

LATVIJAS UNIVERSITĀTE  
ĢEOGRĀFIJAS UN ZEMES ZINĀTŅU FAKULTĀTE  
ĢEOLOĢIJAS NODAĻA

**PRAULIENAS PAUGURAINES MORFOLOĢIJA UN  
GLACIĀLĀ ĢEOLOĢIJA**

BAKALAURA DARBS

Autors: Artūrs Putniņš  
Stud. apl. ap07038

Darba vadītājs:  
Prof., Dr. ģeol. Vitālijs Zelčs

Rīga 2010

## ANOTĀCIJA

Putniņš A., 2010. Praulienas pauguraines morfoloģija un glaciālā ģeoloģija. Bakalaura darbs. Rīga, Latvijas Universitāte, 72 lpp.

Bakalaura darbā ir apkopoti autora veikto pētījumu rezultāti par Praulienas pauguraines morfoloģiju, ledāja reljefa formu iekšējo uzbūvi un veidošanās apstākļiem. Par darba galvenie rezultāti ir Praulienas pauguraines ģeomorfoloģiskās kartes sastādīšana un marginālo bīdes morēnu identificēšana, kā arī ledāja reljefa formu attīstības kopsakarību ar iekšējo uzbūvi un veidošanās secības noskaidrošana. Iegūtie rezultāti balstās uz morfoloģiskās un struktūrģeoloģiskās analīzes metodēm un nogulumu absolūtā vecuma datēšanas rezultātiem. Darbs apjoms ir 72 lappuses, tajā skaitā 41 attēls. Izmantotās literatūras saraksts ietver 42 izziņas avotus.

**Raksturvārdi:** pleistocēna nogulumi, OSL datējumi, glaciālās reljefa formas, glaciotektonika, Lubāna ledus lobs, ledāja malas oscilācija, marginālās bīdes morēnas.

## **ANNOTATION**

Putniņš A., 2010. Morphology and glacial geology of Prauliena hummocky area. Bachelor thesis. Riga, University of Latvia, 72 p

This bachelor thesis focuses on morphology, internal structure and formation conditions of glacial landforms of Prauliena hummocky area. The main results of this study are composition of geomorphological map, identification of marginal shear moraines and elaboration of time transgressive and spatial sequence of the development of glacial terrain. The methods of morphological analysis and structural geology, and results of age determination of Pleistocene deposits are used. The thesis contains 72 pages, including 41 figures. The total list of the bibliography includes 42 published, unpublished and Internet data sources.

**Keywords:** Pleistocene deposits, OSL dates, glacial landforms, glaciotectonics, Lubāns ice lobe, ice margin oscillation, marginal shear moraines.

## SATURS

Anotācija.....	2
Annotation.....	3
Ievads.....	5
1. Agrākie pētījumi un teritorijas vispārīgs ģeoloģiski – ģeomorfoloģisks raksturojums .....	7
1.1. Praulienas pauguraines subkvartārās virsas raksturojums .....	9
1.2. Praulienas pauguraines kvartāra nogulumu un ledāja reljefa apskats.....	10
2. Materiāli un metodes .....	15
3. Rezultāti .....	21
3.1. Pleistocēna nogulumi, to izplatība, saguluma apstākļi un iespējamais vecums .....	21
3.2. Ledāja reljefa formas, to izplatība, morfoloģija un iekšējā uzbūve .....	30
3.2.1. Paugurmasīvi un izometriskās ledāja reljefa formas .....	31
3.2.2. Ledāja kustības virzienam paralēli orientētās glacigēnās reljefa formas....	34
3.2.3. Ledāja kustības virzienam perpendikulāri orientētās reljefa formas .....	37
3.2.4. Osi un osveida reljefa formas .....	38
3.2.5. Saliktās ledāja reljefa formas .....	40
3.2.6. Negatīvās ledāja reljefa formas .....	47
3.2.7. Eroziņas ielejveida formas .....	52
4. Interpretācija un diskusija.....	54
Secinājumi .....	64
Pateicības.....	66
Izmantotā literatūra.....	67

## IEVADS

Bakalaura darba pētījumu objekts – Praulienas pauguraine ir morfoloģiski un ģenētiski sarežģīta, taču maz pētīta teritorija. Tāpēc pastāv tikai vispārīgi priekšstati par tās morfoloģiju un veidošanās apstākļiem. Pauguraine aizņem Austrumlatvijas zemienes Aronas paugurlīdzenuma austrumu daļu.

Bakalaura darbs ir uzskatāms par 2009. gadā kursa darba ietvaros aizsākto pētījumu turpinājumu. Jau kursa darba izstrādes laikā apzinot informāciju par iepriekšējiem ģeoloģiskajiem un ģeomorfoloģiskajiem pētījumiem Praulienas pauguraines teritorijā, diemžēl, nācās secināt, ka, neskatoties uz tās novietojumu ledāja malas veidojumu tiešā tuvumā, ledāja reljefa formu lielo daudzveidību un to veidojošo nogulumu dažādību, šī teritorija nav bijusi padziļinātas izpētes objekts. Par Praulienas pauguraines reljefu un kvartāra nogulumu izplatību ir atrodamas tikai fragmentāras ziņas, taču līdz pat šim brīdim nepastāv vienots vai pietiekami pamatoti argumentēts viedoklis par tās veidošanās apstākļiem. Šo iemeslu dēļ agrāk zinātnieki to pieskatīja Vidzemes augstienei, bet pēdējos gados tā tiek uzskatīta par piederīgu Austrumlatvijas zemieni. Jaunākie vispārēja rakstura darbi, kas satur informāciju par Praulienas pauguraini, ir publicēti enciklopēdijā „Latvijas daba”, tāpēc šo iepriekšminēto iemeslu dēļ, šajā darbā nācās izmantot populārzinātniska rakstura publikācijas.

Šo teritoriju par sava bakalaura darba izpētes objektu izvēlējās tāpēc, ka, man jau kopš bērnības ir bijusi vēlme izzināt zemes virsmas reljefu, daudzveidīgo reljefa formu iekšējo uzbūvi, kā arī to veidošanās apstākļus ietekmējušos procesus. Un Praulienas pauguraine tās Madonai – manai dzimtajai pilsētai – tuvā novietojuma dēļ, man šķita īpaši saistoša.

Bakalaura darba mērķis ir apzināt un daļēji sistematizēt Praulienas pauguraines teritorijā sastopamo reljefa formu morfoloģisko daudzveidību, izprast šo reljefa formu veidošanās apstākļu galvenās likumsakarības, to savstarpējās atšķirības, kā arī izprast te sastopamo reljefa formu veidošanās secību. Kā arī izzināt Praulienas pauguraines teritorijas veidošanās saistību ar tās tiešā tuvumā esošā Madonas – Trepes vaļņa izcelšanos, kā arī sagatavot iespējamo faktiski materiālo bāzi turpmākiem Praulienas pauguraines teritorijas pētījumiem Maģistra darba ietvaros.

Lai sasniegtu bakalaura darbā izvirzītos mērķus, to īstenošanai tika noteikti šādi uzdevumi:

- Apkopot pieejamo informāciju par agrākiem pētījumiem Praulienas pauguraines teritorijā un tajos gūtajām zinātniskajām atziņām.
- Veikt pieejamā specializētā kartogrāfiskā materiāla analīzi un censties izprast saistību starp reljefa formu morfoloģiju un to veidojošo nogulumu ģenēzi.
- Apsekot pētījuma teritoriju lauka darbu gaitā un veikt nepieciešamos mērījumus, lai iegūtu praktisku, uz paša novērojumiem balstītu interpretāciju par konkrētu reljefa formu veidošanās apstākļiem.
- Izstrādāt detālu Praulienas pauguraines ģeomorfoloģisko karti, kā arī citas informatīva rakstura kartes par teritorijā sastopamajām ledāja reljefa formām.

Darba mērķa sasniegšanai ir izmantotas vairākas pētījumu metodes: veikta literatūras analīze, kartogrāfiskā materiāla izpēte, lauka darbi – veikti slāņu saguluma apstākļu pētījumi, oļu makrolinearitātes noteikšana morēnas atsegumos, nogulumu paraugu datēšana ar OSL metodi. Darba noslēgumā, uz mēroga 1:25 000 topogrāfisko karšu pamata, tika izstrādāta Praulienas pauguraines ģeomorfoloģiskā karte.

Darbu kopējais apjoms ir 72 lappuses. Tai skaitā 41 attēls. Darba sastādīšanai izmantoti 20 publicētas un 21 nepublicētas literatūras avoti, 1 intervija, kā arī lauka darbos iegūtais materiāls.

Bakalaura darbs sastāv no anotācijām latviešu un angļu valodā, ievada un 4 nodaļām, kas ietver pauguraines teritorijas ģeoloģiski - ģeomorfoloģisko raksturojumu, pielietoto materiālu un metožu aprakstu, rezultātus, interpretāciju un diskusiju, secinājumiem, pateicībām un literatūras sarakstu.

# 1. AGRĀKIE PĒTĪJUMI UN TERITORIJAS VISPĀRĪGS ĢEOLOĢISKI – ĢEOMORFOLOĢISKS RAKSTUROJUMS

Praulienas pauguraine pēc ģeogrāfiskā novietojuma atrodas Austrumlatvijas zemienes Aronas paugrulīdzenuma austrumu daļā (Fizioģeogrāfiskā karte, 2009). Tā ir paša un ģeomorfoloģiski sarežģīta teritorija, kas aptver Madonas novada Praulienas un Lazdonas pagastu lielāko daļu, kā arī atsevišķus, platības ziņā mazākus, Sarkanu un Ļaudonas pagastu nogabalus. Pauguraine stiepjas gar Vidzemes augstienes dienvidaustrumu nogāzi. Rietumos no Madonas – Trepes vaļņa ziemeļu daļas (posmu starp Madonas un Aiviekstes ledāja kušanas ūdeņu noteces ielejām) to izteiktu nošķir glaciotehtonisko ieplaku josla (1.1. att.). Lielākā no tām ir Dūku-Svētes ieplaka. Paugurainei ir trapeces veida forma, kura ir stiepta AZA – RDR virzienā. Maksimālais garums sasniedz 18 km, bet platums ir 8-10 km. Pauguraini no Vidzemes augstienes perifēriālas zonas orientētā malas paugurgrēdu reljefa nodala salikta vairāklīmeņu erozijas-akumulācijas kēmu terase, glaciofluviālāie veidojumi (deltas un materiāla iznesu konusi), kā arī laterālā ledājkušanas ūdeņu noteces ieleja, kas dažreiz tiek dēvēta par Madonas pazeminājumu (Zelčs, 1997). Kēmu terases augstākie līmeņi ir veidojušies kā laterālās noteces ielejas (Dauškans, 2008a).



1.1. attēls. Praulienas pauguraines novietojums. Ar sarkano līniju apvilktā pauguraines teritorija (Latvijas Fizioģeogrāfiskajā kartē, 2009).

Pēc hipsometriskā novietojuma Praulienas paugurainē var nošķirt divas daļas. Teritorijas dienvidu daļa aizņem hipsometriski zemāko līmeni – no 110 m līdz 147 m vjl., bet, savukārt, ziemeļu daļa ir novietota hipsometriski augstāk - vidēji no 135 m līdz 160 m vjl. Salājkalns, kas ir augstākais punkts Praulienas paugurainē, atrodas 158,8 m vjl. Tas atrodas Salājkalnu māju apkārtnē, pauguraines ziemeļrietumu daļā.

Paugurainei pieguļošo teritoriju rietumu virzienā pie Madonas – Trepes vaļņa aizņem topogrāfiski labi izteiktā Dūku – Svētes ieplaka. Tālāk uz ziemeļiem pauguraines

hipsometriski augstākajā daļā šīs robežas turpinājumu var izsekot ar grūtībām. Taču vietām to pietiekami skaidri iezīmē nelielas, iegarenas ezeru katlienes, kas savienotas ar šauriem, garenstiepiem, bieži pārpurvotiem pazeminājumiem, kā arī Madonas-Trepes vaļņa paugurgrēdu un vaļņveidīgo reljefa formu nomaiņa ar vienkāršiem konusveida, kupolveida vai dažādas formas saliktiem pauguriem. Austrumos pauguraine robežojas ar Meirānu līdzenumu. Šo robežu iezīmē izteikta ledus kontakta nogāze. Savukārt, pauguraines dienvidu robežu ar Aiviekstes flūtingu lauku fiksē marginālās bīdes morēnas paugurgrēda (atšķelšanās valnis – pēc Meirons et al. (1976) piedāvātās terminoloģijas), kas stiepjas starp Ļaudonu un Siliem.

Praulienas pauguraines saposmotam reljefam jau kopš seniem laikiem ir bijusi nozīmīga loma cilvēka saimnieciskajā darbībā. Par to liecina Praulienas paugurainē un tai piegulošajā teritorijā esošie kultūrvēsturiskie objekti – Lazdonas pilskalns, Ūbānu pilskalns, Madonas senkapi, ezerppils paliekas Salu ezerā. Šāda, apkārtnes reljefam pakārtota, cilvēka un dabas mijiedarbība, Praulienas pauguraini ir padarījusi par ainaviski bagātu un pievilcīgu dabas apvidu. Bieži vien pauguru virsotnēs ir iekopti tīrumi, apsaimniekotas pļavas un ganības, pauguru nogāzēs klātas ar mežiem, bet starppauguru ieplakas aizpilda dažādu izmēru un formu ezeri un purvi.

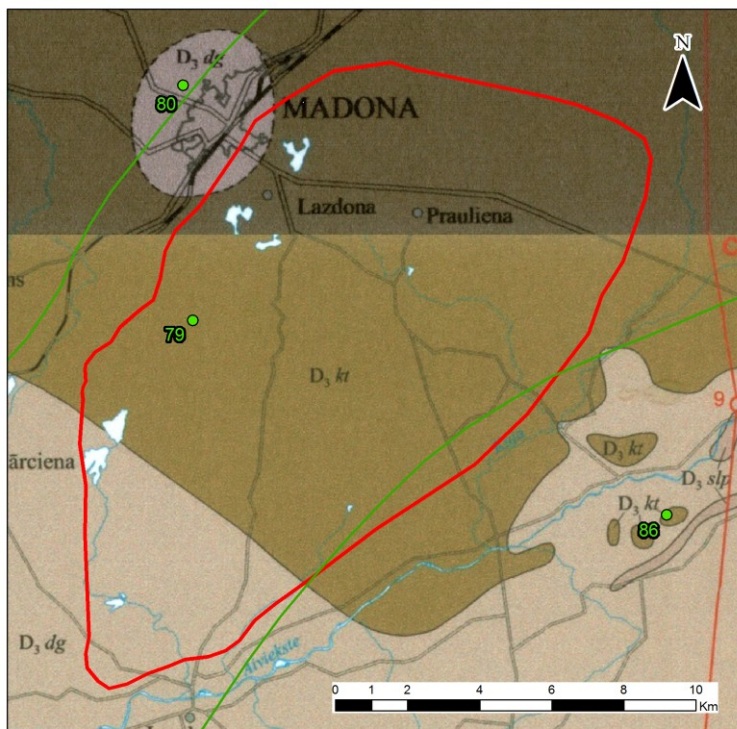
Pētāmajā teritorijā 1962. gadā tika pabeigta mēroga 1:200 000 ģeoloģiskā kartēšana. Atjaunotās šī paša mēroga ģeoloģiskās kartes par šo teritoriju sagatavotas no 2001. gada līdz 2002. gadam. Diemžēl teritorijā nav veikta detāla mēroga (M 1:50 000) ģeoloģiskā kartēšana. Tāpēc, salīdzinājumā ar citiem Latvijas novadiem, tā ir salīdzinoši vāji izpētīta.

Līdz ar intensīvu saimnieciskās darbības attīstību, kādu šī teritorija, gluži tā pat kā citi Latvijas lauku reģioni, piedzīvoja pēc 1. Pasaules kara, un jo vairāk pēc 2. Pasaules kara, kad uz Praulienas pauguraines teritorijā sastopamiem kvartāra nogulumiem daudz vairāk sāka raudzīties kā uz potenciālam (vismaz lokālas nozīmes) derīgo izrakteņu ieguves vietām. Tieši ar šo mērķi – veikt PSRS rūpnieciskās un saimnieciskās darbības nodrošināšanai potenciālo derīgo izrakteņu ieguves vietu izpēti un apzināšanu – saistās vairums detālu ģeoloģisko pētījumu, kas līdz šim veikti Praulienas pauguraines teritorijā. Šī vēstures laika posma nozīmīgākie un detālākie pētījumi Praulienas pauguraines teritorijā ir saistīti ar „Silenieku” smilts karjera izpēti 1985. un 1986. gadā. Karjerā iegūtais materiāls ir ticis izmantots ceļu

būvei, remontdarbiem un ceļu uzturēšanai (kaisīšanai) ziemas mēnešos. Citas nozīmīgākās grants – smilts atradnes pauguraines teritorijā ir „Vidus Zemturi”, „Palejnieki” un „Sili”.

### 1.1. Praulienas pauguraines subkvartārās virsas raksturojums

Pirmie nozīmīgākie subkvartāra virsas izpētes darbi tika veikti M 1:200 000 Latvijas PSR ģeoloģiskās kartēšanas (Madonas karšu lapas) ietvaros 1962. gadā. Veselus 40 gadus vēlāk – 2002. gadā, Latvijas Valsts ģeoloģijas dienestā ir veikta ģeoloģiskās informācijas atjaunošana un sagatavota jauna subkvartārās virsas karte (Juškevičs, 2002), kā arī pirmskvartāra nogulumu karte (Guseva, Mūrnieks, 2002).



1.2. attēls. Pamatiežu virsas reljefa un nogulumu karte. (Autora sastādīta pēc J.Mūrnieka, L.Gusevas (2002), un V.Juškeviča, (2002) karšu datiem). Autora papildinājumi: zaļās līnijas norāda pamatiežu virsmas augstuma izohipsas, punkti – virsmas augstuma atzīmes urbemos, sarkanā kontūra - pētāmā teritorija.

Subkvartāra virsa atrodas 70 līdz 80 m vjl. Tās reljefu zem pauguraines teritorijas var raksturot kā samērā viendabīgu, viļņotu pazeminājumu jeb lokālieplaku, no kuras centra, ziemeļrietumu (Vidzemes augstienes) un dienvidaustrumu (Aiviekstes ielejas) virzienā pamatiežu virsmas augstums lēzeni pieaug. Apskatot pamatiežu virsā esošās lokālieplakas konfigurāciju un pētāmās pauguraines teritorijas telpisko novietojumu, redzams, ka pauguraines teritorija pilnībā ir izvietojusies šajā pamatiežu pazeminājumā, kā arī

pauguraines teritorijai ir vērojama tendence atkārtot šīs lokālieplakas formas konfigurāciju (pauguraine izkļīlējas pamatiežu sašaurinājuma (DA) virzienā (1.2. att.). Pauguraine izkļīlējas it kā pamatiežu sašaurinājuma virzienā uz DA.

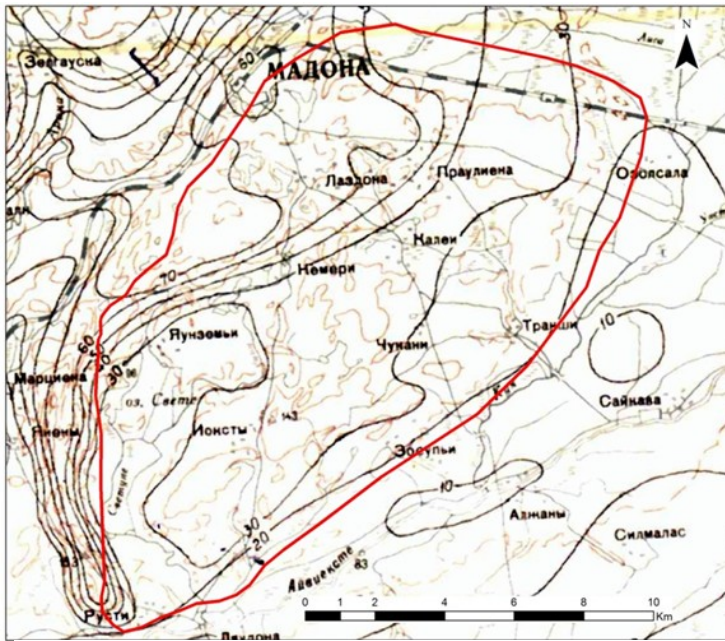
Aplūkojot pauguraines teritoriju M 1: 200 000 Pirmskvartāra nogulumu kartē (Guseva, Mūrnieks, 2002), jāsecina, ka pēc platības ievērojami lielāko daļu (pauguraines ziemeļu daļa) pauguraines subkvartāra virsas veido augšējā devona Katlešu (D<sub>3</sub>Kt) svītas sarkanbrūns māls, mālains aleirolīts un smalkgraudains smilšakmens, bet nelielā areālā pašā pauguraines dienvidu daļā – Daugavas svītas (D<sub>3</sub>Dg) dolomīts un domerīts (dolomītmerģelis). Jāteic, ka izmēru ziņā neliels Daugavas svītas (D<sub>3</sub>Dg.) dolomītu nogabals subkvartāra virsmā parādās Madonas pilsētā un tās tuvākajā apkārtnē (1.2. att.), taču par šī nogabala precīziem izmēriem un hipsometrisko novietojumu ir grūti spriest, jo trūkst detalizētas informācijas, un minētais nogabals, iespējams, ir iezīmēts balstoties tikai uz ūdensapgādes urbumu datiem.

## **1.2. Praulienas pauguraines kvartāra nogulumu un ledāja reljefa apskats**

Praulienas pauguraines kvartāra nogulumu ģeoloģiskās izpētes aizsākumi meklējami 1960–tajos gados veiktās PSRS vispārīgās ģeoloģiskās kartēšanas ietvaros. Kartēšanas darbos piedalījās Latvijā pazīstamie ģeologi V. Juškevičs, J. Straume, G. Suļimovs. Plaša informācija par Praulienas pauguraines kvartāra nogulumu izplatības raksturu ir iegūstama no šīs kartēšanas ietvaros sastādītās sastādītā kartogrāfiskā materiāla – shematiskās ģeomorfoloģiskās kartes (Juškevičs, Suļimov, 1962) un kvartāra nogulumu biezuma kartes (Juškevičs, Suļimov, 1962). Tas ir kalpojies par pamatu pauguraines teritorijas turpmākam pētījumam (Jaunputniņ, Pliuna, 1965).

Federe et al. (1992) pārskatā par Krustkalnu rezervātu pievienotajā morfoloģiskajā un ģeomorfoloģiskajā kartē interpretē arī rezervātam pieguļošās Praulienas pauguraines daļu pārsvarā kā zemledāja ģenēzes un aktīva – pasīva ledus kontaktzonas reljefa veidojumus.

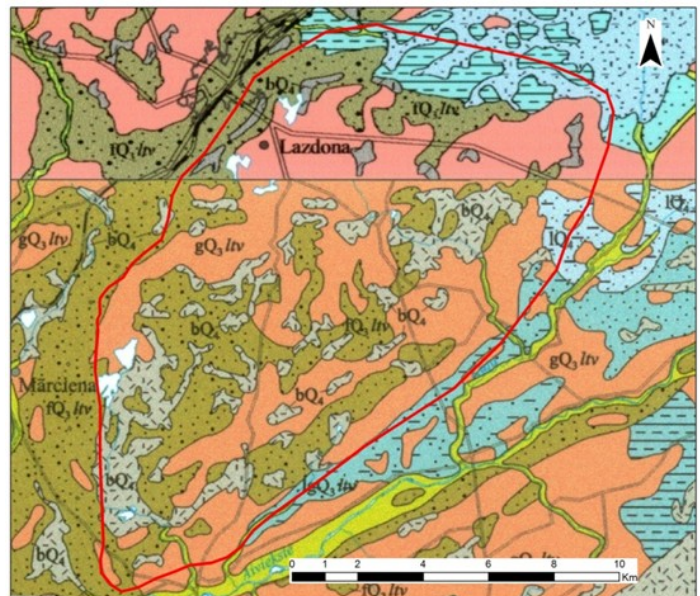
Atjauninātā kvartāra nogulumu ģeoloģiskā karte tika sagatavota 2002. gadā (Juškevičs, Skrebelis, 2002). Praulienas pauguraines teritorijā sastopamie kvartāra nogulumi un to



1.3. attēls. Prailienas pauguraines teritorijas kvartāra segas nogulumu biežuma karte (Juškevičs, 1962).

(Ābola, 1978), kā arī, jaunākais pieejamais pētījums par smilts un grants iegulu izpēti Ļaudonas pagasta „Vidus Zemturu” karjerā (Spunda, Spunda, 2007).

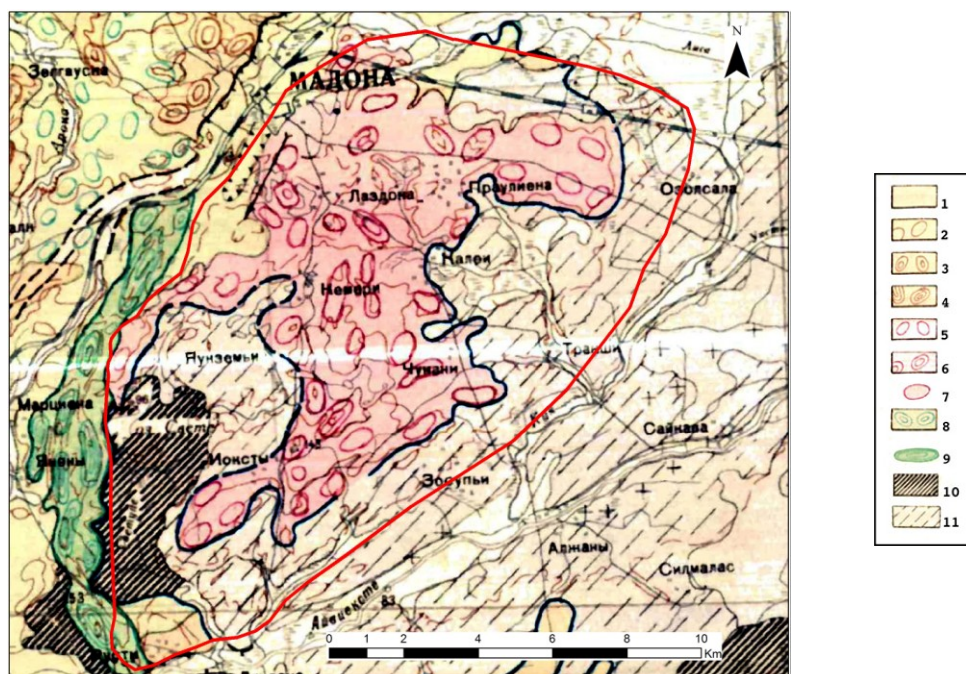
Analizējot kvartāra nogulumu segas biežumu Prailienas pauguraines teritorijā, jāsecina, ka tas pauguraines dažādās daļās ir mainīgs. Taču pēc platības lielākajā teritorijas daļā tās biežums ir vismaz 25 – 30 m. PSRS Ģeoloģiskās kartēšanas ietvaros sastādītajā kvartāra nogulumu segas biežuma kartē (1.3. att.) (Juškevičs, 1965) ir skaidri saskatāms, ka kvartāra nogulumu biežums pieaug ziemeļrietumu – Vidzemes augstienes virzienā, kur tas Madonas pilsētas, Lazdonas ciemata apkārtnē un Prailienas pauguraines daļā, kas pieslēdzas Madonas – Trepes valnim, sasniedz pat 60 – 70 m. Šo faktu var izskaidrot ar vairākiem apstākļiem.



1.4. attēls. Kvartāra nogulumu karte (Juškevičs, Skrebelis, 2002).

potenciāla ieguve plaši pētīta Madonas rajona derīgo izrakteņu izlūkošanas, meklēšanas un izpētes darbos. Šo darbu ietvaros ir veikti plaši un detāli pētījumi Mārcienas pagasta „Palejnieku” smilts – grants atradnē (Tālbergs, 1969). Pēc atradnes ģeoloģiskās izpētes gala slēdziena, reljefa forma, uz kuras atrodas atradne, raksturota kā oss. Plaši un detāli pētījumi ir veikti Prailienas pagasta „Silnieku” karjera izveides sakarā

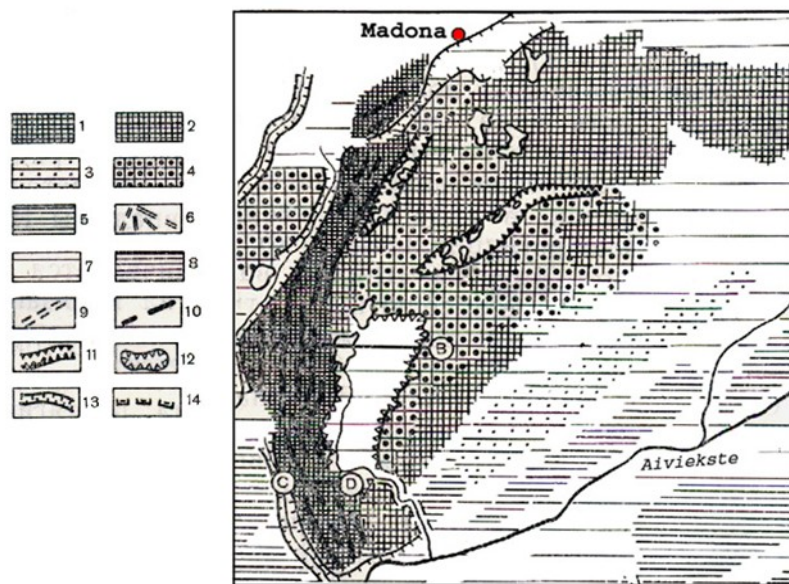
Tā, piemēram, kvartāra nogulumu slāņa biezuma pieaugums sakrīt ar zem tiem iegulošās subkvartāra iežu virsmas pacēlumu, kas aprakstīts iepriekšējā nodaļā. Kā zināms no agrākiem citu autoru pētījumiem, šāds pamatiežu pacēlums ir ledāja kustības ātrumu mazinošs un glaciģēno nogulu uzkrāšanos veicinošs faktors (Āboltiņš, 1975, 1989; Āboltiņš et al., 1975). Kā vēl vienu šī nogulumu slāņa biezuma pieaugumu skaidrojošu faktoru var minēt arī ar aprimuša ledus ķermeņa (Vidzemes augstienes teritorijā) un aktīvā Lubāna ledus loba (Austrumlatvijas zemienē) saskares zonā notikušajiem deformāciju procesiem teritorijas deglaciācijas laikā, un pleistocēna nogulumu sākotnējā biezuma lielmēroga pārdalīšanu, par ko min Āboltiņš un V.Zelčs (1988)



1.5. attēls. Ģeomorfoloģiskās kartes fragments (Juškevičs, Suļimovs, 1962.) Ar sarkano kontūru apzīmēta pauguraines teritorija. Apzīmējumi: 1 – morēnas plakanais un lēzeni viļņotais līdzenums; 2 – morēnas sīkpauguri; 3 – morēnas vidējpauguri; 4 – morēnas lielpauguri; 5 – galamorēnas sīkpauguru reljefs; 6 – galamorēnas vidējpauguru reljefs; 7 – atsevišķi pauguri; 8 – glaciofluviālais vidējpauguru reljefs; 9 – glaciofluviālās grēdas; 10 – purvi; 11 – Lubāna ledāja sprostezera abrāzijas līdzenums

Apskatot pieejamos kartogrāfiskos materiālus (1.4. att) un izvērtējot griezumā shēmu par Praulienas pauguraines nogulumu izcelsmi, jāsecina, ka pauguraines teritorijā ir sastopami tikai pēdējā – Vislas (Latvijas) apledošanas veidotie nogulumi. Pēc M 1:200 000 Latvijas

kvartāra nogulumu kartes datiem (Juškevičs, Skrebelis, 2002), Praulienas pauguraines teritorijā glaciolimniskie (lgQ<sub>3</sub>ltv) nogulumu zemes virsā neatsedzas, taču nav izslēgta šo nogulumu uzkrāšanās atsevišķos, izmēru ziņā nelielos, lokālos baseinos ledāja transgresijas (piemēram, Dauškans, 2008a, 2008b) un deglaciācijas laika posmā, ko attiecīgās ģeoloģiskās kartes mazā mēroga un attiecīgās ģeneralizācijas pakāpes dēļ (protams, neizslēdzot iespēju, ka, iespējams, tos pārsedz citi, jaunāki nogulumu) nav iespējams attēlot. V. Juškeviča un J. Skrebeļa (2002) piedāvātajā Aronas paugurlīdzenuma kvartāra nogulumu uzbūves shēmā atsevišķās vietās Praulienas paugurainē parādās divas pēdējā apledojuuma morēnas slāņkopas, kuras atdala ledāja kušanas ūdeņu nogulumu. Iespējams, ka pēdējā apledojuuma nogulumu griezuma stratifikācijas sarežģītīšanās ir saistīta ar glaciotektoniskajām deformācijām, kuru esamību var novērot Silnieku un Vidus Zemturu karjeros. No M 1:200 000 kartogrāfiskā materiāla izriet, ka Praulienas pauguraines teritoriju veidojošie kvartāra nogulumu, galvenokārt, pārstāv divas nogulumu ģenētiskos tipus - glaciofluviālos (fQ<sub>3</sub>ltv) un glaciģenos (gQ<sub>3</sub>ltv) nogulums (1.4. att.).



**Apzīmējumi:**

- 1 - Madonas – Trepes valnis; 2 - Stipri saposmots morēnas reljefs; 3 - Glaciofluviālās grēdas; 4 - kēmu reljefs; 5 - lēzenais morēnuvālu reljefs; 6 - sandri; 7 - Sarežģītas ģenēzes starpgrēdu pazeminājumi; 8 - platovirsas pauguri; 9 - ielejveida pazeminājumi; 10 - lielgrēdas; 11 - subglaciālās vagas; 12 - lielizmēra pazeminājumi; 13 - ledāja kušanas ūdeņu noteces ielejas; 14 - izspieduma morēnas.

**1.6. attēls. Madonas – Trepes vaļņa ģeomorfoloģiskās kartoshēmas fragments, kurā parādītas arī šajā darbā pētāmās teritorijas reljefs** (Jaunputniņš, Pliuna 1965).

Analizējot V. Juškeviča un G. D. Suļimova 1962. gadā sastādīto ģeomorfoloģisko karti (1.5. att.), redzams, ka pēc minēto autoru domām, pauguraines teritorijā sastopamās reljefa formas ir pieskaitāmas, galvenokārt, pie galamorēnas sīkpauguru un vidējpauguru reljefa un tās galvenokārt veidojušās ledāja malas zonā.

A. Jaunputniņš un S. Pliuna (1965) sniedz citādu skaidrojumu par Madonas-

Trepes valņa un Praulienas paugurvalņa veidošanos. Viņi uzskata, ka tās ir, galvenokārt, aprimuša ledāja plaisu auzpildījuma tipa veidojumi jeb kēmu reljefs, ko pavada stipri saposmots morēnas reljefs – pauguraines teritorijas ZA daļā (1.6. att.). Tādējādi, minētie autori pieturas pie uzskata, ka visi teritorijā izplatītie ledāja kušanas ūdeņu nogulumi ir uzkrājušies ledāja deglaciācijas fāzē aprimuša ledus apstākļos.

J.Straume (1979) Praulienas pauguraines teritorijas Z daļu traktē kā iekšledāja ģenēzes reljefa formu izplatības apgabalu, kā arī Aiviekstes atšķelšanās valni D daļā, kas šajā darbā tiek saukta par Silu – Ļaudonas paugurgrēdu. Tikai vēlāk tika konstatēts, ka blakus esošajā teritorijā, piemēram, Madonas-Trepes valnī (Federe et al., 1992) un flūtingu vaļņos (Zelčs 1987) raksturīgas glaciotektoniskās deformācijas, kas norāda par aktīva ledāja iedarbību un pierāda zemledāja izcelsmes reljefa formu klātesamību (Zelčs, 1993).

## 2. MATERIĀLI UN METODES

Darba izstrādē tika pielietotas kamerālās un lauka pētījumu metodes. Laikietilpības ziņā ievērojami lielāko daļu aizņēma tieši kamerālie pētījumi. Pēc bakalaura darba tēmas izvēles un iepazīšanās ar pētījumam izvēlētās teritorijas ģeogrāfisko novietojumu un potenciālo lauka pētījumu vietu lokalizācijas identificēšanas tika veikta teritorijas rekognoscija. Tas notika 2008. gada septembrī, un tā laikā tika apmeklēti divi Praulienas pauguraines teritorijā esoši karjeri: jaunais „Silnieku” karjers pauguraines ziemeļaustrumu daļā, Praulienas pagastā un karjers „Vidus Zemturi” pauguraines dienvidu daļā, Ļaudonas pagastā. Šī lauka darbu izbraukuma ietvaros apsekotajos objektos tika veikti pirmie mērījumi un izvirzītas iespējamās hipotēzes par iegūto rezultātu un reljefa formas veidošanās apstākļu kopsakarībām. Jaunajā Silnieku karjerā tika veikti smilts slāņa slīpslāņoto sēriju virziena un krituma leņķa mērījumi, lai spriestu par glaciofluviālajiem apstākļiem paugurmasīva veidošanās laikā, „Vidus Zemturu” karjerā tika veikti mērījumi deformētajos smilts nogulumos redzamajās bīdes zonās, lai spriestu par glaciotektonikas procesiem, kas iespaidojuši paugura veidošanos. Šie un turpmākie mērījumi tika veikti izmantojot SILVA RANGER ģeoloģisko kompasu un alumīnija plāksnīti slāņu saguluma elementu mērījumiem. Lai noteiktu precīzas pētījuma vietas koordinātas, tika izmantots sākotnēji Magellan Meridian Platinum, bet turpmākajos pētījumos - Magellan Triton 2000 GPS uztvērējs. Lai nenozaudētu iegūtos datus, tie paralēli digitālajam ierakstam tika fiksēti arī lauka grāmatiņā. Atsegumi tika fotografēti izmantojot digitālo fotokameru FUJIFILM FinePix S7000. Mēroga nodrošināšanai fotogrāfijās, tika lietota 5 m gara alumīnija nivelēšanas lata ar gradāciju 10 mm.

Otrais lauka darbu cēliens notika 2008, gada novembrī. Tā laikā Praulienas pauguraines teritorijā esošajos karjeros tika noņemti smilts paraugi nogulumu vecuma datēšanai ar optiski stimulētās luminiscences (OSL) metodi (2.1. att.) . Kopskaitā tika noņemti 3 smilts paraugi – 2 no tiem jaunajā Silnieku karjerā un 1 Vidus Zemturu karjerā. Lai nodrošinātu analīzēm atbilstošās paraugu kvalitātes prasības, paraugu noņemšanai tika izmantots netraucētu cietās grunts paraugu noņemšanas komplekts nogulumu absolūtā vecuma noteikšanai, kā arī fotomaiss, ar kura palīdzību paraugs tā noņemšanas laikā tika pasargāts no Saules gaismas iedarbības, kas ir būtiski no kvalitatīva parauga iegūšanas viedokļa. Paralēli urbšanas darbiem, no konkrētās paraugošanas vietas tika ievākti arī smilts paraugi, attiecīgā parauga dabiskās

(beta) radioaktivitātes noteikšanai, kas ir svarīgi turpmākai analīžu veikšanai laboratorijas apstākļos.



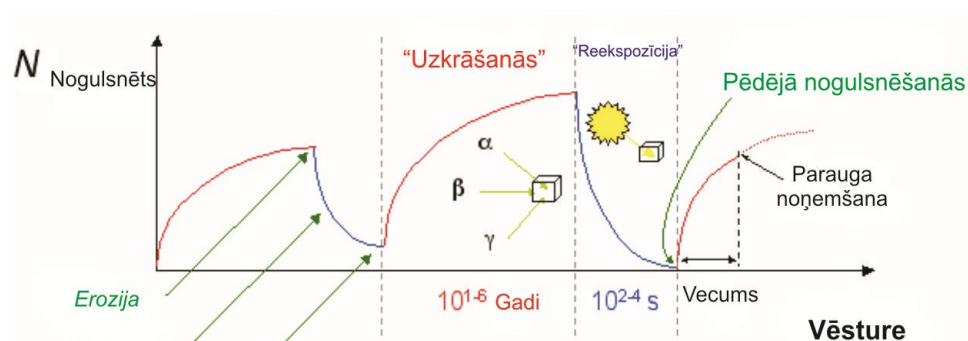
**2.1. attēls. Smilts parauga noņemšana OSL datējumu veikšanai “Jaunajā Silnieku” karjerā**

Pēc paraugu noņemšanas tie, kopā ar vēl citviet Latvijā noņemtiem paraugiem un vispārīgiem datēšanas vietas aprakstiem tika nosūtīti uz Somijas Dabas vēstures muzeja datēšanas laboratoriju (the Dating laboratory of the Finnish Museum of Natural History at the University of Helsinki) Helsinkos, kur Dr. Markku Oinonena (Markku Oinonen) vadībā tika veiktas OSL analīzes. Laboratorijā tika veikta šo paraugu tālāka apstrāde, kas sevī ietvēra paraugu sijāšanu (turpmākai analīžu veikšanai tika izraudzīti kvarca graudi izmēros 210 - 297  $\mu\text{m}$ ) un to šķīdināšana HF 40% (ilgums 1 stunda) un HCl 10% (ilgums 30 minūtes) šķīdumos, lai noņemtu

graudiņu virskārtas slāni. Pēc paraugu apstrādes, tiem tika mērīta doza ar optiski stimulētās luminiscences (OSL) metodi, izmantojot Risø TL-DA-12 nolasītāju. Beta starojums paraugos tika noteikts izmantojot Risø GM-25-5 beta daudzkanālu skaitītāju (Eskola 2009).

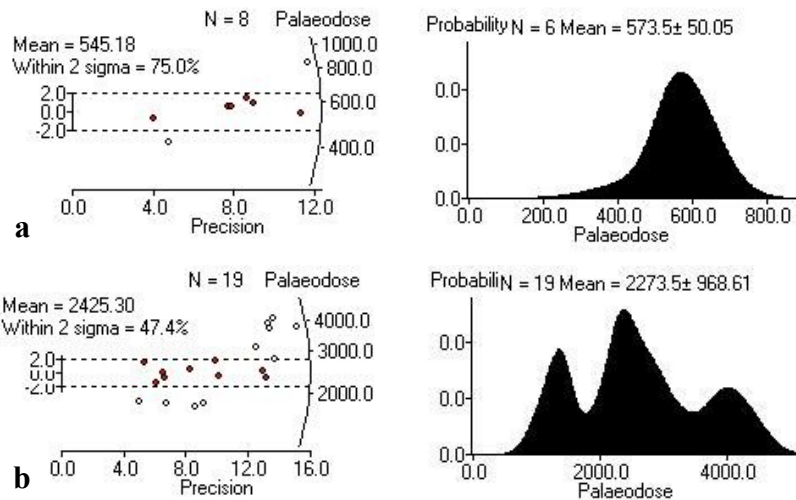
Lai izprastu sīkāk OSL būtību, jāpiemin, ka tas ir viens no lumiscences datēšanas paveidiem (līdz 1980-iem gadiem plaši tika lietota termolumiscences jeb saīsināti TL metode, kad luminiscenci ierosināja paraugus karsējot). Luminiscences datēšana ir ģeohronoloģijas veids, kas mēra fotonu enerģiju, kura atbrīvojas. Dabīgos apstākļos, jonizētā radiācija (U, Th, Rb, K) tiek absorbēta un uzkrāta nogulumu daļiņu (kvarca vai laukšpata) kristāliskajā režģī. Uzkrātā radiācijas deva var tikt atdalīta to stimulējot un tā izdalās kā luminiscence. Aprēķinātais vecums ir laiks, kopš pēdējās Saules gaismas vai intensīva siltuma ekspozīcijas. Saules gaisma izbalina luminiscences signālu un atgriež laiku 'pulksteni'. Laikam ejot, luminiscējošais signāls atkal pieaug joinizējošās radiācijas un kosmiskā starojuma

iedarbības rezultātā. Luminiscences datēšana ir balstīta uz abu faktoru - radiācijas devu, ko paraugs ir saņēmis kopš "nullēšanas" mirkļa, un dozas daudzumu, ko tas ir pieredzējis akumulācijas perioda laikā. Luminiscences datēšanai galvenokārt izmanto kvarca un kālija laukšpatu minerālus. Šīs fizikālās kopsakarības saistībā ar nogulumu eroziju, transportu un nogulsnešanos atspoguļotas 2.2. att., ([http://crystal.usgs.gov/laboratories/luminescence\\_dating/technique.html](http://crystal.usgs.gov/laboratories/luminescence_dating/technique.html)).



2.2. attēls. **Luminiscences datēšanas pamatprincipi.** (Attēls no [http://crystal.usgs.gov/laboratories/luminescence\\_dating/technique.html](http://crystal.usgs.gov/laboratories/luminescence_dating/technique.html))

Pēc piesātinājuma devas daudzuma nolasīšanas ar Risø TL-DA-12 nolasītāja palīdzību, tālākai datu apstrādei un grafiku sastādīšanai tika atlasīti tikai tie mērījumi, kuru ticamības koeficients bija vismaz 95 %. Turpinājumā, no izvēlētajiem mērījumu rezultātiem tika sastādītas histogrammas, lai spriestu par nogulumu graudiņu kristāliskajā režģī atlikušās uzkrātās paleodozas daudzumu. Paleodozu histogrammas un to sadalījuma veidi - normālais vai bimodālais (citkārt – trimodālais) sadalījums (2.3. att.), norāda uz nogulumu materiāla ekspozīcijas Saules gaismā ilgumu tā pēdējās pārgulsnešanās laikā, kā arī par iespējamo stipri vecāka materiāla (piemēram, Latvijas ģeoloģiskajos apstākļos bieži vien kvartāra nogulumos tie ir devona smilšakmeņu graudi) piejaukumu. Pēc histogrammas kvalitātes un maksimālo vērtību novērtējuma, vadoties pēc šiem kritērijiem, aprēķināts datēto nogulumu vecums (OSL gados) un tiek noteikta konkrētā datējuma metodes pieļaujamā kļūda. Silnieki\_02 datējuma gadījumā (2.3.b att.) paleodozas histogrammā ir redzami izteikti 3 mērījumu rezultātu maksimumi, kas arī nosaka datējuma vecuma gala rezultāta ( $49 \pm 22$  tūkst. OSL g.). lielo pieļaujamo kļūdu. Precīzus šīs datējuma kļūdas iemeslus minēt ir grūti, taču, iespējams, ka tie



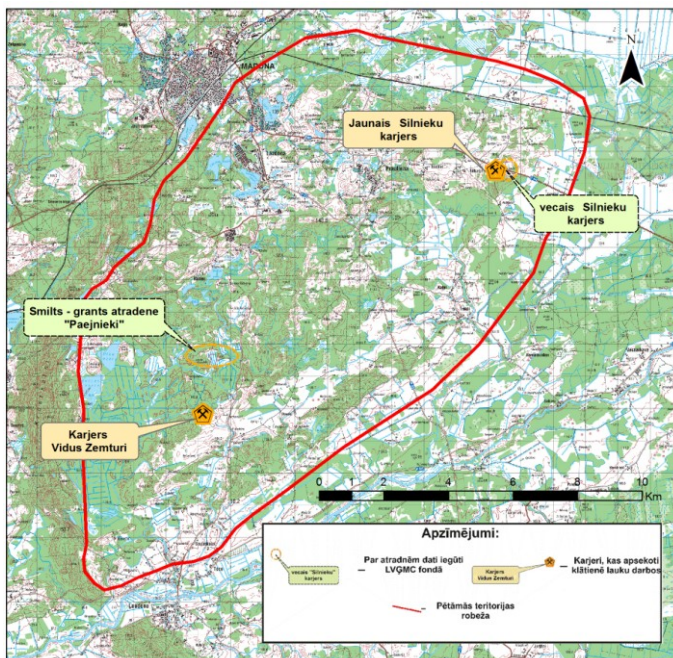
2.4. attēls. Paleodozas histogrammas: a - ar normālā sadalījuma piemēru; b – datējuma “Silnieki\_02” trimodāla sadalījuma gadījums. (OSL datēšanas atskaite. Eskola 2008).

jaunā „Silnieku” karjera dienvidu sienu pārsedzošajā morēnas segkārtā (28.11.2009), kā arī „Lejas Zemturu” karjera teritorijā esošā šurfa dienvidaustrumu sienā (29.11.2009.) (kopā 40 mērījumi). Šoreiz oļu garenasu mērījumu vietas tika vizuāli dokumentētas (fotografētas) izmantojot digitālo fotokameru OLYMPUS C 480. Pārskata karti par lauka darbos

ir saistīti pēdējās ledāja oscilācijas izraisīto deformāciju veidošanos, ar lokālu materiāla pārgulsnēšanu zemledāja / iekšledāja apstākļos.

Trešajā lauka darbu posmā, kas notika 2009. novembrī tika veikti oļu garenasu orientācijas mērījumi (kopskaitā 25)

apsekotajiem objektiem var apskatīt 2.4. attēlā.



2.3. attēls. Faktiskā materiāla karte ar pētīto karjeru, OSL paraugu noņemšanas un oļu mērījumu vietu lokalizāciju (LĢIA M 1:50 000 topogrāfiskās kartes pamatne).

Pēc lauka darbu beigšanas, pētījums tika turpināts, apmeklējot VĢMC pārraudzīto Ģeoloģijas fondu, ievācot un apkopojot teorētisko materiālu par pētāmo teritoriju, kā arī apstrādājot lauka darbos iegūto informāciju, veidojot kartogrāfiskos materiālus.

Kamerālo darbu gaitā tika veikta iegūto mērījumu datu (slīpslāņojuma, pārrāvuma

deformāciju un oļu garenasu orientācijas) statistiskā apstrāde ar datorprogrammu STERONET 3.03. Tajā tika veidoti grafiskie attēli (diagrammas), kas vizuāli uzskatāmi attēlo iegūto mērījumu rezultātus. Tas tika panākts datus sagatavojot \*.txt datnes formātā un pievienojot tos programmas direktorijai Text. Turpinājumā šo datu vizualizācijā tika izmantotas rozes diagrammas un sektordiagrammas. Tās abas ļauj vizualizēt direkcionālos datus un direkcionālo lielumu atkārtosānās biežumu. Lai veiktu gan direkcionālo, gan krituma leņķisko vērtību vizualizāciju tika izmantotas izolīniju diagrammas, kurās izolīnijas parāda krituma leņķa un azimuta attiecīgo kombināciju atkārtosānās biežumu mērījumos. Rozes diagrammu veido atverot programmas izvēli *Graphic* → Rose Diagram. Logā, kas atveras, ir iespēja mainīt parametrus, kas saistīti rozes diagrammas vizuālo noformējumu. Izolīniju diagrammas veidošanas gadījumā datorprogrammai STERONET ir vispirms jāveic nolasīto datu pārrēķins. Lai to paveiktu, izvēlas rīkjoslau *Calculate* → *Counturs*. Logā, kas atveras pēc izvēlnes atvēršanas, nepieciešams ierakstīt izvades failu (Output file), kā arī izvēlēties dažus no ar izolīniju attēlošanu saistītajiem parametriem. Turpinājumā spiež „Start” pogu, lai veiktu aprēķinus. Turpinājumā izvēlas rīkjoslau *Graphic* → *Countur*. Pēc izvēlnes loga atvēršanās izmaina atlikušos ar diagrammas attēlošanu saistītos parametrus. Gatavās diagrammas tika ievietotas kursa darbā.

Ievērojami apjomīgākā un laikietilpīgākā kamerālo darbu daļa tika veltīta kartogrāfiskā materiāla analīzei un kursa darba vajadzībām specializētu karšu sagatavošanai, jo īpaši, Praulienas pauguraines geomorgoloģiskās kartes izveidei. Kartogrāfiskais materiāls tika sagatavots izmantojot ESRI ĢIS datorprogrammu ArcMap 9.2. Ar ArcMap programmas palīdzību tika sastādītas vairākas kartes (vai arī šo karšu fragmenti), kas ir ievietotas šajā pētījumā kā ilustratīvs pētījumu rezultātu apkopojuma materiāls. ArcMap programmā tika uzsākts jauns projekts, kam par pamatu tika izmantoti ENVIROTECH piedāvātie GISLatvia 9.2. dati, kā arī PSRS topogrāfisko un citu specializēto karšu wms datubāze, kas pieejama uz LU ĢZZF karšu servera kartes.geo.lu.lv. Jaunajā projektā ar *ArcCatalog* rīkjoslau palīdzību izveidoti vairāki jauni rediģējami datu slāņi (t.s. *shapefiles*). Ar jaunizveidotā līnijveida objekta datu slāņa palīdzību tika veidota Ledāja kustības un šķērseniski ledāja kustībai orientēto paugurgrēdu, kā arī ossveida reljefa formu datubāze, kā arī šīs paugurgrēdas atzīmētas jaunveidojamajā pārskata kartē. Atsevišķā līnijveida objektu datu slānī tika

apvienoti citi lineamenti, piemēram, ledāja kušanas ūdeņu noteces lejas, upes un gravas. Otra nozīmīga datu slāņu grupa satur poligonālus objektus, ar kuru palīdzību tika attēlotas, piemēram, ūdenstilpnes (purvi un ezeri), kā arī pauguraines teritoriju veidojošie reljefa elementi (pauguri un ieplakas). Dažus datu slāņus, piemēram, Latvijas ģeomorfoloģiskās un kvartāra nogulumu segas biezuma kartes m 1:200 000, kas digitālā formātā tika iegūtas no LVĢMC, nācās pievienot un iesaukt / piesaistīt reālajām koordinātām patstāvīgi. Tas tika darīts izmantojot *Rectify* funkciju. Noslēgumā sagatavotais kartogrāfiskais materiāls tika eksportēts izmantojot *Export* funkciju.

Lauka darbu laikā uzņemtie fotoattēli tika vizuāli koriģēti (vajadzības gadījumā rediģēts attēla krāsu spilgtums, asums u.c. parametri) izmantojot datorprogrammas *Adobe Photoshop* un *Corel Photo Paint*, *Corel Draw*. Šajās datorprogrammās (pēc fotokolāžu principa) tika veidoti atsegumu kopskati, pievienoti mērogi, un citi papildinājumi; atsevišķām mērījumu vietu fotogrāfijām pievienoti ar STERONET programmu iegūtie mērījumu rezultātu vizualizācijas attēli.

Ģeoloģisko griezumu digitālai sastādīšanai tika izmantota *Bentley* izstrādātā *MicroStation XM* mācību versija *Microstation PowerDraft*. Lai ātrāk un vienkāršāk sastādītu ģeoloģiskos griezumus, ieteicams izveidot specializētu šūnu bibliotēku (*cell library*) ar katra nogulumu veida apzīmējumiem atbilstošajām tekstūrām. Šādā veidā griezumā esošos slāņus var ātri un parocīgi aizpildīt izmantojot aizpildījuma „*Fill*” funkciju.

Ledāja reljefa formu telpiskā izvietojuma, savstarpējā sakārtojuma un morfoloģiskajiem pētījumi un morfoloģiskā analīze tika balstīta uz lielmēroga (M 1:10 000 un 1: 25 000) topogrāfiskās kartes, kas pieejamas WMS karšu serverī [kartes.geo.lu.lv](http://kartes.geo.lu.lv). Diemžēl, esošais LĢIA digitālais zemes virsmas (augstuma) modelis un citi pasaules tīmeklī pieejamie DEM ir ar mazāku izšķirtspēju nekā minētā lielmēroga topogrāfiskās kartes.

Praulienas pauguraines ģeomorfoloģiskā karte ir balstīta uz morfoloģiskās analīzes un ledāja nogulumu izplatības un iekšējās uzbūves materiālu sintēzi, kā arī uz jaunākajiem atsevišķu reljefa formu ģenētiskās interpretācijas pētījumiem (piemēram, Saks, 2010, Stokes, Clarke, 2002 a, b). Kamerālo pētījumu noslēguma etaps noslēdzās ar iegūto rezultātu interpretāciju un bakalaura darba izstrādāšanu.

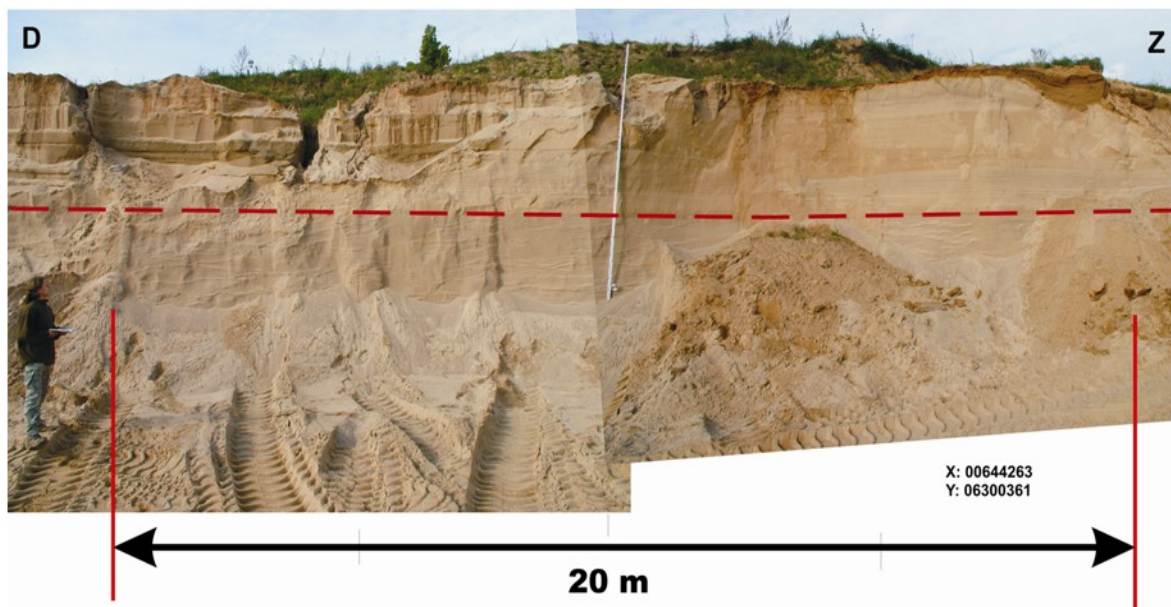
### **3. REZULTĀTI**

Praulienas paugurainē sastopamo reljefa formu morfoloģijas, izplatības un sakārtojuma analīze, kā arī to iekšējās uzbūves detāla izpēte sniedz informāciju kā par šīs teritorijas, kas ietilpst Austrumlatvijas zemienes malas zonā, pārejas joslā uz Vidzemes augstieni, veidošanās apstākļiem un procesu, to attīstību pēdējā apledojuma laikā, kā arī par šo visu faktoru ietekmi uz reljefa formu izvietojumu un ar to saistītajām kopsakarībām. Analizējot pieejamos kartogrāfiskos materiālus – specializētās ģeoloģiskās kartes, PSRS armijas topogrāfiskās kartes (M 1: 10 000 1: 25 000), tika iegūti dati par pauguraines teritorijā sastopamo reljefa formu morfoloģiju, linearitāti, izplatību un telpisko sakārtojumu. Šie dati ir nozīmīgi ledāja plūsmas virziena noteikšanā, jo ledāja reljefa formu garenasu orientāciju var uzlūkot kā visdrošāko ledāja plūsmas virziena indikatoru (Marks et al., 2003, Zelčs et al., 2003). Iegūtie lielmēroga topogrāfisko karšu analīzes dati tika analizēti ar teritorijas pleistocēna nogulumu segas uzbūvi gan pēc to ģeoloģisko urbumu datiem, gan arī karjeru atsegumos. Atsegumos tika iegūti dati par oļu linearitāti un plaisu telpisko orientāciju. Struktūrģeoloģisko datu apstrāde un datēšanas ar OSL metodi, dos iespēju apzināt nogulumu uzkrāšanās laiku un ar ledāja darbību saistīto notikumu secību. Pēc pauguraini veidojošo reljefa formu atšķirību izvērtēšanas un to apvienošanas grupās raugoties no kopīgajām morfoloģiskajām un iekšējās uzbūves pazīmēm, tika sastādīta Praulienas pauguraines ģeomorfoloģiskā karte (3.8. att), kas sniedz viegli uztveramu pauguraines ledāja reljefa formu izvietojuma vizuālu pārskatu, kā arī ļauj izprast ledāja dinamiku un reljefa veidošanās laiktelpiskās īpatnības. OSL dati liecina par dažādu ledāja kušanas ūdeņu nogulumu vecumu, uz ko līdz šim pēc citām netiešām liecībām ir norādījuši V.Zelčs (1993) un V.Juškevičs un J.Skrebelis (2002).

#### **3.1. Pleistocēna nogulumi, to izplatība, saguluma apstākļi un iespējamais vecums**

Kā jau runājot par Praulienas pauguraines kvartāra nogulumiem, 1.2. apakšnodaļā tika minēts, pauguraines teritorijā esošās pozitīvās reljefa formas veido tikai pēdējā – Vislas (Latvijas) apledojuma veidotie glaciģenie un glacioakvālie nogulumi, bet negatīvajās reljefa formās – starppauguru ieplakās un ezeru katlienes - ir sastopami holocēna nogulumi – kūdra, sapropelis, saldūdens kaļķieži un aluviālie nogulumi (Juškevičs, Skrebelis, 2002).

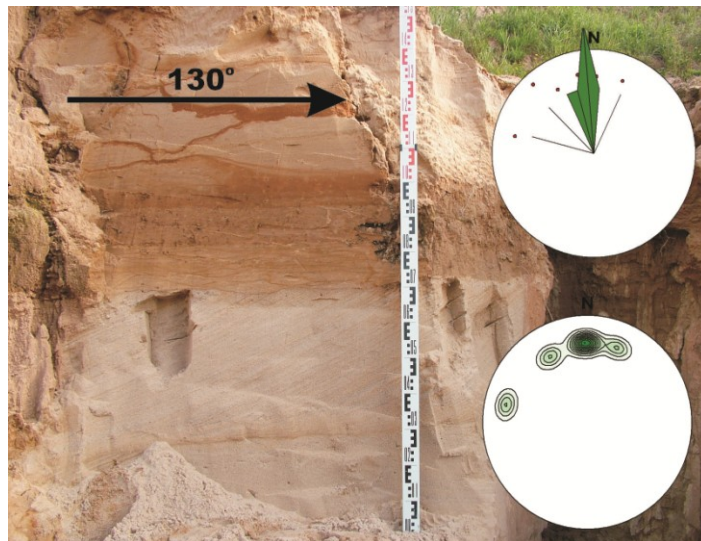
Kaut arī būtībā visā Praulienas pauguraines hipsometriski augstākajā daļā ir izplatīti morēnas pauguri un, likumsakarīgi, ka mūsdienu zemes virsmā to virsotnēs atsedzas morēnas



3.1. attēls. Atsegums Jaunajā Silnieku karjerā (R siena). Raustītā līnija iezīmē glaciotektoniski deformēto slāņkopas (apakšā) un to pārsedzošo nedeformēto slāņkopu (augšā). Attēla labajā augšējā stūrī redzama gultnes lokāldepresijas aizpildījuma tekstūra. Attēla apakšējā daļā redzamas atsegma atrašanās vietas koordinātas.

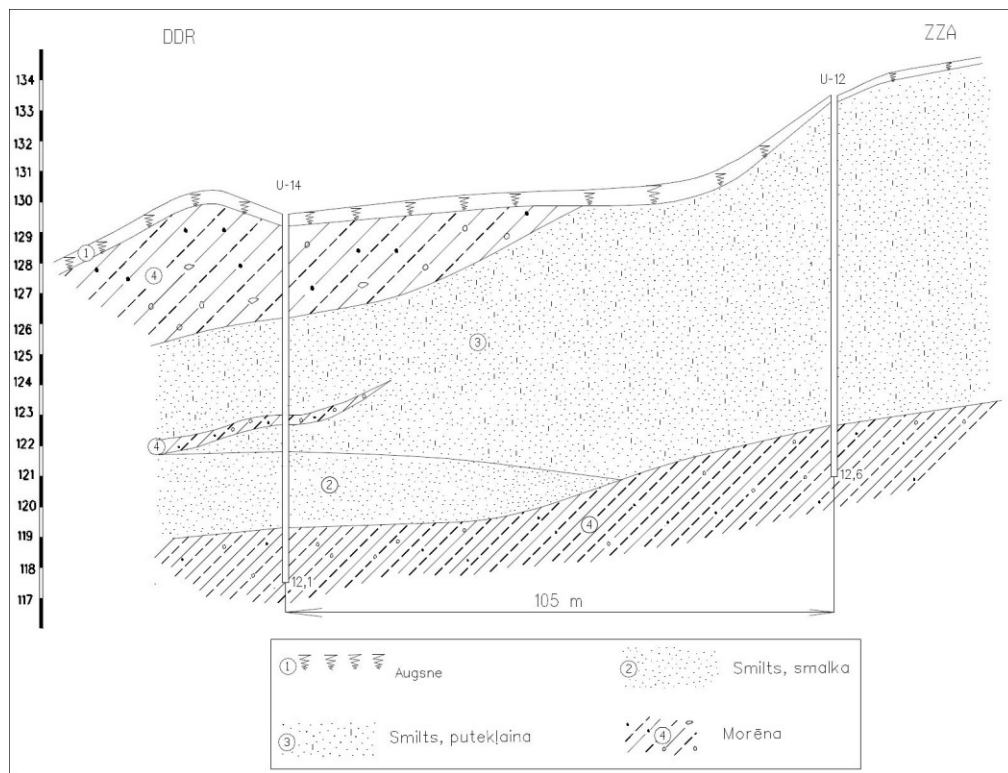
nogulumi, kā var spriest pēc atsegumiem Jaunajā Silnieku karjerā (3.1.att.), šo pauguru kodolus veido vairāk vai mazāk glaciotektoniski deformēti ledājkūšanas ūdeņu straumju un baseinu nogulumi – vidējgraudaina smilts ar smalkas (vietām – putekļaina) smilts starpkārtām. Pēc vecā Silnieku karjera ģeoloģiskās izpētes griezumu datiem paugurmasīvu kodolus veidojoša smilts materiāla slāņkopas maksimālais biezums sasniedz gandrīz 30 m. Šo nogulumu iespējamais vecums ir raisījis diskusijas, jo līdz šim nav bijuši mēģinājumi noteikt šo nogulumu vecumu, taču, konkrētāk spriest par šī materiāla izcelsmi un baseina nogulumu vecumu, varēja tikai pēc baseina nogulumu datēšanas ar luminiscences metodi. OSL datēšanas rezultāti, kaut ar samērā augstu metodes pieļaujamo kļūdu, (datējums Silnieki\_01  $41,4 \pm 8,6$  tūkst. OSL g.) (Eskola 2009) liecina, ka nogulumi ir uzkrājušies Vidusvislas (Lejasciema) interstadiāla laikā.

Lai noteiktu paleotraumju virzienus šī Vidusvislas (Lejasciema) interstadiāla laikā eksistējošā kūšanas ūdeņu baseina iekšienē, lauka darbu laikā Jaunā Silnieku karjera DA sienā tika veikti slāņojuma mērījumi (3.2. att).



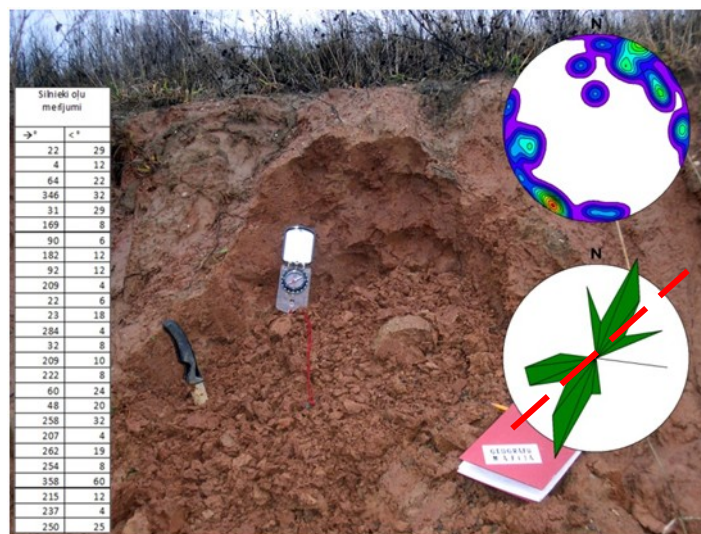
3.2. attēls. Slīpslāņoto sēriju mērījumi jaunā Silnieku karjera DA sienā.

Pēc iegūtajiem diagonālā slīpslāņojuma mērījumu datiem, var secināt, ka baseina iekšienē, domājams seklūdēns daļā, eksistējušās lokālās straumes interstadiāla laikā plūdušas gandrīz meridionālā virzienā no D uz Z. Slīpslāņoto sēriju krituma azimuts azimuts vidēji ir  $350^\circ$ , vidējais krituma leņķis –  $27^\circ$ . Taču informāciju par senākiem straumju plūšanas virzieniem, nav iespējams iegūt, jo zem šī slāņkopas dziļāk iegulošie slāņi ir glaciotektoniski deformēti kā redzams karjera ZR sienā (3.1. att.). Vecā Silnieku karjera izpētes darbu atskaitē iekļautajos ģeoloģiskajos griezumos (Ābola, 1978) redzams, ka starp smilts materiāla slāņkopām, vietām izķīlējas morēnas lēcas, kuru izcelsme tā pat kā jau minētās, smilts slāņkopā novērojamās deformācijas ir skaidrojama ar uz aktīva ledus kontakta nogāzes vai pasīvā un aktīvā ledus kontaktnogāzē notikušajiem glaciotektoniskajiem procesiem – šajā gadījumā ar zvīņveida uzbīdījumu glaciostruktūras veidošanos. Šādas lēcas piemēru var apskatīt pēc karjera izpētes laikā iegūtajiem urbumu datiem sastādītajā griezumā IX – IX' (3.3. att.). Griezums telpiski novietots paugurmasīva DA jeb aktīva ledus kontakta nogāzē. Starpmorēnas lēca visticamāk ieguļ slīpi.



3.3. attēls. Ģeoloģiskais griezumā pa profila IX- IX'. Līniju (Ābola, 1978 ar autora reinterpretētu morēnas nogulumu lēcas izvietojumu).

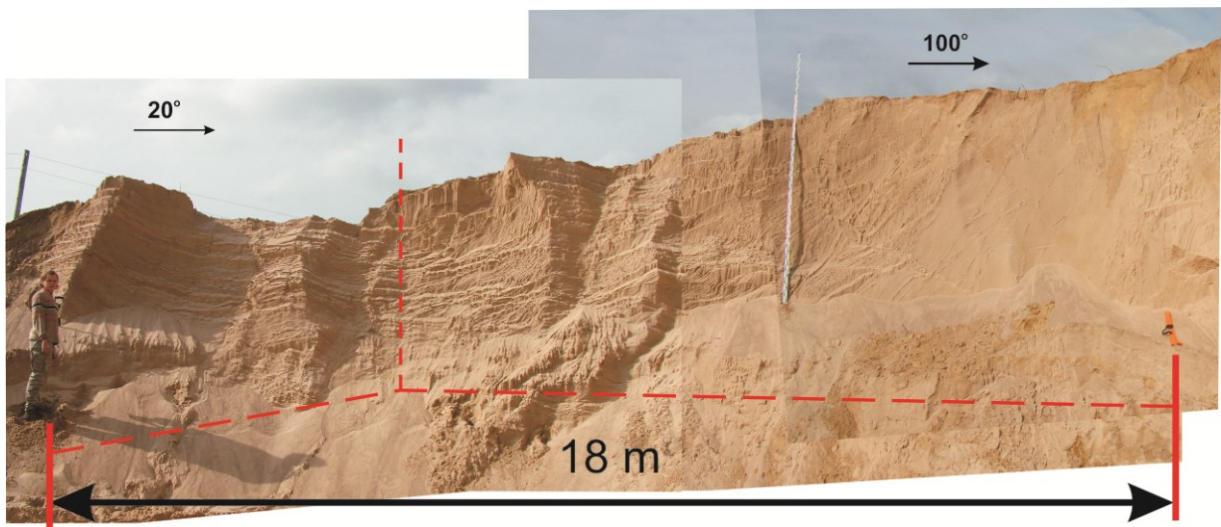
Paugurmasīvu, kurā izvietoti Silnieku jaunais un vecais karjers, tāpat kā, spriežot pēc to formas, relatīvajiem augstumiem un pārējo morfoloģisko pazīmju analogijām, citus pauguraines hipsometriski augstākajā daļā sastopamos paugurmasīvus klāj bazālās morēnas nogulumu segkārtā. Šīs segkārtas biezums atšķirīgās pauguru virsotņu daļās ir mainīgs, taču ir novērojama likumsakarība, ka pretēji ledāja plūsmai vērstajās pauguru proksimālajās – šajā gadījumā- Z un ZA pauguru nogāzēs morēnas segkārtā ir daudz biezāka kā šo pašu distālajās nogāzēs. Lai noteiktu ledus plūsmas kustības virzienu paugurmasīva veidošanās beigu etapā, jaunā Silnieku karjera dienvidrietumu sienu pārsedzošajā morēnas segkārtā tika veikti oļu linearitātes mērījumi. Segkārtu veidojošai morēnai raksturīga blīva, masīva tekstūra vietām ar laukakmeņu ieslēgumiem, kas norāda uz morēnas veidošanos zemledāja ledāja gultnes apstākļos, jeb piederību pie t.s. bazālās morēnas fācijām. Mērījumu rezultātu vizualizācija redzama 3.4. attēlā.



3.4. attēls. Oļu linearitātes mērījumi morēnas atsegumā jaunā Silnieku karjera DR sienā. Ar pārtraukto sarkano līniju norādīta pugura garenass orientācija.

Iegūtie rezultāti ar izolīniju un rozēs diagrammu rezultāti uzskatāmi norāda, ka absolūti lielākajā daļā gadījumu, oļu garenasis ir orientētas ZA – DR virzienā, klasiski tā norādot maksimālo sprieguma lauka ( $\sigma_1$ ) telpisko orientāciju, kas ļoti labi sakrīt kā, piemēram, ar paša paugurmasīva D puses aktīvo ledus kontakta nogāzi, tā ar pauguraines hipsometriski zemākajā līmenī esošo paugurgrēdu sastāvā esošajām paralēli ledāja kustības virzienam orientēto paugurvaļņu reljefa formām. Iespējams, ka šīs morēnas makrolinearitāte ir saglabājusies no agrākā morēnas nogulumu zemledāja deglaciācijas etapa, par ko varētu liecināt morēnas vāji plātņaina, lielāko oļu apkaimē – slāniskā morēnas tekstūra, kas uzskatāma kā deformācijas morēnas tieša liecība. Par a – tipa linearitātes saglabāšanos netieši varētu liecināt tas, ka oļu garenasu mērījuma vieta ir novietota paugurmasīva virsotnē, bet pats paugurmasīvs pieder pauguraines hipsometriski augstākajai daļai, kura deglaciācijas laikā ātrāk nonāca stagnējoša ledus apstākļos (t.s. „sticky spots” pēc Stokes, Clark, 2002a). Tāpēc tā norāda ledāja plūsmas virzienu hipsometriski augstākajā daļā, kad zem ledāja uzkrājās morēna un notika tās deformācija. Tātad šajā laikā ledāja plūsmas virziens bija paralēls normālajam minimālās spiedes (maksimālās stiepes) virzienam, un tas liecina par ledājatransgresīvu kustību, kas varēja sakrist ar Lubāna ledus loba oscilāciju Madonas – Trepes vaļņa vieodšanās laikā.

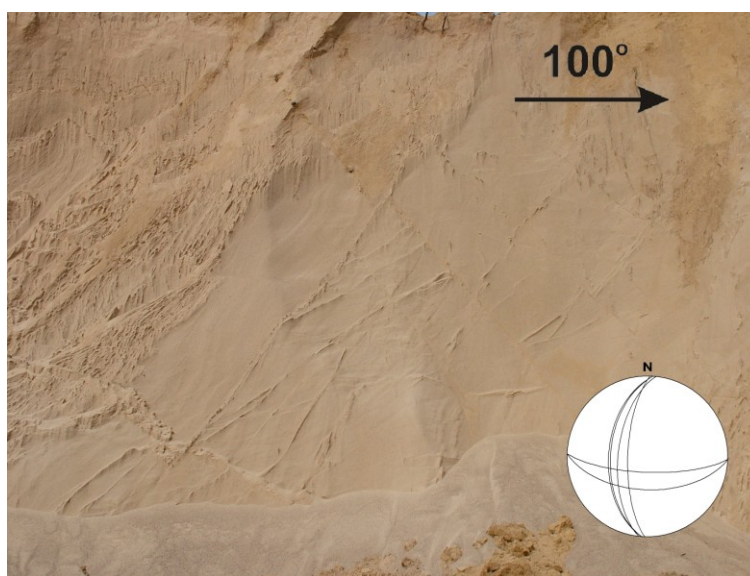
Arī citās vietās Praulienas pauguraini veidojošos pleistocēna nogulumos ir sastopamas gaciotektonisko deformāciju izpausmes. Kā vēl viens pētījumu objekts pauguraines teritorijā, kur novērojams traucēts slāņu sagulums, ir Vidus Zemturu karjers Ļaudonas pagasta teritorijā. Taču, salīdzinot ar jauno Silnieku karjeru, šī karjera atseguma (3.5. att.) sienās redzamās deformācijas sarežģītības ziņā atšķiras no iepriekš minētajām un ir daudz komplicētākas. Kā var novērot Vidus Zemturu ZA sienā (3.5. att.), šajā, pauguraines hipsometriski zemākajā daļai piederošās reljefa formu veidojošie nogulumu ir glaciotektoniski deformēti daudz vairāk kā Silniekos. Pēc ģenēzes šie nogulumu – smalka un vidēji rupja smilts – tiek pieskaitīti pie glaciofluviālajiem nogulumu (Spunda, Spunda, 2007).



3.5. attēls. Glaciotektoniskās deformācijas Vidus Zemturu karjerā. ZA siena. Sarkanais kvadrāts norāda bīdes plakņu mērījumu vietas.

Tāpat nogulumu labā šķirotības pakāpe un manāmās vizuālās līdzības ar jaunajā Silnieku karjerā iegūstamo smilts materiālu, liek domāt par iespējamo nogulumu kopīgo izcelsmi baseina seklūdēns zonā, kur ieplūdušas straumes. Lai iegūtu kādu informāciju, kas apstiprinātu vai, tieši pretēji, noliegtu šo apgalvojumu arī Vidus Zemturu karjerā tika noņemti paraugs nogulumu datēšanai ar OSL metodi. Pēc datējumu rezultātu saņemšanas, pieņēmums, ka tie ir vienāda vecuma ar Silnieku apkaimē izplatītajiem slāņiem apstiprinājās, jo nogulumu vecums, kas noteikts ar OSL datēšanas metodi ir Vidus Zemturi  $46,0 \pm 8,6$  tūkst. OSL g. (Eskola 2009). Iegūtie rezultāti liecina, ka nogulumu, līdzīgi kā Silnieku karjera gadījumā, ir uzkrājušies Vidusvislas (Lejasciema) interstadiāla laikā.

Vidus Zemturu karjera sienās redzamo deformāciju analīzei, atseguma A daļā (3.5. att. pa labi) tika veikti pārvietojuma plaisu plakņu telpiskās orientācijas – krituma azimutu un krituma leņķu - mērījumi. Iegūto mērījumu rezultātu vizualizācija ir redzama 3.6 attēlā. Neskatoties uz divu krustojošos plaisu sistēmu konstatāciju, pēc mērījumu rezultātiem normālās maksimālais spiedes un stiepes asis nav iespējams rekonstruēt, jo abas plaisu grupas ir faktiski perpendikulāras.



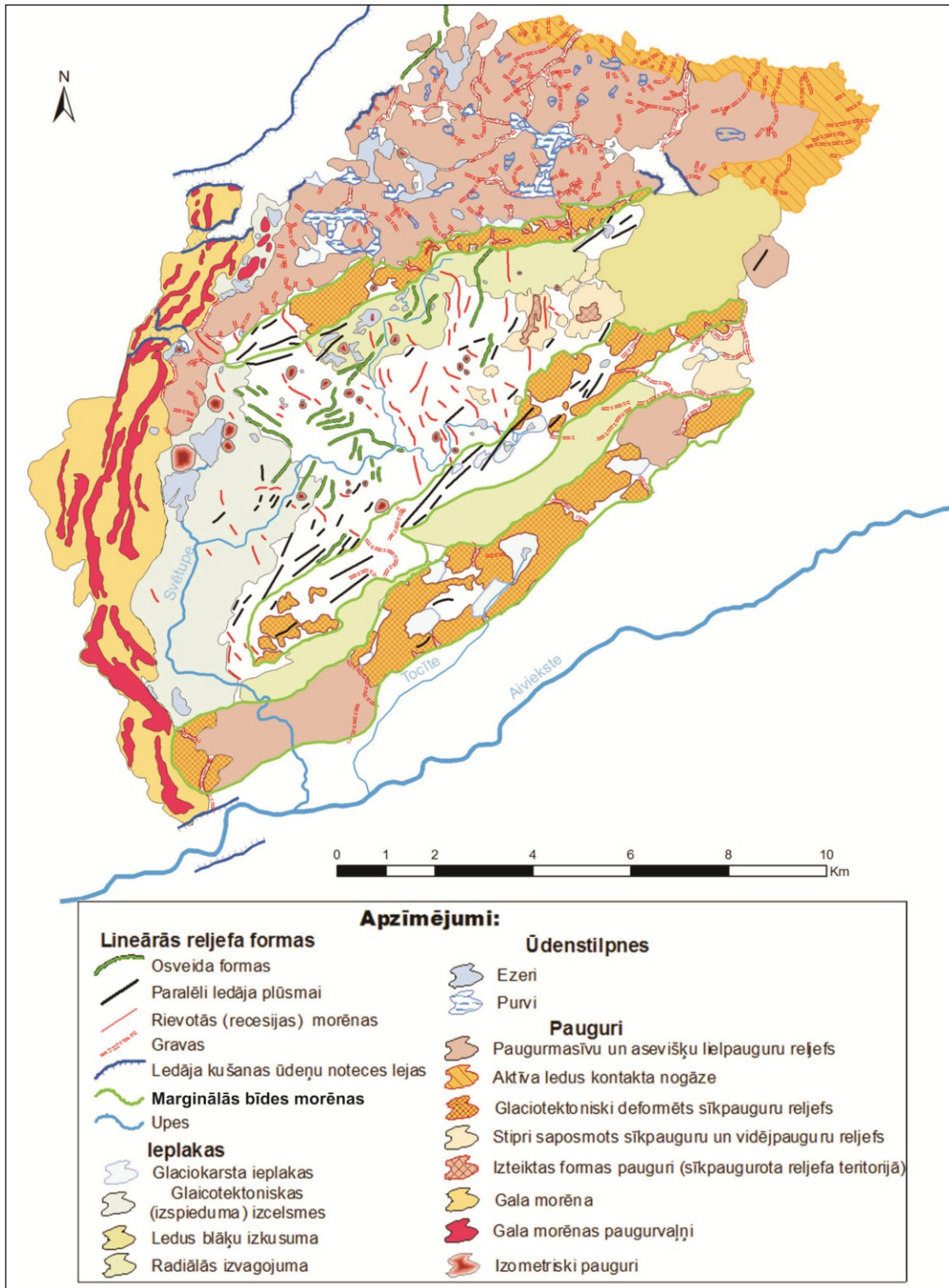
3.6. attēls. Pārbīdes lūzumu mērījumi. Vidus Zemturu karjera ZA siena.

Kā papildus informācijas avots par teritorijas reljefa formu izveides laikā notikušajām glaciotektoniskajām izpausmēm Vidus Zemturu karjerā kalpo oļu garenasu mērījumu rezultāti no karjera teritorijā, paugura A nogāzē esošā šurfa DA sienas (3.7. att.). Kā redzams no mērījumu rezultātu diagrammām, oļu linearitātei Vidus Zemturu karjeru pārsedzošajā morēnas segkārtā vairs nav raksturīga tik viendabīga linearitāte, kā iepriekš apskatītajā jaunā Silnieku karjeru pārsedzošās morēnas gadījumā. Kā rozēs diagrammā, tā izolīniju diagrammā ir skaidri redzami divi izteikti oļu garenasu virzieni. Izteiktākais no tiem ir orientēts ZR – DA virzienā, un otrs, mazāk izteiktais, oļu garenasu vērsuma virziens, ir orientēts ZA – DR virzienā. Taču, pēc garenasu mērījumu vietas telpiskā novietojuma un paugura garenass telpiskās orientācijas (3.7. att.) novērtēšanas, kā arī pēc paugura ģeomorfoloģiskās piederības pie perpendikulāri ledāja kustības virzienam orientētajiem pauguriem (Putniņš, 2009), jāsecina, ka arī šajā gadījumā oļu garenasis ir tikušas pakļautas rotācijai un ieguvušas perpendikulāru orientāciju

(no ZR un DA) galvenajam normālajam maksimālā spiedes virzienam ( $\sigma_1$ ), un tikai daļa no garenasīm saglabā sākotnējo orientāciju no ZA uz DR. Tātad šajā gadījumā atseguma sienā ir novērojams izteikts b – tipa linearitātes gadījums (Āboltiņš, 1999). Spriežot pēc iegūtajiem mērījumu rezultātiem un šurfa telpiskā novietojuma (paugura ZA nogāze), kā arī, salīdzinot ar pārbīdes lūzumu plakņu telpiskās orientācijas mērījumu rezultātiem, jāsecina, ka morēnas segkārtā tā pat kā deformēto glaciofluviālo nogulumu slāņkopā, valdošais deformācijas spēka virziens jeb normālās maksimālās spiedes virziens ( $\sigma_1$ ) ir vērsts no ZA uz DR, kas ir perpendikulāri konkrētā paugura nogāzes vērsumam, taču sakrīt ar paralēli ledāja kustības virzienam orientēto paugurgrēdu reljefu citviet pauguraines hipsometriski zemākās daļas teritorijā.



3.7. attēls. Oļu mērījumi un mērījumu rezultāti no Vidus Zemturu karjera teritorijā esošā šurfa DA sienas. Ar pārtraukto līniju parādīta reljefa formas orientācija.



3.8. attēls. Prailienas pauguraines ģeomorfoloģiskā karte. (© A.Putniņš).

### **3.2. Ledāja reljefa formas, to izplatība, morfoloģija un iekšējā uzbūve**

Praulienas pauguraines teritorija raksturojas ar lielu ledāja reljefa morfoloģijas daudzveidību. Ārēji šī reljefa morfoloģiskā daudzveidība liecina par tā veidošanās apstākļu daudzveidību. Taču pirms pāriet pie reljefa formu ģenētiskās interpretācijas ļoti svarīgi ir apzināt reljefa morfoloģiskās īpatnības un veikt reljefa formu tipizāciju pēc morfoloģiskajām pazīmēm, un, it īpaši pēc to novietojuma attiecībā pret ledāja kustības virzienu. Ļoti nozīmīga loma šādā tipizācijā ir datiem par reljefa formu iekšējo uzbūvi, kas ļauj precīzāk nošķirt morfoloģiski dažādās reljefa formu grupas.

Pauguraines teritorijā ir sastopami gan pauguri, kas pēc to izmēriem ir pieskaitāmi pie sīkpauguriem, tā pauguri, kas savas formas un konfigurācijas ziņā pielīdzināmi lielpauguru grupai. Pauguraines teritorijā ir sastopamas kā pozitīvās tā negatīvās reljefa formas. Pētāmajā teritorijā ir novērojamas sakarības starp reljefa formu izmēriem un to orientāciju telpā. Šīs sakarības zināmā mērā arī ir pakārtotas konkrētās reljefa formas piederībai pie kāda (attiecīgi – augstākā vai zemākā) no Praulienas pauguraines hipsometriskajiem līmeņiem. Lai veiksmīgāk analizētu un raksturotu Praulienas paugurainē sastopamās reljefa formas šajā nodaļā ir sistemātiski izdalītas šādas reljefa formu grupas:

- Paugurmasīvi un izometriskās ledāja reljefa formas;
- Ledāja kustības virzienam paralēli orientētās reljefa formas;
- Ledāja kustības virzienam perpendikulāri orientētās reljefa formas;
- Osi un osveida reljefa formas;
- Saliktās ledāja reljefa formas;
- Izolētās un izometriskās ieplakas un katlienes;
- Erozijas ielejveida reljefs.

### 3.2.1. Paugurmasīvi un izometriskās ledāja reljefa formas

#### *Paugurmasīvi*

Izmēru ziņā iespaidīgākie paugurmasīvi ir izvietojušies Praulienas pauguraines ziemeļu un ziemeļaustrumu daļā. To relatīvais augstums sasniedz gandrīz 35 m augstumu. Lielākais pēc pamatnes no šiem veidojumiem ir Silnieku paugurmasīvs (8,94 km<sup>2</sup>). Taču no tā daudz neatpaliek Akmenāju – Līdumnieku paugurmasīvs (~5,4 km<sup>2</sup>). Tā virsas maksimālais absolūtais augstums (141,8 m vjl.) pat ir nedaudz augstāks kā Silnieku paugurmasīvam (138,4 m). Akmenāju – Līdumnieku paugurmasīvs atrodas nedaudz vairāk uz R no Silnieku paugurmasīva. Savukārt, Silnieku paugurmasīvam ir raksturīgs lielāks relatīvais augstums. Tas paugurmasīva ziemeļu nogāzē sasniedz 33,4 m atzīmi. Šo paugurmasīva, kā arī citas pret ledāju vērstās nogāzes - ZA un DA (šajā gadījumā arī - aktīva ledus kontakta nogāzes) mūsdienās saposmo izteiksmīgs gravu erozijas tīkls. Erozijas reljefa formas ir aprakstītas 3.2.7 apakšnodaļā.

Kaut arī paugurmasīva Z un ZA nogāze ūdens erozijas (gravu) rezultātā ir stipri saposmota, tā ir uzskatāma par šī paugurmasīva lēzenāko nogāzi. Slīpuma ziņā visstāvākā nogāze iezīmējas paugurmasīva D daļā netālu no Silkaļpu mājām. Paugurmasīva virsotnes virsmas topogrāfiju var raksturot kā viegli viļņotu ar tendenci virsmas absolūtajam augstumam pieaugt R virzienā, taču virsotnes centrālajā daļā, netālu no Vecpoļu un Kalūžu mājām, ir izveidojies pazeminājums, kura iedobi mūsdienās aizpilda purvs.

Kā vēl viens spilgts, taču izmēru ziņā mazāks, paugurmasīvu grupas pārstāvis ir paugurmasīvs uz kura virsmas mūsdienās izvietojies Praulienas ciemats (3.9. att.). Paugurmasīva pamatnes laukums aizņem 1,95 km<sup>2</sup> lielu teritoriju. Paugurmasīva augstākais punkts, uz Rietumiem no Praulienas, sasniedz 142,5 m vjl. atzīmi. ZR nogāzē paugurmasīva maksimālais relatīvais augstums sasniedz 28,2 m.. Stāvākās nogāzes raksturīgas paugurmasīva DR daļai, kur to saposmo dziļas gravas. Šajā vietā, iespējams, atradies no kultūrvēsturiskā viedokļa nozīmīgais Ūbānu pilskalns.

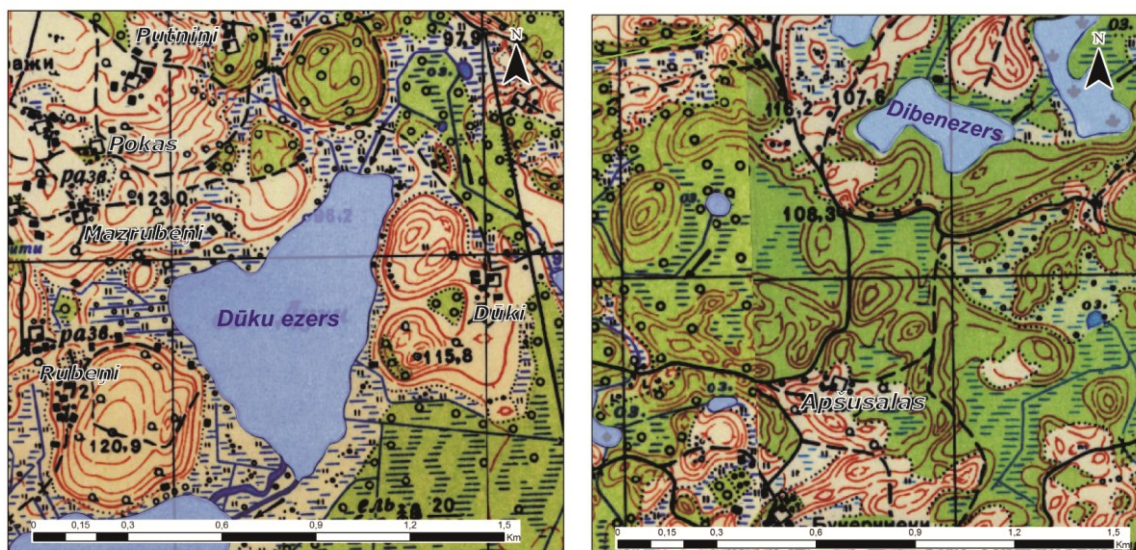
Šie paugurmasīvi pēc to morfoloģijas vizuāli pat ļoti līdzinās platovirsas māla pauguriem jeb t.s. zvonciem. Kā pētījumu, kas tika aprakstīti iepriekšējā apakšnodaļā, rezultātā ir redzams (3.1. att.), ka tos veido putekļaini līdz vidēji rupji smilts nogulumi, kas uzkrājušies piededāja baseinā, atšķirībā no zvonciem, kurus veido iekšlējēja sprostezeru, galvenokārt, bezakmens māla nogulumu (Straume, 1975). Piedevām virsotnēs esošais materiāls atgādina OSL datētos nogulumus, kuri katrā ziņā nav uzkrājušies leduslaikmeta beigu posmā vai Gulbenes deglaciācijas fāzes laikā, jo griezumos tie atrodas zem morēnas (3.3. att.). Tātad šie pauguraines hipsometriski augstākajā daļā izplatītie paugurmasīvi ģenētiski ir klasificējami kā lēzeni iztekti kupolvirsas morēnpauguri.



3.9. attēls. Praulienas paugurmasīvs. M 1:25 000 topogrāfiskās kartes fragments.

### *Vienkāršas izometriskas reljefa formas*

Vienkāršo izometrisko reljefa formu grupai pieder izolētie izometriskie sīkpauguri un vidējpauguri, kas, ar atsevišķiem izņēmumiem, galvenokārt, ir izplatīti Praulienas pauguraines hipsometriski zemākajā daļā, vai tai pieguļošajā Dūku – Svētes ieplakā. Šo vidējpauguru un sīkpauguru platības svārstās robežās no 0,4 ha līdz 22 ha, bet relatīvie augstumi no 5 m līdz 25 m. Šī tipa izometriskie sīkpauguri un vidējpauguri bieži vien ir sastopami grupās. Vairāki pauguri atrodas vienuviet un tādā veidā veido pauguru kopas. Viena šāda kopa, kurā sastopami izmēru ziņā vislielākie šī tipa pauguri, ir izvietojusies pauguraines galējā rietumu daļā paugurainei pieguļošajā Dūku – Svētes ieplakā, tiešā Dūku ezera tuvumā. Augstākais kopas paugurs – Rubeņu kalns, ir atrodas starp Dūku un Svētes ezeriem (3.10. att. pa kreisi). Paugura absolūtais augstums 120,9 m vjl. Relatīvais augstums sasniedz 25 m, bet platība ~ 22 ha. Šo izometrisko pauguru formas konfigurācija vistuvāk ir pielīdzināma kupolveida pauguriem, taču, to virsotņu virsmu bieži vien saposmo vāji attīstīti erozijas reljefa (gravu) elementi. Atsevišķiem pauguriem (Dūku kalnam un paгурam uz A no bijušajām Putniņu mājām) virsotnes centrālajā daļā ir novērojamas paugura kontūru dublējošas ieplakas.



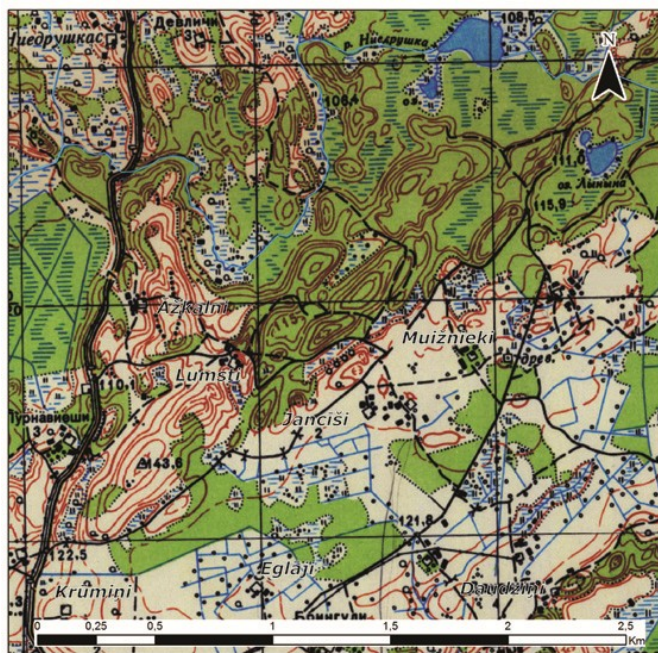
3.10. attēls. **Izometrisko pauguru piemēri.** Attēls pa kreisi –Dūku ezera apkārtnē, attēls pa labi – Apšusalu māju apkārtnē. M 1: 25 000 topogrāfiskās kartes fragmenti.

Vēl viena pauguraines hipsometriski zemākās daļā esošo izometrisko pauguru kopā, kas vizuāli atgādina garenstieptu joslu, kura atrodas uz DR no Dībenezera, netālu no Apšusalu

mājām (3.10. att. pa labi). Mazākā no šiem kupolveida pauguriem (joslā vistālāk uz DA) platība ir 1,4 ha, savukārt, lielākais no tiem (grupas R daļā) aizņem 4,3 ha plašu pamatnes platību.

### 3.2.2. Ledāja kustības virzienam paralēli orientētās glacigēnās reljefa formas

Kā vēl viena Praulienas pauguraines teritorijā plaši izplatīta un morfoloģiski salīdzinoši vienkāršu reljefa formu grupa ir ledāja kustības virzienam paralēli orientētais paugurgrēdas. Šajā grupā tiek apvienoti kā atsevišķi morfoloģiski labi izteikti, garenstiepti vai vaļņveidīgi sīkpauguri, vidējpauguri un lielpauguri, tā sīkpauguru un vidējpauguru kopīgi formētas ķēdītes (izmēru ziņā nelielas paugurgrēdas) ar paralēli orientētām, cieši (viena aiz otras) sekojošām virsotnēm, kas kopīgi veido izteiktu ledāja kustības virzienam paralēli orientētu lineāru formu. Kā to uzskatāmi var redzēt sastādītajā ģeomorfoloģiskajā kartē, šo grupu pārstāvošās reljefa formas ir sastopamas tikai Praulienas pauguraines hipsometriski zemākajā daļā (3.8. att). Šo grupu pārstāvošās reljefa formas ir sastopamas kā savrupi veidojumi, tā arī bieži vien vairāki šo reljefa formu grupu pārstāvošie garenstieptie pauguri vai sīkpauguru ķēdītes. Pēdējās ir koncentrējušās vienviet, un tādejādi veido kopas. Iespaidīgākas, un formu izmēru ziņā lielākās kopas ir izvietojušās pauguraines hipsometriski zemākās daļas centrā. Īpaši izteiksmīga ledāja kustības virzienam paralēli orientēto pauguru kopa nedaudz uz ZR no Muižnieku mājām veido Kaļpu - Ozolnieku paugurgrēdas centrālo daļu (3.11.att.). Iespaidīgākā vaļņveida paugura (3.11. attēlā vistālāk uz DR, pie autoceļa Lazdona – Ļaudona) sānu nogāžu relatīvais augstums sasniedz 25 m. Tā garenass garums ir



3.11. attēls. Paralēli ledāja kustības virzienam orientēto paugurgrēdas Muižnieku mājās apkārtnē. M 1: 25 000 topogrāfiskās kartes fragments.

nedaudz mazāks par 900 m, bet vidējais platums ir ap 250 m. Pārējo Muižnieku māju apkārtnē esošo paugurvaļņu garums ir vidēji 550 – 600 m. To relatīvais augstums 10 – 20 m. Šo paugurvaļņu platums mainās robežās no 100 līdz 250 m. Atsevišķu vaļņu virsmā novērojamas garenstiepti mikroreljefa elementi, kas atkārtoti šo pašu vaļņu garenas orientāciju (tie ir orientēti paralēli nogāzēm). Visu šai Muižnieku kopā ietilpstošo paugurvaļņu garenasis ir orientētas ZA – DR virzienā, kas sakrīt ar Austrumlatvijas zemienē esošā Lubānas ledus loba plūsmas virzienu (Zelčš et al., 2003) Šo paugurvaļņu piederība pie kādas no ģenēzes viedokļa Latvijā līdz šim izdalītajām ledāja veidotajām reljefa formām ir visai neskaidra. No morfoloģiskā viedokļa skatoties, tās ir tuvas Rogenas morēnām, taču to piederību arī šai rievoto morēnu apakšgrupai liek apšaubīt šo paralēli ledāja kustības virzienam orientēto izteikti lineāro pauguru starpās esošās izteiktās glaciokarsta ieplakas, kas norāda uz konkrētās Kaļpu – Ozolnieku paugurgrēdas daļas viedošanās apstākļiem, un aprimuša ledus klātbūtni vismaz tās beigu posmā.. Glaciokarsta ieplakas sīkāk tiek raksturotas šī darba 3.2.7. apakšnodaļā.

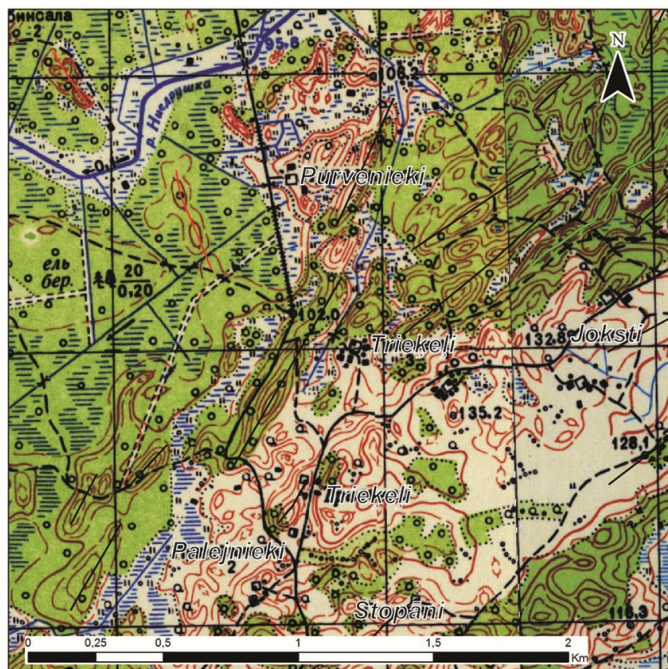
Šai jau aprakstītajai paralēli ledāja kustības virzienam orientēto reljefa formu kopai līdzīga pauguru kopa ir izvietojusies pauguraines hipsometriski zemākās daļas Z, vietā, kur tās hipsometriski augstākās daļas lielpauguri pieslēdzas Madonas – Trepes vaļņa gala morēnas veidojumiem. Šajā kopā iekļaujas izmēru un formu ziņā visai atšķirīgi pie paralēli ledāja kustības virzienam orientēto reljefa formu grupas piederīgi pauguri. Lielākais no tiem sasniedz 25 m relatīvo augstumu. Tā garenass ir 1000 m, vidējais paugura platums 250 m. Citu šīs reljefa formu kopas vaļņveida pauguru vai sīkpauguru ķēdīšu garenasu garums mainās robežās no 200 līdz 800 m. Taču šīs kopas pauguru garenasis savstarpēji nav novietotas tik izteikti paralēli, kā iepriekš aprakstītās Muižnieku kopas gadījumā. Šīs kopas pauguru garenasīm ir novērojams savstarpēji subparalēls, kā arī tām ir tieksme izķīlēties uz dienvidrietumiem jeb virzienā uz Madonas – Trepes valni.

Kā trešo ledāja kustības virzienam paralēli orientētā reljefa grupai piederošo pauguru nozīmīgāko kopu, var nosaukt Trieķeļu māju apkārtnē esošās lineārāo pauguru grupējumu (3.12. att). Trieķeļu mājas ir novietojušās Kaļpu – Ozolnieku paugurgrēdas dienvidu galu veidojošās saliktās reljefa makroformas ziemeļrietumiem nogāzē, taču apskatītā paralēli ledāja kustības virzienam orientēto reljefa formu kopa pieguļ šīs lielākās reljefa formas pakājei un

tādejādi iezīmē pāreju no Kaļpu – Ozolnieku paugurgrēdas uz Dūku – Svētes ieplaku. Šajā vietā sastopamo paralēli ledājam orientēto paugurgrēdu formām ir raksturīga izteikti šaura un garenstiepta konfigurācija. Paugurgrēdu garums vidēji ir 500 m, platums mainās no 50 līdz 150 m. Šo formu relatīvais augstums svārstās plaša amplitūdā. Lielāko paugurgrēdu relatīvie augstumi sasniedz 22,5 m, savukārt, atsevišķu, izmēru ziņā, sīkāko pauguru relatīvais augstums ir vien 7,5 m. Vidēji šo ledāja kustības virzienam paralēli orientēto reljefa formu augstumi Trieķeļu māju grupā ir 10 – 15 m. Tomēr jāatzīmē, ka šī Trieķeļu māju apkārtnē

esošā reljefa formu kopa ir interesanta ar to, ka te sastopamo ledāja kustības virzienam paralēli orientēto reljefa formu garensis savstarpēji ir novietotas ar nelielu leņķisku nobīdi no galvenā virziena, kas, visticamāk, liecina par ledāja plūsmas virziena dinamikas maiņu (skat. Līdzīgus piemērus Saks, 2010 vai Stokes et al., 2006), kam par iemeslu, piemēram, varētu būt kādas nevienmērības – pacēlumi vai pazeminājumi - zemledāja gultnes reljefā. Par šādu ledāja plūsmas šķērsli iespējams, ir kalpojies Kaļpu – Ozolnieku

paugurgrēdas galējo dienvidu daļu veidojošais ~ 4 km garais, ~ 1 km platais un vidēji 20 m augstais garenstieptais paugurmasīvs, kas pēc savas formas konfigurācijas un telpiskās orientācijas līdzinās citiem Aiviekstes flūtingu lauka veidojumiem (skat. Zelčs, 1987). Šīs megalinearitātes formas Austurmlatvijas zemienē ir izveidojušās pirms Gulbenes deglaciācijas fāzes (Zelčs, Markots 2004).

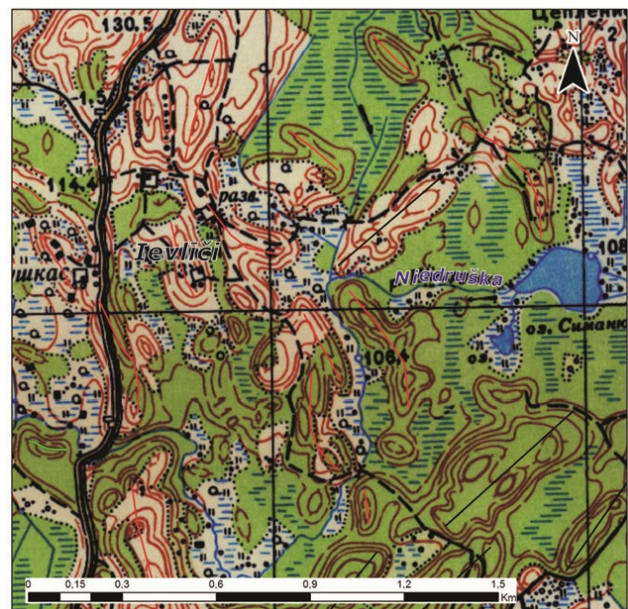


3.12. attēls. Paralēli ledāja kustības virzienam orientētas reljefa formas pie Trieķeļu mājām. M 1:25 000 topogrāfiskās kartes fragments.

### 3.2.3. Ledāja kustības virzienam perpendikulāri orientētās reljefa formas

Ledāja kustības virzienam perpendikulāri jeb šķērseniski orientētās reljefa formas, līdzīgi kā iepriekš aprakstītas paralēli kustības virzienam orientētās formas, ir ļoti plaši izplatītas Praulienas pauguraines hipsometriski zemākajā daļā. Pie šīs reljefa formu grupas piederīgās paugurgrēdas ne vienmēr spilgti izteiktas, kā paralēli ledāja kustības virzienam orientētā paugurgrēdu reljefa gadījumā. Bieži vien šai grupai piederīgie reljefu veidojošie elementi ir relatīvi nelieli sīkpauguri, vidējpauguri un to sakopojumi virknēs vai paugurgrēdas, retāk tie sasniedz liepauģuru izmērus. Pauguriem vai to veidotajām paugurgrēdām bieži var novērot garenasu izliekumu uz sāniem, kas lielākajā daļā gadījumu sakrīt ar ledāja kustības virzienu. Kaut arī šīs ledāja kustības virzienam perpendikulāri orientētās reljefa formas ir

sastopamas gandrīz visā pauguraines hipsometriski zemākās daļas teritorijā, tās jo īpaši daudz ir izvietojušās posmā starp Kaļpu – Ozolkalnu paugurgrēdu (uz dienvidiem) un Praulienas pauguraines ziemeļu daļā esošo morēnas paugurmasīvu un lielpauguru izplatības apgabalu. Uzskatāms šo reljefa formu dažādības piemērs redzams Ievlīču māju apkārtnē (3.13. att), netālu no Kaļpu – Ozolkalnu paugurgrēdas. Augstākās šajā kopā sastopamās (uz ZA no Ievlīču mājām) paugurgrēdas maksimālais relatīvais augstums sasniedz 25 m atzīmi, taču



3.13. attēls. Perpendikulāri ledāja kustības virzienam orientētās paugurgrēdas pie Ievlīču mājām. M 1:25 000 topogrāfiskās kartes fragments.

pārējo šajā apvidū sastopamo paugurgrēdu, vai garenstiepto pauguru relatīvie augstumi vidēji sasniedz 5 – 10 m atzīmi. Šo paugurgrēdu un garenstiepto pauguru garenasu garumi ir vidēji 400 – 500 m. Paugurgrēdu un garenstiepto sīkpauguru un vidējpauguru garenasis caurmērā ir vērstas ZR – DA virzienā, kas ir tieši perpendikulāri no šīs vietas tālāk uz D esošajiem paralēli ledāja kustības virzienam orientētajai Muižnieku māju paugurvaļņu kopai, kura detāli tika aprakstīta iepriekšējā apakšnodaļā.

### 3.2.4. Osi un osveida reljefa formas

Gandrīz visi no Praulienas pauguraines teritorijā sastopamajiem šaurajiem, garenstieptajiem vaļņiem un sīkpauguru virknēm ar stāvām nogāzēm, kas balstoties uz šīm morfoloģiskajām pazīmēm sastādot teritorijas ģeomorfoloģisko karti traktētas kā osi vai osveida formas ir izvietojušās Praulienas pauguraines hipsometriski zemākajā daļā. Vienīgais izņēmums ir osveida forma, kas atrodas uz robežas starp pauguraines hipsometriski augstākajai daļai piederošā paugurmasīva pie Salu ezera un Praulienas pauguraini no Vidzemes augstienes atdalošās ledāja kušanas ūdeņu lejas izveidoto pazeminājumu. Šeit, uz ZR no Salu ezera atrodas izteikti šaurs, garenstiepts valnis, kas gandrīz 1,3 km garumā stiepjas ZA – DR virzienā gar ledāja kušanas ūdeņu noteces leju. Šī vaļņa maksimālais relatīvais augstums, vietā, kur to šķērso Madonas apvedceļš, sasniedz 15 m augstumu. Paugurgrēdas pamatnes platums ir vidēji 75 m.

Praulienas pauguraines hipsometriski zemākajā daļā ir sastopami vairāki izteiksmīgi šauras, garenstiepti vaļņi ar lielu relatīvo augstumu un izlocītu garenasi, kas tiek kartēti kā osi vai osveida formas (Tālbergs 1969), (Spunda, Spunda, 2007). Šai grupai piederošo vaļņu garumi ir atšķirīgi. Īsākais par osiem vai osveida reljefa formām kartētais valnis ir nepilnus 200 m garš (iespējams, rudiments no lielākas osu sistēmas), turpretim, garākās osveida formas sasniedz 1,8 km garumu. Arī vaļņu pamatnes platumi ir atšķirīgi. Šaurākie vaļņi ir vien 50 m plati, turpretim, platākais pat nedaudz pārsniedz 250 m platumu. Šo vaļņu virsmā izteiksmīgi iezīmējas atsevišķas ieapaļas (ovālas), vaļņa pamatnei paralēli orientētas virsotnes. Vidēji Praulienas pauguraines hipsometriski zemākajā daļā esošo osveida formu pamatnes platums variē robežās no 75 līdz 100 m. Lielāko vaļņu relatīvais augstums sasniedz 25 m atzīmi, taču vairumā gadījumu to relatīvais augstums ir robežās no 7,5 līdz 10 m. Atsevišķām osveida formām ir novērojama sazarošanās, kas, visdrīzāk, liecina par to, ka glaciofluviālo nogulumu uzkrāšanos un šo formu izveide kādā no tās attīstības stadijām ir apstājusies, piemēram, ledus plūsmai pārraujot vai aizspiežot zemledāja kušanas ūdeņu tuneli. Iespējams tieši šādu ledus plūsmas darbības procesu ir izveidojušies Palejnieku osa sānu atzari, kas redzami 3.14. attēlā. Palejnieku osa garums ir ~1,7 km. Osa tā austrumu galā pārrauj Niedruškas upe. Kā redzams attēlā, tā rietumu galā ir izveidojies izteiksmīgs

konusveida paplašinājums, ko var interpretēt kā glaciofluviāla materiāla izneses deltu. Arī citviet pauguraines teritorijā esošajām osveida formu (piemēram, uz D no Starpeņa un Dibenezera) galos ir novērojami deltu veidojumi. Palejnieku osā, Madonas rajona smilts un grants atradņu apzināšanas nolūkā, ir veikti ģeoloģiskās izpētes darbi (Tālbergs, 1969). Arī citas attēlā redzamās garenstiepti vaļņi (uz Z no Palejnieku osa) pie bijušajām Bīķernieku un Patmalnieku mājām, tiek klasificētas kā osveida formas. Šo nelielo vaļņu orientācija sakrīt ar Platmalnieku osa galvenajam kanālam atbilstošās grēdas orientācijas virzienu, kas liek domāt, par to piederību vienotai zemledāja un iekšledāja kušanas ūdeņu tuneļu un kanālu sistēmai.



3.5. attēls. Palejnieku oss. M 1: 25 000 topogrāfiskās kartes fragments.

Kopumā pauguraines hipsometriski zemākajā daļā iezīmējas vairāki, kopskaitā 3 galvenie osu un osveida formu garenasu orientācijas virzieni. Kā pirmais no tiem ir ZA – DR un tas sakrīt ar paralēli ledāja kustības virzienam orientēto lielformu un citu šī virziena lineamentu orientāciju. Šādā virzienā ir orientēts vairākums no kartētajiem osiem un osveida formām. Otrā osu garenasu orientācijas virzienu grupa ir orientēta drīzāk perpendikulāri ledajā plūsmas virzienam, proti, ZR – DA virzienā. Šādi orientētās osveida formas it kā tiecas krustot pirmās sistēmas osveida formas, taču, tā kā šo sistēmu krustošanās vieta mūsdienu virsmas reljefa formās neatspoguļojas, jātiecas domāt, ka šo osveida formu izveides laikā tuneļu sistēmas nav bijušas savienotas, vai, visticamāk, tās nav pastāvējušas vienlaicīgi. Trešā osu garenasu orientācijas sistēma ir skaitliski vismazāk pārstāvēta. Šo sistēmu veido 2 osveida formas, kuru garenasis tiecas būt orientētas drīzāk Z – D virzienā.

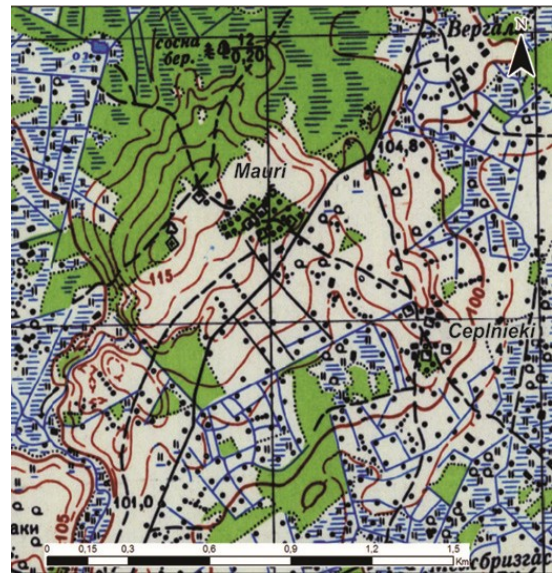
### 3.2.5. Saliktās ledāja reljefa formas

Šī reljefa formu grupa sevī apvieno vairākas kā morfoloģijas tā to ģenēzes ziņā dažādās Praulienas pauguraines teritorijas hipsometriski augstākajā un zemākajā daļā sastopamas ledāja reljefa formas. Grupa sevī apvieno ledāja kustības virzienā stieptās reljefa formas, reljefa formas ar sīkpaugurotu, izometriski sīkpaugurotu virsmas saposmoju saliktas un ledāja reljefa formas.

#### *Saliktās, ledāja kustības virzienā stieptās reljefa formas*

Šajā apakšgrupā ir ietilpst vairāki pie pauguraines hipsometriski zemākās daļas piederoši viedēj- un lielpauguri, kuru pamatnēm drīzāk ir izometriskā konfigurācija, taču to virsotnēs veido izteikti ledāja kustības virzienā orientēti reljefa elementi. Viena šāda lielpaugura piemēru var apskatīt 3.15. attēlā. Lielpaugurs atrodas Praulienas hipsometriski zemākās daļas galējā austrumu daļā. Paugura DR nogāzē

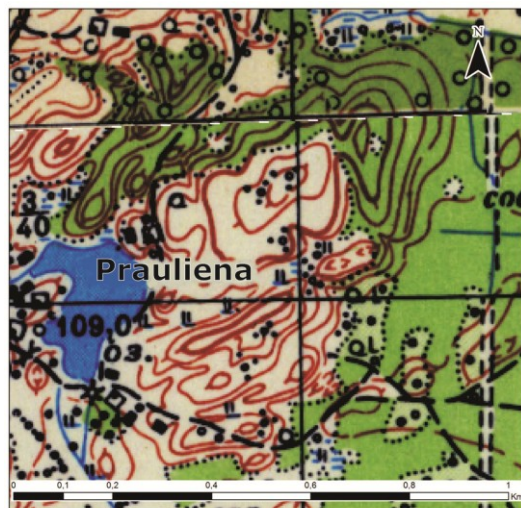
novietotas bijušās Mauru mājas, bet virsotnē – Mauru kapi. Vadoties no šiem vietvārdiem, lielpauguram tika dots nosaukums – Mauru kalns. LĢIA sagatavotajā jaunākajā mēroga 1: 50 000 topogrāfiskajā materiālā mauru Mauru kalna absolūtais augstums ir 118,6 m. Tā relatīvais augstums ir 18,6 m. Paša lielpaugura pamatnes laukuma platība ir 69,3 ha. Kaut arī paša lielpaugura pamatnei piemīt gandrīz izometriskā forma (paugura garums un platums ir vidēji 800 – 850 m), vadoties no tā, ka paugurs uzguļ lēzenam DA virzienā krītošam nolaidenumam, kas vistīcāmāk, ir saglabājies no kādas agrākas ledāja gultnes veidotas makroformas, un to, ka lielpaugura virsotnei ir izteikti ledāja kustības virzienā orientēta, šī reljefa forma tika iekļauta salikto, ledāja kustības virzienā stiepto reljefo formu apakšgrupā. Mauru kalna lielpauguram iezīmējas īpaši stāva ZR daļas nogāze, kas,



3.6. attēls. Lielpaugurs Mauru māju apkārtnē. M 1: 25 000 topogrāfiskās kartes fragments.

spriežot pēc uz R no paugura pakājes esošās lielieplakas, kas ģeomorfoloģiskajā kartē (3.8. att) tika kartēta kā ledus blāķu izkusuma ieplaka, konfigurācijas, ir veidojusies uz robežas starp liela aprimuša ledus ķermeņa (ieplakā) un aktīvas ledus plūsmu A no ieplakas, taču izsmeļošu spriedumu par šīs reljefa formas veidošanās apstākļu detaļām nav iespējams izdarīt, jo nav pieejami dati par šīs lielieplakas un to pavadošo reljefa formu uzbūvi.

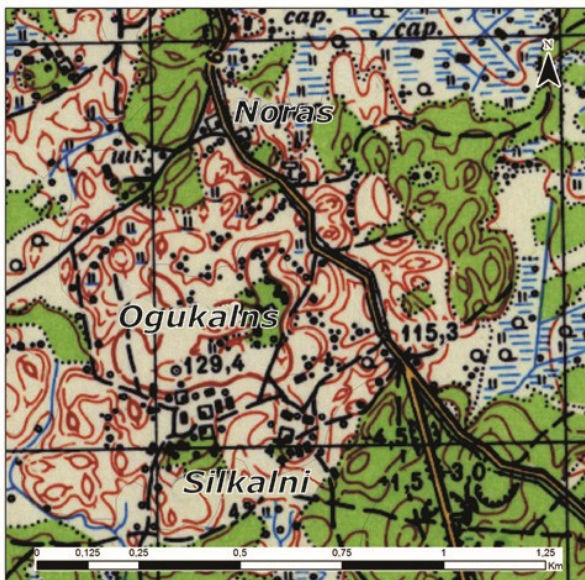
Kā vēl vienu salikto ledāja kustības virzienā orientētas reljefa formas piemēru var minēt vidējpauguru uz dienvidiem no Praulienas (3.16. att), kas izvietojies tiešā pārejas zonā starp pauguraines hipsometriski augstāko un zemāko līmeni tuvumā, taču tas ir pieskaitāms pie Praulienas pauguraines hipsometriski zemākās daļas. Jaunākajā Latvijas mēroga 1: 50 000 topogrāfiskajā kartē, šim lielpauguram ir dots nosaukums – Dibenkals (LĢIA topo, 2008). Paugura relatīvais augstums ir 27,5 m. Tam ir raksturīga nedaudz garenstiepta forma (garenass garums – 725 m, platums – 450 m). Atšķirībā no iepriekš raksturotā Mauru kalna, šī lielpauguram ir raksturīga sarežģītākas konfigurācijas virsma. Tā galveno virsotni garenstiepta reljefa forma, kuras sānu nogāzes saposmo sīki erozijas reljefa formu elementi. Pie paugura dienvidu nogāzes ir novērojami izteikti paralēli ledāja kustības virzienam orientēti lineāri reljefa elementi – garenstiepti pauguri ar relatīvo augstumu līdz 10 m. Uz R no paugura virsotnes izvietota mākslīgi veidota ūdenstilpe – Praulienas dzirnavu ezers. Spriežot pēc pauguru pavadošajiem izteikti lineārajiem elementiem, salīdzinājumā ar Mauru kalnu šī reljefa forma ir veidojusies krietni dinamiskos apstākļos, par ko liecina uz paugura nogāzes esošie, jau iepriekš pieminētie paralēli ledāja kustības virzienam orientētie lineārie reljefa elementi.



**3.7. attēls. Saliktas, paralēli ledājam orientētas reljefa formas piemērs Praulienas apkārtnē. M 1: 25 000 topogrāfiskās kartes fragments.**

### *Saliktas reljefa formas ar sīkpaugurotu, izometrisku virsmas saposmojumu*

Dotajai apakšgrupai piederīgas saliktās reljefa formas ir identificētas tikai Praulienas pauguraines hipsometriski zemākajā daļā. Visizteiksmīgākie šo formu piemēri ir sastopami posmā starp Kaļpu – Ozolkalnu paugurgredu un pauguraines hipsometriskiaugstāko daļu Lazdonas – Praulienas apkārtnē. Šī un citu paugurmasīvu virsmu veido atsevišķi haotiski orientēti, lielākoties – izometriski vai nedaudz garenstieptiepi sīkpauguri, kuru relatīvais augstums reti pārsniedz 7,5 m atzīmi. Retāk, šie sīkpauguri veido izteiksmīgas formas pauguru kopas, taču vienu šādu piemēru var apskatīt Ogukalnu māju tuvumā (3.15. att). Šo salikto paugurmasīvu pamatnes, to virsmas lielās saposmotības dēļ, M 1: 25 000 topogrāfiskajās kartēs ir visai grūti izšķiramas. Maksimālais absolūtais augstums teritorijās, kur izplatīti apskatāmās apakšgrupas paugurmasīvi, netālu no Ogukalnu mājām (3.17 att.) sasniedz 129,4 m vjl. augstumu. Par šo salikto ar stipri saposmotu virsmu, paugurmasīvu veidošanās apstākļiem ir grūti spriest, taču, iespējams, ka tas ir veidojies dažādu aprimušā ledus blāķa malās, par ko varētu liecināt ZA no šiem paugurmasīviem esošās lielieplakas, notikušo gravitācijas izraisīto procesu, piemēram, no ledus blāķa sienām izkusušā atlūzu materiāla



**3.8. attēls.** Saliktas, sīkpaugurotas reljefa formas piemērs pie Ogukalnu mājām. M 1: 25 000 topogrāfiskās kartes fragments.

akumulācija aprimušā ledus malā uz jau agrāk pēdējās transgresijas laikā izveidotas reljefa formas, kas mūsdienās veido šo pauguru pamatnes. Dažādus līdzīgus veidojumus, kas radušies gravitācijas spēka izraisīto nogulumu uzkrāšanās rezultātā glaciālajā vidē apskata D. Bess un D. Evans (Benn, Evans, 1998).

### *Saliktu reljefa formu sakopojumi*

Šai reljefa formu apakšgrupai piederošās reljefa formas ir izplatītas abos pauguraines hipsometriskajos līmeņos. Kā vienu, samērā vienkāršu šādas reljefa formas piemēru no hipsometriski zemākās Praulienas pauguraines daļas var minēt Kaļpu – Ozolkalnu paugurgrēdas galējā dienvidu daļā esošo gandrīz 4 km garo, ~ 1 km plato un vidēji 20 m augsto garenstiepto paugurmasīvu (3.18. attēls), kas pēc savas formas un garenass orientācijas līdzinās citiem Aiviekstes flūtingu lauka Gulbenes fāzes megalinearitātes veidojumiem (Zelčs, 2000), taču tā virsmu saposmo jaunākās,

Gulbenes fāzes deglaciācijas posma veidojušies reljefa formu elementi. Īpaši daudz šādu sekundāri veidojušies reljefa elementi ir izplatīti paugurmasīva distālajā daļā un tā sānu nogāzēs. Te sastopami gan kā ledāja kustības virzienam paralēli, tā perpendikulāri orientēti, gan arī izometriskas formas reljefa formu elementi. Bez tā, šī paugurmasīva virsmu vēl papildus saposmo kāds pāris izmēru ziņā nelielu, iegarenu ieplaku, kā arī lineāras erozijas reljefa formas. Paugurmasīva muguras relatīvais augstums lēzeni pazeminās tā proksimālajā virzienā.

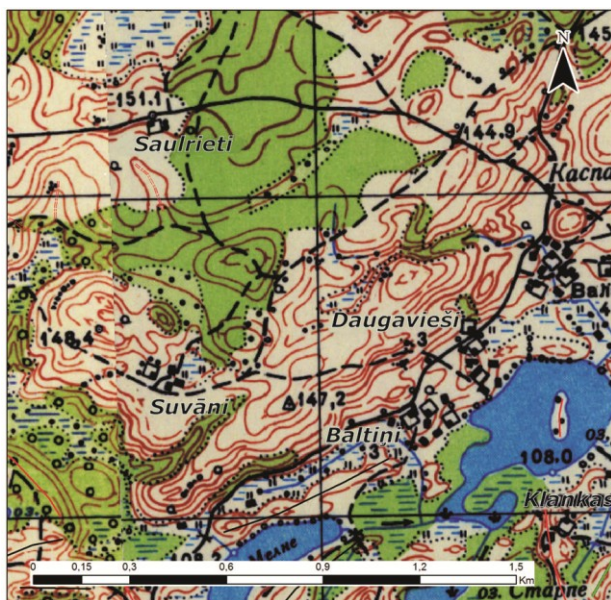


3.9. attēls. Saliktu kombinētas reljefa formas piemērs pauguraines hipsometriski zemākajā daļā. M 1: 25 000 topogrāfiskās kartes fragments.

Vēl viens, taču, sarežģītības ziņā, krietni vienkāršāks, šādas saliktās reljefa formas piemērs ir vērojams Silu – Ļaudonas paugurgrēdas galējos D, posmā no Kalnārēm līdz vietai, kur Silu – Ļaudonas paugurgrēda pieslēdzas Madonas – Trepes valnim. Šī paugurmasīva garums ir nedaudz vairāk kā 3,8 km, platums – vidēji 1,8 km. Tam ir arī stipri mazāks relatīvais augstums – vidēji 5 – 10 m. Kā vēl viena būtiska šīs saliktās reljefa formas iezīme ir, fakts, ka tās pamatu veidojošo paugurmasīvu kopskaitā vietās perpendikulāri šķeļ izteikti, šauri erozijas reljefa pazeminājumi, pa vienu no kuriem mūsdienās tek Svētupe. Šo erozijas reljefa formu izcelsme ir skaidrojama ar teritorijas deglaciācijas posmā pauguraines

hipsometriski zemākajā daļā eksistējušā ledāja kušanas ūdeņu lokālbasa noplūšanu uz Aiviekstes ledāja kušanas ūdeņu noteces ieleju.

Kā pie Praulienas pauguraines hipsometriski augstākās daļas piederīgo saliktu kombinēto ledāja reljefa formu piemēru, var minēt uz pasīva un aktīva ledus konta zonas radušos veidojumu, ko sekojot K.Stouksa un K. Klārka (Stokes, Clark, 2002a) lietotajai terminoloģijai varētu apzīmēt kā marginālās bīdes morēnas joslu. Dotajā gadījumā šī josla ir



3.10. attēls. Saliktu kombinēto reljefa formu piemērs no pauguraines hipsometriski augstākās daļas. Paugurgrēdas daļa pie Baltiņu mājām. M 1: 25 000 topogrāfiskās kartes fragments.

nedaudz izliekta un stiepas aptuveni 7 km garumā no Praulienas paugurmasīva D nogāzei piegulošās daļas joslas austrumu galā līdz Baltiņu un Suvānu mājām – joslas rietumu galā. Tā ir vidēji 450 līdz 500 m platumā. Tādejādi šī salikto kombinēto reljefa formu josla iezīmē arī izteiksmīgu robežu starp pauguraines hipsometriski augstāko ziemeļu un zemāko - dienvidu daļu. Šajā zonā, galvenokārt, ir izplatīti sīkpauguri un vidējpauguri, ko veido glaciotektoniski stipri deformēti nogulumi. Pauguriem bieži ir raksturīga garenstiepta, vaļņveida forma. Tie ir orientēti paralēli

pret pauguraines hipsometriski zemāko daļu vērsto nogāzi. Taču citās vietās šajā saliktajā reljefa formā ir sastopami arī atsevišķi izometriski un ieapaļi pauguri. Vietām starp vaļņveida virsotnēm ir sastopamas izmēru ziņā nelielas garenstieptas ieplakas. Šajā salikto kombinēto reljefa formu apakšgrupā apvienotajām reljefa formām ir raksturīgas stāvas nogāzes un lieli nogāžu relatīvie augstumi. Relatīvais augstums, šo formu pret aktīvo ledus plūsmu vērstajās nogāzēs sasniedz vidēji 25 līdz 30 m, taču pie Baltiņu un Suvānu mājām šis paugurgrēdas relatīvais augstums sasniedz pat 40 m augstumu (3.19. att). Tieši šī, uz DR no bijušajām Suvānu mājām esošā nogāze noslēdz šo pauguraines hipsometriski augstākajā daļā izplatīto salikto kombinēto reljefa formu izplatības joslu jeb marginālās bīdes morēnu (Stokes, Clark, 2002a), tāpēc morfoloģiski tā ir uzskatāma par šīs saliktās kombinēto reljefa formu joslas

distālo nogāzi. Šo salikto kombinēto reljefa formu joslu veidojošo reljefa formu izmēri ir atšķirīgi. Tajā sastopamo paugurvaļņu un iegareno sīkpauguru virsotnes daļas garums mainās no 50 un 100 m – sīkpauguriem, galvenokārt, joslas A daļā (skatīt 3.20. att) līdz pat 1 km – paugurvalnim pie Baltiņu mājām.

Kā to var redzēt abu piemēru gadījumos (skatīt 3.19. un 3.20.att.), šīs pauguraines hipsometriski augstākajā daļai piederīgas salikto kombinēto reljefa formu nogāzes visā to izplatības joslas kopgarumā pavada izteiksmīgi erozijas reljefa elementi, kuru attīstību veicinošs faktors ir šīs reljefa formas stāvās nogāzes un lielais relatīvais augstums.

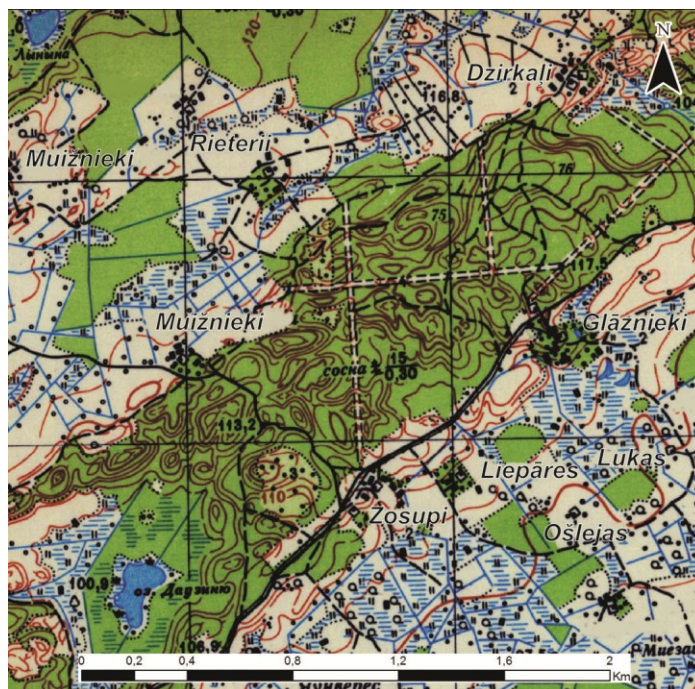


3.20. attēls. Saliktas kombinētās reljefa formas piemērs pie Puponkalna mājām.  
M 1: 25 000 topogrāfiskās kartes fragments.

Bez šīm jau iepriekš raksturotajām pie saliktu, kombinēto ledāja reljefa formu apakšgrupas piederošajām reljefa formām Praulienas pauguraines teritorijā ir sastopama vēl trešais pie šīs apakšgrupas derīgs salikto kombinēto reljefa formu paveids. Tas ir izplatīts tikai pauguraines hipsometriski zemākajā daļā esošās Silu – Ļaudonas paugurgrēdas robežās. Tās veido aptuveni 7 km garo un 0,8 līdz 1 km platu minētās paugurgrēdas centrālo daļu. Kaut arī vietām, piemēram, uz Z no Glāznieku mājām (skatīt 3.21. att.), zemes virsmas topogrāfijā parādās izteiktas formas lielpauguri, kas, visticamāk, liecina par šīs saliktās kombinētās reljefa

formas pamatnē esošās formas sākotnējiem apveidiem, to saliktās kombinētās reljefa formas mūsdienu virsma ir ļoti stipri sapsmota. To veido skaitliski lielas haotiski orientētu iegarenu un izometrisku sīkpauguru un vidējpauguru kopas, kā arī pakārtoti starp pauguriem esošas ieplakas, kas pēc to formu apveida atgādina to apkārtnē izvietotos izometriskos paugurus. Šiem pauguriem, galvenokārt, ir raksturīga kupolveida forma. Kaut arī atsevišķu garenstiepto pauguru garums sasniedz pat 500 m, vairumā gadījumu šajā joslā sastopamie izometriskie pauguri pie to pamatnes ir tikai 75 līdz 150 m gari un plati. Taču neskatoties uz šiem relatīvi nelielajiem izmēriem, šajā teritorijā sastopamo sīkpauguru un vidējpauguru relatīvie augstumi sasniedz 10 līdz 20 m (3.21. att).

Jāpiebilst, ka Silu – Ļaudonas paugurgrēdā (3.2.1), kuras centrālo daļu veido galvenokārt, šai saliktā kombinētā reljefa formu apakšgrupai piederīgie reljefa elementi, ir sastopamas arī izteiksmīgas negatīvās izolētās un izometriskās reljefa formas (skatīt bakalaura darba nodaļu 3.26.), kas viedo izteiksmīgas ieplakas, un tādejādi citu no citas atdala šīs paugurgrēdas centrālajā daļā sastopamās saliktās kombinētā reljefa formas.



3.11. attēls. Saliktas kombinētās reljefa formas piemērs. Silu - Ļaudonas paugurgrēdas centrālā daļa pie Glāznieku mājām. M 1: 25 000 topogrāfiskās kartes fragments.

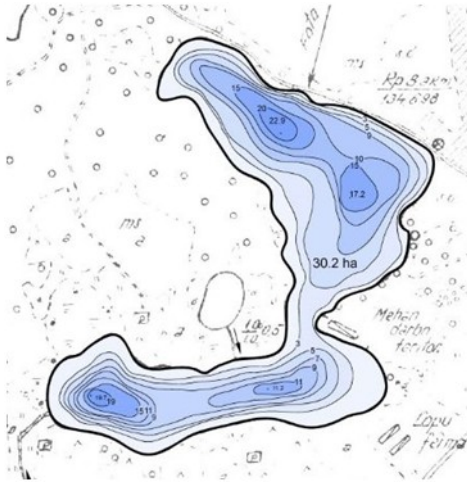
### 3.2.6. Negatīvās ledāja reljefa formas

Pētāmās teritorijas reljefa formu daudzveidību daudzviet paugurainē papildina arī negatīvas izometriskās reljefa formas. Šī grupa sevī ietver, galvenokārt, glaciokarsta ieplakas un ezeru katlienes, kas ir izplatītas caurmērā visā pauguraines teritorijā. Vietām, kur vairākas ezeru katlienes vai glaciokarsta ieplakas ir koncentrētas vienviet, šīs reljefa formas var apvienot grupās. Par šādu reljefa formu grupu piemēru var minēt glaciokarsta ieplaku grupu netālu no Muižnieku mājām, ezeru grupu Baltiņu māju apkārtnē un Lazdonas ezeru kopu. Bieži šo negatīvo reljefa formu grupas ir uzskatāmas par kādas lielākas reljefa formas (lielieplaku vai paugurgrēdu) papildinošu elementu un neatņemamu šo reljefa formu sastāvdaļu.



3.12. attēls. Dūku un Svētes ezeri. M 1: 25 000 topogrāfiskās kartes fragments.

Praulienas pauguraines teritorijā ir sastopami gandrīz 30 lieluma ziņā krasi atšķirīgi ezeri. Par 25 no tiem, kaut daļēja informācija ir pieejama Latvijas ezeru elektroniskajā datubāzē – [www.ezeri.lv](http://www.ezeri.lv). Pēc platības divi lielākie ezeri pauguraines teritorijā ir Svētes (platība – 49 ha) un Dūku (platība – 39,7 ha) ezeri ( 3.24. att.), kas izvietojušies pētāmās teritorijas hipsometriski zemākās daļas rietumos esošajā Dūku – Svētes ieplakā. Paulienas pauguraines dziļākie ezeri ir izvietojušies pauguraines ziemeļu jeb hipsometriski augstākajā daļā, galvenokārt, Lazdonas apkārtnē(3.22. att.). Pēc tā spoguļa platības lielākais ezers šajā Lazdonas ezeru grupā ir Rāceņu ezers, kas atrodas uz ziemeļrietumiem no Lazdonas. Tā

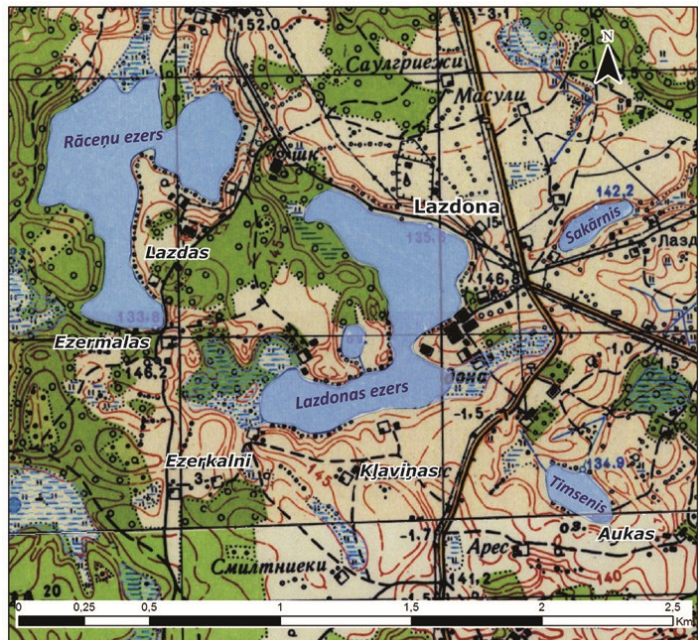


3.14. attēls. Lazdonas ezera batimetriskā shēma. Attēls no [www.ezeri.lv](http://www.ezeri.lv)

platība – 34,9 ha (3. lielākais pauguraines teritorijā), maksimālais dziļums – 10,7 m (ezeri.lv). Uz austrumiem no Rāceņu ezera, atrodas pauguraines dziļākais ezers – Lazdonas ezers. Tā dziļums sasniedz 22,9 m, ezera virsmas platība – 30,2 ha, kas to, pēc platības, ierindo 5. vietā Praulienas pauguraines teritorijā esošo ezeru vidū.(ezeri.lv). Ezera lielo dziļumu, spriežot pēc ezera gultnes konfigurācijas batimetriskajā shēmā (3.23. att.), var skaidrot ar to, ka ezera katliene aizpilda, iespējams, subglaciālajos procesos izveidojušos reljefa pazeminājumus –

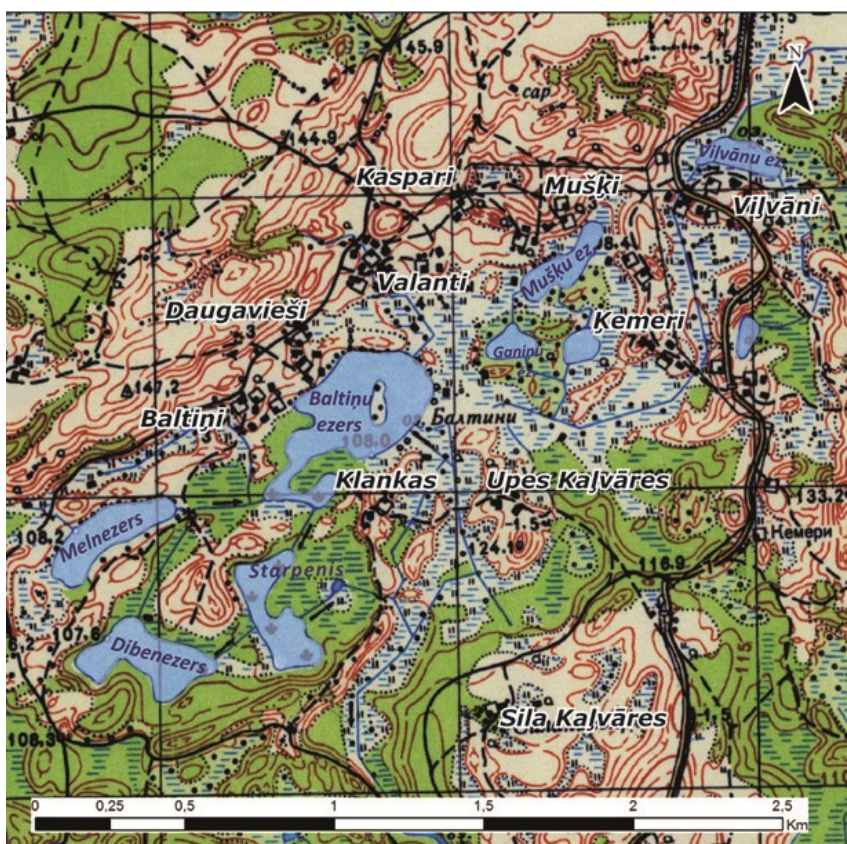
tunēļielejas vai, bet visticamāk, glaciotektoniski formētās izvagojuma un izspieduma ieplakas. Uz šo faktu vedina domāt arī ezera formas konfigurācija – tā abas daļas atgādina (nedaudz zem leņķa, taču) savstarpēji subparalēli orientētu garenstieptu cigārveida ieplakas. Ezera

dienvidu daļas katlienes kopgarums, ieskatot A un R galu pārpurvotos līčus, sasniedz gandrīz 1,5 km garumu. Ezera zemeļu daļas katlienes, kas ir ezera dziļākā daļa, garums sasniedz 0,7 km. Arī citu, izmēru ziņā mazāko, Lazdonas apkārtnes ezeru dziļums ir vērtējams kā iespaidīgs. Uz dienvidaustrumiem no Lazdonas esošā Timseņa maksimālais dziļums sasniedz 18,5 m. Tas ir otrs dziļākais ezers paugurainē. Uz austrumiem no Lazdonas (3.24. att.) esošā Sakārņa maksimālais dziļums sasniedz 11,8 m dziļumu. Arī šī ezera konfigurācija, un tā ģeogrāfiskais novietojums garenstieptas erozijas reljefa formas DR galā, vedina domāt par šīs ezera katlienes iespējamo subglaciālo izcelsmi.



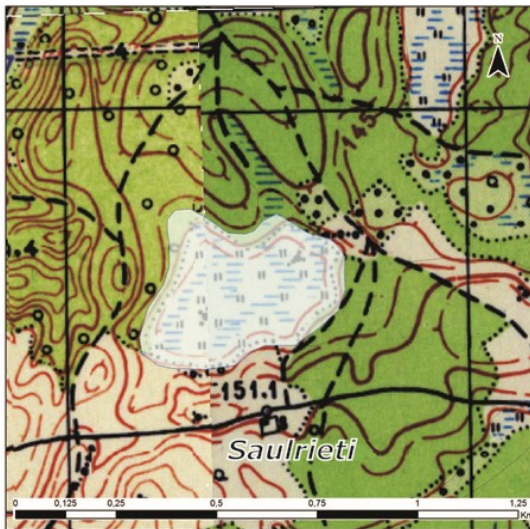
3.13. attēls. Lazdonas apkārtnes ezeri. M 1: 25 000 topogrāfiskās kartes fragments.

Par otru nozīmīgāko ezeru grupu paugurainē var nosaukt Baltiņu apkārtnes ezerus (3.25. att.), kas, pēc ģeogrāfiskā novietojuma pieder pie Praulienas pauguraines hipsometriski zemākās daļas. Šo grupu veido kopā 9 pēc to formas un izmēriem atšķirīgi ezeri, kas izmēru ziņā, ir krietni mazāki par pauguraines hipsometriski augstākajā ziemeļu daļā sastopamajiem ezeriem. Lielākais no šīs grupas ezeriem ir pie Baltiņu mājām esošais Baltiņu ezers, pēc kura arī tika piešķirts šīs ezeru grupas nosaukums. Baltiņu ezera virsmas laukuma platība – 16 ha, maksimālais dziļums – 4,6 m. Dziļākais ezers šajā ezera grupā ir Mušķu ezers. Tā maksimālais dziļums – 5,7 m. Ezera virsmas platība – 2,8 ha. Šī ezeru grupa ietilpst reljefa pauguraines hipsometriski zemākās daļā esošās lielieplakas, kas sastādītajā Praulienas pauguraines ģeomorfoloģiskajā kartē apzīmēta kā radiālā izvagojuma ieplaka, sastāvā. Šo ezeru ģenēze, galvenokārt, skaidrojama ar uz robežas starp pasīvu (Z daļā) un aktīvu (hipsometriski zemākajā, pauguraines dienvidu daļā) ledus plūsmām zemledāja gultnē notikušajiem glaciotektoniskajiem (morēnas izspiedumu veidošanās) procesiem. Šajā teritorijā notikušos glaciotektonikas procesus labi ilustrē *t.s.* ezera – paugura pāri (no angļu val. Hill – hole pairs),



3.15. attēls. Baltiņu ezeru grupa. M 1: 25 000 topogrāfiskās kartes fragments.

kādus var novērot gar, galvenokārt, šīs ezeru grupas DR daļā esošajiem ezeriem - Melnezers, Dibenezers un Starpenis. Katlieņu – pauguru glaciotektonisko pāru veidošanās procesi ir aprakstīti vairākās publikācijās (Aber et al., 1989; D. Benss un D. Evans (Benn, Evans, 1998).



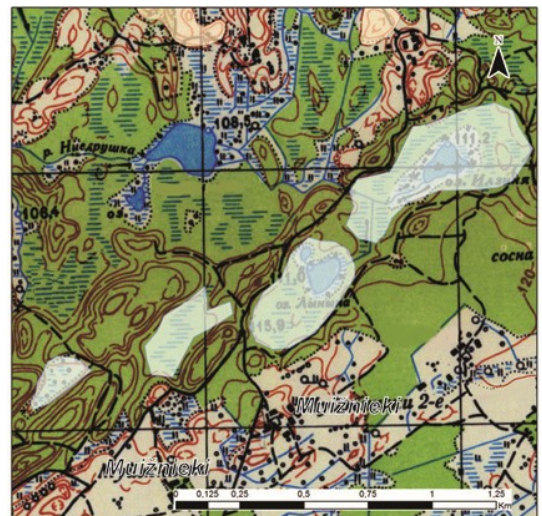
3.16. attēls. Glaciokarsta ieplaka pie Saulrietu mājām. M 1: 25 000 topogrāfiskās kartes fragments.

Pauguraines teritorijā sastopamo negatīvo izolēto un izometrisko reljefa formu grupa sevī ietver arī glaciokarsta ieplakas. Kaut arī atsevišķas glaciokarsta ieplakas ir sastopamas pauguraines ziemeļu daļā esošo paugurmasīvu teritorijās hipsometriski augstākajā pauguraines daļā, šīs reljefa formas, galvenokārt, ir izplatītas pauguraines hipsometriski zemākajā dienvidu daļā esošajos paugurvaļņos.

Kā tipiskas pauguraines hipsometriski augstākajai daļai raksturīgu glaciokarsta ieplakas piemēru var minēt uz ziemeļiem no Saulrietu

mājām esošo ieplaku (3.26. att.). Ieplakas dziļums ir mainīgs atkarībā no apskatītās nogāzes. Tas mainās no 5 m zemākajā nogāzē (ieplakas ZA pusē) līdz 12,5 m augstākajā nogāzē (DR pusē). Ieplakas platība – 14,4 ha. Ieplakas pamatni mūsdienās aizpilda purvs.

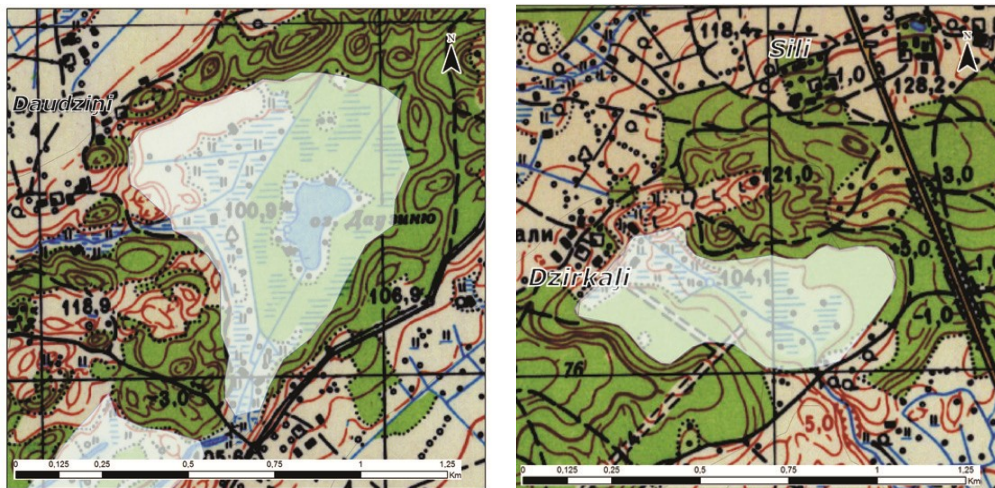
Praulienas pauguraines dienvidu jeb hipsometriski zemākajā daļā sastopamās glaciokarsta ieplakas ir koncentrējušās divās, savstarpēji nesaistītās, grupās, kas katra ir uzskatāma par atsevišķu un vecuma ziņā atšķirīgu marginālās bīdes morēnas paugurgrēdas papildinošu elementu un līdz ar to, šo reljefa lielformu neatņemamu sastāvdaļu. Šo divu ļoti tuvu līdzās esošo paugurgrēdu, tāpat kā tajos esošo glaciokarsta ieplaku morfoloģiskās atšķirības liecina par līdzīgiem, taču nedaudz atšķirīgiem veidošanās apstākļiem. Vairāk uz ziemeļiem novietotā Kaļpu - Ozolnieku, no notikumu secības viedokļa – vecākā, paugurgrēdā esošās glaciokarsta ieplakas izmēru ziņā ir mazākas, kā ieplakas uz dienvidiem esošajā Ļaudonas - Silu (vecuma ziņā – jaunākajā) paugurgrēdā. Šīm ziemeļu grupas (pie Muižnieku mājām) glaciokarsta ieplakām raksturīga



3.17. attēls. Glaciokarsta ieplakas pie Muižnieku mājām. M 1: 25 000 topogrāfiskās kartes fragments.

garenstiepta jeb cigārveida forma. To platība mainās robežās no 2,5 ha līdz gandrīz 20 ha. Ieplaku nogāzes veidojošo, garenstiepto paugurvaļņu relatīvie augstumi variē no 5 m līdz pat 25 m augstumam - grupas vismazākās glaciokarsta ieplakas nogāzes. Šo glaciokarsta ieplaku pamatnes vairumā gadījumu aizpilda purvi, taču divu lielāko ieplaku pamatnēs izvietojusies, izmēru ziņā nelieli ezeri – Liniņš un Ilziņa ezers, taču ezeru datu bāzē par šiem ezeriem nekāda papildus informācija, piemēram, to dziļums, netika atrasta.

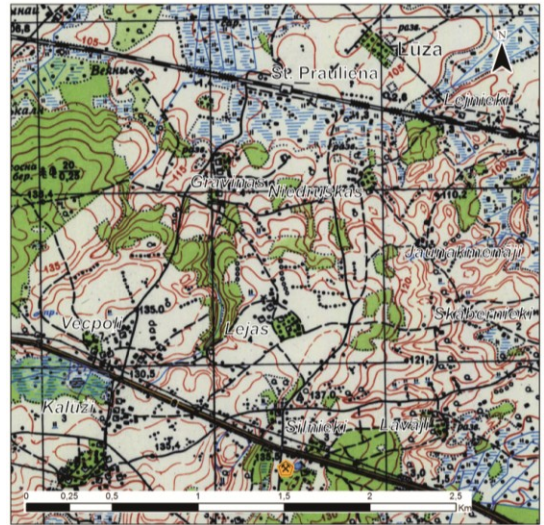
Uz dienvidiem (no notikumu attīstības secības viedokļa – jaunākajā) paugurgrēdā esošās glaciokarsta ieplakas pēc konfigurācijas ir atšķirīgas no Muižnieku glaciokarsta ieplaku grupas (3.27. att). Šo glaciokarsta ieplaku izmēri mainās robežās no 5 ha (glaciokarsta ieplaka pie Meždusu mājām) līdz 44 ha (Daudziņu māju apārtnē). Šīs grupas glaciokarsta ieplaku nogāžu augstumi mainās no 2,5 m augstām nogāzēm (ieplakai pie Viršu mājām) līdz pat 32,5 m (Daudziņu glaciokarsta ieplakas Z nogāzē). Atšķirībā no Kaļpu – Ozolnieku paugurgrēdā esošās Muižnieku glaciokarsta ieplaku grupas, uz dienvidiem esošajā Ļaudonas – Silu paugurgrēdā sastopamo ieplaku konfigurācija vairumā gadījumu ir drīzāk izometriska, nevis garenstiepta. Tas ir izskaidrojams ar to, ka šī konkrētās paugurgrēdas veidošanās laikā pasīvē ledus (uz ziemeļiem) un aktīvās ledus plūsmas (dienvidos) kontakta zonā atrautie ledus blāķi ir tikuši ne tikai pārvietoti, bet arī rotēti. Līdzīgi kā citviet paugurainē, arī šo glaciokarsta ieplaku pamatni mūsdienās aizpilda purvi, kā arī, lielākās ieplakas pamatnē (3.28. att. pa kreisi) ir izvietojies izmēru ziņā nelielais Daudziņu ezers.



3.18. attēls. Glaciokarsta ieplaku piemēri no pauguraines D daļā esošās Ļaudonas - Silu paugurgrēdas. Attēlā pa kreisi Daudziņu glaciokarsta ieplaka (platība - 44 ha); Pa labi - Dzirkaļu glaciokarsta ieplaka (platība - 22,8 ha). M 1: 25 000 topogrāfiskās kartes fragmenti

### 3.2.7. Erozijas ielejveida formas

Pauguraines teritorijā esošos ledāja paugurus un pacēlumus to nogāzēs bieži pavada samērā plaši izplatīts, no notikumu attīstības secības raugoties, sekundāri veidojies erozijas reljefa formu tīkls. Visizteiksmīgāk šo erozijas reljefa jeb gravu tīklu var novērot pauguraines teritorijas ziemeļu un ziemeļaustrumu daļā esošo paugurmasīvu nogāzēs, taču, savu izmēru ziņā mazāk izteiksmīgi šo reljefa formu piemēri ir plaši novērojami arī citviet paugurainē. Gravu erozijas piemēru var aplūkot uz Silnieku paugurmasīva (3.29. att) aktīva ledus kontakta nogāzēs (3.8. att) . Kopējais gravu erozijas tīkla blīvums šī paugurmasīva teritorijai ir  $\sim 0,57$  km/km<sup>2</sup>. Vairumā gadījumu uz šī lielpaugura nogāzēm esošās gravas ir vidēji 2,5 – 5 m dziļas, taču lielākās (Leju un Vecpoļu māju apkārtnē) 10 – 15 m dziļumu. Gravu garums mainās robežās no pāris desmitiem m līdz pat  $\sim 1,3$  km iespaidīgākajām no tām. Lielākoties, gravas pēc to šķēršprofila konfigurācijas atbilst V-veida gravām, kas norāda uz to relatīvi nelielo vecumu, kā arī uz to, ka ģeodinamiskie procesi tajās vēl nav sasnieguši līdzsvara stāvokli un notiek to tālāka attīstība. Uz rietumiem no Leju mājām esošās gravas augšdaļā ir novērojama gravas sazarošanās atsevišķās, izmēru ziņā stipri mazākās sānu gravās, tādējādi veidojot primitīvu dendrītisku gravu tīklu. Spriežot pēc topogrāfiskās kartes, lielāko gravu (Leju un Vecpoļu māju apkārtnē) gultnēs ir izvietojušās nelielas, daļēji sezonāla rakstura ūdensteces. Tomēr gan jāpiebilst, ka citviet pauguraines teritorijā (piemēram, Silnieku paugurmasīva rietumu nogāzē; Līdumnieku māju apkārtnē; uz ziemeļaustrumiem no Lazdonas; kā arī Ūbānu māju apkārtnē ) esošās erozijas reljefa formas izmēru ziņā sasniedz krietni iespaidīgākus rādītājus (to dziļums atsevišķos posmos ir no 20 līdz 30 m; garums – 1 līdz 2 km), taču spriežot pēc to konfigurācijas (to šķēršprofils vairumā gadījumu atgādina U-veida formu), kā arī bieži vien izteikto taisno gultni (Līdumnieku, uz ZA no Lazdonas esošo erozijas formu gadījumā) šos veidojumus drīzāk būtu jāuzskata subglaciālajos procesos izveidotām erozijas



3.19. attēls. Paugurainē esošā gravu tīkla piemērs uz Silnieku paugurmasīva nogāzēm. M 1: 25 000 topogrāfiskās kartes fragments.

reljefa formām (t.s. subglaciālās iegultnes) vai sengravām (Silnieku paugurmasīva R nogāze; iespējams, arī pie Ūbāniem) .

Praulienas pauguraines, un ar to cieši saistīto teritoriju reljefa formu daudzveidību papildina arī vairākas ledāja kušanas ūdens noteces lejas. Jau nodaļā par pētāmās teritorijas vispārīgo raksturojumu tika minēts, ka Praulienas pauguraines ziemeļu daļā to no Vidzemes augstienes atdala ledāja kušanas ūdens noteces ieleja, kas Latvijas Dabas enciklopēdijā tiek dēvēta par Madonas pazeminājumu. Šīs ledāja kušanas ūdens noteces lejas platums posmā, kur

tā pieslēdzas Praulienas pauguraines teritorijai, ir mainīgs – robežās no 1,2 līdz 1,5 km. Šīs ledāja kušanas ūdens noteces lejas posma garums ir nepilni 7 km, taču tā ir tikai daļa no daudz lielākas un garākas kušanas ūdens noteces sistēmas, kas stiepjas gar Vidzemes augstienes dienvidaustrumu nogāzi posmā no Cesvaines līdz Pļaviņu valnim, kas sasniedz kopējo garumu vairāk kā 30 km (Dauškans, 2008a). Kaut arī šis fakts tikai netieši attiecas uz pētāmo teritoriju, taču, pētot topogrāfisko karti un rūpīgi analizējot augstuma atzīmes, redzams, ka šī ledāja kušanas



3.30 .attēls. Ledāja kušanas ūdens noteces leja uz ZA no Praulienas. M 1: 25 000 topogrāfiskās kartes fragments.

ūdens noteces leja sazarojas un Madonas – Trepes valnī ir izsekojami vairāki, kopā trīs, atsevišķi pazeminājumi jeb pārvārumi (skatīt ģeomorfoloģisko karti), kas, iespējams, izveidojušies šīs ledāja kušanas ūdens noteces agrīnā veidošanās stadijā. Jāatzīmē, ka jau pieminēto Madonas – Trepes valni, kas iezīmē pētāmās teritorijas galējo rietumu robežu, tās dienvidu daļā ir novērojams vēl viens izmēru ziņā iespaidīgs pārvāruma, jeb t.s. Aiviekstes ledāja kušanas ūdeņu noteces leja, taču arī šis gadījums ir tikai netieši saistāms ar Praulienas pauguraini. Tomēr arī pašā pauguraines teritorijā, uz austrumiem no Praulienas, ir sastopama lokāla, izmēru ziņā neliela, ledāja kušanas ūdens noteces leja (3.30. att.), kas, visticamāk, ir izveidojusies sākotnēji drenējoties Praulienas paleoezeram, ar to saistīto citu ezeru noteces sistēmu, kā arī, iespējams, virsledāja vai iekšledāja ledāja kušanas ūdeņiem, kas plūduši no uz ziemeļaustrumiem vēl esošā, aprimušā Lubānas ledus loba.

#### 4. INTERPRETĀCIJA UN DISKUSIJA

Praulienas pauguraines teritorijā sastopamo daudzveidīgo reljefa formu, un līdz ar to arī pašas pauguraines veidošanos ir noteicis sarežģītu ārpusledāja, glaciālās sedimentācijas un glaciotektonisko procesu kopums. Kā liecina nogulumu datēšanas rezultāti, kas iegūti ar OSL metodi, šie procesi, iespējams aizsās jau Vidusvislas (Lejasciema) interstadiāla laikā pirms 46 – 48 tūkst. g.p.m., un turpinājās ledāja uzvirzīšanās, bet noslēdzās deglaciācijas posmā. Kā liecina pētījumu rezultāti, tad deglaciācijas posmā radās stagnantā ledus lauki, norisinājās osu veidošanās un bija raksturīgas glaciokarsta parādības. Par šī posma beigu fāzēm liecina ar  $^{10}\text{Be}$  metodi noteiktais lielo laukakmeņu eksponēšanās vecums no... daudzveidīgu šādu procesu norisi un tos ietekmējošajiem faktoriem var spriest pēc Praulienas pauguraines hipsometriski augstākajā un zemākajā, kā arī, uz robežas starp šiem hipsometriskajiem līmeņiem sastopamo reljefa formu daudzveidību un pēdējā leduslaikmeta nogulumu segas sarežģītās uzbūves, ko lielā mērā nosaka glaciotektonisko deformāciju nozīmīga klābūtne. Praulienas pauguraines attīstība ir ļoti cieši saistīta ar Madonas – Trepes vaļņa izveidošanās procesiem. Tāpēc pavisam droši var apgalvot, ka Praulienas pauguraine ir formējusies Gulbenes deglaciācijas fāzes laikā. To neapšaubāmi apliecina gan pauguraines novietojums Austrumlatvijas zemienē (teritorija ir novietota uz ZA jeb, pēc ledāja atkāpšanās virziena, aiz Madonas – Trepes vaļņa, kas ir uzskatāma par Gulbenes deglaciācijas fāzes ledāja malas veidojumu (skat. Āboltiņš et al., 1972; Meirons et al., 1976; Zelčs, Markots, 2004) gan pauguraines teritorijā sastopamo ar Madonas – Trepes valni morfoloģiski cieši saistīto, galvenokārt, pauguraines hipsometriski augstākajā daļā sastopamo reljefa formu eksistence. Savukārt, runāt par Praulienas pauguraines teritorijas pilnīgu deglaciācijas etapu secību pēc Gulbenes fāzes oscilācijas ir visai sarežģīti datu, kas tieši attiektos uz pētāmo teritoriju, trūkuma dēļ. Taču, analizējot datus, kas ir pieejami par pauguraines teritorijas apkārtējiem reģioniem (laukakmeņu datējumi ar  $^{10}\text{Be}$  metodi, kā arī OSL datējumi no Vidzemes augstienes DA nogāzes vairāklīmeņu kēmu erozijas – akumulācijas terases) var vismaz aptuveni spriest par reāliem laika intervāliem, kādos norisinājās pauguraines deglaciācija. Analizējot pieejamos  $^{10}\text{Be}$  datējumus (Rinterknecht et al., 2006), no diviem Austrumlatvijas zemienē (Aiviekstes flūtingu laukā), kā arī no viena Vidzemes augstienes periferiālajā orientētā paugurgrēdu reljefa zonā esoša laukakmens, veidojas neparasta situācija, ka, spriežot pēc Teterakmens ( $13\ 771 \pm 1221$   $^{10}\text{Be}$  g. 120 m vjl.) un Ozolnieku akmens ( $13\ 318 \pm 1181$   $^{10}\text{Be}$  g. 120 m vjl.) datējiem

Austrumlatvijas zemiene no ledus segas ir atbrīvojusies ātrāk kā Vidzemes paugurgrēdas orientētā reljefa zona (Īvānu velnakmens,  $12\,600 \pm 1019$   $^{10}\text{Be}$  g. 179 m vjl.), kas ir pretrunā ar vispār pieņemtajiem uzskatiem par Vidzemes augstienes un Austrumlatvijas deglaciācijas procesiem (Ritnerknecht et al., 2006) . Šādu  $^{10}\text{Be}$  datējumu savstarpējo pretrunu ir ļoti grūti izskaidrot. Taču šie datējumu rezultāti uzrāda arī stipri jaunāku laukakmeņu izkušanas vecumu, nekā ar OSL metodi datētie smilšainie nogulumi no Vidzemes augstienes DA nogāzes erozijas – akumulācijas kēmu terasē izvietotā Biksēres (Ratnieku) karjera (~ 132 m vjl.). OSL datējumi Ratnieku karjerā uzrāda  $18,3 \pm 3,3$  (Biksēre 01) un  $16,9 \pm 3,2$  (Biksēre 02) tūkst. OSL g (Dauškans, 2008b). Kaut arī  $^{10}\text{Be}$  un OSL datējumu rezultātus nevar savstarpēji tieši korelēt, šāda datējumu starpība, kaut netieši iezīmē  $^{10}\text{Be}$  datēšanas metodes slikto piemērotību Latvijas ģeogrāfiskajiem un klimatiskajiem apstākļiem. Kā norāda V.Zelčs (pers. kom. 2010)  $^{10}\text{Be}$  datēšanai nelabvēlīgi, Latvijas teritorijai raksturīgi faktori, kuru iespaidā veidojas šī metodes neprecizitāte, ir, piemēram, biezas sniega segas izveide ziemas mēnešos, kā arī laukakmeņu apuaugumu ar sūnām un ķērpjiem, kaskavē kosmogēno nuklīdu uzkrāšanos ieža kristālos tādā daudzumā, kā to nosaka atrašanās vietas platuma grādu norma (Stone, 2000) Un no tā izriet, ka datējuma rezultāti dod ievērojami jaunāku laukakmens izkušanas vecumu.

Par vienu no galvenajiem ledāja deglaciāciju, un līdz ar to – Praulienas pauguraines veidošanos ietekmējošiem faktoriem ir jāmin zemledāja gultnes un ledus ķermeņa savstarpējās attiecības, t.i., vai ledājs ir bijis politermāls vai silti bāzēts, vai, gluži pretēji – auksti bāzēts. Šādas ledus ķermeņa un zem tā esošās gultnes kontaktvirsmas savstarpējās fizikālās attiecības būtiski ietekmē kā atsevišķu ledus plūsmu savstarpējās attiecības, tā arī dažādu reljefa formu veidošanos zem šīm plūsmām kādā turpmāko glaciālo procesu ietekmē. Par šādu glaciālo procesu izpausmēm Praulienas paugurainē liecina tas, ka pauguraines hipsometriski augstākajā jeb ziemeļu daļā ir izplatītas lielpauguru un paugurmasīvu reljefa formas, kas ir relatīvi maz pārveidotas turpmāko deglaciācijas procesu rezultātā. Tātad var uzskatīt, ka stagnantā ledus ķermenī, kas klājis šo pauguraines daļu ir bijis auksti bāzēts jeb sakabināts ar gultni, savukārt, pauguraines hipsometriski zemākajā daļā plaši ir izplatītas ledāja kustības virzienam paralēli vai perpendikulāri orientētas, kā arī citas ledāja reljefa formas, kas tieši norāda uz dažādu ledāja un gultnes mijiedarbības zonas atšķirīgiem termiskajiem apstākļiem šo formu

veidošanās laikā. Radiālās reljefa formas liecina par ātru ledāja plūsmu un tās veidojas gan politermāli, gan silti bažēta ledāja apstākļos (Saks et al., 2010). Flūtingu vaļņu uzbūve blakusesošajā teritorijā liecina uz politermāla ledus apstākļiem (Zelčs, 2000), bet Adzeles tipa rievotās morēnas sērijas, kuru garenais vērsta perpendikulāri ledus plūsmas virzienam, norāda uz ledus masu plūsmas pakāpenisku aprimšanu Lubaņa ledāja loba galā, Tādējādi, domājams, ka arī Praulienas paugurvalnī sastopamās perpendikulāri ledāja kustība svirzienam orientētās formas atspoguļo situāciju, kad politermaļa ledus apstākļus nomaina tā sakabināšanās ar gultni, ledājam aprimstot. Šādu, termāli atšķirīgu ledus plūsmu kontakta zonā, uzkrāto fizikālo spriegumu lielo atšķirību dēļ, ledus masas kļūst nevienmērīgas un plaisainas. Uz šo likumsakarību aprakstot galveno marginālo veidojumu paveidus Latvijā norada arī Z. Meirons, J. Straume, V. Juškevičs (Meirons et al., 1976) uzsverot, ka Latvijas apstākļos, galvenokārt, marginālajās plaisās, kas radušās dēļ lielā sprieguma uz aktīvā un aprimušā ledāja robežām vai arī starp dažādas aktivitātes ledus mēlēm, notika pauguru grēdu reljefa veidošanās, neizslēdzot iespēju, ka pauguru grēdu reljefs dažkārt veidojies atvērtā ledāja malā, kuras priekšā nebija stagnanta ledus lauki (ibid.). Taču pēdējā slēdziena atbilstības patiesībai galvenais kritērijs ir aktīva ledāja malas un tam pieguļošo zemledāja reljefa formu saglabātības pakāpe. Praulienas pauguraines gadījumā tā liecina par stagnantā ledus iecirkņu un ledus piesalšanas pie gultnes plankumu veidošanās teorijai, ko izvirza K> Stouks un K. Klārks (Stokes, Clark, 2002 a, b). Pēdējos gados pierādījumi, par šādu apstākļu pastāvēšanu ir guvuši apliecinājumu Latvijā (Saks et al., 2010; Saks, 2010).

Pēc veiktās detalizētās morfoloģiskās analīzes un Praulienas pauguraines geomorfoloģiskās kartes (3.8. att) sastādīšanas, pauguraines teritorijā ir izdevies identificēt 3 morfoloģiski serežģītas saliktu reljefa formu veidotas paugurgrēdas, kas veidojušās uz pasīva un aktīva ledus kontakta robežas. Pēc ārzemju autoru publikācijās (Stokes et al., 2002 a, b, Hindmarsh 2008) lietotās terminoloģijas šīs uz aktīva un pasīvā ledus kontakta robežas notikušo glaciālo procesu veidotas paugurgrēdas tiek dēvētas par marginālās bīdes morēnām. Līdz šim pasaulē veiktie šo marginālo bīdes morēnu pētījumi ir bijuši, galvenokārt, morfoloģiski aprakstoši, taču par marginālo bīdes morēnu veidošanās procesā notiekošajiem mehānismiem vienots viedoklis nav gūts. Tomēr K. Stoukss un K. Klārks (Stokes, Clark, 2002 a, b) savos darbos izvirza piecus iespējamus mehānismus: –(I) kušanas ūdeņu akumulācijas

procesus zemledāja un iekšledāja vidē; –(II) iekšledāja drupu atlūzu izkušanu un akumulāciju; (III) ledājūdeņu straumju nogulumu pārgulsnēšanu (*downstream sediment recycling*) (krasta erozijai un akumulācijai analogs process fluviālo nogulumu uzkrāšanās bāros); –(III) diferencētā ledāja un kušanas ūdeņu erozija; –(V) laterālā nogulumu advekcija uz sānu malām. Balstoties uz Kanādas arktiskā arhipelāga salās veiktajos pētījumos novērotu līdz pat 40 m liels reljefa formu kopsakarību topogrāfiskais ‘solis’, kas topogrāfiski sakrīt ar ledus lielplūsmas robežu, autori eksperimentāli izvirzīja nogulumu pārgulsnēšanas hipotēzi, iztēlojoties situāciju, kad nogulumi tiek izgrebti no ledus plūsmas robežas (analoģiski kā no upes krasta) un tiek pārgulsnēti ledāja plūsmas (distālā) virzienā. Šāda sakarība starp topogrāfisko soli un ledus lielplūsmas marginālās bīdes morēnas (ice – stream shear margin moraine) līdz šim vēl nav tikusi aprakstīta. Savukārt, R. C. Hindmaršs (Hindmarsh, 2008) pievērš pastiprinātu uzmanību diviem no šiem veidošanās mehānismiem – ledus plūsmas sānu erozijas spēka darbībai un nogulumu laterālajai advekcijai, kas notiek uz ledus plūsmas marginālajām bīdes zonām. Kaut arī Praulienas pauguraines teritorijas izveidi ir noteicis tikai Lubāna ledus lobs, tomēr vispārīgi apskatot marginālo bīdes morēnas veidošanās apstākļus, ir būtiski izprast, kā to uzsver R. C. Hindmaršs (ibid) atšķirību starp zemledus marginālās bīdes morēnas un starplobu radītajiem kompleksiem, kas ir veidojušies starp diviem blakusesošajiem ledus lobiem vai ledus plūsmām..

Par morfoloģiski izteiksmīgāko no Praulienas pauguraines marginālajām bīdes morēnām mūsdienu reljefā uzskatāma aptuveni 7 km gara glaciotehtoniski stipri deformētu sīkpauguru izplatības josla pauguraines centrālajā daļā, uz robežas starp hipsometriski augstāko un zemāko daļu. Tā nedaudz izliecoties uz DR stiepjas ZA – DR virzienā no Praulienas paugurmasīva D nogāzei piegulošās daļas galā līdz Baltiņu mājām (3.8. att.). Šī Praulienas pauguraines teritorijā vistālāk uz Z novietotā marginālā bīdes morēna, kas vienlaicīgi arī iezīmē izteiksmīgu robežu starp abiem pauguraines hipsometriskajiem līmeņiem, no notikumu secības viedokļa skatoties, ir visvecākā no trim paugurainē identificētajām marginālās bīdes laterālajām zonām, jo tā atrodas vistuvāk Vidzemes augstienes D malai, kuras orientētais paugurgrēdu reljefs iezīmē Lubānas loba malas maksimālo izplatību Gulbenes deglaciācijas (oscilācijas – pēc Zelčs, Markots (2004) terminoloģijas) fāzes laikā (Āboltoņš et al., 1975). Šīs marginālās bīdes izveidošanās zonā uz pauguraines hipsometrisko līmeņu robežas, kā arī

fakta, ka tā ir visvecākā no marginālajām bīdes morēnām, dēļ šo morēnu veidojošās reljefa formas, salīdzinot ar abām pārējām prauguriainē sastopamajām marginālajām bīdes morēnām, raksturojas arī ar vislielāko saposmījumu. Dotās marginālās bīdes morēnas DR galā, pie Baltiņu mājām esošā paugurvaļņa nogāze sasniedz pat 40 m augstumu. Pirms marginālās bīdes morēnas izveides šajā pauguraines hipsometriski augstākajā daļā ledāja plūsmas virziens sakrīt ar flūtingu garenasu orientāciju Austrumlatvijas zemienes pieguļošajā daļā. Tātad šajā posmā laterālais pacēlums Vidzemes augstienes pusē nebija šķērslis, lai ledāja ķermenī uzkrātos spriegumi, kas pārsniegtu ledus masu bīdes pretestību. Taču ledāja biežumam samazinoties pieauga laterālās bīdes spriegumi ledus ķermeņa iekšienē, kas notika vienlaicīgi ar pauguraines hipsometriski augstākajai daļai piegulošā Madonas – Trepes vaļņa posma veidošanos. Pakāpeniski pauguraines augstākajā daļā plūsmas tālāka virzība apstājās, un ledus ķermenis nonāca stagnējošā ledus apstākļos (*sticky spots* pēc Stokes, Clark, 2002a). D esošā ledāja loba daļa turpināja pārvietoties, jo tā atradās virs hipsometriski zemāka ledāja gultnes iecirkņa. Tā rezultātā notika sprieguma lauka izmaiņas un attīstījās neviendabīga vidi ledāja iekšienē līdz laterālās bīdes spriegumu kumulatīvais lielums pārsniedz ledus masas iekšējo bīdes pretestību. Šis brīdis arī ir uzskatāms par pauguraines teritorijā visvecākās marginālās bīdes morēnas rašanās aizsākumu. Kaut arī, pasīva un aktīva ledus kontakta zonām parasti ir raksturīgs neviendabīgs, stipri plaisains un kaveronozs ledus (Meirons et al., 1976), domājams, ka šī marginālā bīdes morēna ir veidojusies tikai zemledāja apstākļos, jo šo joslu veidojošie glaciotektoniski stipri deformētie sīkpauguri un vidējpauguri gandrīz vienmēr ir orientēti ledus plūsmas virzienā, un šajā joslā nav izplatītas haotiski orientētas reljefa formas, un glaciokarsta katliņu virknes, kā tas būtu pie marginālo bīdes morēnu veidošanās atvērtu plaisu gadījumā. Šo marginālo bīdes morēnu gandrīz visā tās garumā, pie tās uz D vērsts nogāzes pamatnes, pavada radiālā izvagojuma lielieplaka (skat. 3.8. att.), kuras izveidošanās lielā mērā ir tieši saistīta ar šo marginālo bīdes morēnas veidošanās procesiem.

Otru, no notikumu attīstības viedokļa – par uz D esošo marginālo bīdes, vecuma ziņā jaunāku marginālo bīdes morēnu mūsdienu reljefā iezīmē pie pauguraines hipsometriski zemākās daļas piederīgā Kaļpu – Ozolnieku paugurgrēda. Kaut arī tā ir orientēta gandrīz paralēli iepriekš apskatītajai marginālajai bīdes morēnai, taču, šīs marginālās bīdes morēnas DR gals vēl vairāk izliecas DR, t.i. Lubāna ledus loba dinamiskās ass virzienā un liecina par

ledus plūsmas ātruma šķērsenisko diferenciāciju Lubāna loba ķermenī.. Par to liecina arī attālums starp abām šīm marginālajām bīdes morēnām. ZA galā tas ir vien aptuveni 3 km, taču DR galā tas pārsniedz 5 km. Šo Kaļpu – Ozolnieku paugurgrēdu veidojošā marginālā bīdes morēna, salīdzinot ar uz Z esošo vecāko marginālās bīdes morēnas joslu, veido pie vairākām, savstarpēji atšķirīgām reljefa formu grupām piederīgas reljefa formas. Marginālas bīdes morēnas ZA daļu veido glaciotehtoniski stipri deformētu sīkpauguru un vidējpauguru reljefs, tās centrālajā daļā veido palalēli ledāja kustības virzienam orientētais paugurgrēdu reljefs un tam pakārtotais glaciokarsta ieplaku reljefs, savukārt, DR daļu noslēdz komplicēta salikta ledāja reljefa forma. Spriežot pēc šo marginālo bīdes morēnu veidojošo reljefa elementu megalinearitātes, pēc ledus ķermeņa iekšienē uzkrāto maksimālo spriegumu izlādes, brīdī, kad uz Z bijušais ledus ķermenis bija sasniedzis stagnējoša ledus apstākļus, šī marginālā bīdes morēna izveidojās ļoti strauji un kontrastainos ledus masas dinamiskos apstākļos. Uz to norāda marginālas bīdes morēnas iekšienē sastopamās izteiktās paralēli ledāja kustības virzienam orientētas paugurgrēdas, kuras pavada ešalonēti izkārtotas izteikti garenstieptas glaciokarsta ieplakas. Šis fakts norāda uz to, ka šī marginālā bīdes morēna daļēji ir veidojusies arī atvērtas plaisas apstākļos, bet, tā kā šajā joslā haotiski orientētas reljefa formas ir izplatīta relatīvi maz (tikai joslas ZA daļā), tas norāda uz relatīvi īslaicīgu šādu apstākļu eksistenci. Šo hipotētisko izteikumu daļēji apstiprina tas, ka attālums starp šo un pauguraines trešo, attiecīgi – visjaunāko, marginālo bīdes morēnu, vidēji ir vien 1,5 līdz 2 km, kā arī tas, ka starp šīm marginālajām bīdes morēnu grēdām esošās radiālās izvagojuma lielieplakas nav morfoloģiski spilgti izteiktas. Tas norāda uz strauju procesu attīstības pāreju uz jaunāko marginālās bīdes morēnas grēdu, kuru, iespējams, ir izraisījusi atšķeltā ledus ķermeņa strauja piesalšana pie ledāja gultnes.

Trešo, visjaunāko Praulienas pauguraines teritorijā sastopamo marginālās bīdes morēnu mūsdienu reljefā iezīmē Silu – Ļaudonas paugurgrēda. Šīs marginālās bīdes morēnas ZA galu veido, galvenokārt, izometriski un iegareni sīkpauguri un vidējpauguri un arī marginālās bīdes morēnas DR galā esošās saliktās reljefa formas. Līdzīgi, kā no notikumu secības viedokļa skatoties, abas vecākās iepriekš raksturotās marginālās bīdes morēnas, arī šī ir orientēta ZA – DR virzienā, taču šī ir visgarākā no tām. Šīs Silu – Ļaudonas marginālās bīdes morēnas kopējais garums ir aptuveni 14 km. Tās centrālajā daļā, līdzīgi kā Kaļpu – Ozolnieku

marginālās bīdes zonā, ir sastopamas glaciokarsta ieplakas, taču atšķirībā no tās, šeit sastopamo glaciokarsta ieplaku forma ir raksturojuma kā izometriska, kas norāda uz nedaudz atšķirīgiem veidošanās apstākļiem (atrautie ledus blāķi ir tikuši rotēti), un, visticamāk, ilgāku marginālās bīdes morēnas veidošanās laika intervālu. Atšķirībā no vissenākās, pauguraines Z esošās marginālās bīdes zonas, kas veidojusies zemledāja apstākļos, šīs Silu – Ļaudonas marginālās bīdes morēnas veidošanās apstākļi, galvenokārt, ir pielīdzināmi laterālās atšķelšanās rezultātā izveidotai atvērtas plaisas un atrautu ledus bloku, kas mūsdienās iezīmē glaciokarsta ieplakas, kopai, kurā ilgstoši ir uzkrājies glaciofluviālo nogulu materiāls. Salīdzinājumā ar vidējo marginālās bīdes morēnu, šī laterāla morēna ir veidojusies daudz ilgākā laikā un ar to saistītais izliekums Madonas-Trepes valnī liecina arī par aktīvās Lubāna ledus loba daļas oscilāciju tās veidošanās laikā.

Bez marginālo bīdes morēnu joslām, abos Praulienas pauguraines hipsometriskajos līmeņos ir izplatītas vēl citas ledāja plūsmas dinamiku raksturojošas reljefa formas (ledāja kustības virzienam paralēli vai perpendikulāri orientētais reljefs), kā arī zemledāja gultnes procesus raksturojošas reljefa formas – ezeru katlienes, radiālā izspieduma ieplakas, un osi un osveidīgās formas.

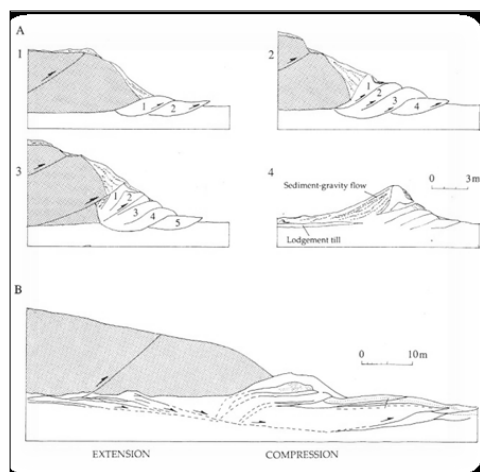
Sastādot pētāmās teritorijas ģeomorfoloģisko karti, vairākas pauguraines hipsometriski zemākajā daļā sastopamās šaurās garenstieptās, un izteikti ledāja kustības virzienā (paralēli vai perpendikulāri tam) orientēto reljefa formu sistēmām neatbilstošās paugurgrēdas tika kartētas kā osi vai osveida formas. Taču, jāatzīst, ka šāds uz M 1: 25 000 topogrāfisko karšu materiāliem un tikai reljefa formas morfoloģisko analīzi balstīts pētījums, ir drīzāk autora subjektīvs skatījums, kas gan balstās uz derīgo izrakteņu iegulu izpētes materiāliem (Tālbergs, 1969, Spunda, Spunda 2007 ). Lai gūtu drošu pārliecību par šo paugurgrēdu piederību vienai vai otrai reljefa formu grupai, ir jārīko lauka darbu ekspedīcijas ar mērķi veikt ģeoloģisko zondēšanu attiecīgajās reljefa formās. Šī pētījumā apskatītās divas atšķirīgi orientētās osu un osveida formu sistēmas liecina par hidrostatiskā spiediena gradienta izmaiņām zemledāja gultnē pēc laterālās bīdes parvietoējuma rašanās, kas līdz ar to izsauc ūdens atslogošanās vietu izmaiņas. Šīs atslodzes vietas netieši norāda uz ledāja ķermenī eksistējošām pavājinājuma zonām, kuras fiksē marginālās bīdes morēnas.

Kā vēl viena vismaz daļēji ar zemledāja gultnes hidrostatiskā spiediena izmaiņām ģenēzes ziņā saistīta reljefa formu grupa ir, galvenokārt, pauguraines hipsometriski zemākajā daļā satopamie izometriskie pauguri. Kaut gan par šos izometriskos paugurus veidojošajiem nogulumiem ziņu nav, spriežot pēc to virsmas morfoloģiskajām pazīmēm, tie pēc ģenēzes ir uzskatāmi par dauguļiem (Zelčs, 1997), kas veidojušies ledāja mēļu sateces zonā, kur glacioadvekcijas ceļā, kā arī augstā hidrostatiskā spiediena ietekmē, zemledāja gultnes mazāk blīvie, piemēram, aleirītiskie, smalkgraudainie vai vidējgraudainie smilts nogulumi pārrauj par tiem blīvākos morēnas nogumus, tādejādi veidojot diapīrveida krokas un formējot konusvieda paugurus.

Savukārt, ar šiem pauguriem morfoloģiski vienā grupā apvienotie hipsometriski augstāko pauguraines daļu veidojošie paugurmasīvi savas formas primāri ieguva pirms visvecākās marginālās bīdes morēnas veidošanās procesu aizsākumiem. Laikā, kad pauguraines hipsometriski augstāko daļu pārsedzošais ledājs bija stagnējošs, šī pauguraines teritorija tika maz pārveidota. Aktīvi pauguraines hipsometriski augstākās daļas reljefa formu veidošanās procesi atkārtoti aizsākās līdz ar šīs teritorijas deglaciācijas posmu, kad norisinājās plaša ezera katlieņu veidošanās glaciotektonisko izspiedumu ceļā, kā arī šīs daļas paugurmasīvi ieguva savām mūsdienu aprisēm tuvas formas. Pēdējā šo paugurmasīvu attīstības etapā uz to nogāzēm notika, un cituviet, notiek vēl joprojām, aktīvi gravu erozijas veidošanās procesi. Tomēr atsevišķos gadījumos, kuri jau ir aparkstīti 3.2.7. apakšnodaļā, pastāv plašas iespējas diskusijām par atsevišķu reljefa formu piederību pie šī erozijas reljefa tipa, vai arī to veidošanās ir saistīta ar senākiem, vēl deglaciācijas etapam pieskaitāmiem notikumiem. Proti, runa ir par relatīvi nelielām, lokālu ledāja kušanas ūdens (virsledāja vai iekšledāja) straumju, kā arī paleoezeru noplūdes veidotām ledāja kušanas ūdeņu noteces lejām, kas, Silnieku paugurmasīva gadījumā, iespējams, veidojusis no vēl tālāk uz ziemeļaustrumiem esošā Lubāna ledus loba Kujas mēles, un tās veidoto noteces leju, vai, Ūbānu apkārtnē esošās reljefa formas gadījumā, uz rietumiem no Praulienas eksistējošā lokālā paleoezera, kura konfigurācija izteiksmīgi iezīmējas sastādītajā Praulienas pauguraines ģeomorfoloģiskajā kartē (3.8. att). ūdens noplūdes gadījumā. No šī viedokļa skatoties, šie veidojumi ir pieskaitāmi pie lokāla mēroga ledāja kušanas ūdens noteces lejām, taču to relatīvi nelielo izmēru dēļ, tās sastādītajā ģeomorfoloģiskajā kartē ir kartētas kā erozijas reljefa formas.

Ledāja kustības virzienam perpendikulāri orientēto reljefa formu grupā apvienotās reljefa formas no to ģenēzes viedokļa ir uzskatāmas par piederīgām pie vienas vai vairākām, rievoto morēnu apakšgrupām (galvenokārt, De Gēra un Adzeles tipi). Rievotās morēnas kā pasaulē tā Latvijā pēdējo gadu desmitos ir plaši pētītas Pētījumus Latvijā ir veikuši tādi atzīti pētnieki kā O. Āboltiņš (1989), V. Zelčs (1987, 1993) un I. Strautnieks (1998). Šo perpendikulāri ledāja kustības virzienam orientēto paugurgrēdu iekšējā uzbūve un veidošanās mehānismi pēc savas būtības ir ļoti tuva galamorēnu vaļņu veidošanās gadījumiem, taču izmēru un iekšējās uzbūves ziņā tie ir stipri mazāki un ne tik sarežģīti. Šķērseniski orientētos paugurgrēdu veidojumus, Viduslatvijas nolaidenumā savulaik plaši pētījis O.Āboltiņš (1970). Viņš šos veidojumus nosaucis par galamorēnu uvāliem. Galamorēnu uvālus savos darbos apraksta arī Z. V. Meirons, J. A. Straume, V.V. Juškevičs (Meirons et al., 1976). Zinātnieki

publikācijā raksta, ka šīs formas pārstāv lēzeni, parasti taisnvirziena, retāk lēzeni izliekti paaugstinājumi ar relatīvo augstumu 5-12m, platumu 50-300 m un garumu no dažiem simtiem metru līdz 6 km.



4.1. attēls. Gala morēnu veidošanās shēma (pēc Benn, Evans, 1998).

Perpendikulāri ledāja kustības virzienam orientēto pauguru, kā arī galamorēnu vaļņi ir pieskaitāmi pie marginālajiem morēnas veidojumiem. Pauguru grēdām veidojoties pie atvērtas ledāja malas, to veidošanos ietekmē

glaciotektoniskas procesi – izspiedumi, uzbīdījumi, pārbīdes lūzumi u.c. (4.1. att.) To veidošanos, gala morēnas nosaucot tos par uzbīdījuma blāķu (*thrust – block moraines*) morēnām, kā arī saliktas grēdas (*composite ridges*) veidošanos apstākļus ir aprakstījuši D. Bens un D. Evans (Benn, Evans, 1998). Autori apraksta, ka „šīs grēdas (gala morēnas – autora piezīme) ir saliktas no vairāku sašķeltu pamatiežu vai nekonsolidētu nogulumu blāķiem ar glaciģenā vai galcioletuviālā materiāla starpkārtām” (ibid). Šo autoru sastādītu marginālo veidojumu veidošanās shēmu var redzēt 4.1. attēlā. Arī O.Āboltiņš, J.Strume, V.Juškevičs (Āboltiņš et al., 1975) apraksta, ka paugurgrēdas viedo salikts, krokots glaciģeno un

glaciofluviālo nogulu materiāls. Par šādu perpendikulāri ledāja kustības virzienam orientēto pauguru iekšējo uzbūvi tiesa, visai specifiskos konkrētā gadījuma apstākļos, var spriest pēc lauka darbu ietvaros veiktā Vidus Zemturu karjera apsekojumiem.

## SECINĀJUMI

Iegūtie rezultāti par Praulienas pauguraines morfoloģiju un iekšējo uzbūvi ļauj izdarīt virkni secinājumu.

Kopumā Praulienas paugurainē ledāja reljefa formu komplicētā morfoloģija un iekšējā uzbūve atspoguļo sarežģītus glaciālos procesus, kas norisinājās Gulbenes deglaciācijas fāzes laikā Austrumlatvijas zemienē, aprimstot Lubāna ledus lobam.

Pēc absolūtā augstuma atšķirībām Praulienas pauguraines teritorijā izdalās divi hipsometriski atšķirīgi līmeņi – zemākais no tiem atrodas vidēji no 110 m līdz 130 m, ar atsevišķiem augstākajiem virsas punktiem līdz 147 m vjl., bet augstākajā līmenī izvietotās ledāja reljefa formas izvietojušās virs 135 m, sasniedzot maksimālo augstumu 158,8 m vjl. (Salājkalns Salājkalnu māju apkārtnē). Šajos hipsometriski dažādajos līmeņos izvietotās reljefa formas atšķiras arī ir morfoloģiski atšķirīgas, kas ļauj secināt par to ģenēzes apstākļu atšķirībām.

Ģenēzes apstākļu atšķirības liecina galvenokārt par ledāja dinamikas atšķirībām to veidošanās laikā. Pauguraines hipsometriski augstākajā daļā morfoloģiski labi saglabājušies un mazpārveidotie izometriskie lielpauguri, paugurmasīvi un ezera katlienes norāda uz šeit valdošiem stagnējoša ledus apstākļiem laikā, kad hipsometriski zemākajā līmenī zem aktīva ledāja secīgi veidojās ledus masu plūsmas virzienam paralēli un perpendikulāri orientētas reljefa formas.

Pāreja no aktīva ledus glaciodynamiskajiem apstākļiem uz stagnanta ledus apstākļiem dažādos Praulienas pauguraines iecirkņos ir notikusi lēcienveidīgi ar marginālās bīdes morēnas joslu veidošanos. Kontakzonā starp aktīvo silti bāzēto ledāju un stagnasto, visticamāk pie gultnes piesalušo ledus masu, uzkrājās bīdes spriegumi, kuriem izladējoties ledus loba laterālajā daļā secīgi ir izveidojušās 3 marginālās bīdes morēnas. Tās marķē vietas, kur stagnantā ledus masas atšķēlās no ledus loba aktīvās daļas.

Pirmā no šīm marginālajām bīdes morēnām Praulienas pauguraines Z un ZR daļā iezīmē izteiktu robežu starp hipsometriski augstāko un zemāko pauguraines daļu. Domājams tās veidošanās laikā tajā dominēja subglaciālajai videi raksturīgie apstākļi un tās rašanās vietu

noteica pavājinājuma zonas rašanās gar kuru izlādējās spriegumi, kas uzkrājās kontaktjoslā starp Vidzemes augstienes teritorijai pieguļošo stagnantā ledus iecirkni un Lubānas loba aktīvo ledu Austrumlatvijas zemienes iekšienē.

Pauguraines hipsometriski zemākajā līmenī sastopamās marginālās bīdes morēnas (Kaļpu – Ozolnieku un Silu - Ļaudonas paugurgrēdas) pēc to morfoloģijas atšķiras no hipsometrisko līmeņu robežu iezīmējošās marginālās bīdes morēnas joslas, kas visai tieši norāda uz atšķirībām šo marginālo bīdes morēnu veidošanās apstākļos.

Marginālo bīdes morēnu veidošanās procesi ne tikai Latvijā ir maz pētīti, taču, Praulienas paugurainē esošo Lubānas ledus loba veidotajām marginālajām bīdes morēnām ir novērojams līdzības ar citās Austrumlatvijas zemienes vietās sastopamajiem veidojumiem, piemēram, Numernes valnis un Strūžāņu valnis gar Latgales augstienes pakāji, un Doktu grēda un Terešku oss gar Alūksnes augstienes pakāji.

Diemžēl, par šo marginālo bīdes morēnu veidošanās mehānismiem šobrīd zināšanas ir vairāk balstītas uz to morfoloģiju un vērtējamās pārsvarā kā teorētiski pieņēmumi. Lai iegūtu praktiskas uz šo reljefa formu iekšējās uzbūves mērījumu rezultātiem balstītus rezultātus ir nepieciešams sistemātiski izvēlētās vietās ierīkot dziļus skatrakumus un veikt morēnas un citu nogulumu tekstūranalīzi un struktūrģeoloģiskos pētījumus, ko Latvijā stingri ierobežo finansējuma trūkums.

Ņemot vērā šo Praulienas pauguraines teritorijā esošo marginālo bīdes morēnu veidošanās apstākļu ciešo saistību ar (Gulbenes fāzes) Madonas – Trepes vaļņa gala morēnas veidojumiem, iespējams, ka arī citviet Austrumlatvijas zemienē var identificēt šādus Lubānas loba līdzīgus ledāja malas veidojumu telpiskus sakopojumus.

Lai to noskaidrotu, turpmāko pētījumu ietvaros, būtu nepieciešams paplašināt pētāmas teritorijas apgabalu arī pārējā Austrumlatvijas zemienes teritorijā.

## **PATEICĪBAS**

Pateicos LVĢMC Ģeoloģijas fondu darbiniecei Zanei Pavlovskai, par palīdzību informācijas meklēšanā un sagādē VĢMC Ģeoloģijas fondā.

Izsaku pateicību ģeogrāfam Ivaram Celiņam par palīdzību nogulumu paraugu ievākšanā datēšanai ar OSL metodi un ģeoloģei Evijai Pakalniņai par palīdzību lauka darbos.

Pateicos LU Moderno valodu fakultātes absolventei Ilvai Putniņai par palīdzību zinātniskās terminoloģijas tulkošanā no angļu valodas un Humanitāro zinātņu fakultātes studentei Elīnai Šalaginovai par palīdzību tekstu tulkošanā no krievu valodas.

Saku lielu paldies bakalaura darba vadītājam, profesoram Vitālijam Zelčam par nenovērtējamu atsaucību un pretimnākšanu, bakalaura darba izstrādei nepieciešamās informācijas sagādē, kā arī par praktisku padomu sniegšanu.

Pētījuma vajadzībām veiktā nogulumu vecuma noteikšana ar OSL metodi tika finansēta no LZP zinātniskās pētniecības granta Nr. 05.1498 „Proglaciālās un subglaciālās sedimentācijas un reljefa veidošanās apstākļu un procesu attīstība Latvijā Vislas apledošanas laikā” līdzekļiem.

## IZMANTOTĀ LITERATŪRA

### Publicētā literatūra:

Aber J. S., Croot D. G., Fenton M. M., 1989. Glaciotectonic landforms and structures. Kluwer Academic Publishers, London, 201 pp.

Aber J.S., Ber A., 2007. Glaciotectonism. In: Van Der Meer J.I.M. (eds.), *Developments in Quaternary Science*, 6. Elsevier, 256 pp.

Aboltins, O., Straume, J. & Juškevics, 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. Riga, Zinatne (in Russian with English summary).

Aboltiņš, O. P., 1989: *Gliatsistruktura i lednikovii morfogenez*, 284 s. Zinatne, Riga.

Āboltiņš O. 1999. *Struktūrģeoloģijas pamati*. Rīga, Latvijas Universitāte

Āboltiņš O.P., Zelčs V., 1988. Litomorfogenez vnutrennej zony drevnelednikovoj oblasti. V: Purin V., Zvejnieks R. (red.), *Razvitije geografičeskoj mysli v Sovetskoj Latvii*. Riga, LVU, s. 103-126.

Benn D.I., Evans J.A. 1998. *Glaciers & Glaciation*. ARNOLD, London 734 pp.

Hindmarsch C.A., Stokes C.R. 2008. Formation mechanisms for ice-stream lateral shear margin moraines. *Earth Surface Processes and Landforms*. 33: 610 – 622. Published online in Wiley InterScience ([www.interscience.wiley.com](http://www.interscience.wiley.com)) DOI: 10.1002/esp.1665

Meirons Z., J. A. Straume, V.V. Juškevičs, 1976. Main varieties of the marginal formations and deglation of the last glaciation in the territory of the Latvian SSR. In Danilāns I. (ed.), *Problems of Quaternary geology*, 9. Zinātne, Rīga, pp. 50 – 73 (krievu val. ar kopsavilkumu angļu val.).

Stokes, C. R., Clark, C. D. 2002a. Ice stream shear margin moraines. *Earth Surface Processes and Landforms*, 27, 547-558.

Stokes, C. R., Clark, C. D., 2002b. Are long subglacial bedforms indicative of fast ice flow? *Boreas*, 31, 239-249

Stokes, C. R., Clark, C. D., Lian, O. and Tulaczyk, S., 2006. Geomorphological map of ribbed moraine on the Dubawnt Lake Ice Stream bed: a signature of ice stream shut-down? *Journal of Maps*, 1-9.

V. R. Rinterknecht, P. U. Clark, G. M. Raisbeck, F. Yiou, A. Bitinas, E. J. Brook, L. Marks,

V. Zelčs, J.-P. Lunkka, I. E. Pavlovskaya, J. A. Piotrowski, A. Raukas. 2006., The Last Deglaciation of the Southeastern Sector of the Scandinavian Ice Sheet, in *SCIENCE VOL 311 10 MARCH 2006*

Zelčs V. 1997. Dauguļi. *Izd.: Kavacs G. (atb. red.), Latvijas Dabas enciklopēdija*, 1. Preses nams, Rīga 222 p.

Zelčs V. 1997. Praulienas pauguraine. *Izd.: Kavacs G. (atb. red.), Latvijas Dabas enciklopēdija*, 4. Preses nams, Rīga 172 p.

Zelčs V., 2000. Morphology, internal structure and origin of megascale flute ridges and glacial lineations in East Latvian Lowlands. In: International Field Symposium of the Peribaltic Group and the INQUA Commission on Glaciation on Quaternary Geology in Denmark, August 29 - September 3, 2000, pp. 56-58.

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, pp. 225-244.

Аболтиньш О.П., Зелчс В.С., 1988. Литоморфогенез внутренней зоны древнеледниковой области (на примере исследований в Латвии). В кн.: Пурин В.Р. (отв.ред.), Звейниекс Р.Г. (ред.): Развитие географической мысли в Советской Латвии. Рига, ЛГУ, с. 103-126.

Зелчс В.С., 1987. Разновидности гляциодислокаций и их рельефообразующая роль в пределах гляциодепрессионных низменностей Латвии. Т107-Ла88. Рига ЛГУ, 35 с.

### **Nepublicētā literatūra:**

Ābola B., 1991. Pārskats par ģeoloģisko izpēti smilts karjerā „Silnieki” Rīga. VĢMC Ģeoloģijas fonds. Inventāra Nr. 9891

Dauškans M., 2008 b. Kēmu terases un to veidošanās paleoģeogrāfiskie apstākļi Vidzemes augstienē. Maģistra darbs. Latvijas Universitāte, Rīga, lpp 68.

Dauškans M., Zelčs V., 2008 a. Kēmu terases un to veidošanās paleoģeogrāfisko apstākļu laiktelpiskā analīze Vidzemes augstienē. Krāj.: Ģeogrāfija. Ģeoloģija. Vides zinātne. Latvijas Universitātes 66. zināniskā konference. Referātu tēzes. Latvijas Universitāte, Rīga, lpp. 184-186

Eskola K.O., 2009. Report\_LU\_2008\_I-269\_B\_draft Report of OSL dating results Helsinki University 5. pp

Federe I., Markots A., Zelčs V. Krustkalnu rezervāta ģeoloģiskā uzbūve, reljefs, tā veidošanās apstākļi un ģeoloģiski – ģeomorfoloģisko faktoru ģeoeoloģiskie aspekti // Līgumdarba Nr. 1329 atskaite. – Rīga, 1992. – 47 lpp.

Juškevičs V. (1962) Karta mošnosteĭ četvertičņih otloženij M 1:200 000. Serija Pribaltiskaja O-35-XXVII. Ministerstvo Geologij i Ohrani nedr SSSR. VĢMC Ģeoloģijas fonds. Inventāra Nr. 3110. Pielikums Nr. 9.

Juškevičs V., Skrebeils J. (2003) Dabas apvidu karte Mērogs 1:500 000. Valsts ģeoloģijas dienests.

Juškevičs V., Skrebelis J. (2003) Latvijas ģeoloģiskā karte. Kvartāra nogulumu Mērogs 1:200 000. 34. lapa – Jēkabpils, 24. lapa – Daugavpils. Valsts ģeoloģijas dienests.

Latvijas fizioģeogrāfiskā karte. 2009. Karšu izdevniecība Jāņa sēta. LU ĢZZF WMS. Sk. 01.05.2010. Pieejams <http://kartes.geo.lu.lv>

LĢIA Latvijas topogrāfiskā karte M 1: 50 000, 2008, © Latvijas Ģeotelpiskās informācijas aģentūra.

Pakalniņa E., 2008, Madonas – Trepes vaļņa morfoloģija, iekšējā uzbūve un veidošanās apstākļi. Bakalaura darbs. Latvijas Universitāte, Rīga, lpp. 48

Pliuna S., Jaunputnin A., 1965. K morfoloģii Madonsko-Trepskogo vala. V sb.: Basalikas A., red., Krajevije obrazovanija materikovogo oledeneniija. Mintis, Vilnius, s. 89-96.

Saks, T., Kalvāns, A., Zelčs, V., *under revision*. Subglacial bed deformation and glacial dynamics of the Apriķi glacial tongue, Western Latvia. *Boreas* (accepted for publication after revision)

Spunda G., Spunda D. 2007. Pārskats par ģeoloģisko izpēti smilts – grants karjerā „Vidus Zemturi”. Rīga. 4. p. VĢMC Ģeoloģijas fonds. Inventāra Nr. 17498

Strautnieks, I., 1998: Austrumkursass augstienes glaciģēnais reljefs un tā ģenēze. Promocijas darba kopsavilkums. Latvijas Universitāte, Rīga, 55 lpp.

Suļimov G.D. (1962) Geomorfoloģiskā karta M 1:200 000. Serija Pribaltiskā O-35-XXVII. Ministerstvo Geologij i Ohrani nedr SSSR. VĢMA Ģeoloģijas fonds. Inventāra Nr. 3110. Pielikums Nr. 4.

Tālbergs Ž. 1969. Madonas rajona grants – smilts ģeoloģisko izmeklēšana darbu lieta. VĢMC Ģeoloģijas fonds. Inventāra Nr. 8945

TOPO 25K PSRS. *Bijušās PSRS armijas ģenerālštāba 63. gada sistēmas topogrāfisko karšu mozaīka mērogā 1:25 000*. LU ĢZZF WMS. Sk. 27.05.2010. Pieejams <http://kartes.geo.lu.lv>

Zelčs V., Markots A., Dzelzītis J., 2003. Map of Late Weichselian directional ice-flow features of Latvia. Paper No. 24-12. Sesion No. 24. T10. Glaciogeological and geomorphological evidence of ancient ice streams and outlet glaciers. In: *Shaping the Earth: A Quaternary Perspective. The XVI INQUA Congress Programs with Abstracts. Reno, Nevada, July 23 - 30, 2003*.

### **Interneta resursi:**

Latvijas ezeru elektroniska datubāze <http://www.ezeri.lv> sk.27.05.2010

OSL metodes apraksts

[http://crystal.usgs.gov/laboratories/luminescence\\_dating/technique.html](http://crystal.usgs.gov/laboratories/luminescence_dating/technique.html) sk. 27.05.2010.

### **Intervijas:**

Zelčs V. 2010 Bakalaura darba vadītājs, vairākas intervijas.

**Bakalaura darbs „ Praulienas pauguraines morfoloģija un glaciālā ģeoloģija”**  
izstrādāts LU Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultātē.

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

Autors: Artūrs Putniņš

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Rekomendēju darbu aizstāvēšanai

Zinātniskais vadītājs: Prof., Dr. ģeol. Vitālijs Zelčs

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Recenzents:

Darbs iesniegts Ģeoloģijas nodaļas lietvedībā

Nodaļas lietvede .....

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Noslēguma darba aizstāvēšanas rezultāti:

Bakalaura darbs aizstāvēts ģeoloģijas bakalaura gala pārbaudījumu komisijas sēdē

..... protokola nr. ....  
gads, datums, mēnesis

vērtējums .....

Sekretārs

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_