 1., 2. un 3. parauglaukuma.

Analizējot granulometriskā sastāva sakarības ar citiem pētītajiem parametriem visos paraugos, var novērot izteiktu saistību starp filtrācijas koeficienta un nogulumu mitruma satura vērtībām un smalko daļiņu, mazāku par 0,06 mm, īpatsvaru. Smalko daļiņu ietekme uz pētītajiem parametriem visizteiktāk vērojama paraugotajā aleirītu slānī, kurā šo daļiņu īpatsvars veido 92,5% no parauga masas. Šiem nogulumiem ir ļoti mazs filtrācijas koeficients – 0,0037 m/dnn, un tas nogulumos pastarpināti ietekmē arī dabisko mitrumu saturu, kas ir salīdzinoši augsts – 32,8% (3. tab.), un tā ļoti lēno samazinājumu laikā. Smalkgraudainās smilts paraugiem no „Ezeru” atradnes 2. un 3. parauglaukuma ir būtiskas izmaiņas smalko daļiņu sadalījumā – 2. paraugam smalkās daļiņas veido 2,15% no kopējās masas, bet 3. paraugam – 27,41%. Līdz ar to novērojamas arī būtiskas atšķirības filtrācijas koeficientu vērtībās (attiecīgi 5,17 m/dnn un 1,62 m/dnn) un pievadītā mitruma samazinājuma vērtībās (attiecīgi 0,59 un 0,42) (4. tab.).

4. tabula

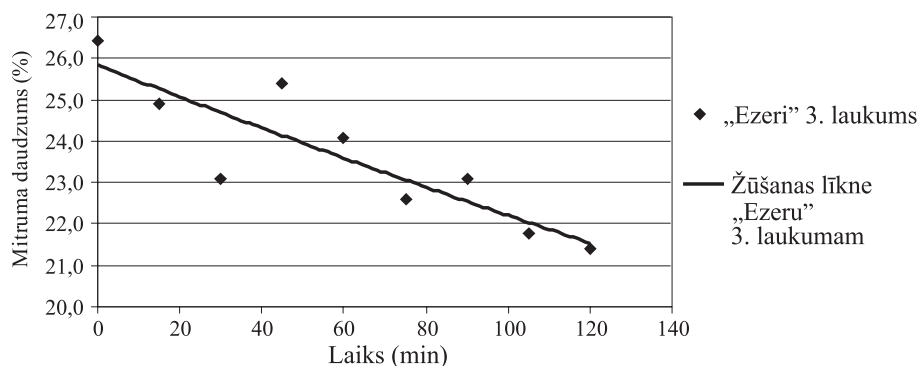
Nogulumu litoloģiskais tips, filtrācijas koeficients un mitruma mērījumu rezultāti

(sastādījusi E. Pērkone, B. Raga)

Type of Sandy Sediments, Results of Hydraulic Conductivity and Moisture Content Measurement (Compiled by E. Perkone, B. Raga)

Paraugi	Litoloģiskais tips (Aysen 2005)	Filtrācijas koeficients, m/dnn		Parauga blīvums, kg/m ³		Papildu mitruma samazināšanās mērījumu laikā, %	Mitruma samazinājuma attiecība pret sākotnējo mitrumu, izteikts daļas veida
		Netrauc. struktūras	Traucētas struktūras	Netrauc. struktūras	Traucētas struktūras		
„Mazie Kangari” 1. laukums	Vidējgraudaina smilts	31,48	12,61			7	0,64
„Mazie Kangari” 2. laukums	Vidējgraudaina smilts	16,38	12,03			3	0,34
„Mazie Kangari” 3. laukums	Vidējgraudaina smilts	50,82	29,31			4	0,43
„Ezeru” 2. laukums	Smalkgraudaina smilts	5,17	6,57	1576,8	1457,3	7	0,59
„Ezeru” 3. laukums	Smalkgraudaina smilts	1,62	0,0142	1430,2	1460	5	0,42
„Progress” 1. laukums	Aleirīts	0,0037	0,0142			0,8	0,02

Analizējot mitruma satura izmaiņas laikā, var secināt, ka pēc papildu mitrināšanas ūdens samazinās, iedarbojoties infiltrācijas procesiem, kas sākumā ir primārie, jo nepiesātinātajā zonā tiek radīti apstākļi, kas līdzinās ūdens piesātinātās zonas apstākļiem. To uzskatāmi ataino līknes – sākumā novērojama strauja mitruma satura samazināšanās, bet tas ir neilgs process, jo pēc tam līkne kļūst lēzena. Piemēram, „Ezeru” 3. laukuma žūšanas līkne (3. att.) rāda, ka eksperimenta sākumā ir lielāka mērījumu vērtību novirze no vidējotās žūšanas līknes nekā mērījumu cikla beigās. Tam par iemeslu var būt nevienmērīgais dabiskā mitruma satura sadalījums jau sākumā, un tas saglabājies arī pēc laukuma papildu mitrināšanas.



3. att. Nogulumu žūšanas līkne parauglaukumā „Ezeri” 3 (sastādījusi B. Raga)

Fig. 3. *Drying Curve of Sediments in Sampling Plot „Ezeri” 3 (compiled by B. Raga)*

Līdzīgi izanalizējot pārējo parauglaukumu datus, var secināt, ka, samazinoties daļiņu izmēriem un palielinoties smalko daļiņu īpatsvaram, mitruma saturs pēc papildu laistīšanas samazinās lēnāk. To iespējams izskaidrot šādi: smalkgraudainos iežos ūdens nepiesātinātajā zonā paaugstināts mitruma daudzums pēc laistīšanas galvenokārt veidojas tāpēc, ka starp maza izmēra daļiņām ir mazas poras, pa kurām ūdens var lēnāk pārvietoties. Tādējādi samazinās infiltrācijas procesu intensitāte, kā arī veidojas labvēlīgi apstākļi, lai ūdens kapilārā efekta ietekmē noturētos gan porās, gan daļiņu kontaktzonās. Jo mazāks ir daļiņu izmērs, jo vairāk ir šādu mazu poru un daļiņu kontaktzonu ar kapilāro efektu izpausmēm. Tāpat smalka izmēra daļiņām, sevišķi māla minerālu daļiņām, piemīt lielāka virsmas enerģija, līdz ar to ūdens tiek noturēts ciešāk, nekā tas ir uz rupjāka izmēra daļiņu virsmas (Brassington 2007; Aysen 2005; Shvartsev 1996; Maslov i Komov 1871). Tāpēc parauglaukumos, kur pārstāvēti smalkgraudainākie nogulumi, ir nepieciešams ilgāks laiks, lai tiktu sasniegts sākotnējais dabiskais mitrums, salīdzinot ar parauglaukumiem, kur ir rupjāku frakciju nogulumi. Šie paši principi ietekmē arī ūdens filtrāciju nogulumos, tātad filtrācijas koeficienta vērtības.

Apskatot vidējgraudainas smilts paraugus, tik izteiktas sakarības starp šiem parametriem vairs nav vērojamas, proti, paraugam ar lielāku filtrācijas koeficientu ir mazāks liekā mitruma procentuālais samazinājums nekā paraugam ar mazāku filtrācijas koeficientu (4. tab.). Iespējams, šādas nesakritības var skaidrot ar neviendabībām paraugotā slāņa iekšienē. Kā viena no iespējamām neviendabībām varētu būt nogulumu blīvums, jo laboratorijas apstākļos, veidojot jauktas struktūras paraugus un arī tiem nosakot filtrācijas koeficientus, bija vērojamas būtiskas to atšķirības (4. tab.).

Analizējot paraugu blīvuma izmaiņu un filtrācijas koeficientu saistību, var secināt, ka ne tikai nogulumu granulometriskajam sastāvam, bet arī to konsolidācijas pakāpei ir liela ietekme uz ūdens filtrācijas intensitāti nogulumos. Vidējgraudainai smiltij jauktas struktūras paraugos filtrācijas koeficienti bija ievērojami mazāki nekā dabiskas struktūras paraugos (4. tab.). Smalkgraudainās smilts jauktas struktūras paraugiem pēc blīvēšanas rezultāti bija šādi: „Ezeru” 2. paraugam filtrācijas koeficients bija par 1,4 m/dnn lielāks nekā dabiskas struktūras paraugam, bet „Ezeru” 3. jauktas struktūras paraugam filtrācijas koeficients bija par 1,58 m/dnn mazāks nekā dabiskas struktūras paraugam. Šīs atšķirības izskaidrojamas ar to, ka pirmajā gadījumā blīvāks ir netraucētas struktūras paraugs, bet otrajā gadījumā – traucētas struktūras paraugs. Kopumā ir vērojama likumsakarība – jo mazāks parauga blīvums, jo lielāks filtrācijas koeficients, un otrādi.

Secinājumi

Analizējot pētījumā iegūtos rezultātus, tika atrastas sakarības starp nogulumu granulometrisko sastāvu un filtrācijas koeficienta un mitruma satura vērtībām:

- smalkgraudainas smilts un aleirīta nogulumiem filtrācijas koeficienta vērtības būtiski ietekmē aleirīta un māla daļiņu piejaukums, pat neliels to daudzums, savukārt vidējgraudainā un rupjgraudainā smiltī māla un aleirīta daļiņu īpatsvaram ir jābūt lielākam, lai būtiski ietekmētu konkrēto nogulumu filtrācijas koeficientu;
- samazinoties smilšaino nogulumu daļiņu izmēriem un palielinoties smalko daļiņu (< 0,6 mm) īpatsvaram, nogulumos ir novērojama lielāka ūdens aizture aerācijas zonā pēc papildu mitrināšanas un pēc tam arī lēnāka mitruma satura samazināšanās laikā;
- viziteiktākās sakarības starp filtrācijas koeficienta vērtībām un granulometrisko sastāvu ir novērotas labāk šķirotiem smilšainiem nogulumiem;
- nogulumu blīvuma izmaiņas visbūtiskāk ietekmē smalkgraudainus un aleirītiskus nogulumus, radot to filtrācijas koeficientiem ievērojami lielākas vērtību amplitūdas paraugos pirms un pēc blīvēšanas nekā vidēji rupjgraudainos un rupjgraudainos nogulumos.

Pateicība

Pētījums veikts ar projekta Nr. ESS2009/81 „Starptozaru zinātnieku grupas un modeļu sistēmas izveide pazemes ūdeņu pētījumiem” un AS „Latvijas valsts meži” finansiālo atbalstu.

LITERATŪRA

- Aysen, A. 2005. *Soil Mechanics: Basic Concepts and Engineering Applications*. Taylor & Francis, London, New York. 457.
- Brassington, R. 2007. *Field Hydrogeology. The Geological Field Guide Series*. Hoboken, John Wiley & Sons. 264.
- Brassington, R. 1988. *Field Hydrogeology. Geological Society of London Handbook Series*. Open University Press.
- Fredlund, M. D, Wilson, W. G., Fredlund, D. G. 2002. Use the Grain – Size Distribution for Estimation of the Soil – Water Characteristic Curve. *Can. Geotech*, 39(5). 1103–1117.
- Indāns, A., Ošiņa, J., Zobena, A. 1986. *Inženierģeoloģija*. Rīga: Zvaigzne. 276 lpp.
- Maslov, N. N., Komov, M. F. 1971. *Inženernaya geologiya*. Moskva: Izdatel'stvo literatury po stroitelstvu, 246.
- Shvartsev, S. L. 1993. *Obshchaya gidrogeologiya*. Moskva: Izdatel'stvo „Nedra”. 422.
- Smith, K. A., Mullins, C. E. 2000. *Soil and Environmental Analysis: Physical Methods*. 2nd edn. Marcel Dekker Incorporated, New York. 650.
- Todd, L. M., Mays, D. K. 2005. *Groundwater Hydrogeology*. Third Edition. John Wiley & Sons, Inc., New York. 636.
- Vogel, T., Cislérova, M. 1988. On the Reliability of Unsaturated Hydraulic Conductivity Calculated from the Moisture Retention Curve. *Transport in Porous Media*. Vol. 3, Number 1, 1–15.

ELEKTRONISKIE RESURSI

- Prichard, T. L. [S. a]. *Soil Moisture Measurement Technology*. University of California Davis (sk. 12.03.2010.) Pieejams: <http://ceeldorado.ucdavis.edu/files/45069.pdf>

NEPUBLICĒTĀ LITERATŪRA

- Ābolts, J. 2004. *Pārskats par ģeoloģiskās izpētes darbiem Rīgas rajona, Allažu pagasta smilts–grants atradnē „Mazie Kangari” VI laukums*. Rīga, VĢD fonds, inv. Nr. 14677, 27. lpp.
- Bernāns, A. 1999. *Pārskats par ģeoloģiskās izpētes darbiem Ezeru smilts–grants atradnē*. Rīga, VĢD fonds, inv. Nr. 12125, 19. lpp.
- Eijkelkamp agriseach equipment, 2008. *Soil Water Permeability Test, Operating Instructions*. 15.
- Vasil'eva, A. N. 1959. *Otchet o geologorazvedochnykh rabotakh, proizvedennykh na mestorozhdenii glini „Progress”. Tom 1*. Rīga, VĢD fonds, inv. Nr. 2125. 90.

Summary

The article describes relations between grain size distribution, the values of hydraulic conductivity and moisture content of sandy sediments. The study focuses on the influence of silt and clay particles (< 0,006 mm) admixture on hydraulic conductivity values and moisture content of the sediments. Three groups of sediments were analysed – medium and fine grained sand and silt. Data obtained and their analysis shows that there is a closer connection between the amount of silt and clay particles and hydraulic conductivity values and moisture content variations for finer sediments comparing to the coarser sediments.

Keywords: dielectric constant, grain size distribution, laboratory permeameter, Quaternary deposits.

**Devona Lodes svītas uzbūve un sastāvs Liepas mālu
atradnes rietumu daļā**
*Geological Structure and Composition of the Devonian
Lode Formation in the Western Part of the Liepa
Clay Deposit*

Daiga Pipira, Ģirts Stinkulis

Latvijas Universitāte

Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte

Alberta iela 10, Rīga, LV-1010

E-pasts: *Daiga_Pipira@inbox.lv, Ģirts.Stinkulis@lu.lv*

Šajā pētījumā Liepas mālu atradnes rietumu daļā atsegta devona slāņkopai sastādīts detalizēts griezumus un veikta katra slāņa nogulumu granulometriskā analīze. Apzināti un analizēti iepriekš izdarīto ģeoloģiskās izpētes urbumu griezumus, slāņu apraksti un granulometriskos analīžu rezultātus. Noskaidrots, ka, balstoties uz pētījumu rezultātus izdalītajiem nogulumu tipiem, iespējams daļēji korelēt slāņus starp urbumiem.

Atslēgvārdi: devona māli, granulometriskais sastāvs, griezumus korelācija.

Ievads

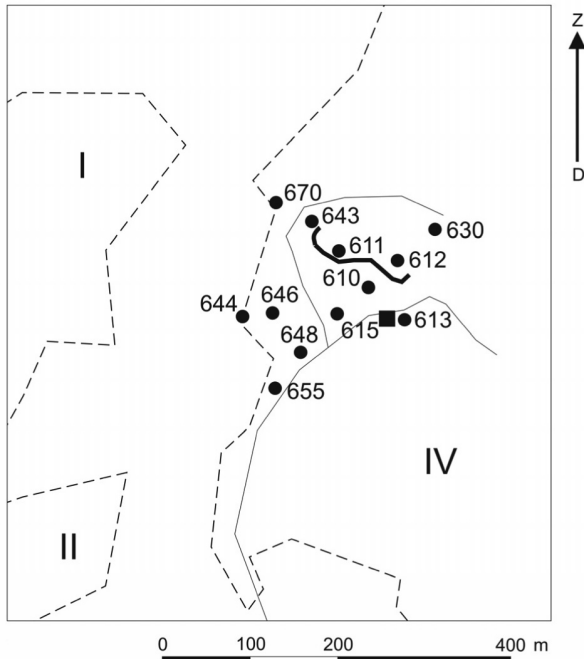
Devona Gaujas stāva Lodes svītas mālainie nogulumus Liepas atradnē pētīti vairākus gadus desmitus kā zinātniskos, tā lietišķos nolūkos. Ģeoloģiskās izpētes darbos (Mukane i Alekseev 1977) veikti urbumus, apzināti mālu krājumi un kvalitāte. Plašus Lodes svītas veidošanās apstākļu un ģeoloģiskās uzbūves pētījumus veicis V. Kuršs (Kurshs 1975; 1992), tos papildina jauni dati par Lodes svītas nogulumus deformāciju struktūrām (Stinkule et al. 2009). Tomēr joprojām aktuāls ir jautājums par Lodes svītas nogulumus ģenēzi, sastāvu un izplatību, kā arī derīgā izrakteņa kvalitātes izmaiņu raksturojumu.

Šī pētījuma mērķis ir noskaidrot Lodes svītas griezumus uzbūvi un nogulumus sastāvu Liepas atradnes rietumu daļā, lai precīzāk pamatotu nogulumus slāņu izdalīšanas un korelēšanas iespējas arī citās atradnes daļās. Pētījums balstīts uz atseguma sienas aprakstu, iepriekš veikto urbumus (Mukane i Alekseev 1977) datu analīzi un nogulumus iedalīšanu tipos, kas pamatota ar granulometriskām analīzēm.

Materiāls un metodes

Pētījumiem Liepas mālu atradnē izvēlēta tās rietumu daļa (1. att.), kur pētījumu veikšanas laikā 2009.–2010. gadā bija atsegta karjera siena un izvietots blīvs 1961. un 1976. gada urbumus tīkls (Ļimonova 2007). Darbā analizēti 12 urbumus (Mukane i Alekseev 1977) griezumus, slāņu apraksti un granulometriskos analīžu rezultātus. Liepas

karjerā dokumentēts viens atsegums, kur slāņu izdalīšana balstīta uz nogulumu struktūras, tekstūras, konsolidācijas pakāpes un krāsas atšķirībām. Pavisam izdalīti 22 slāņi, aptverot 8 m biezu griezuma daļu. No katra slāņa noņemts viens paraugs ar vadziņas metodi. Uz ziemeļiem no atseguma depresijā, kas aizpildīta ar pelēkiem, trekniem māliem, ar ģeoloģisko kompasu noteikti krituma leņķi un krituma azimuti šīs depresijas aizpildījuma kontaktā ar pagulošajiem slāņiem. Pētījumu objektu ģeogrāfiskās koordinātas noteiktas, izmantojot iekārtu *Magellan eXplorist 600*.



1. att. Pētīto objektu izvietojums Liepas mālu atradnē, shēma

Fig. 1. Location of Studied Objects in the Liepa Clay Deposit, Scheme

- I, II, IV – mālu iegulas (clay deposits)
- mālu iegulu robežas (boundaries of clay deposits)
- karjera ceļš (road in the pit)
- 1976. gada ģeoloģiskās izpētes urbumi (Mukane i Alekseev 1977)
(exploration drillings made in 1976 (Alekseev i Alekseev 1977))
- pētītais atsegums (documented outcrop)
- pelēko, trekno mālu lēcas mala (edge of grey, fine-grained clay lens)

Nogulumu paraugu granulometriskā analīze veikta, lietojot kombinēto sietu un hidrometra metodi. Gaissausais materiāls ar graudu izmēriem > 0,05 mm tika sijāts, izmantojot iekārtu *Retsch AS200* un sietus ar acu izmēriem 2; 1,6; 1,25; 1; 0,8; 0,63;

0,5; 0,4; 0,315; 0,25; 0,2; 0,16; 0,125; 0,1; 0,08; 0,063; 0,05 mm. Materiāls ar graudu izmēriem $\leq 0,05$ mm tika analizēts hidrometrā *Geotest*, lietojot mērierīci *152H*.

Gan atsegumā, gan pēc urbumu datiem izdalīti un salīdzināti nogulumu tipi. Ģeoloģiskās izpētes gaitā granulometriskā analīze nereti tikusi veikta vairākus metrus biežam griezuma intervālam, apvienojot atšķirīga sastāva nogulumus. Tāpēc šajā pētījumā nogulumu tipu izdalīšanai pēc urbumu datiem izmantoti slāņi, kuri pēc griezumu aprakstiem (Mukane i Alekseev 1977) ir viendabīgi un kuriem veikta individuāla granulometriskā sastāva analīze. Nogulumu tipi raksturoti ar vidējo svērto granulometrisko sastāvu, izmantojot Latvijas nogulumiežu decimālo klasifikāciju (Gailīte et al. 1996), kurai atbilstošās frakciju robežas noteiktas granulometriskā sastāva analīzē arī Liepas atradnes 1975.–1976. gada ģeoloģiskās izpētes darbos (Mukane i Alekseev 1977).

Rezultāti

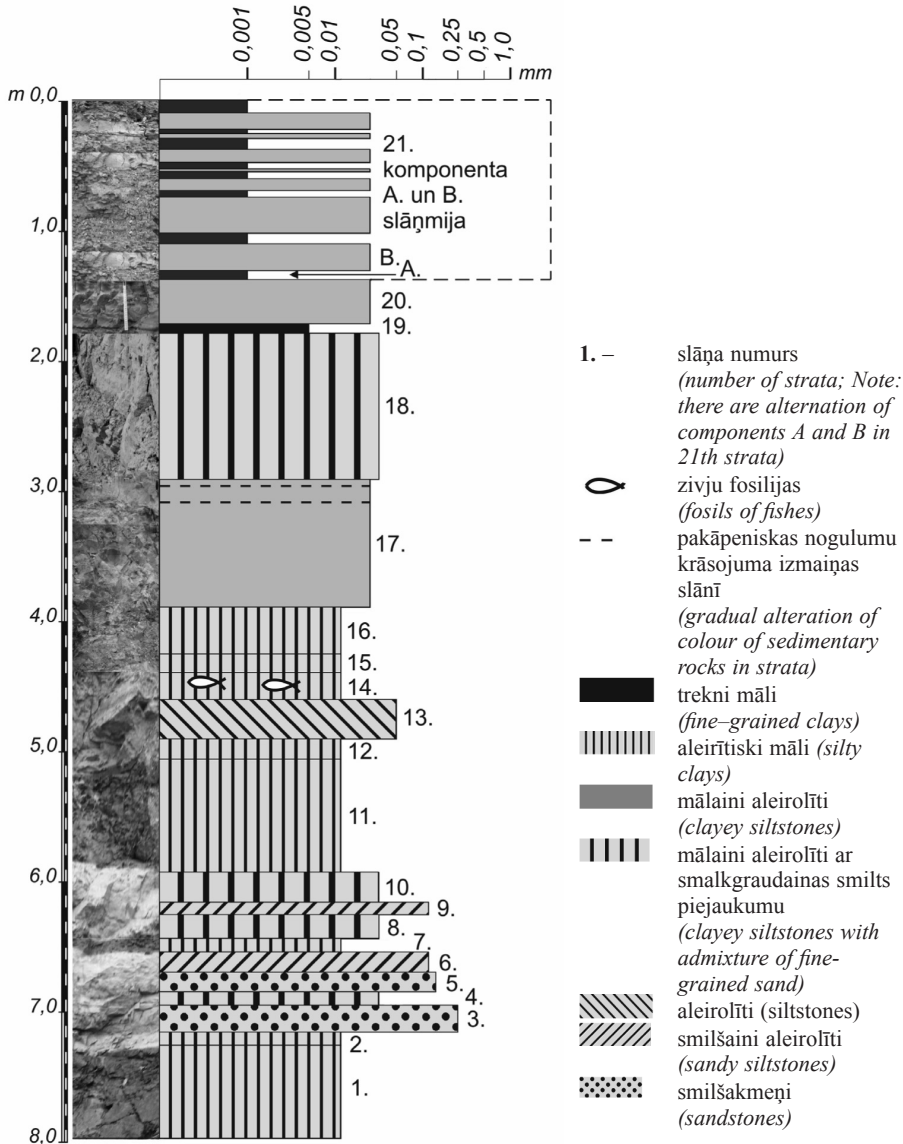
Atseguma apraksts un izdalīto slāņu nogulumu granulometriskais sastāvs liecina, ka līdz ar graudu izmēriem mainās arī nogulumu krāsa, tekstūra, pat konsolidācijas pakāpe. Pēc šīm pazīmēm nogulumi Liepas atradnes rietumu daļā iedalīti sešos tipos, bet viens no tiem – divos paveidos (2. att.). Šajā pētījumā izdalītie Lodes svītas nogulumu tipi ļauj detalizēt iepriekš piedāvāto iedalījumu 4 tipos (Kuršs et al. 1998).

Nogulumu tipu raksturojošu paraugu frakciju sadalījuma novirze no tipa vidējā svērtā granulometriskā sastāva ir $\pm 5\%$. Izņēmums ir smilšakmeņu tips, jo tā granulometriskais sastāvs ir mainīgāks.

Nogulumu tipu īss raksturojums:

1. Trekni māli (frakcija $< 0,001$ mm 50–60%) atsegumā sastopami 3–10 cm biezu individuālu slāņīšu veidā 1,35 m biežā slāņmijā ar gaiši pelēkiem aleirolītiem.
2. Aleirītiski māli ir sarkanvioleti un daudzkrāsaini plankumaini, stipri konsolidēti. Tajos dominē frakcija 0,01–0,001 mm (30–45%) un 0,1–0,01 mm (26–36%).
3. Mālainos aleirolītos pārsvarā ir frakcija 0,05–0,01 mm (53–56%) un $< 0,01$ mm (39–41%). Tekstūru atšķirību dēļ nogulumi dalāmi divos paveidos: 3.1. – gaiši pelēki līdz pelēki mālaini aleirolīti, stipri konsolidēti, masīvi, ar vāji izteiktu viļņu ripsnojumu; 3.2. – zilganpelēki, vidēji konsolidēti mālaini aleirolīti ar paralēlu sīkslāņojumu.
4. Aleirolīti pētītajā atsegumā sastopami tikai vienā slānī. Dominē frakcija 0,1–0,05 mm ($\sim 68\%$).
5. Smilšaini aleirolīti izceļas ar augstāku smilts saturu (~ 30 –35% ir frakcija 0,25–0,1 mm).
6. Smilšakmeņos dominē smilts frakcija, bet tās daudzums dažādos slāņos ir atšķirīgs (frakcijas 0,25–0,1 mm saturs 60–90%, pārējās frakcijas smalkākas). Pārsvarā sastopami smilšakmeņi ar aleirīta un māla piejaukumu.

Pēc urbumu griezumiem (Mukane i Alekseev 1977) Liepas atradnes rietumu daļā var izdalīt 4 nogulumu tipus: 1) pelēki, trekni māli; 2) raibkrāsaini mālaini aleirītiski nogulumi (ar 2 paveidiem); 3) aleirolīti; 4) smilšakmeņi. Kā atsevišķu paveidu var atzīmēt smilšakmeņu, aleirolītu un mālu slāņmiju.



2. att. Lodes svītas slāņkopas griezumā pētītajā atsegumā Liepas atradnes rietumu daļā 57°23,528' Z pl., 25°24,299' A gar.

Fig. 2. Geological Section of the Lode Formation in Studied Outcrop in Western Part of the Liepa Clay Deposit 57°23,528' N, 25°24,299' E

Diskusija

Svarīgākā problēma mālaino nogulumu sastāva un kvalitātes prognozēšanai Liepas mālu atradnē ir sliktās slāņu korelācijas iespējas, kuras jau 70. gados atzīmējuši V. Kuršs (Kurshs 1975) un A. Stinkule (Stinkule 1977). Korelācija ir problemātiska gan karjera sienu fragmentos, gan pat tuvu veiktu urbumu griezumos. Lodes svītas uzbūvi sarežģī lūzumi, krokas un sevišķi pelēko, trekno mālu lēcas, kuras iepriekšējo pētījumu autori (Stinkule et al. 2009; Kurshs 1992) uzskata par noslīdeņu depresiju aizpildījumiem. Pastāv arī viedoklis, ka vietām novērojamo slīpo slāņu sagulumu Lodes svītā var izskaidrot ar tektoniskajiem procesiem jau pēc mālu uzkrāšanās (Pontén & Plink-Björklund 2007), bet tas gan netiek pietiekami pamatots.

Šajā pētījumā noskaidrots, ka Lodes svītas nogulumu iedalījums tipos atšķiras atkarībā no veikto pētījumu mēroga. Detalizētie lauka pētījumi un griezuma dokumentācija ļauj labāk izprast urbumos iegūtos datus. Gan iepriekš veikto urbumu datu analīze, gan atseguma dokumentācija parāda, ka raksturīga Lodes svītas nogulumu tipu nomaiņa ir ciklisku treknu mālu un mālainu aleirolītu slāņmija: apakšējā daļa sastāv no biežākiem mālainu aleirolītu slāņiem un reti pelēku vai dzeltenpelēku, treknu mālu slāņiem, bet virzienā uz augšu pieaug treknu mālu slāņņu izplatības biežums un tie iegūst sārta nokrāsu. Mālainie aleirolīti veido līdz 40 cm biežus slāņņus, bet pelēko, trekno mālu kārtiņas pārsvarā nepārsniedz 15 cm biežumu, un dažviet mālainajos aleirolītos tās sastopamas tikai 2–3 cm biežu josliņu veidā.

Līdzīgas slāņmijas kā raksturīgas noslīdeņu depresiju aizpildījumam starp malas zonu un centrālo daļu Lodes svītas griezumā atzīmējuši arī citi autori (Stinkule et al. 2009). Arī 1,35 m biežā treknu mālu un mālainu aleirolītu slāņmija pētītā atseguma augšējā daļā, domājams, veidojusies kā depresijas aizpildījuma pamatne. Šī depresija un tās aizpildījums 2009.–2010. gadā bija labi atsegts uz ziemeļiem no atseguma (3. att.).

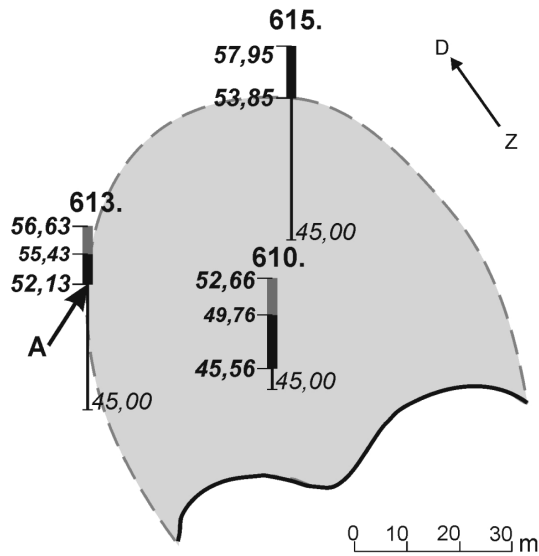


3. att. Depresijas ziemeļu mala 57°23,528' Z pl., 25°24,299' A gar., fotomozaika

Fig. 3. Northern Edge of Depression, 57°23,528' N, 25°24,299' E, Photomosaic

- A – slāņu krituma azimuts 170°, slāņu krituma leņķis 38° (dip azimuth of strata 170°, dip angle of strata 38°)
- B – pētītā atseguma augšējā daļa: treknu mālu un aleirolītu slāņmija (the upper part of documented outcrop: alternation of fine-grained clay and siltstones)

Šīs depresijas garenass vērsta ziemeļu–dienvidu virzienā ar 168–170° krituma azimutu un krituma leņķi 38–45°. Depresijas aizpildījuma ķermenis stiepjas tālāk uz ziemeļiem atradnes nepilnīgi izstrādātajā daļā, kur, balstoties uz raksturīgo granulometrisko sastāvu un krāsu, treknie māli konstatēti arī trīs netālu esošu urbumu griezumos (4. att.). Ziemeļu virzienā depresijas aizpildījuma biežums pieaug. Tādējādi tieši trekno mālu slāņi, lai gan veido depresiju aizpildījumus, kas sarežģīt atradnes uzbūvi, ļauj veiksmīgi korelēt urbumus šo depresiju izplatības robežās.



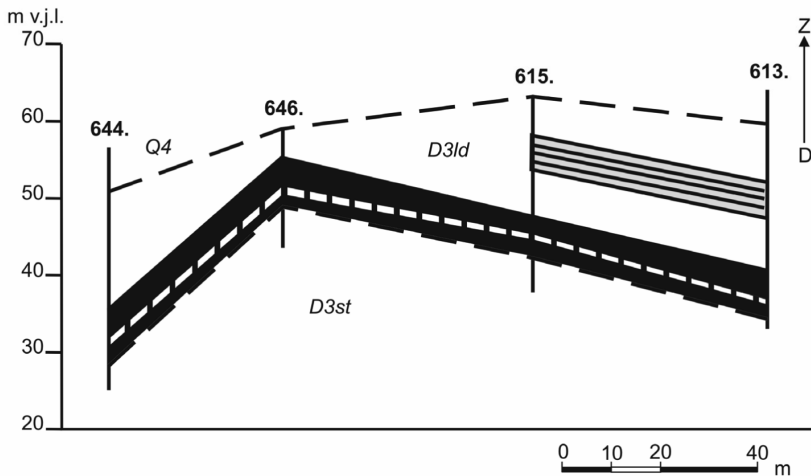
4. att. Pelēko, trekno mālu izplatības shēma pēc urbumu (Mukane i Alekseev 1977) un atsegumu datiem

Fig. 4. Scheme of Distribution of Grey, Fine-Grained Clay Based on Data of Drillings (Mukane i Alekseev 1977) and Exposures

- 610. – urbuma numurs
(number of drilling)
- 45,56 – slāņu absolūtais augstums urbumu griezumos, metri
(altitude of strata in cross-sections of drillings, metres)
- A – dokumentētais atsegums (documented outcrop)
- pelēkie, treknie māli urbumu griezumos
(grey, fine-grained clays in drilling logs)
- pelēkie, treknie māli ar samazinātu māla frakcijas saturu urbumu griezumos
(grey clays with less fine-grained material in drilling logs)
- pelēko, trekno mālu lēcas pamatne (bottom of grey, fine-grained clays lens)
- dabā konstatētā depresijas mala plānā
(documented edge of depression, top view)




Citur Liepas atradnes rietumu daļā korelāciju starp urbumiem iespējams realizēt tikai nelielam skaitam biezu slāņu, kam veiktas individuālas granulometriskās

analīzes. Piemēram, 135 m garā, rietumu–austrumu virzienā vērstā joslā izsekojami izturēti, 2–4 m biezi mālainu aleirolītu slāņi (5. att.).



5. att. Slāņu korelācijas shēma pēc urbumu datiem (Mukane i Alekseev 1977)
rietumu–austrumu virzienā

Fig. 5. Scheme of Strata Correlation Based on Data of Drillings (Mukane i Alekseev 1977)
in Direction From West to East

- 644. – urbuma numurs (*number of drilling*)
- Q_4 – kvartāra nogulumi (*Quaternary deposits*)
- D_{3ld} – Lodes svītas nogulumi (*deposits of the Lode Formation*)
- D_{3st} – Sietiņu svītas nogulumi (*deposits of the Sietini Formation*)
-  pelēki, trekni māli (*grey, fine-grained clays*)
-  mālaini aleirolīti, sarkanbrūni, ar plankumainu tekstūru (*clayey siltstones, reddish brown, with spotty structure*)
-  mālu, aleirolītu un smilšakmeņu slāņmija (*alternation of clays, siltstones and sandstones*)
- — Lodes svītas robežas (*boundaries of the Lode Formation*)

Secinājumi

Lodes svītas nogulumus pēc granulometriskā sastāva var iedalīt vismaz 6 tipos, kuri veido patstāvīgus slāņus.

Liepas mālu atradnes rietumu daļā urbumu griezumus var korelēt, izsekojot depresiju aizpildījuma veidojumus – pelēkos, trekņos mālus, kuri gan izplatīti tikai šo depresiju ietvaros.

Vietām Liepas mālu atradnes rietumu daļā var korelēt 2–4 m biezus mālainu aleirolītu slāņus, kuri pārsedz neviendabīgo Sietiņu svītas virsmu.

Līdzīgs frakciju sadalījums Lodes svītas griezumā var būt sliktas šķīrotības nogulumiežiem ar viendabīgu tekstūru un sīkslāņotiem nogulumiežiem ar izteiktu individuālo kārtiņu miju. Tādēļ griezumu korelācijā jāņem vērā ne tikai nogulumu

granulometriskais sastāvs, bet arī to tekstūru īpatnības, ko ne vienmēr izdodas raksturot urbumu serdēs.

Lodes svītas slāņkopas uzbūves un sastāva noskaidrošanai un slāņu korelācijai pēc urbumu griezumjiem palīdz atsevišķu karjera sienu detalizēta dokumentācija, t. sk. slāņu tekstūru apraksti.

Pateicība

Autori pateicas darba recenzentiem ģeoloģijas doktoriem V. Hodirevai, E. Lukševičam un V. Zelčam par vērtīgajiem ieteikumiem, kas palīdzēja uzlabot šī raksta kvalitāti, kā arī A/S „Lode” vadībai par iespēju veikt pētījumus Liepas mālu atradnē.

LITERATŪRA

- Gaiļīte, L., Hodireva, V., Kuršs, V., Meirons, V., Savvaitova, L., Stinkulis, Ģ., Zabele, A. 1996. *Latvijas nogulumiežu klasifikācijas sagatavošana*. Rīga: LU Ģeoloģijas institūta fonds, 45 lpp.
- Kuršs, V. M. 1975. *Litologiya i poleznie iskopaemie terrigenogo devona Glavnogo polya*. Rīga: Zinatne, 216 (krievu val.).
- Kuršs, V. M. 1992. *Devonskoe terrigenoe osadkonakoplenie na Glavnom devonskom pole*. Rīga: Zinatne, 208 (krievu val.).
- Kuršs, V., Lukševičs, E., Upeniece, I., Zupiņš, I. 1998. Augšdevona klastiskie nogulumi un zivju atliekas Lodes mālu karjerā Latvijā (I daļa). *Latvijas Ģeoloģijas vēstis*, 5., 7.–19. lpp.
- Ļimonova, G. 2007. *Liepas mālu atradnes IV iegulas topogrāfiskais plāns, M 1 : 2 000*. A/S „Lode”.
- Mukane, A., Alekseev, V. 1977. *Otchet o dorazvedke mestorozhdeniya glin Liepa v Cesissskom rajone*. Ministerstvo geologii SSSR. Rīga, 786 (krievu val.). LVGMC fonda inventāra Nr. 09538.
- Ponten, A., Plink-Björklund, P. 2007. Depositional Environments in an Extensive Tide – Influenced Delta Plain, Devonian Baltic Basin. *Sedimentology*, 54, 969–1006.
- Stinkule, A., Stinkulis, Ģ., Blāķe, D. 2009. Latvijas ugunsizturīgo un grūtkūstošo mālu sastāvs, izplatība un veidošanās apstākļi. *Rīgas Tehniskās zinātniskie raksti. Materiālzinātne un lietišķā ķīmija*, 19, 60.–68. lpp.
- Stinkule, A. V. 1977. Glini. V. kn.: Stinkule A. V. (red.) *Mineral'noe sire Latvii dlya promishlennosti stroitel'nih materialov*. Rīga: Zinatne, 57–76 (krievu val.).

Summary

In this study a detailed section of the Devonian sequence was documented in the western part of the Liepa clay pit, and grain-size analysis of each layer of sedimentary rocks has been performed. Data of previously made geological exploration drillings such as cross-sections, descriptions of strata and the results of grain-size analysis have been analysed. Based on the defined types of sedimentary rocks it is possible to correlate the layers in cross-sections partially.

Keywords: *correlation of geological sections, Devonian clay, grain-size composition.*

Baronu HES ūdenskrātuves ietekme uz gruntsūdeņu kvalitāti

Baronu HPP Reservoir Impact on Groundwater Quality

Inga Retiķe

Latvijas Universitāte
Alberta iela 10, Rīga, LV-1010
E-pasts: inga.retike@gmail.com

Pētījuma izstrādes laikā analizēts gruntsūdeņu un upes ūdeņu ķīmiskais sastāvs, lai novērtētu Baronu HES ūdenskrātuves ietekmi uz gruntsūdeņu kvalitāti. Gruntsūdeņu kvalitātes raksturošanai daudzūdens un mazūdens periodos tika mērīts gruntsūdens līmenis. Nepieciešamie fizikālie un ķīmiskie parametri gruntsūdeņos un upes ūdeņos tika iegūti *in situ*, nosakot ātri mainīgos parametrus (EVS, t °C, pH), kā arī laboratorijā, lietojot spektrofotometrisko un titrimetrisko metodi. Pētījumā iegūtie rezultāti ļauj secināt, ka pastāv ūdenskrātuves ietekme uz gruntsūdeņu kvalitāti, kas atšķiras daudzūdens un mazūdens periodos.

Atslēgvārdi: gruntsūdeņu kvalitāte, mazūdens un daudzūdens periodi, spektrofotometriskā metode, titrimetriskā metode, upes ūdeņu kvalitāte, ūdenskrātuve.

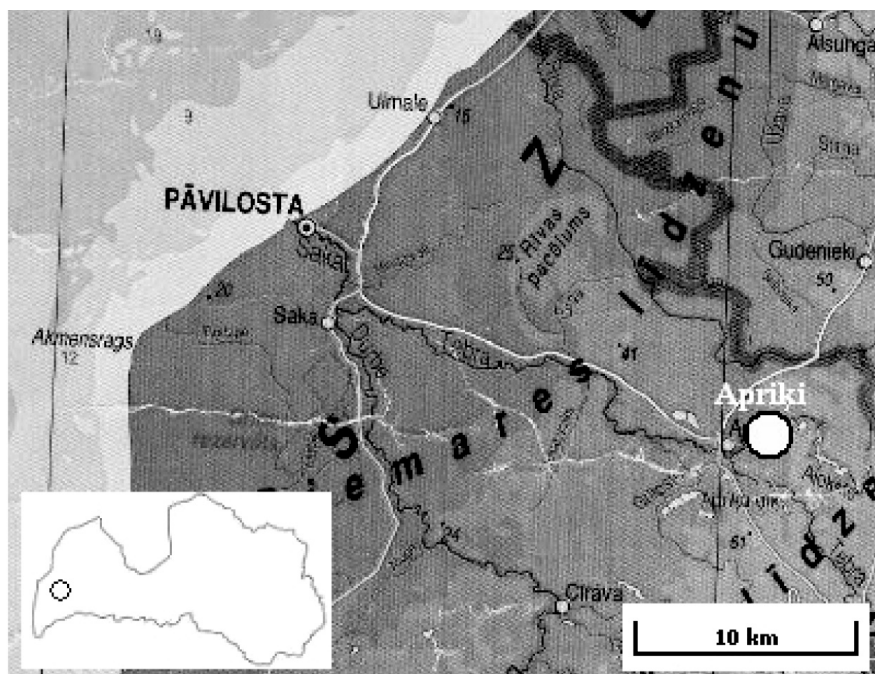
Ievads

Gruntsūdeņu kvalitāti nosaka to dabiskā aizsargātība, kas galvenokārt atkarīga no ģeoloģiskajiem un gruntsūdeņu barošanās apstākļiem (Segliņš 2008), kuri hidrotehnisko būvju celtniecības un ekspluatācijas dēļ var tikt izmainīti (Lebuss 2003; Vides projekti 2005).

Gruntsūdeņu ķīmisko sastāvu nosaka tos veidojošie procesi, un šos procesus var ietekmēt dažādi faktori, kuri mums ir jāapzina, turklāt jāapzina arī šo faktoru mainība dažādos ūdens daudzuma periodos. Mākslīgo ūdenskrātuvju mijiedarbība ar pazemes ūdeņiem tiek samērā plaši pētīta ārvalstīs (Grünberg et al. 2004), bet Latvijā līdzvērtīgu pētījumu pagaidām nav. Lielākajā daļā pētījumu, kas veikti Latvijā, tiek izvērtēta tikai ūdenskrātuves ietekme uz gruntsūdens līmeņa izmaiņām vai pētīta pašas ūdenskrātuves ūdeņu kvalitāte (Lebuss 2003; Vides projekti 2005), bet netiek analizētas un pētītas gruntsūdens kvalitātes izmaiņas, kas notiek, mijiedarbojoties dažādām vidēm, tādēļ izvēlēta pētījuma mērķis ir noteikt ūdenskrātuves ietekmi uz gruntsūdeņu kvalitāti, raksturojot un novērtējot upes ūdeņu un gruntsūdeņu ķīmiskā sastāva izmaiņas un to cēloņus.

Materiāli un metodes

Pētījumiem izvēlēta teritorija atrodas Latvijas rietumu daļā, Liepājas rajona Aizputes novadā (1. att.), Apriķu līdzenuma rietumu daļā (Lažas pagasts 2001). Iepriekš teritorija nav plaši pētīta (Физик 1946).



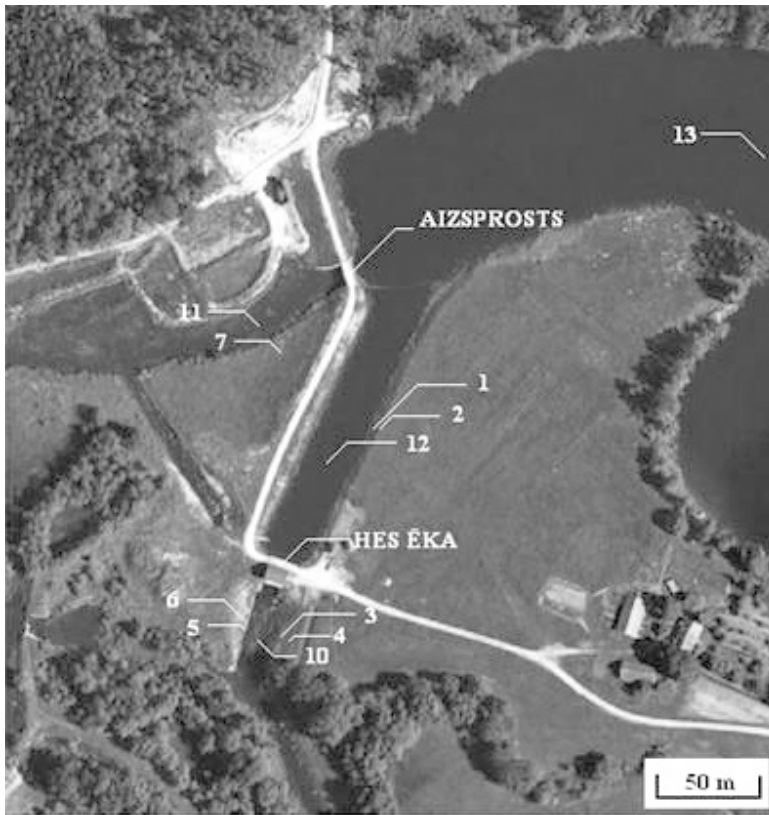
○ Pētījumu teritorija

1. att. Pētījumu teritorijas novietojums
(izstrādāts, izmantojot fiziogēogrāfisko karti)

Fig. 1. Study Site Location
(made using Fiziogēogrāfiskā kartē)

Pētījumu teritorijā ir izplatīti limnoglaciālie nogulumu (lgQ_3ltv) māls, aleirīts un smilts, kas augšbjefā ieguļ 2,5–3,0 m, bet lejasbjefā 1,0–2,0 m dziļumā un ko pārklāj glaciģēnie nogulumu (gQ_3ltv) – morēnas mālsmilts un smilšmāls, to biežums augšbjefā svārstās no 2,5 līdz 3,0 m, bet lejasbjefā no 1,0 līdz 2,0 m (LVGD Kvartārģeoloģija). Lejasbjefā 1,0–1,7 m dziļumā sastopami augšdevona Ogres svītas (D_3og) dolomīti (LVGD Pirmskvartāra), kas vietām atsedzas upes krastos. Vecupes kreiso krastu veido aluviālie nogulumu un morēnas smilšmāls. Gruntsūdens līmenis ūdenskrātuves apkārtnē svārstās no 1,5 līdz 2,0 m, zemāks tas ir upes kreisajā krastā (Физик 1946), un to apstiprina arī pētījuma laikā veiktie zondēšanas darbi un ģeoloģiskie urbumi, kā arī gruntsūdens līmeņa mērījumi izpētes punktos. Pēc autora novērojumiem, krasti lejpus hidrotehniskās būves ir uzbērti, tas ietekmē gruntsūdens ieguluma dziļumu un sekmē apauguma samazināšanos.

Baronu HES ūdenskrātuve (2. att.) atrodas uz Alokstes, 1,8 km no ietekas Tebrā. Alokste ir strauja un līkumaina, un upes ielejā notiek aktīva lauksaimnieciskā darbība. Ūdenskrātuve darbojas dabiska caurplūduma režīmā (Pastors 1994; Elperis 2000).



2. att. Ūdens paraugu ņemšanas vietas (izstrādāts, izmantojot ORTOFOTO 3)

Fig. 2. *Water Sampling Sites* (made using ORTOFOTO 3)

Gruntsūdens paraugi: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7.

Upes ūdens paraugi: 10 (lejasbjefs), 11 (vecupe), 12 (ūdenskrātuve), 13 (pētījumā tiek pieņemts par nosacīti neietekmētu upes ūdeni)

Shallow Groundwater Samples: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7.

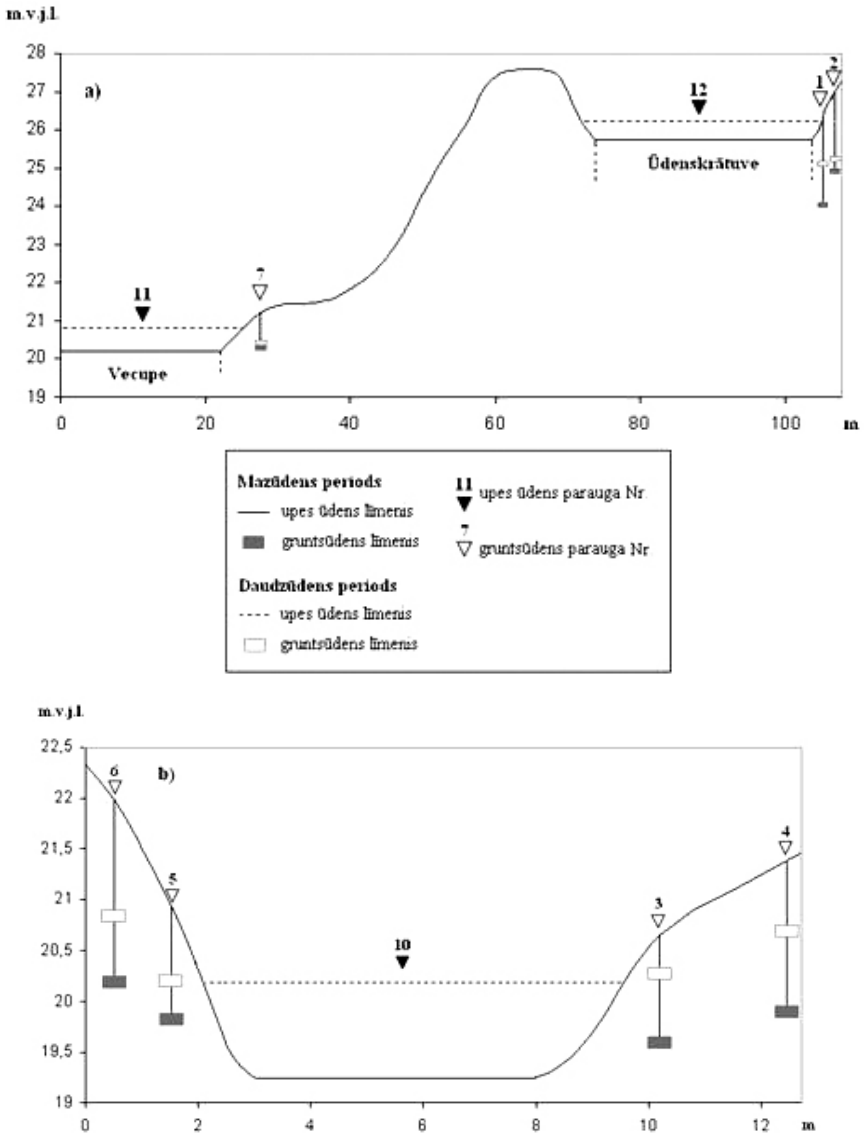
River Water Samples: 10 (downstream the hydrotechnical construction), 11 (oxbow lake),

12 (reservoir), 13 (in study is considered to be relatively not affected river water)

Lauka pētījumi, tajā skaitā ģeoloģisko urbumu ierīkošana, gruntsūdens līmeņa mērījumi un ūdens paraugu ņemšana analizēm tika veikta divreiz – mazūdens periodā 2009. gada 8. augustā un daudzūdens periodā 11. novembrī. Kopumā tika ievākti 22 ūdens paraugi (2., 3. att.), no kuriem 14 tika ņemti no ierīkotajiem urbumiem. 13. paraugs tika ņemts ūdenskrātuvē, 200 m virs aizsprosta, un pētījumā tiek uzskatīts par nosacīti neietekmētu upes ūdeni.

Temperatūra, elektrovadītspēja (EVS) un pH tika noteikti *in situ*, izmantojot firmas HANNA instrumentu *Combo pH/EC/TDS/Temperature HI 98129*. Mērījumu diapazons pH noteikšanai ir 0,00–14,00 pH, EVS noteikšanai 0 līdz 3999 $\mu\text{S}/\text{cm}$, bet temperatūras noteikšanai 0,0 līdz 60,0 °C. Mērījumu precizitāte pH parametram ir $\pm 0,05$ pH, EVS $\pm 2\%$, bet temperatūrai $\pm 0,5^\circ\text{C}$ (Hanna instruments 2010).

Paraugi tika ņemti 1,5 l tīrās plastmasas pudelēs un nogādāti laboratorijā analīžu veikšanai, līdz tam uzglabājot un sagatavojot (filtrējot ar 0,45 μm filtrpapīru) atbilstoši norādēm (Hach 1992).



3. att. Ūdens paraugu ņemšanas vietas, gruntsūdens līmeņu un upes līmeņu izmaiņas mazūdens un daudzūdens periodā a) augšpus hidrotehniskās būves; b) lejāsbfjefs (izstrādāts, izmantojot TOPO 10K PSRS)

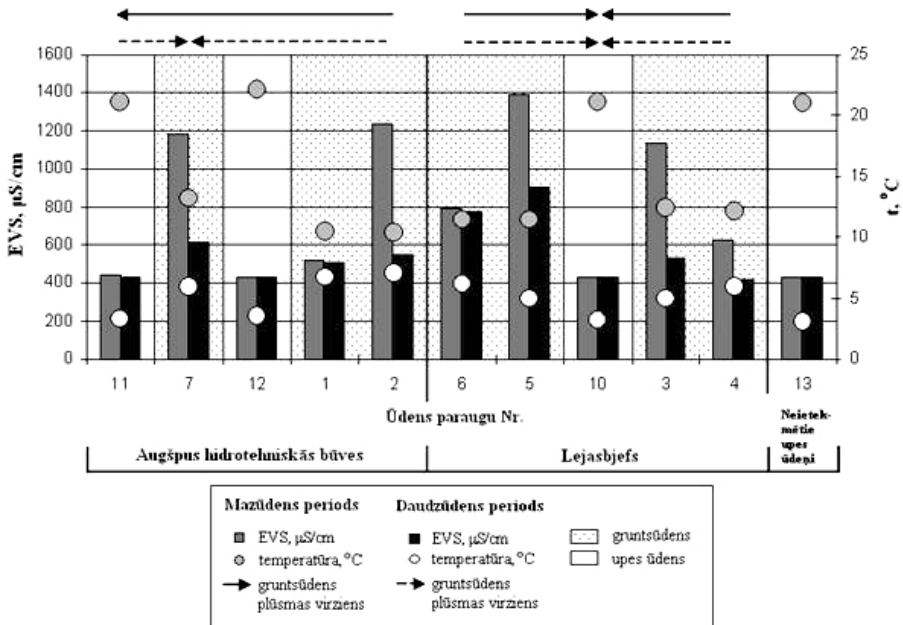
Fig. 3. Water Sampling Sites, Shallow Groundwater and River Water Levels during Low and High Water Period a) Upstream the Hydrotechnical Construction; b) Downstream the Hydrotechnical Construction (made using TOPO 10K PSRS)

Abās pētījuma reizēs, izmantojot spektrofotometrisko analīzes metodi, tika noteikts NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-} , KSP un Fe_{kop} daudzums. Otrajā reizē, izmantojot titrimetrisko metodi (Eaten et al. 2005; Kļaviņš u. c. 2004), papildus tika noteikta kopējā cietība, Ca^{2+} , Mg^{2+} un HCO_3^- daudzums. Spektrofotometriskās analīzes tika veiktas ar firmas *Hach* modeļa 45250 DR/2000 spektrofotometru pēc ražotāja ieteiktās standartmetodikas (Hach 1992).

Rezultāti un analīze

Upes ūdeņu temperatūra gada laikā seko gaisa temperatūrai, bet mazajās upēs to spēcīgi var ietekmēt pieplūstošo pazemes ūdeņu temperatūra (Zīverts 2004). Gruntsūdeņu temperatūra ir tuva teritorijas vidējai ilggadīgajai temperatūrai un ir pakļauta sezonālām svārstībām (Segliņš 2008).

Pētījumā tika noteiktas EVS un temperatūras vērtības mazūdens un daudzūdens periodā, analizētas vērtību izmaiņas atkarībā no gruntsūdens plūsmas virziena (4. att.).



4. att. EVS un temperatūras vērtības mazūdens un daudzūdens periodā

Fig. 4. EC and Temperature Values durig Low and High Water Period

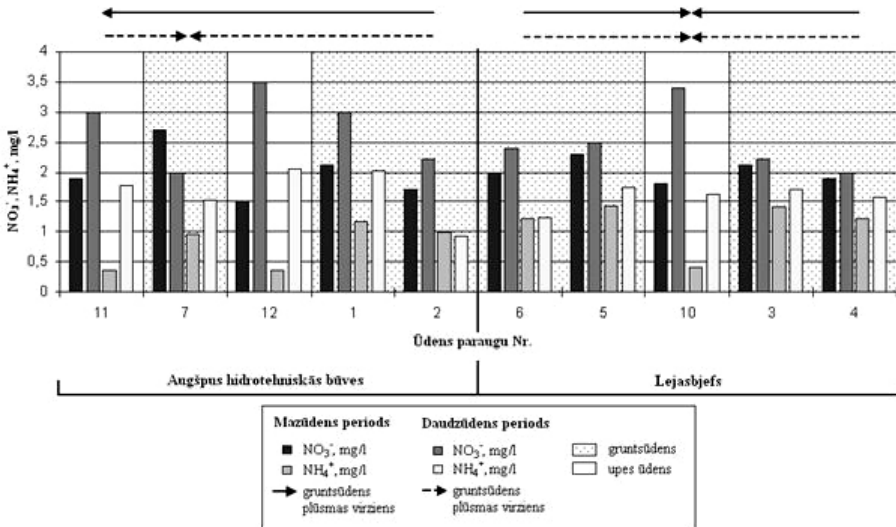
Daudzūdens periodā temperatūra upes ūdeņos variē robežās no 3,1 līdz 3,5 $^{\circ}\text{C}$ (ja gaisa temperatūra ir 4 $^{\circ}\text{C}$), bet mazūdens periodā robežās no 21,0 līdz 22,1 $^{\circ}\text{C}$ (ja gaisa temperatūra ir 27 $^{\circ}\text{C}$). Gruntsūdeņu temperatūra svārstās no 5 līdz 7 $^{\circ}\text{C}$ daudzūdens periodā un no 10,3 līdz 13,2 $^{\circ}\text{C}$ mazūdens periodā. Mazūdens periodā gruntsūdeņu temperatūra samazinās, palielinoties gruntsūdeņu ieguluma dziļumam, bet daudzūdens periodā situācija ir pretēja – gruntsūdeņu temperatūra samazinās,

paaugstinoties gruntsūdens līmenim, jo seklāk iegulošie gruntsūdeņi ātrāk pielāgojas gaisa zemajai temperatūrai. Pētāmajā teritorijā upes ūdeņu un gruntsūdeņu mijiedarbība neietekmē ūdeņu temperatūru. Salīdzinot abus periodus, stabilāka temperatūra vērojama gruntsūdeņos, jo, pateicoties gruntsūdeņu iegulumam, tie lēnāk sasilst un atdziest.

EVS vērtības gruntsūdeņos palielinās, pieaugot to iegulumam dziļumam un ūdens temperatūrai, un tās palielinās gruntsūdens plūsmas virzienā. Daudzūdens periodā, palielinoties nokrišņu daudzumam, gruntsūdeņos ievērojami samazinās EVS vērtības (Pociene et al. 2005), bet upes ūdeņos šādas sakarības vāja izpausme ir novērojama ūdenskrātuvē. Pirmā parauga rezultāti rāda, ka ūdenskrātuves ūdeņu sajaukšanās ar gruntsūdeņiem notiek abos periodos.

Ūdens pH vērtības gruntsūdeņos mazūdens periodā variē robežās no 6,7 līdz 7,8, bet daudzūdens periodā mainās minimāli un variē robežās no 7,03 līdz 7,8. Upes ūdeņos pH vērtības mazūdens periodā ir no 8,04 līdz 8,69, bet daudzūdens periodā – no 7,41 līdz 7,83. ĶSP vērtību pieaugums liecina par organisko vielu koncentrācijas palielināšanos ūdeņos (Eglīte 2007), tāpēc daudzūdens periodā ir novērojama pH vērtību samazināšanās upes ūdeņos. Pazemes ūdeņos pētāmajā teritorijā pH vērtības būtiski ietekmē (paaugstina) karbonātu šķīšana, un tā rezultātā veidojas hidroģenkarbonāti (Kļaviņš et al. 2002).

Daudzūdens periodā, salīdzinājumā ar mazūdens periodu, ūdens paraugos pieaug NO_3^- un NH_4^+ koncentrācija, un abos periodos NO_3^- vērtības ir augstākas nekā NH_4^+ vērtības (5. att.). Mazūdens periodā augstākas NO_3^- un NH_4^+ koncentrācijas ir novērojamas gruntsūdeņos, bet daudzūdens periodā, palielinoties virszemes notecei, augstākas vērtības ir upes ūdeņos.



5. att. Nitrātu un amonija jonu vērtības mazūdens un daudzūdens periodā

Fig. 5. Nitrate and Ammonium Ion Values during Low and High Water Period

* gruntsūdens paraugi

Daudzūdens periodā NH_4^+ vērtība neskartajos upes ūdeņos ir 1,54 mg/l, bet ūdenskrātuvē sasniedz 2,04 mg/l, lejasbjefā un vecupē vērtības attiecīgi ir 1,62 un 1,78 mg/l, kas norāda uz NH_4^+ uzkrāšanos ūdenskrātuvē. Šajā periodā ūdenskrātuvē ir arī augstākā NO_3^- koncentrācija salīdzinājumā ar citiem virszemes ūdeņiem, tomēr būtiska NO_3^- uzkrāšanās ūdenskrātuvē nav novērojama. Mazūdens periodā gruntsūdeņu infiltrācijas dēļ lejasbjefā upes ūdeņos un vecupes ūdeņos paaugstinās NO_3^- vērtības, bet NH_4^+ vērtības gruntsūdeņu ieplūde ietekmē minimāli, jo NH_4^+ ir katjons un tiek sorbēts augsnē un gruntsūdens horizontā.

Stabilākas NO_3^- un NH_4^+ vērtības gruntsūdeņos daudzūdens un mazūdens periodā nosaka to piederība pie pazemes ūdeņiem. Lejasbjefā, samazinoties apauguma blīvumam, gruntsūdeņos paaugstinās NH_4^+ koncentrācija. Ūdenskrātuves ietekmes dēļ daudzūdens periodā augšpus hidrotehniskās būves pirmajā paraugā ir paaugstināta NO_3^- un NH_4^+ koncentrācija.

ĶSP vērtības gruntsūdeņos mazūdens periodā svārstās robežās no 10 līdz 17 mg/l, bet daudzūdens periodā – no 10 līdz 48 mg/l. Augstākās ĶSP vērtības daudzūdens periodā saistītas ar ūdenskrātuves un gruntsūdeņu sajaukšanos, bet mazūdens periodā vērtības nosaka galvenokārt ģeoloģiskie apstākļi – morēnas un mālu klātbūtne (Pociene et al. 2005). Upes ūdeņos ĶSP vērtības mazūdens periodā ir no 7 līdz 10 mg/l, bet daudzūdens periodā – no 39 līdz 49 mg/l. Augsto ĶSP koncentrāciju upes ūdeņos veido virszemes notece no lauksaimniecības un mežu teritorijām, un rezultāti liecina, ka organiskās vielas tiek aizturētas ūdenskrātuvē. Palielinoties ĶSP koncentrācijai, attiecīgi mainās arī NO_3^- un NH_4^+ vērtība, jo NH_4^+ galvenokārt ūdeņos nonāk, sadaloties organiskajām slāpekli saturošajām vielām, un nitrifikācijas procesa rezultātā veidojas NO_3^- (Kļaviņš u. c. 2004).

Vietas ģeoloģiskā uzbūve nosaka augstās kopējās cietības, Ca^{2+} , Mg^{2+} un HCO_3^- vērtības ūdeņos (1. tab.), bet gruntsūdeņos, salīdzinājumā ar virszemes ūdeņiem, augstākas šo parametru vērtības nosaka paaugstināta CO_2 koncentrācija, kas veicina karbonātiežu šķīšanu (Kļaviņš u. c. 2004). Lejasbjefā zemes virspusē atsedzas dolomīti un vērojamas augstākas kopējās cietības, Ca^{2+} , Mg^{2+} un HCO_3^- vērtības upes ūdeņos salīdzinājumā ar ūdenskrātuvi un vecupi, tomēr augstas vērtības ir novērojamas arī neietekmētajos upes ūdeņos, un tas liecina par karbonātiežu klātbūtni visā upes sateces baseinā. Gruntsūdeņos visu iepriekš minēto parametru vērtības palielinās gruntsūdens plūsmas virzienā un ir augstākas nekā upes ūdeņos. Ūdenskrātuves ietekme uz gruntsūdeņiem novērojama pirmajā paraugā, un tā samazina kopējās cietības, Ca^{2+} , Mg^{2+} un HCO_3^- koncentrāciju gruntsūdeņos.

Viszemākās NO_2^- , PO_4^{3-} un Fe_{kop} vērtības mazūdens periodā ir upes ūdeņos, bet daudzūdens periodā – gruntsūdeņos. NO_2^- vērtības ūdeņos mazūdens periodā svārstās no 0,006 līdz 0,017 mg/l, PO_4^{3-} no 0,01 līdz 0,04 mg/l un Fe_{kop} – no 0,06 līdz 0,15 mg/l. Daudzūdens periodā NO_2^- vērtības ūdeņos ir no 0,07 līdz 0,02 mg/l, PO_4^{3-} – no 0,01 līdz 0,03 mg/l, bet Fe_{kop} vērtības svārstās no 0,09 līdz 0,25 mg/l. NO_2^- vērtības ūdeņos nav augstas, jo baktēriju klātbūtnē nitrījoni tiek ātri oksidēti par nitrātijoniem (Hach 1992). PO_4^{3-} tiek ātri sorbēti pašā augsnē (Wiatkowski et al. 2009), tādēļ ūdens paraugos vērtības ir mazas un, samazinoties apaugumam, vērojama PO_4^{3-} vērtību palielināšanās. Kopējās dzelzs vērtības ir nelielas, to galvenokārt nosaka ģeoloģiskie apstākļi (Kļaviņš u. c. 2004). Rezultāti liecina, ka, pieaugot ĶSP

vērtībām, palielinās kopējās dzelzs vērtības, ko varētu ietekmēt organisko vielu spēja saistīt dzelzs savienojumus (Eglīte 2007).

Tabula

Kopējās cietības, kalcija, magnija un hidrogēnkarbonātu jonu vērtības daudzūdens periodā

Total Hardness, Calcium, Magnium and Hydorgencarbonate Ion Values during High Water Period

	Ūdens paraugu Nr.	Kopējā cietība, mg/l	Ca ²⁺ , mg/l	Mg ²⁺ , mg/l	HCO ₃ ⁻ , mg/l
Augšpus hidrotehniskās būves	11	4,62	64,61	16,94	261,25
	7*	6,73	94,32	24,61	363,32
	12	4,77	64,41	18,87	258,82
	1*	5,72	79,76	21,17	346,31
	2*	6,65	96,11	22,5	391,27
Lejasbjefs	6*	9,07	126,22	33,76	375,47
	5*	10,67	170,49	41,58	477,54
	10	4,85	68,39	17,42	263,68
	3*	5,25	71,19	20,69	331,73
	4*	3,72	52,64	13,31	256,37
Neietekmētie upes ūdeņi	13	4,71	69,19	15,24	266,11

NO₂⁻, PO₄³⁻ un Fe_{kop} vērtības ir zemas un mainās maz vai variē metodes pieļaujamās kļūdas robežās, tādēļ līdzīgos pētījumos neieteiktu izmantot šos parametrus virszemes un pazemes ūdeņu mijiedarbības noteikšanai vai analīzei.

Diskusija

Rezultāti liecina, ka visu parametru vērtības gruntsūdeņos palielinās gruntsūdens plūsmas virzienā. Izņēmumi ir saistīti ar virszemes ūdeņu un gruntsūdeņu sajaukšanos, ko līdzīgā pētījumā, nosakot pazemes ūdeņu un upes ūdeņu mijiedarbību, secinājuši arī citi autori (Baskaran et al. 2009). Izņēmumi skaidrojami arī ar mazām parametra vērtībām (NO₂⁻, PO₄³⁻ un Fe_{kop}), kuras maz svārstās vai svārstās izvēlētās metodes pieļaujamās kļūdas robežās.

Veiktie pētījumi apstiprināja, ka daudzūdens periodā, palielinoties nokrišņu daudzumam un virszemes notecei, ūdeņos paaugstinās biogēno elementu un ĶSP vērtības, bet samazinās EVS, temperatūras un pH vērtības (Baskaran et al. 2009; Kļaviņš u. c. 2004). Morēnas un dolomītu klātbūtne nosaka augstas kopējās cietības, Ca²⁺, Mg²⁺, HCO₃⁻ un EVS vērtības ūdeņos pētāmajā teritorijā, kā arī ietekmē ūdenskrātuves mijiedarbības apmērus ar gruntsūdeņiem.

In situ iegūtās temperatūras vērtības jau lauka apstākļos ļauj noteikt ūdeņu piederību pie pazemes vai virszemes ūdeņiem. Zināms, ka mazajās upēs pieplūstošie gruntsūdeņi var būtiski ietekmēt ūdeņu temperatūru upē (Ziverts 2004), tomēr

pētījums liecina, ka ģeoloģiskie apstākļi pētījuma teritorijā nepieļauj strauju ūdeņu ar atšķirīgu temperatūru sajaukšanos, tāpēc ne gruntsūdeņu pieplūde, ne sajaukšanās ar ūdenskrātuves ūdeņiem neietekmē ūdeņu temperatūru un līdzīgos pētījumos neieteiktu šo parametru izmantot ūdeņu mijiedarbības noteikšanai.

Arī citi pētnieki (Dash et al. 2010; Pociene et al. 2005; Sainato et al. 2003) ir novērojuši sakarību, ka, pieaugot gruntsūdens ieguluma dziļumam, palielinās ūdeņu vertikālās infiltrācijas ilgums, kas paaugstina elektrovadītspējas vērtības. Tomēr, kā rāda pētījums, EVS vērtības pētāmajā teritorijā vairāk palielinās gruntsūdens plūsmas virzienā un mazāka nozīme ir ieguluma dziļumam, jo reljefs un ģeoloģiskie apstākļi apgrūtina vertikālo infiltrāciju.

Pētāmajā teritorijā NH_4^+ vērtības gruntsūdeņos ir zemākas salīdzinājumā ar NO_3^- vērtībām, to nosaka ģeoloģiskā uzbūve un procesi augsnē. NH_4^+ ir katjoni, tādēļ tie adsorbējas augsnē un uz bezakmens mālu slāņa, pa kuru plūst gruntsūdeņi, un to savos pētījumos atzīmē arī citi autori (Lee et al. 2005; Pociene et al. 2005). Bioloģiskajos procesos augi un mikroorganismi NH_4^+ patērē lielākos daudzumos nekā NO_3^- , tādēļ, kā secinājuši arī citi pētnieki (Jampeetong et al. 2008; Jones et al. 2004), izmainoties apauguma blīvumam, attiecīgi izmainās arī NH_4^+ koncentrācija gruntsūdeņos. Nitrifikācijas procesa beigu produkts ir NO_3^- , tāpēc šo jonu daudzums ūdeņos, salīdzinājumā ar NH_4^+ daudzumu, ir augstāks, ja vien nav novērojams nesens piesārņojums (Mežaraups 1995). Jau pētījumā, kas veikts 2000. gadā Baronu ūdenskrātuvē (Elperis 2000), ir norādīts, ka NH_4^+ saturs virszemes ūdeņos var pārsniegt pieļaujamās normas. Tomēr pētījuma rezultāti liecina, ka daudzūdens periodā NO_3^- koncentrācija ir vairākkārt paaugstinājusies salīdzinājumā ar 2000. gadā veikto pētījumu. To varētu skaidrot ar minerālmēsļu intensīvu izmantošanu lauksaimniecībā pēdējo desmit gadu laikā (Wiatkowski et al. 2009).

Pētījumā iegūtie rezultāti ļauj secināt, ka gruntsūdeņu kvalitāti pētāmajā teritorijā ietekmē tādi faktori kā vietas ģeoloģiskie apstākļi, nokrišņu intensitāte un virszemes notece, bioloģiskie procesi, kā arī reljefs un sajaukšanās ar virszemes ūdeņiem. Mazūdens periodā par ūdenskrātuves mijiedarbību ar gruntsūdeņiem liecina tikai EVS vērtības, bet daudzūdens periodā uz to norāda arī biogēno elementu un K_{SP} vērtības. Lai gan teritorijas ģeoloģiskie apstākļi nosaka augstu gruntsūdeņu dabisko aizsargātību (Dēliņa 2007), tomēr ūdenskrātuves negatīvā ietekme uz gruntsūdeņiem novērojama divu līdz četrus metrus attālumā no ūdenskrātuves. Lejasbjefa gruntsūdeņi nav pakļauti ūdenskrātuves ietekmei, to nosaka reljefs, tomēr ūdenskrātuve ietekmē ūdeņu kvalitāti lejasbjefa upes ūdeņos, kā arī vecupē, kas savukārt daudzūdens periodā, sajaucoties ar gruntsūdeņiem, ietekmē gruntsūdeņu kvalitāti.

Pateicība

Pētījums veikts ar ES struktūrfondu projekta (vienošanās Nr. 2009/0212/1DP/1.1.1.2.0/09/APIA/VIAA/060) daļēju atbalstu. Pētījuma tapšanā autore izsaka pateicību Aijai Dēliņai, Alisei Babrei, Konrādam Popovam un Mārtiņam Preimanim, kuri dalījās savās zināšanās un sniedza atbalstu lauku darbos, kā arī Artim Blāķim par doto iespēju veikt pētījumus Baronu HES.

LITERATŪRA

- Baskaran, S., Ransley, T., Brodie, R. S., Baker, P. 2009. Investigating Groundwater-River Interactions using Environmental Tracers. *Australian Journal of Earth Sciences*, 56, 13–19.
- Dash, R. R., Bhanu Prakash, E. V. P., Kumar, P., Mehrotra, I., Sandhu, C., Grischek, T. 2010. River Bank Filtration in Haridwar, India: Removal of Turbidity, Organics and Bacteria. *Hydrogeology Journal*, 18 (4), 973–983.
- Dēliņa, A. 2007. *Kvartārsegas pazemes ūdeņi Latvijā*. Rīga: Latvijas Universitāte, 52 lpp.
- Eaten, A. D., Franson, M. A. 2005. *Standard methods for Examination of Water and Wastewater*. 21st edition. Washington, American Public Health Association.
- Eglīte, L. 2007. *Humusvielas, to mijiedarbība ar augsni veidojošiem komponentiem un humusvielu imobilizācija*. Rīga: LU Akadēmiskais apgāds, 3.–30. lpp.
- Fizioģeogrāfiskā karte. Karšu izdevniecības „Jāņa sēta” fizioģeogrāfiskā karte mērogā 1 : 400 000. LU ĢZZF WMS. Pieejams: <http://kartes.geo.lu.lv> (sk. 01.10.2010.)*
- Grunber, O., Montroroi, J. P., Nasri, S. 2004. *Quantification of Water Exchange between a Hill Reservoir and Groundwater using Hydrological and Isotopic Modelling* (El Gouazine, Tunisia). *Comptes Rendus Geosciences*, 336(16), 1453–1462.
- Hach company. 1992. *Hach Water Analysis Handbook*. 2nd edition. Colorado, Loveland.
- Hanna instruments. 2010. *Combo pH/EC/TDS/Temperature Tester with Low Range EC*. Pieejams: <http://www.hannainst.com/> (sk. 20.10.2010.)
- Jampeetong, A., Brix, H. 2008. Effects of NH_4^+ Concentration on Growth, Morphology and NH_4^+ Uptake Kinetics of *Salvinia Natans*. *Ecological Engineering*, 35(5), 695–702.
- Jones, D. L., Healey, J. R., Willet, V. B., Farrar, J. F., Hodge, A. 2005. Dissolved Organic Nitrogen Uptake by Plants – an Important N Uptake Pathway? *Soil Biology and Biochemistry*, 37(3), 413–423.
- Kļaviņš, M., Cimdiņš, P. 2004. *Ūdeņu kvalitāte un tās aizsardzība*. Rīga: LU Akadēmiskais apgāds, 204 lpp.
- Kļaviņš, M., Rodinovs, V., Kokorīte, I. 2002. *Chemistry of Surface Waters in Latvia*. Rīga: University of Latvia, 285.
- Kokorīte, I. 2007. *Latvijas virszemes ūdeņu ķīmiskais sastāvs un to ietekmējošie faktori*. Rīga: LU Akadēmiskais apgāds, 193 lpp.
- Lažas pagasts. 2001. Grām.: enciklopēdija *Latvijas pagasti: Latvijas novadi, pilsētu un novadu lauku teritorijas: enciklopēdija*. Iltnera A. (red.) 1. sēj., 565.–569. lpp.
- Lebuss, R. 2003. *Mazās HES Latvijā un to ietekme uz vidi*. Pasaules Dabas fonds, 20 lpp. Pieejams: http://www.pdf.lv/doc_upl/hesu_gramata.pdf?PHPSESSID=7854f825 (sk. 20.05.2010.)
- Lee, M. S., Lee, K. K., Hyun, Y., Celment, T. P., Hamilton, D. 2005. Nitrogen Transformation and Transport Modeling in Groundwater Aquifers. *Ecological Modelling*, 199(1–2), 143–159.
- Mežaraups, G. 1995. *Ūdeņi un to ķīmiskā kontrole*. Rīga: Mācību grāmata, 44 lpp.
- LVG D Kvartārģeoloģija. *Valsts Ģeoloģijas dienesta kvartāra nogulumu karšu mozaīka mērogā 1 : 200 000*. LU ĢZZF WMS. Pieejams: <http://kartes.geo.lu.lv> (sk. 20.05.2010.)
- LVG D Pirmskvartāra. *Valsts Ģeoloģijas dienesta pirmskvartāra nogulumu karšu mozaīka mērogā 1 : 200 000*. LU ĢZZF WMS. Pieejams: <http://kartes.geo.lu.lv> (sk. 20.05.2010.)
- ORTOFOTO 3. *LĢIA Latvijas 3. etapa ortofoto karšu mozaīka*. LU ĢZZF WMS. Pieejams: <http://kartes.geo.lu.lv> (sk. 01.01.2010.)

- Pastors, A. 1994. Alokste. Grām.: *Latvijas daba: enciklopēdija*, 1. sēj., red. Kavacs, G. Rīga: Preses nams, 45. lpp.
- Pociene, A., Pocius, S. 2005. Relationship between Nitrate Amount in Groundwater and Natural Factors. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 13(1), 23–30.
- Sainato, C., Galindo, G., Pomposiello, C., Malleville, H., Abelleira, D., Losinno, B. 2003. Electrical Conductivity and Depth of Groundwater at the Pergamino Zone (Buenos Aires Province, Argentina) through Vertical Electrical Soundings and Geostatistical Analysis. *Journal of South American Earth Sciences*, 16(2), 177–186.
- Segliņš, V. 2008. Pazemes ūdeņi – to aizsardzība un izmantošana. Grām.: *Vides zinātne*. Rīga: LU Akadēmiskais apgāds, 230.–251. lpp.
- TOPO 10K PSRS. *Bijušās PSRS armijas Ģenerālštāba topogrāfisko karšu mozaīka mērogā 1 : 10 000*. LU ĢZZF WMS. Pieejams: <http://kartes.geo.lu.lv> (sk. 01.10.2010.)
- Vides projekti, SIA. 2005. *Mazo hidroelektrostaciju darbības izvērtējums*. Rīga, 30 lpp.
- Zīverts, A. 2004. *Hidroloģija. Ievads un hidroloģiskie aprēķini*. Jelgava: LLU, 103 lpp.
- Wiatkowski, M., Paul, L. 2009. Surface Water Quality Assessment in The Troja River Catchment in the Context Włodzienin Reservoir Construction. *Polish Journal of Environmental Studies*, 18(5), 923–929.

NEPUBLICĒTIE AVOTI

Elperis, T. 2000. *Ūdenstilpes ekspluatācijas noteikumi*. VU „Meliorprojekts”.

Физик, Ф. М. 1946. *Инженерно-геологическое исследование района подпорного сооружения на реке Алоксте у Априку Айзпутского уезда*. Рига, nr. 01477.

Summary

In this study shallow groundwater and river water chemical analysis has been accomplished, to describe Baronu HPP reservoir impact on shallow groundwater quality. Groundwater level measurements were made and river water and shallow groundwater physical and chemical parameters (EC, t° , pH) in situ were determined, chemical parameter analysis, using spectrophotometric and titrimetric methods, was conducted during low water and high water periods, to analyse their changes and reasons in great detail. The results show that reservoirs have a negative influence on groundwater quality during high water periods.

Keywords: *low water and high water periods, reservoir, river water quality, shallow groundwater quality, spectrophotometric method, titrimetric method.*

Mūsdienu paleontoloģija: 3. Starptautiskā paleontoloģijas kongresa materiālu analīze

Contemporary Paleontology: Analysis of the Materials of the 3rd International Paleontology Congress

Ervīns Lukševičs,¹ Ligita Lukševiča²

¹ LU Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte
Raiņa bulv. 19, Rīga, LV-1586
E-pasts: ervins.luksevics@lu.lv

² Latvijas Dabas muzejs
K. Barona iela 4, Rīga, LV-1050
E-pasts: ligita.luksevica@ldm.gov.lv

Pateicoties fascinējošiem fosiliju jaunatklājumiem, jauno tehnoloģisko paņēmieni izmantošanai un pieaugošai sabiedrības interesei, paleontoloģija piedzīvo ļoti strauju attīstību. Mainās arī citu zinātņu pārstāvju viedoklis par šīs nozares nozīmi, vērtējot seno organismu ietekmi uz Zemes attīstību dažādos pagātnes laikposmos. Pēdējā laikā paleontoloģiskos pētījumus arvien spilgtāk izpaužas to starpdisciplinārais raksturs, kas atspoguļojas arī ziņojumos, kuri iekļauti trešā starptautiskā paleontologu kongresa darbā, un raksturo paleontoloģijas stāvokli mūsdienās.

Atslēgvārdi: mūsdienu paleontoloģija, dabaszinātnes, vispārīgā paleontoloģija, ģeobioloģija.

Paleontoloģija ir zinātne, kas pētī seno organismu atliekas – organiskās izcelsmes pārakmeņojumus jeb fosilijas. Nosaukumu „paleontoloģija” (παλαιος, grieķu valodā salikta daļa ar nozīmi ‘sens’; ov, ovτος – ‘esošais’ vai ‘būtne’; λογος – ‘mācība’) 1822. gadā piedāvājis franču zoologs A. M. D. Deblenvils (*d'Blainville*); tulkojumā tas nozīmē ‘zinātne par senajām būtnēm’. Tādējādi paleontoloģija ir ģeoloģiskās pagātnes bioloģija (plašā nozīmē), bet, kā savulaik atzīmējis Krievijas ZA akadēmiķis A. Borisjaks (Sokolov 1998), paleontoloģija ir „bioloģijas nemīlamā meita, ģeoloģijas kalpone”. Kā patstāvīga disciplīna paleontoloģija ir noformējusies 18. gadsimta sākumā, un kopš tā laika ilgažās diskusijās nostiprinājies viedoklis par paleontoloģiju kā atsevišķu zinātņu ar savu specifisko pētījumu objektu un savām īpašajām pētījumu metodēm. Strikti akadēmiskā nozīmē paleontoloģijai jābūt iekļautai bioloģijas nozarē, bet realitātē praktiski visur, arī Latvijā, paleontologu sagatavošana notiek ģeoloģijas vai Zemes zinātņu fakultātēs ģeoloģijas programmās; paleontoloģiskie pētījumi tāpat attīstās lielākoties saistībā ar ģeoloģiju. Šāda situācija ir skaidrojama ar pētījumu materiālu iegūšanu ģeoloģiskos darbos, kuru dokumentācijai ir ģeoloģisks raksturs, saistīts ar atradumu izvietojumu griezumā un nogulumu veidošanās apstākļiem, bet fosiliju pētījumu rezultāti galvenokārt svarīgi pētāmās teritorijas

ģeoloģiskās uzbūves un ģeoloģiskās vēstures izzināšanai. Tomēr, ņemot vērā fosiliju kā bioloģisko objektu dabu, paleontoloģiskā materiāla pētījumos ir ļoti svarīga laba bioloģiskā sagatavotība; turklāt šajos pētījumos izdarītie secinājumi tālu pārsniedz ģeoloģisko pētījumu intereses. Šie secinājumi un specifiskie pētījumi arī veido mūsdienu paleontoloģijas bāzi, nosaka paleontoloģijas patstāvību un īpašu vietu starp tām zinātnēm, kuras pēta Zemes ģeoloģisko un bioloģisko pagātņi (Sokolov 1998). Paleontoloģijas stāvokli mūsdienās vērtē gan ļoti atšķirīgi: daži tai atvēl goda vietu starp visām dabaszinātnēm (Kudrjashova 2002); zinātnes jomu klasifikācijā (*Frascati* rokasgrāmatā; anonīms 2007) paleontoloģija ir iekļauta dabaszinātņu Zemes un ar to saistīto vides zinātņu jomā kā patstāvīga zinātnes nozare blakus mineraloģijai, ģeoloģijai un dabas ģeogrāfijai, bet Latvijas Zinātnes padomes zinātņu nozaru un apakšnozaru sarakstā paleontoloģija nav iekļauta vispār!

Paleontoloģisko objektu daudzveidības un to specifisko īpatnību dēļ paleontoloģija izmanto visai plašu metožu un paņēmienu klāstu un paleontoloģiskie pētījumi norisinās daudzos virzienos. Laika ritumā ir izveidojušās un nostiprinājušās vairākas apakšnozares, tomēr vienota vai vispārpieņemta apakšnozaru un pētījumu virzienu klasifikācija nepastāv, dažādi autori grupē tos pēc atšķirīgiem kritērijiem. Taču tradicionāli visu paleontoloģisko pētījumu daudzveidību reducē līdz ierobežotam apakšnozaru skaitam, ekstremālos gadījumos pat tikai līdz divām apakšnozarēm, piemēram, izšķirot īsto fosiliju paleontoloģiju un paleoīhnoloģiju (Baucon 2010). Viens no veidiem, kā noskaidrot paleontoloģijas apakšnozaru un pētījumu virzienu daudzveidību, ir paleontoloģisko publikāciju un atslēgvārdu analīze, kas varētu prasīt ievērojamas pūles un būtu visai darbietilpīga, ņemot vērā paleontoloģijas tematikai veltīto zinātnisko žurnālu un krājumu skaitu. Citi veidi pamatojas uz specializācijas kodu analīzi pētniecības iestādēs un biedrībās (Plotnick 2008). Pēc R. Plotņika datiem (2008), Amerikas Ģeoloģijas institūta Zemes zinātņu direktorijas datubāzē 2008. gadā ir bijušas iekļautas 11 paleontoloģiskās „specialitātes”: vispārīgā paleontoloģija, paleostrateģogrāfija (parasti tiek dēvēta par biostrateģogrāfiju), mikropaleontoloģija, paleobotānika, palinoloģija, kvantitatīvā paleontoloģija, mugurkaulnieku paleontoloģija, bezmugurkaulnieku paleontoloģija, paleobioloģija, paleoekoloģija un paleoklimatoloģija, ģeobioloģija. Veiksmīgs varētu izrādīties tāds veids kā pārskats par ziņojumu daudzveidību reprezentatīvos paleontologu saietos, pie kuriem jāpieskaita paleontoloģijas kongresi. Šī raksta mērķis ir sniegt vispārēju pārskatu par paleontoloģijas stāvokli mūsdienās, analizējot referātus, kas bija iekļauti 3. Starptautiskā paleontoloģijas kongresa darbā (International Palaeontological Congress 2010).

Sākotnējā paleontoloģijas attīstības posmā pētījumu galvenie virzieni bija saistīti ar sistemātikas un taksonomijas veidošanu un aptvēra ģeoloģiskās pagātnes bioloģiskās daudzveidības izzināšanu un organismu formu aprakstīšanu, pagātnes dzīvības formu radniecības noskaidrošanu un taksonomisko grupu sakārtošanu dzīvo organismu sistēmā. Tādējādi senākā un par tradicionālo uzskatāma ir taksonomisko pētījumu joma, kas aptver pagātnes organismu daudzveidības un sistemātikas, reģionālo faunu un floru studijas. Ņemot vērā dažādu organismu grupu atšķirības, jau paleontoloģijas sākotnē noformējušās tādas apakšnozares kā mugurkaulnieku un bezmugurkaulnieku paleontoloģija jeb paleozooloģija un paleobotānika, bet mikropaleontoloģija radusies krietni vēlāk.

Kopš paleontoloģijas sākotnes svarīga nozīme ir bijusi biostratigrāfiskiem pētījumiem, kas izzīmēja paleobioloģisko procesu pētījumu jomas sākotnējās aprises. Biostratigrāfija pēta slāņoto ģeoloģisko veidojumu vecumu pēc tajos ieslēgtajām fosilijām. Apmēram 20. gadsimta 20. gados izveidojusies paleobioģeogrāfija, kas pētī seno organismu telpiskās izplatības likumsakarības. Pagājušā gadsimta 40. gadu beigās likti pamati tafonomijai – specifiskai paleontoloģijas apakšnozarei, kas pētī organismu pāreju no biosfēras litosfērā jeb fosilizācijas procesus. 20. gadsimta beigās pastiprinātu uzmanību pievērsa filoģenētiskiem pētījumiem, noskaidrojot dažāda ranga organismu grupu savstarpējās radniecības attiecības un būvējot ciltskokus. Aktīvi attīstās paleoehnoloģija – paleontoloģijas un sedimentoloģijas robežzinātne, kas pētī dzīvnieku pēdu nospiedumus un ejas, un šos pētījumus dažkārt dēvē par „pārakmeņotās uzvedības” pētījumiem.

Patstāvīga seno bioloģisko sistēmu pētījumu joma pēc to organizācijas līmeņa atdalījies no tīri taksonomisko pētījumu jomas nedaudz vēlāk nekā paleobioloģisko procesu pētījumu joma. Kopš pagājušā gadsimta vidus liela nozīme ir gan paleoekoloģiskiem un paleobioģeoķīmiskiem pētījumiem, kas aptver organizācijas līmeņus (populācijas, ekosistēmas un biosfēru kopumā), kuri ir augstāki par indivīdu, gan mikrostrukturās un histoloģiskiem pētījumiem, kas apskata organismu īpatnības audu un šūnu līmenī. Samērā vēlu noformējušās tādas apakšnozares, kas saistītas ar pirmskembriju biotu, organisko molekulu (molekulārā paleontoloģija), baktēriju, neparasto (ekstraordināri saglabājušos) biotu pētījumiem.

3. Starptautiskais paleontoloģijas kongress norisinājās Londonā no 2010. gada 28. jūnija līdz 3. jūlijam. To organizēja Paleontoloģijas asociācija sadarbībā ar Starptautisko paleontoloģijas asociāciju, Dabaszinātnisko muzeju, Paleontogrāfijas biedrību un Mikropaleontoloģijas biedrību.¹ Kongresa darbā piedalījušies 50 valstu pārstāvji no visiem kontinentiem, tajā skaitā arī divi Latvijas paleontologi. Kopējais dalībnieku skaits (783) gan ir bijis nedaudz mazāks nekā iepriekšējā kongresā, kas pirms četriem gadiem notika Pekinā, tomēr uzskatāms par visai reprezentatīvu. Piecās dienās ļoti daudzveidīgā programmā izskanējuši 516 mutiski ziņojumi, kā arī prezentēti 217 stenda referāti. Daudzo sekciju darbs norisinājās vienlaikus, tomēr zināmu ieskatu mūsdienu paleontoloģijā var sniegt gan ziņojumu sadalījums sekcijās, gan to tematika.

Kongresa darbs ir bijis organizēts 26 tematiskās sekcijās un 10 semināros. Apmēram trešā daļa ziņojumu bijusi pieejama stenda referātu sekcijā, kur referāti tika nomainīti katru dienu atbilstoši tematisko sekciju plānojumam. Sekciju organizācija daļēji atbilda tradicionāli apskatāmajām apakšnozarēm, piemēram, tādām kā „Funkcionālā morfoloģija”, „Tafonomija” un „Vispārīgā paleontoloģija”; daļa vel tīta taksonomiski daudzveidīgajām vai nozīmīgajām grupām, piemēram, sekcijas „Brahiojadi”, „Devona gliemenes”, „Mugurkaulnieki”, „Paleobotānika”. Tomēr lielākajā daļā sekciju ir apskatīti starpdisciplināru pētījumu temati, daudzreiz iesaistot ne tikai paleontologus, bet arī sedimentologus, ģeoķīmijas, ģeofizikas un citu zinātņu pārstāvjus, kas bieži vien atrodas visai tālu no paleontoloģijas. Šādas sekcijas

¹ The Palaeontological Association, International Palaeontological Association, Natural History Museum, Palaeontographical Society, The Micropalaeontological Society.

ir „Dzīvība sauszemē”, „Ģeomikrobioloģija”, „Hemosintezējošās sabiedrības”, „Liela mēroga notikumi un filoģenētiskā pieeja”, „Paleozoja klimati” un citas. Netika piemirstas tādas paleontoloģijai specifisku zināšanu jomas kā „Paleontoloģisko datu analīze” un „Paleontoloģiskās kolekcijas”.

Analizējot kongresa darbā iekļauto referātu nosaukumus, pirmkārt, ir noskaidrots referātu sadalījums tradicionāli aplūkojamās apakšnozarēs. Tas nav vienkāršs uzdevums, jo paleontoloģijas apakšnozares var aplūkot gan no dzīvības formu daudzveidības aspekta, gan atkarībā no dzīvo sistēmu organizācijas līmeņa (sākot ar biosfēras līmeni caur ekosistēmu un īpatņu līmeni un beidzot ar histoloģisko (audu) un molekulāro līmeni), gan no biotisko un abiotisko procesu izpētes viedokļa, kas aptver organismu izplatību laikā un telpā, to evolūciju un filoģenēzi, kā arī fosilizācijas procesus.

1. tabula

Ziņojumu skaita sadalījums taksonomisko pētījumu jomā

Number of Contributions in Taxonomical Studies

Apakšnozare / organismu grupa	Mutiskie ziņojumi	Stenda referāti	Kopā
Bezmugurkaulnieku paleozooloģija, t. sk.	142	69	211
adatādaini	25	2	27
brahiopodi	19	15	34
gliemji	29	19	48
korāļi	6	4	10
trilobīti	14	12	26
citi bezmugurkaulnieki	34	13	47
vispārīgie jautājumi	15	4	19
Mugurkaulnieku paleozooloģija, t. sk.	83	38	121
zivis	31	6	37
rāpuļi	15	15	30
zīdītāji	22	14	36
citi (abinieki un putni)	7	2	9
vispārīgie jautājumi	8	1	9
Paleobotānika, t. sk.	30	5	35
sporaugi	13	2	15
sēklaugi	4	2	6
vispārīgie jautājumi	13	1	14
Mikropaleontoloģija, t. sk.	96	75	171
baktērijas	14	4	18
aļģes	10	12	22
foraminīferas	8	21	29
ostrakodi	8	7	15
konodonti	22	11	33
sporas un miosporas	10	5	15
citas mikrofosiliju grupas	15	7	22
vispārīgie jautājumi	9	8	17
Kopā			538

Ziņojumu proporcijas četrās paleontoloģijas pamatnozārēs, kuras tiek nodalītas, balstoties galvenokārt uz pētāmo objektu sistemātisko piederību (izņēmums ir mikropaleontoloģija, kuras pētījumu objekti nav tikai mikroorganismi, bet arī mikroskopiskas dzīvnieku, augu un viensūņu formas vai to skeletu elementi), liecina par aizvien pieaugošu mikropaleontoloģijas popularitāti (1. tab.). No tiem 538 referātiem, kuriem var konstatēt taksonomisko ievirzi, ziņojumi bezmugurkaulnieku paleontoloģijā veido vairāk kā trešdaļu (39,2%), 31,8% ziņojumi ir veltīti mikropaleontoloģiskiem objektiem, 22,5% referātu atbilst mugurkaulnieku paleontoloģijas apakšnozarei un tikai 6,5% – paleobotānikai. Strikti taksonomisko pētījumu rezultātiem veltīto ziņojumu skaits ir relatīvi neliels – 139 (18,96% no visiem 733 analizētiem ziņojumiem), turklāt jauno sugu aprakstiem veltīto ziņojumu skaits ir pavisam niecīgs – tikai 15 (2,05% no visiem; piemēram, Ahlberg et al. 2010). Zināmā mērā tas liecina gan par paleontoloģiskās hronikas pieaugošo pilnīgumu, gan paleontologu uzmanības piesaisti galvenokārt hronikas interpretācijai.

No mikropaleontoloģijas apakšnozares dažkārt tiek nodalīta patstāvīga, relatīvi jauna disciplīna – baktēriju paleontoloģija (Rožanov and Zavarzin 1997). Seno baktēriju pētījumi aizsākās 20. gadsimta 50. gados ar to fosiliju atklājumiem kramainos iežos, un ilgu laiku ir pastāvējis viedoklis, ka baktērijas fosilā veidā ir sastopamas vienīgi kramas. Pateicoties pirmskembrija organismu pētījumu attīstībai, kā arī oglekļa saturošo iežu un fosforītu elektronmikroskopijai, pēdējā laikā baktērijas atrastas praktiski visos nogulumiežos, kas daudzos gadījumos ļauj izdarīt jaunus secinājumus, bieži vien liekot kardināli pārskatīt pašreizējos viedokļus. Piemēram, ciānbaktēriju (zilalģu) segu pazīmju atradumi melnajos argilītos liek citādāk skaidrot to veidošanās apstākļus: parasti melnie argilīti tiek uzskatīti par dziļūdens indikatoriem, turpretī ciānbaktēriju segas veidojas tikai fotiskajā zonā, tāpēc iežu melno krāsu pareizāk būtu saistīt vienīgi ar bezskābekļa vidi (Hallam 2010). Tā kā baktērijām ir liela nozīme mūsdienu biosfērā, rodas nepieciešamība pārvērtēt šo organismu lomu gan senajās biosfērās kopumā, gan to nozīmi sedimentācijas procesos (Bottjer 2010 u. c.), gan arī svarīgu derīgo izrakteņu – naftas un dabasgāzes – veidošanā.

Apskatot ziņojumu sadalījumu atkarībā no pētāmo bioloģisko sistēmu organizācijas līmeņa (2. tab.), gandrīz puse ziņojumu analizētajā virzienā ir veltīti organismu un ekosistēmu paleoekoloģiskiem pētījumiem (48,7%). Īpaši mūsdienīgas ir kļuvušas paleoklimatiskās rekonstrukcijas (Wheelely 2010 u. c.), kas gan lielākoties sniedzas relatīvi nesenaajā pagātnē, galvenokārt pleistocēnā un neogēnā. Popularitātes ziņā otrā ir ģeobioloģijas apakšnozare: ziņojumi ģeobioloģijā veido vairāk nekā ceturto daļu (26,3%) no visiem šo pētījumu jomas referātiem. Ģeobioloģija ir ļoti jauna apakšnozare, kas rodas pašlaik, un tā apvieno biostratigrāfijas, izotopu ģeoķīmijas, planetoloģijas, magnetostatigrāfijas, okeanogrāfijas, plātņu tektonikas un sedimentoloģijas datus, lai uz jauniem pamatiem būvētu detalizētu laika skalu un ar augstu precizitāti rekonstruētu biotisko un citu notikumu gaitu. Citiem vārdiem, ģeobioloģisko pētījumu mērķis ir precīzāk izziņāt Zemes vēsturi (Runnegar 2010). Daudzos referātos ir skarti jautājumi, kas saistīti ar dzīvības rašanos un attīstības likumsakarībām, Zemes kā planētas vēsturisko attīstību, biotisko un citu notikumu precīzu datēšanu (Friedrich et al. 2010; Marschall et al. 2010; Vecoll and Strother 2010). Ģeobioloģijas pētījumu lauks lielā mērā sakrīt ar vēsturiskās ģeoloģijas interešu sfēru, kuru gan parasti neuzskata par atsevišķu zinātnes apakšnozari.

Samērā maz pētījumu (15,3% ziņojumu) ir velēti organismu, galvenokārt to skeleta elementu, morfofunkcionālai analīzei (piemēram, Palmer 2010) un orgānu attīstībai evolūcijas gaitā (Ruta 2010). Vēl mazāka ir fosiliju mikrostruktūras un histoloģiskās uzbūves pētījumiem velēto referātu proporcija (1,6%), toties iespaidīgu vietu šajā kongresā ieņēma relatīvi jaunā apakšnozare – molekulārā paleontoloģija, kura pārstāvēta ar vairākiem vispārīgiem apkopojumiem (Eglinton 2010; Peckmann 2010), kā arī daudziem konkrētu pētījumu rezultātiem (8,1% no ziņojumu skaita), kas izskanējuši speciāli organizētajā sekcijā „Molekulārā paleontoloģija”. Molekulārās paleontoloģijas redzeslokā ir hemofosiliju jeb biomarķieru pētījumi. Pētot pagātnes organismu darbības molekulārās pēdas, ir iespējams skaidrot gan pašu dzīvo organismu, gan biosfēras attīstību kopumā. Daļa pētījumu, kas veikta molekulārās paleontoloģijas jomā, tika iekļauta kongresa sekcijas „Ģeomikrobioloģija Zemes vēstures kritiskos periodos” darbā; piemēram, biomarķieru pētījumi ļāvuši izsekot izmaiņas baktēriju ekosistēmās pēc masveida izmiršanas perma perioda beigās (Luo et al. 2010).

2. tabula

Ziņojumu skaita sadalījums pētījumu jomā atkarībā no bioloģisko sistēmu organizācijas līmeņa

Number of Contributions in the Studies According to the Organization Level of Biological Systems

Apakšnozare / dzīvības organizācijas līmenis	Mutiskie ziņojumi	Stenda referāti	Kopā
Ģeobioloģija	63	18	81
Paleoekoloģija un klimatoloģija, t. sk.	105	45	150
Īpašas biotas (<i>Laregstätten</i>) biofācijas	15	6	21
biofācijas	11	4	15
Morfofunkcionālā analīze, evolucionārā morfoloģija	41	6	47
Mikrostruktūra, histoloģija	3	2	5
Molekulārā paleontoloģija	20	5	25
Kopā			308

Klasificējot ziņojumus pēc tajos apskatītiem paleobioloģiskiem procesiem, ir izvēlēti tikai tādi, kas ir saistīti ar organismu izplatības likumsakarību noskaidrošanu telpā (paleobioģeogrāfija) un laikā (biostratigrāfija), dzīvnieku darbības atspoguļošanu dažādās sedimentācijas vidēs (paleoohnologija), fosilizāciju (tafonomija), kā arī dažādu taksonu vēsturisko attīstību un radniecības saišu noskaidrošanu (filoģenētika) (3. tab.). Pēdējā apakšnozare joprojām ir ļoti populāra, vairāk nekā trešdaļa (34,6% no 191 referāta) pētījumu paleobioloģisko procesu jomā norisinās filoģenētiskā (piemēram, Friedman and Brazeau 2010). Liela daļa referātu vispārīgā paleontoloģijā ir bijusi velēta dažādiem evolūcijas mācības aspektiem, zināmā mērā balstoties uz filoģenētisko pētījumu rezultātiem, kaut arī tas neatspoguļojas referāta nosaukumā.

Pēdējā laikā pieaug relatīvi jaunas nozares – tafonomijas – nozīme, par ko liecina samērā liels skaits referātu (23,6% no 191), no kuriem lielākā daļa iekļauta

speciālajā sesijā (Briggs 2010; Lukševičs et al. 2010; Vasiļkova et al. 2010). Pre-tēji tam līdz 20. gadsimta beigām aktuālo un tradicionālo biostratigrāfisko pētījumu nozīme ir mazinājusies (18,3% no 191 jeb tikai 4,5% no visiem kongresa darba kārtībā iekļautajiem ziņojumiem), turklāt lielākoties šie ziņojumi atspoguļo reģionālo stratigrāfisko pētījumu rezultātus, bet biostratigrāfijas teorētiskie aspekti faktiski vairs netiek apskatīti. Neliels skaits ziņojumu skar pētījumus, kas veltīti tikai paleobiogeogrāfijai un paleoihnoloģijai. Domājams, nelielo ziņojumu skaitu paleoihnoloģijā var skaidrot gan ar īpaši ciešu šīs apakšnozares saikni ar sedimentoloģiju, gan ar daudzām specializētām konferencēm, kas regulāri sapulcina tikai pēdu fosiliju pētniekus.

3. tabula

Ziņojumu skaita sadalījums paleobioloģisko procesu pētījumu jomā
Number of Contributions in the Branch of Studies of Palaeobiological Processes

Apakšnozare	Mutiskie ziņojumi	Stenda referāti	Kopā
Biostratigrāfija	22	12	35
Filogenētika	55	11	66
Paleoihnoloģija	9	8	17
Paleobiogeogrāfija	13	15	28
Tafonomija	26	19	45
Kopā			191

Bez jau analizētajiem ziņojumiem liela daļa referātu ir pieskaitāma vispārīgai paleontoloģijai, kas apskata daudzus jautājumus to kopsakarā vai arī skar tādus paleontoloģijai svarīgus un specifiskus jautājumus kā paleontoloģisko pētījumu metodika un jaunākās tehnoloģijas (Tafforeau 2010; Abel et al. 2010), paleontoloģisko datu glabāšanas un analīzes metodes (Martinez-Perez et al. 2010), fosiliju glabāšana, uzskaitē un konservēšana (Hints et al. 2010), kā arī citus jautājumus (Lipps 2010; Pratt 2010). Pie šīs ziņojumu grupas var pieskaitīt 128 ziņojumus, kas veido 17,5% no visiem 733 pieteiktiem referātiem. Būtiski jaunas iespējas fosiliju pētījumos paleontologi saista ar kompjūtertommogrāfiju, kas kļuvusi neatņemama unikālu paraugu pētījumu sastāvdaļa un pēc vadošo speciālistu domām varētu tikt uzskatīta par revolucionāru jauninājumu (Tafforeau 2010). Šī metode ļauj iegūt ļoti augstas izšķirtspējas paraugu šķērsgriezumus (līdz 20 griezumiem uz 1 mm un pat vairāk) bez to bojāšanas, kā arī veidot dažādu objektu trīsdimensiju rekonstrukcijas.

Jaunu pētījumu virzienu veidošanās tomēr nenozīmē tradicionālo pētījumu rezultātu nozīmes mazināšanos. Par to liecina kongresā visai plaši pārstāvēti reģionālo faunistisko un floristisko pētījumu rezultāti (Bolet and Evans 2010; Denayer 2010; Harvey et al. 2010; Van Roy et al. 2010; Zamora 2010); kopējais šādu ziņojumu skaits sasniedz 254. Visplašāk ir pārstāvēti ziņojumi par mūsdienu Āzijas (rekordliels ir ziņojumu skaits par Ķīnas teritorijā iegūtām fosilijām – 57) un Eiropas teritorijā atrastajām pagātnes faunām un florām, attiecīgi 95 un 87 referāti (ņemti vērā tie ziņojumi, kuru nosaukumos pētījuma teritorija ir skaidri definēta); daudz mazāk

aptvertas tādas teritorijas kā Āfrika (14), Centrālamerika un Dienvidamerika (13), Austrālija un Okeānija (12), un Antarktīda (4). Jauno taksonu, līdz šim nezināmu faunu un floru tradicionāliem aprakstiem vienmēr būs liela nozīme, jo bez šo datu papildināšanas visi pārējie pētījumi ātri vien var zaudēt savu jēgu.

LITERATŪRA

- Anonīms, 2007. *Revised Field of Science and Technology (FOS) Classification in the Frascati Manual. Organisation for Economic Co-Operation and Development*. Available: <http://www.oecd.org/dataoecd/36/44/38235147.pdf> (sk. 15.10.2010.)
- Baucon, A. 2010. Leonardo Da Vinci, the Founder Father of Ichology. *Palaios* 25, 361–367. *International Palaeontological Congress 3. Programme & Abstracts*. London, 2010, June 28 – July 3. Wiley-Blackwell Publishers, London, 432.
- Kudrjashova, T. G. 2002. *Osnovy paleontologii*. Orenburg: Orenburg State University, 78 (in Russian)
- Plotnick, R. E. 2008. A Somewhat Fuzzy Snapshot of Employment in Paleontology in the United States. *Palaeontologia Electronica* (Coquina Press) 11 (1). Available: http://palaeo-electronica.org/2008_1/commentary/comment.htm (sk. 06.10.2010.)
- Rozanov, A. Yu, Zavarzin, G. A. 1997. *Bakterial'naya paleontologiya. Herald of the Russian Academy of Sciences* (Vestnik Rossiiskoi Akademii Nauk), 67(3), 241–245 (in Russian).
- Sokolov, B. S. 1998. Polozhenie v nauke i paleontologiya. *Introductory word to the 44th session of the Palaeontological Society*, January 26, 1998 (in Russian). Available: <http://www.scgis.ru/russian/cp1251/dgggms/2-97/nauka.htm> (sk. 15.10.2010.)
- Tekstā citētās 3. Starptautiskā paleontoloģijas kongresa referātu tēzes. Pieejams: <http://www.IPC3.org> (sk. 29.11.2010.)

Summary

In recent years palaeontology has become a fast developing science due to fascinating new discoveries, new technologies and growing public interest. The standing of palaeontology among the natural sciences has risen, due to an increased appreciation of the prognostic value of knowledge of the past. During the last few decades palaeontological studies have become much more multinational and acquired a multidisciplinary nature; this is also reflected in the contributions to the Third Palaeontological Congress.

Keywords: *modern palaeontology, natural sciences, general palaeontology, geobiology.*

LU Akadēmiskais apgāds
Rīgā, Baznīcas ielā 5, LV-1010
Tālrunis: 67034535

Iespiests SIA «Latgales druka»
Rēzekne, Baznīcas ielā 28, LV-4601
Tālrunis/fakss: 64625938