

LATVIJAS UNIVERSITĀTE
ĢEOGRĀFIJAS UN ZEMES ZINĀTŅU FAKULTĀTE
ĢEOGRĀFIJAS NODAĻA

OGRES IELEJAS MORFOLOĢIJA VIDUSLATVIJAS ZEMIENĒ
BAKALAURA DARBS

Autors: Jānis Ivanovs

Stud. Apl. j13029

Darba vadītājs:

Dr. geol. Māris Krievāns

RĪGA, 2016

Anotācija

Bakalaura darbā veikts pētījums par Ogres ielejas morfoloģiju Viduslatvijas zemienes posmā. Darba teorētiskajā daļā apzināti agrāk veikto pētījumu rezultāti par Ogres ieleju un veikta literatūras analīze par upju ieleju morfoloģisko uzbūvi un to pētniecības metodēm. Darbs balstīts uz Latvijas ģeotelpiskās informācijas aģentūras izsniegtajiem Lidar datiem un autora veiktajiem lauka pētījumiem. Iegūtie rezultāti apstrādāti *Global Mapper*, *Qgis*, *ArcView* un *Microstation* vidēs. Pētījuma rezultātā iegūti jauni, augstas precizitātes dati par Ogres ielejas morfoloģiju. Pētījuma rezultāti liecina par Ogres ielejas sarežģīto uzbūvi un tās posmveidīgo attīstību pēc teritorijas deglaciācijas.

Atslēgvārdi: Lidar, digitālais zemes virsmas modelis, upes garenprofils, terases, glaciālie ezeri, gultnes tipi.

Annotation

This Bachelor paper deals with morphology of the River Ogre valley in the middle Latvia lowland. In theoretical part of this paper, results of the previous work on River Ogre valley are discussed and summarized. Literature analyses about river valley morphology and study methods are also discussed. This study is based on Lidar data obtained from Latvian Geospatial Information Agency and field investigations. All data are processed in *Global mapper*, *Qgis*, *ArcView* and *Microstation* software. In this study new high precision data about River Ogre valley are obtained. New data allows to conclude that River Ogre valley is complex formation and it have been formed in stepwise development after deglaciation of the territory.

Keywords: Lidar, digital terrain model, river longitudinal profile, terraces, glacial lakes, channel types.

SATURS

Anotācija	
Annotation	
Ievads	5
1. Pētījuma teorētiskā nostādne un literatūras apskats	7
1.1. Ogres ielejas un tai pieguļošās teritorijas ģeoloģiskā uzbūve un reljefs.....	7
1.2. Iepriekšējie ģeoloģiskie pētījumi Ogres ielejā.....	12
1.3. Upju terases un to veidošanās	13
1.4. Gultnes tipu daudzveidība	14
1.5. Lidar datu ieguve un apstrāde	16
1.6. Lidar datu izmantošana upju morfoloģijas pētījumos	18
2. Faktiskais materiāls un pētījumu metodes	20
2.1. Faktiskais materiāls.....	20
2.2. Kamerālie pētījumi.....	20
2.3. Lauka pētījumi.....	24
3. Rezultāti	25
3.1. Ogres ielejas morfoloģija	25
3.1.1. Ogres ielejas un tai pieguļošās teritorijas trīsdimensionālais zemes virsmas modelis	25
3.1.2. Ogres ielejas garenprofils.....	25
3.1.3. Glaciālo ezeru krasta līnijas	27
3.1.4. Ogres ielejas lejteces terases.....	29
4. Diskusija un interpretācija	36
5. Secinājumi.....	38
Pateicības	39
Izmantotā literatūra	40

IEVADS

Latvijā detalizēti lielo upju pētījumi pārsvarā ir veikti pagājušā gadsimta septiņdesmitajos gados, tos veica Guntis Eberhards Daugavas ielejai (Eberhards, 1972), Ojārs Āboltnišs Gaujas ielejai (Āboltnišs, 1979), Ints Veinbergs Abavas ielejai (Veinbergs, 1975). Pēdējo gadu laikā upju ieleju pētījumi Latvijā ir aktualizēti un ir veikti Gaujas ielejai un tai pieguļošajai teritorijai un Lejas Gaujas ielejas pietekām (Krievāns, 2011, 2015; Krievāns un Rečs, 2012). Latvijas lielāko upju ieleju veidošanās un morfoloģija būtu jāpārskata, jo izmantojot mūsdienīgas pētījumu metodes fluviālajā ģeomorfoloģijā, kas ir cieši saistītas ar ģeodēziju un tālīzpēti, paveras iespējas detalizētiem augstas precizitātes pētījumiem, kas var sniegt jaunu skatījumu uz hidrogrāfiskā tīkla attīstību pēdējā apledošanas deglaciācijas gaitā.

Ogres ieleju līdz šim ir pētījis Eberhards (1972, 2013). Atsevišķi ģeoloģiskie pētījumi veikti upes ielejā esošajiem ģeoloģiskajiem objektiem, piemēram, Kalnrēžu dolomitizētā smilšakmens atsegumam (Stinkulis, 1999). Ogres upe sākas Vidzemes augstienes A daļā, Vestienas paugurainē, Madonas novadā 232 m v.j.l. (pieteka Ogrīte – 241 m v.j.l.) un ietek Daugavā lejpus Ogres pilsētai. Upes kopējais garums ir 188 km un kritums ir 222 m (Eipurs, 1997). Bakalaura darbā tika pētīts Ogres ielejas posms, kas šķērso Viduslatvijas zemieni, jeb lejteci pēc Eberhards (1972), jo šajā daļā ir sarežģīta teritorijas paleogeogrāfiskā un ģeoloģiskā uzbūve un tā ir salīdzinoši maz pētīta. Lejtecē, kas sākas Viduslatvijas zemienes Madlienā nolaidenumā un turpinās Ropažu līdzenumā, upei tekot caur Ogres un Lielvārdes novadiem, tās garums ir 97 km un kopējais kritums veido 68 m, kas ir 0,7 m/km. Lielākās pietekas ir Lobe, Līčupe, Aviekste, Ranka un Norupīte (Eipurs, 1997).

Ogres ieleja sāka veidoties Vislas apledošanas deglaciācijas laikā (Linkuvas un Valdemārpils stadiju laikā). Atkāpjoties Vislas ledājam, no tā segas atbrīvojās plašas teritorijas. Ledājam kūstot, veidojās plaši sprostezeri un paliku ezeri. Ledājukušanas ūdeņiem noplūstot no hipsometriski augstāk novietotiem glaciālajiem ezeriem uz zemākiem no ūdens pakāpeniski atbrīvojās jaunas teritorijas. Sākotnēji upju ielejas veidojās posmveidīgi saistot blakus esošus glaciālos ezerus. Tikai pēc pilnīgas ledāja atkāpšanās un glaciālo ezeru noplūšanas, savienojoties atsevišķiem upju ieleju posmiem, radās vienotas upes (Eberhards, 2013).

Šobrīd Latvijā detalizētos ģeomorfoloģiskajos un upju ieleju pētījumos ir iespējams izmantot Lidar (*Light Detecting and Ranging*) datus, kas paver plašas iespējas detalizētiem pētījumiem, saistībā ar iespējām izstrādāt precīzus zemes virsmas modeļus. Tos izmantojot ir iespēja veikt upju ieleju raksturlielumu mērījumus, kas var palīdzēt saprast un izskaidrot ielejā notiekošos procesus un likumsakarības.

Bakalaura darba rezultāti daļēji prezentēti Latvijas Universitātes Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultātes zinātniskajā konferencē (Ivanovs un Krievāns, 2016a) un Starptautiskajā jauno ģeologu konferencē (Ivanovs un Krievāns, 2016b) Slovākijā.

Bakalaura darba mērķis ir izpētīt Ogres ielejas lejteces ģeomorfoloģisko uzbūvi.

Lai izvirzītais mērķis tiktu veiksmīgi sasniegts ir izvirzīti vairāki **uzdevumi**:

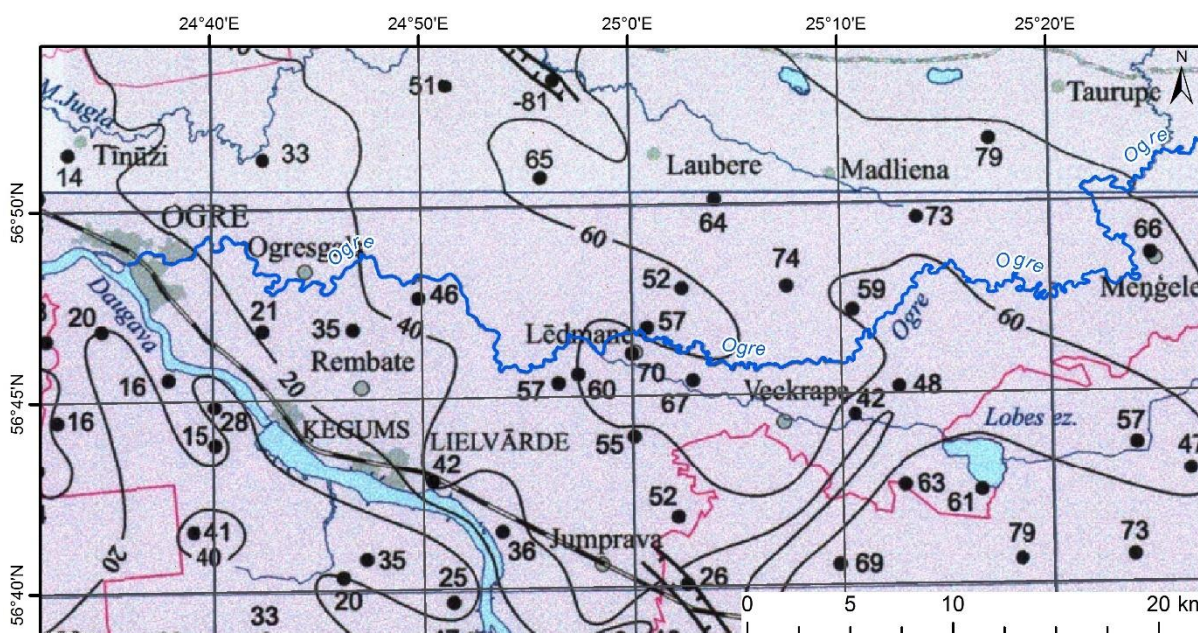
- apkopot visu pieejamo publicēto un nepublicēto literatūru par Ogres ielejas un tai pieguļošās teritorijas attīstību un morfoloģiju;
- apzināt pētījumu teritorijas ģeoloģisko uzbūvi;
- izstrādāt pētījumu teritorijas zemes virsmas modeli;
- veikt terasveidīgo reljefa formu izvietojuma analīzi;
- izstrādāt upes lejteces garenprofilu;
- veikt lauka pētījumus un pārbaudīt kamerālajos darbos iegūtos rezultātus;
- veikt iegūto rezultātu apkopošanu, salīdzināšanu ar iepriekšējiem pētījumiem un secinājumu izdarīšanu.

Darba apjoms ir 42 lpp., tajā skaitā 26 attēli. Darbs sastāv no anotācijas latviešu un angļu valodās, ievada, 4 nodaļām, secinājumiem un pateicībām. Darba izstrādāšanā izmantoti 48 publicētas, 3 nepublicētas un 6 interneta avoti.

1. PĒTĪJUMA TEORĒTISKĀ NOSTĀDNE UN LITERATŪRAS APSKATS

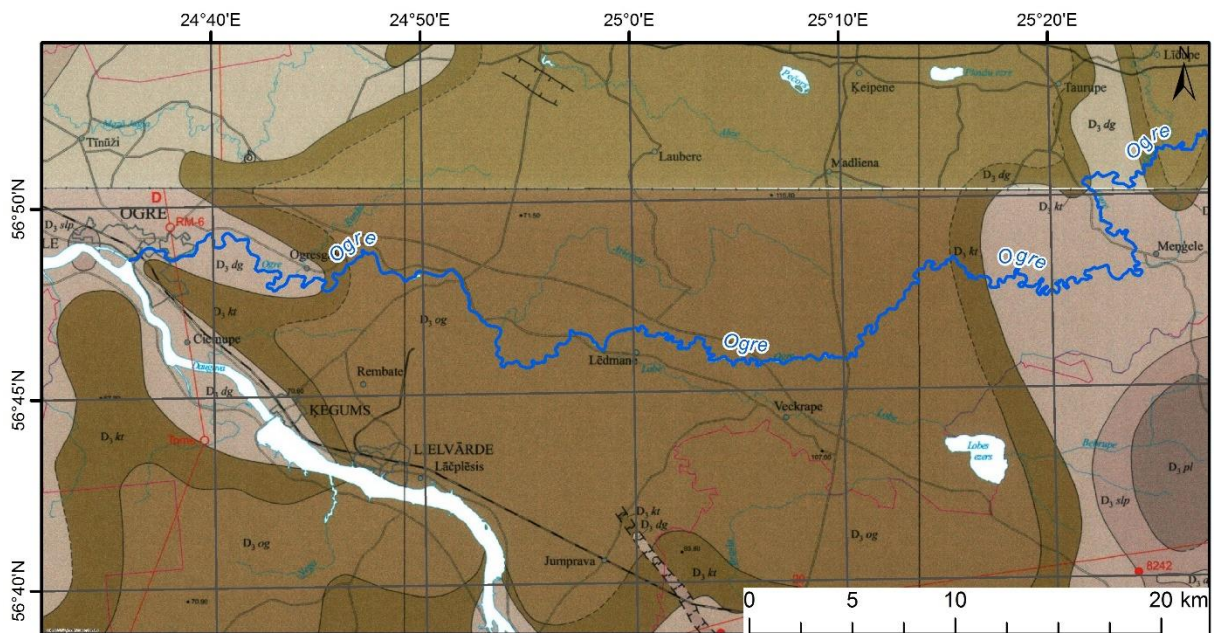
1.1. Ogres ielejas un tai pieguļošās teritorijas ģeoloģiskā uzbūve un reljefs

Ogres ielejas lejteces posma zemkvartāra virsma ir ar kritumu rietumu virzienā (1.1. attēls). Lejteces posma sākumā pie Gnēžām tā ir 75 m v.j.l., tad seko kritums līdz zemkvartāra virsmas augstums pie Madlienas – Vērenes ceļa noslīd zem 60 m v.j.l. Pēc tam seko pacēlums, kurš sākas pie Galiņu mājām. Pacēluma maksimālais augstums sasniedz 70 m v.j.l. pie Lēdmanes un tam seko patstāvīgs zemkvartāra virsmas kritums līdz Ogres ietekai Daugavā, kur zemkvartāra virsmas augstums ir apmēram 18 m v.j.l. (Meirons un Goldforbs, 2002).



1.1. attēls. Zemkvartāra virsmas augstums (Meirons un Goldforbs, 2002; ar autora papildinājumiem).

Zemkvartāro virsmu (1.2. attēls) veido augšdevona Ogres, Katlešu un Daugavas svītas nogulumieži, kas vietām atsedzas arī zemes virspusē upes krastos. Daugavas svītas nogulumieži zemkvartāro virsmu veido Ogres ielejas lejteces sākumposmā, tad, pie Vērenes, seko šaura josla (1 - 2 km platumā) ar Katlešu svītas nogulumiem. No Vērenes līdz Ogresgalam zemkvartāra virsmā atsedzas Ogres svītas nogulumu, kam atkal seko 1-2 km plata Katlešu svītas nogulumu josla. No Ogresgala līdz Ogres ietekai Daugavā zemkvartāro virsmu atkal veido Daugavas svītas nogulumu (Mūrnieks, 2002). Ogres svītas nogulumu pārsvarā sastāv no smilšakmens, māla un aleirīta. Kā īpaši aizsargājams dabas ģeoloģiskais piemineklis ir dolomitizēta smilšakmens atsegums pie Kalnrēžām. Katlešu svīta pārsvarā sastāv no māla un dolomītmergēļa, savukārt Daugavas svītas nogulumus pārsvarā veido dolomīti, kas mijas ar dolomītmergēļi, mālu, kaļķakmeni un ģipsi (Stinkulis, 2015).

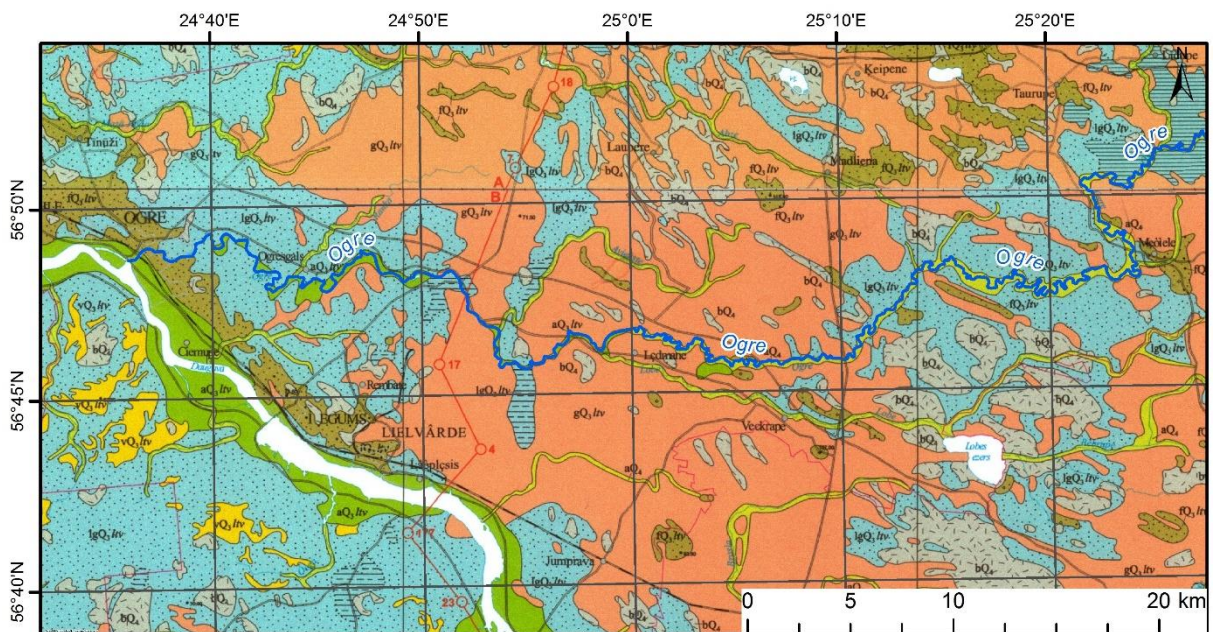


Apzīmējumi

— - Ogres gultne; $D_3 dg$ - Daugavas svīta; $D_3 kr$ - Katlešu svīta; $D_3 og$ - Ogres svīta

1.2. attēls. Pirmskvartāra nogulumu (Mūrnieks, 2002; ar autora papildinājumiem).

Kvartāra nogulumu biezums upes lejtecē svārstās no 10 līdz 20 m, tikai pie Menģeles, Vidzemes augstienes piekāvē, tas ir vairāk kā 40 m (Āboltiņš un Brangulis, 2002) Kvartāra nogulumus (1.3. attēls) veido glaciolimmiskie, glacigēnie, aluviālie, glaciofluviālie un purvu nogulumu. Glaciolimmiskie nogulumu, kuri parasti ir smalkgraudaini (smalka smiltis, aleirīts, māls) Ogres ielejas lejteces daļā un tai pieguļošajā teritorijā ir plaši atrodami sākot no Menģeles



Apzīmējumi

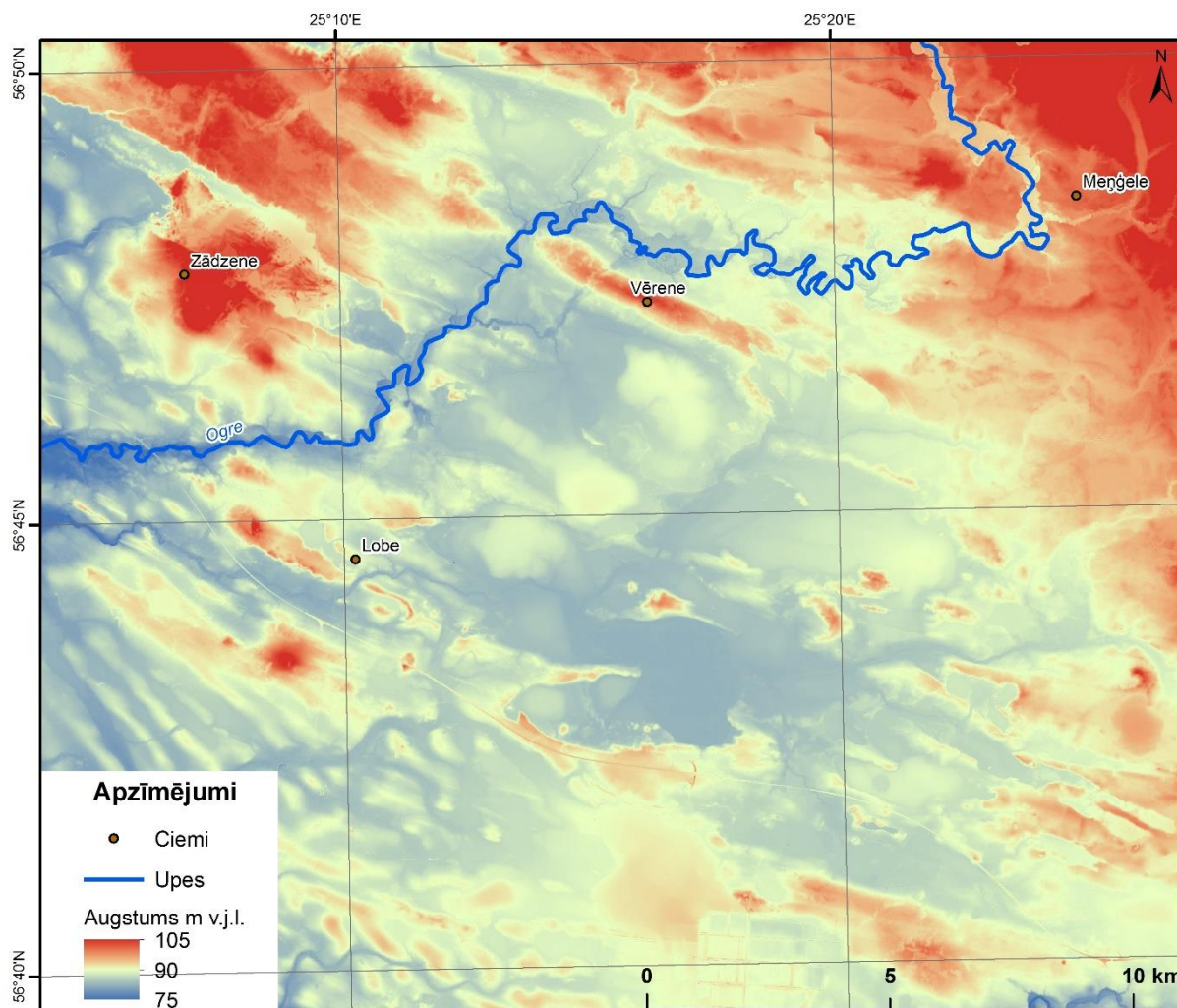
— - Ogres gultne; — - Aluviālie nogulumu; — - Glacigēnie nogulumu; — - Glaciofluviālie nogulumu; — - Glaciolimmiskie nogulumu; — - Purvu nogulumu; — - Eolie nogulumu.

1.3. attēls. Kvartārģeoloģiskā karte (Meirons, 2002; ar autora papildinājumiem)

līdz Skrīveru – Madlienas šosejai un tālāk no Glāzšķūņa līdz pat Ogres pilsētai, vietās, kur ilgstoši pastāvēja piededāja sprostezeri. Glacigēnie nogulumu pārsvarā ir sastopami posmā no Skrīveru – Madlienas šosejas līdz Glāzšķūnim. Aluviālie nogulumu vairāk vai mazāk sastopami Ogres ielejas robežās, jo tie veidojušies upes darbības rezultātā. Glaciofluviālie nogulumu pārsvarā sastopami pašās lejteces beigās, kur upes ieleja izgrauzusi ceļu caur Ogres Zilo kalnu teritorijai. Savukārt purvu nogulumu pārsvarā sastopami bijušā Lobes paliku ezera teritorijā (Meirons, 2002).

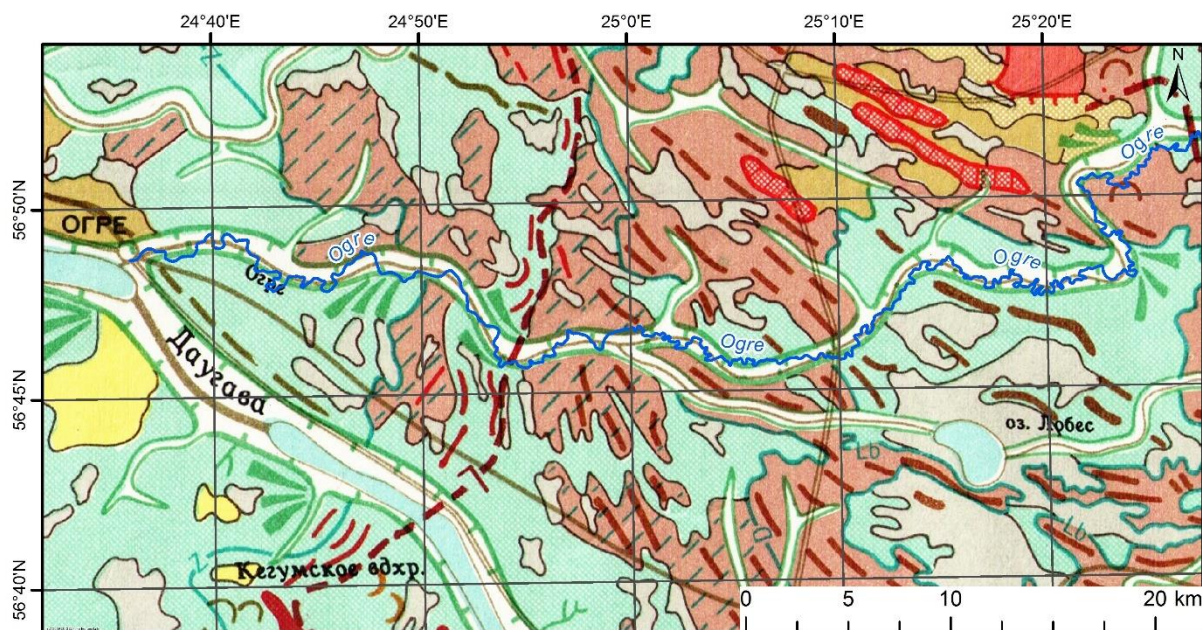
Vislas apledošanas beigās, atkāpjoties ledājam tā malā uzkrājās ledājkušanas ūdeņi, kas veidojoties upju ielejām pieplūda no apkārt esošajām, no ledus brīvajām, teritorijām, kā arī no paša kūstošā ledāja. Tā rezultātā veidojās piededāja sprostezeri, kuru seno krasta līniju fragmenti Viduslatvijas austrumu daļā joprojām ir izsekojami (Āboltiņš, 2010). Kopumā Ogres ielejā atkāpjoties ledājam, pastāvēja 5 dažādi sprostezeri, kuri secībā no Ogres augšteces ir: Augšogres, Valovas, Lobes, Daudzevas un Zemgales piededāja sprostezeri. Lobes, Daudzevas un Zemgales sprostezeru dažādu līmeņu krasta līniju fragmenti ir izsekojami pētāmajā teritorijā.

Domājams, ka Ogres ieleja sāka veidoties jau ledāja deglaciācijas Gulbenes stadijas laikā, jo šajā laika periodā Vidzemes augstiene, kur ir Ogres izteka jau bija brīva no ledus un tur varēja pastāvēt Augšogres un Valovas piededāja sprostezeri. Madlienas nolaidenumā esošo drumlinu garenasis norāda, ka ledājs starp Gulbenes un Linkuvas stadijām atkāpies ZR virzienā. Ledājam atkāpjoties no Gulbenes stadijas fāzes stāvokļa izveidojās Lobes sprostezers, kura dažādu stadiju krasta līniju fragmenti izsekojami 107-108 un 100-102 m v.j.l. augstumā (Eberhards, 1972). Lobes sprostezera platība bijusi apmēram 420 km² liela (Straume u.c., 1981) Spriežot pēc Ogres ielejas terašu neesamības, pieguļošās teritorijas kvartāra segas nogulumiem (purvu un glaciolimniskie nogulumu) un reljefa (iedobes forma (1.4. attēls)), secināms, ka Lobes sprostezers pēc ledāja atkāpšanās pilnībā nenoplūda un vēl kādu laiku saglabājās kā paliku ezers. Šobrīd tā teritorijā joprojām ir palicis Lobes ezers, kā arī plašas pārpurvotas teritorijas.



1.4. attēls. Iespējamais Lobes paliku ezera izplatības areāls (izveidojis darba autors, izmantojot LĢIA Lidar datus).

Linkuvas stadijas laikā pirms aptuveni 13300-13200 gadiem pastāvēja Daudzevas pieledāja sprostezers (Āboltiņš, 2010), kura dažādu stadiju seno krasta līniju fragmenti Viduslatvijas austrumos ir konstatējami apmēram 62 un 80-82 m v.j.l. augstumā. Šādā līmenī ir korelējamas arī Ogres ielejas Rankas spektra V un VI terases (Eberhards, 1972). Ūdeņi sprostezeram šajā laikā pieplūda pa jau izveidojušām upju ielejām, kuru ieteces vietās ir konstatējamas to deltas (Ogrei pie Glāzšķūņa, Daugavai pie Purvainiem un Daudzeses). Mūsdienās bijušā Daudzevas sprostezera gultnē konstatējama pārsvarā pārskalota morēna, kas norāda, ka ezera apstākļi nebija tādi, lai uzkrātos mālaino nogulumu slānis.



Apzīmējumi

- Ogres gultne; - Marginālās pauguraines; - Atšķelšanās vaļņi; - Marginālie vaļņi: a) mēroga, b) nemēroga;
- Marginālās nogāzes; - Morēnas līdzenumi; - Morēnas pauguraines; - Atsevišķi morēnas pauguri;
- Drumlini; - Morēnas vaļņi; - Glaciofluviālie līdzenumi; - Kēmu pauguraines; - Osi;
- Glaciolimniskie līdzenumi; - Terasētas upju ielejas; - Paliņu ielejas; - Deltas; - Kāpu reljefs;
- Purvi; - Glaciolimnisko ezeru daļēji abradētie līdzenumi; - Ledāja malas atkāpšanās Gulbenes fāzes robeža;
- Ledāja malas atkāpšanās Linkuvas fāzes robeža; - Daudzevas glaciālā ezera krasta līnija;
- Zemgales glaciālā ezera krasta līnija.

1.5. attēls. Ogres ielejas un tai pieguļošās teritorijas morfoloģija (Straume u.c., 1981b; ar autora papildinājumiem).

Ledāja atkāpšanās līdz Valdemārpils fāzes stadijai notika pirms apmēram 13000 gadiem un šajā laikā izveidojās plašais Zemgales sprostezers (Āboltiņš, 2010). Tā ūdens līmenis lēcienvēidīgi pazeminājās, tomēr kādu laika sprīdi bija stabils dažādos augstumos, kā piemēram 56-57 m, 50 m, 45 m, 42-43 m, 41 m un 38-39 m. Šajā laikā turpināja veidoties Ogres, Gaujas un Daugavas ielejas un to ieteku vietās Zemgales sprostezērā veidojās deltas, piemēram, Ogrei pie Kalnrēžām, Daugavai pie Latgaļiem un Bekuciema, Gaujai no Siguldas līdz Vangažiem. Zemgales sprostezera krasta līmenī 52 m v.j.l. izbeidzas IV^f Ogres lejteces terase. Pēc ledāja atkāpšanās no Valdemārpils fāzes stadijas, notika Zemgales sprostezera ūdens līmeņa pazemināšanās un Ogře savienojās ar Daugavu. Pēcleduslaikmetā turpinājās erozijas bāzes pazemināšanās, kas izraisīja upes iegraušanos Devona pamatiežos (Eberhards, 1972).

1.2. Iepriekšējie ģeoloģiskie pētījumi Ogres ielejā

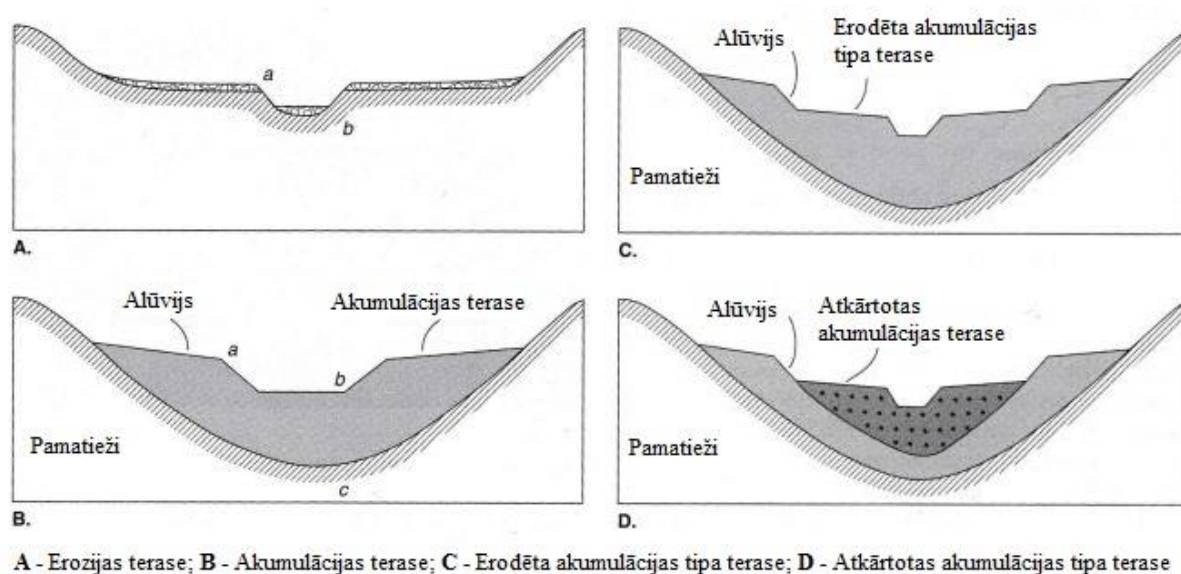
Eberhards (1972) Ogres lejteci iedala divos (Vērenes un Lēdmanes-Rankas) posmos. Vērenes posmā upes ielejā izveidojusies augsta paliene, kas ir plata un sasniedz līdz pat 5 m augstumu virs upes ūdens līmeņa. Lejpus Skolasupes ietecei, kur upes ieleja iestiepjas Viduslatvijas nolaidenumā, Ogres kritums, salīdzinājumā ar vidusteci, samazinās. Upes tecējumam mainot virzienu no dienvidiem uz rietumiem, upei ir izteikta dziļumerozija. Ieleja šajā posmā ir šaura, tās platums svārstās no 100 līdz 300 m. Lejpus Mengeles visā Ogres ielejas garumā tās dziļums ir robežās no 10 līdz 12 metriem. Vērenes posma beigās, aiz šosejas Skrīveri – Madliena, upes gultnē un krastos atsedzas dolomīti un dolomitizēti smilšakmeņi. Sakarā ar to, ka pamatiežu virsma ir saposmota, Devona ieži, kas atsedzas upes krastos, posmveidīgi mijas savā starpā un arī ar Kvartāra nogulumiem. Vietās, kur ieleja iegrauzusies ir pamatiežos, tā ir šaura, taisna un ar U vai V veida formu (Eberhards, 1972).

Lēdmanes-Rankas posmā ir novērojami seši terašu līmeņi un paliene. Visas terases izņemot I ir erozijas tipa terases. VI^r un V^r terases izsekojamas attiecīgi līdz Daudzevas pieledāja glaciālā ezera krasta līnijām D_{II} un D_V (81 - 82 un 61 - 62 m v.j.l.). Savukārt IV^r terase izsekojama līdz Zemgales sprostezera Z_I krasta līnijas kas atrodas 52 metru augstumā v.j.l. III^r, II^r un I Ogres terases saplūst kopā ar attiecīgi II^a, I^a un V¹ Daugavas terasēm no kurām pirmās divas attiecas uz Zemgales sprostezera krasta līmeņiem 24 un 15,5 m v.j.l. un Baltijas ledus ezera krasta līmeni 12,5 m v.j.l. Paliene šajā posmā ir relatīvi šaura nevienmērīgi izteikta un pārsvarā novērojama tikai upes izliektajos krastos. Palienes augstums svārstās no 1,9 līdz 2,8 m un tas ir atkarīgs no upes hidroloģiskā režīma, garenkrituma un gultnes morfometrijas (Eberhards, 1972).

Lejtecē esošais Rankas terašu spektrs no Vidzemes terašu spektra atšķiras ar to, ka tas ir nepārrotais terašu spektrs un ir veidojies, noplūstot Daudzevas un Zemgales glaciālajiem ezeriem un pazeminoties erozijas bāzei. Savukārt augštecē un vidustecē terašu spektrs veidojies, noplūstot ledāja kušanas ūdeņiem no Vidzemes augstienes. Sprostezeru noplūšana noteica to, ka ieleja veidojās posmveidīgi, arvien pieaugot tās garumam. Atšķirībā no laika, kad veidojās Ogres ielejas augštece un vidustece, veidojoties lejtecei, Ogres upe jau barojās no atmosfēras nokrišņiem, gruntsūdeņiem un mazāku ezeru notecēm (Eberhards, 1972, 2013).

1.3. Upju terases un to veidošanās

Upju terases veidojas erozijas, dažkārt arī akumulācijas apstākļos, kad straumes darbības rezultātā notiek tās iegraušānās gultnes nogulumos, tādējādi padarot iepriekšējo gultni par palienu (Easterbrook, 1999). Senā paliene secīgi kļūst par terasi (Zhanyu, 2014). Upju ieleju terašu veidošanās ir komplicēta un novērojama visur pasaulē. Mūsdienās uzskata, ka primārais cēlonis terašu veidošanā ir klimatiskās izmaiņas ko papildina tektoniskās kustības (zemes virsmas celšanās vai grimšana un zemestrīces), upju nogulumu transporta režīms un cilvēku darbība (Bridgland, 2000; Chen et al., 2003). Klimatiskajām izmaiņām ierosinot jūras ūdens līmeņa krišanos, pazeminās erozijas bāze, kas izsauc straumes dziļumeroziju (Törnqvist, 1998; Bridgland and Westaway, 2008).

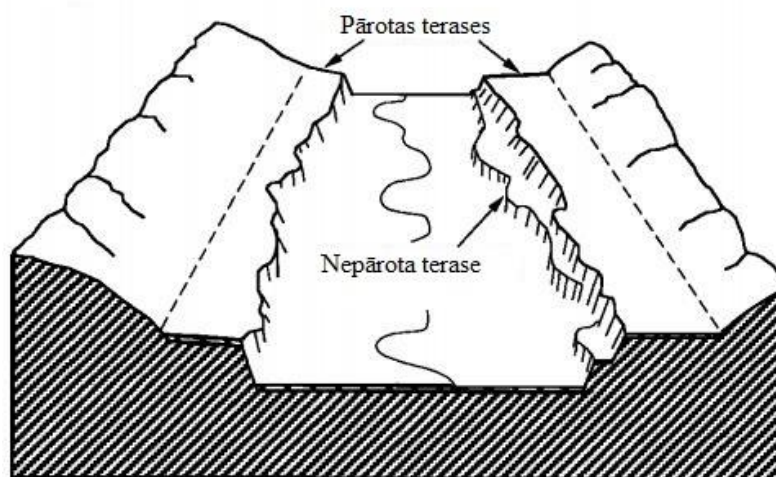


1.6. attēls. Upju ieleju terašu tipi (Easterbrook, 1999; ar autora papildinājumiem).

Veidojoties upes ielejas terasei, tās tips ir atkarīgs no palienes veidošanās apstākļiem. Palienes veidojas pateicoties fluviālajiem procesiem, to raksturs un attīstība ir ciešā sakarībā ar straumes spēku un sanesu īpašībām (Nanson and Croke, 1992). Paliene var būt veidojusies upes straumei iegraūžoties dziļāk iežos, akumulējoties straumes nestajiem nogulumiem vai abu apstākļu kombinācijā. Izšķir četrus galvenos upju ieleju terašu tipus (1.6. attēls): erozijas, akumulācijas, erodētās akumulācijas un atkārtotās akumulācijas terases. Erozijas tipa terases veidojas upes straumei iegraūžoties apkārtesošajos iežos, savukārt akumulācijas terases veidojas, ja upes ieleja laika gaitā ir aizpildījiesies ar aluviālajiem nogulumiem, kuros straume pēc tam iegraūžas. Ja straume atkārtoti iegraūžas un veido otro līmeni akumulācijas tipa gultnē, tad tā ir erodētā akumulācijas terase, jo jaunā paliene pēc savas ģenēzes ir erozijas tipa. Savukārt atkārtotās akumulācijas tipa terase veidojas, ja pēc ielejas aizpildīšanās ar aluviālajiem

nogulumiem, tajā notiek erozija, bet pēc kāda laika atjaunojas akumulācija. Iegrauzoties jaunākajos nogulumos, veidojas atkārtotas akumulācijas tipa terase (Easterbrook, 1999).

Upju terases var būt ar dažādiem spektriem, tās var būt paralēlas, jeb pārotās, kur terases abās upes ielejas malās atrodas vienā augstumā un nepārotās, kur terases atrodas tikai vienā ielejas malā. Ja notiek upes gultnes dziļumerozija, tad veidojas pārotās terases (1.7. attēls), savukārt, ja notiek arī laterālā erozija, tad veidojas nepārotās terases (Merritts et al., 1994).



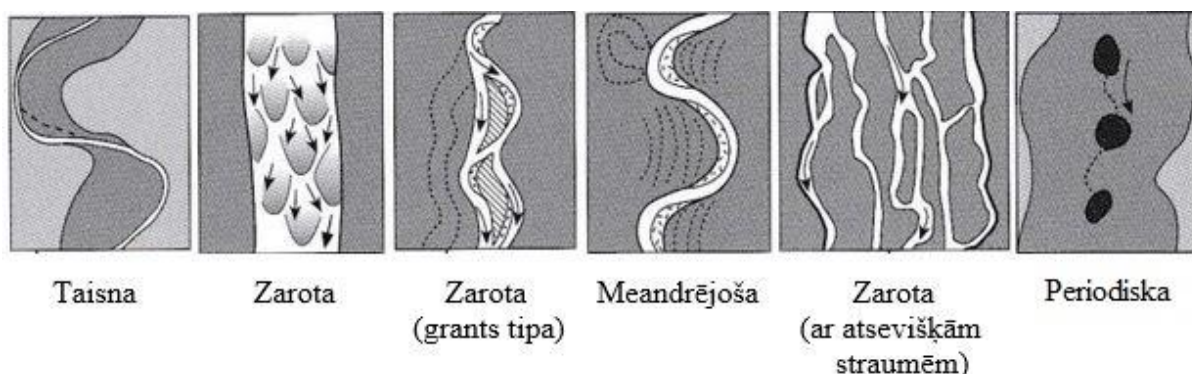
1.7. attēls. Terašu spektri (Merritts et al., 1994; ar autora labojumiem).

Baltijas valstu teritorijā terašu veidošanos iedala trīs ciklos. Pirmā cikla laikā terašu veidošanos galvenokārt noteica deglaciācijas raksturs un ātrums, kā arī sprostezeru un paliku ezeru pastāvēšana un notece. Otrā cikla laikā terašu veidošanos vislielākajā mērā ietekmēja dažādas Baltijas jūras stadijas ar transgresijām un regresijām, tādā veidā mainoties erozijas bāzei. Savukārt trešā cikla laikā terašu veidošanās notika intensīvas Zemes garozas pacelšanās rezultātā un tas aptvēra tikai Ziemeļigaunijas teritoriju (Eberhards, 2013).

1.4. Gultnes tipu daudzveidība

Lai gan upju gultnes ir veidotas no relatīvi vienveidīgiem nogulumiem, ūdens straumes plūšana pāri vai apkārt tiem un mijiedarbojoties ar veģetāciju veido ļoti dažādus upju gultņu tipus. Šī iespaidīgā dažādība var būt atkarīga no daudziem vides apstākļiem, piemēram ģeoloģiskajiem, topogrāfiskajiem, klimatiskajiem, bioģeogrāfiskajiem, antropogēnajiem un citiem apstākļiem. Analizējot šo apstākļu, procesu un formu attiecības ģeogrāfiskā skatījumā, ir jāņem vērā visi procesus ietekmējošie apstākļi kontekstā vienam ar otru. Upēm ar pašregulējošām gultnēm, kas laterāli neierobežoti var pārvietoties ielejas robežās izdala sešus galvenos aluviālo upju gultņu tipus (1.8. attēls): taisnas, zarotas, zarotas-grants tipa, meandrējošas, zarotas-ar atsevišķām straumēm un periodiskas gultnes. Jāņem vērā, ka dabā ir sastopama lielāka gultņu daudzveidība, jo katrā upē notiek dažādi erozijas un akumulācijas

procesī, kas ir tikai tai raksturīgi, tāpēc vienmēr ir jāpaļaujas uz pētnieka interpretāciju (Fryirs and Brierley, 2013).



1.8. attēls. Galvenie gultņu tipi (Fryirs and Brierley, 2013; ar autora labojumiem).

Citi pētnieki (Lewin and Brawer, 2001; Leopold and Wolman, 1957) izdala tikai 3 galvenos gultņu tipus – taisnas, meandrējošas un zarotas. Zarotās gultnes ir tādas, kas plūst pa divām vai vairākām atsevišķām gultnēm, un tām var būt atšķirīgi gultnes apstākļi. Tās rodas, kad upes gultnes vidusdaļā izveidojas sēres. Ģeomorfoloģiski zarotām gultnēm raksturīgs tas, ka tās ir bagātas ar sanesām un izraisa ievērojamu eroziju (Bristow and Best, 1993). Meandrējošās gultnes ir iekšēji dinamiskas sistēmas, kuras maina savu tecējumu ielejas robežās un migrē, erodējot palienes (Güneralp and Rhoads, 2009). Savukārt taisnās gultnēs pilnīgi taisni var būt tikai atsevišķi posmi, tomēr arī šādām upēm vienmēr ir neliela līkumainība. Atšķirīgais no citiem tipiem taisnās gultnes nezarojas un nemeandrē, tām ir atšķirīgs arī straumes ātrums, sanešu daudzums un gultnes materiāla granulometriskais sastāvs (Leopold and Wolman, 1957).

Viens no svarīgākajiem upes gultni raksturojošajiem rādītājiem ir upes līkumainības koeficients. Līkumainības koeficientu aprēķina pēc formulas:

$$P = \lambda/Z$$

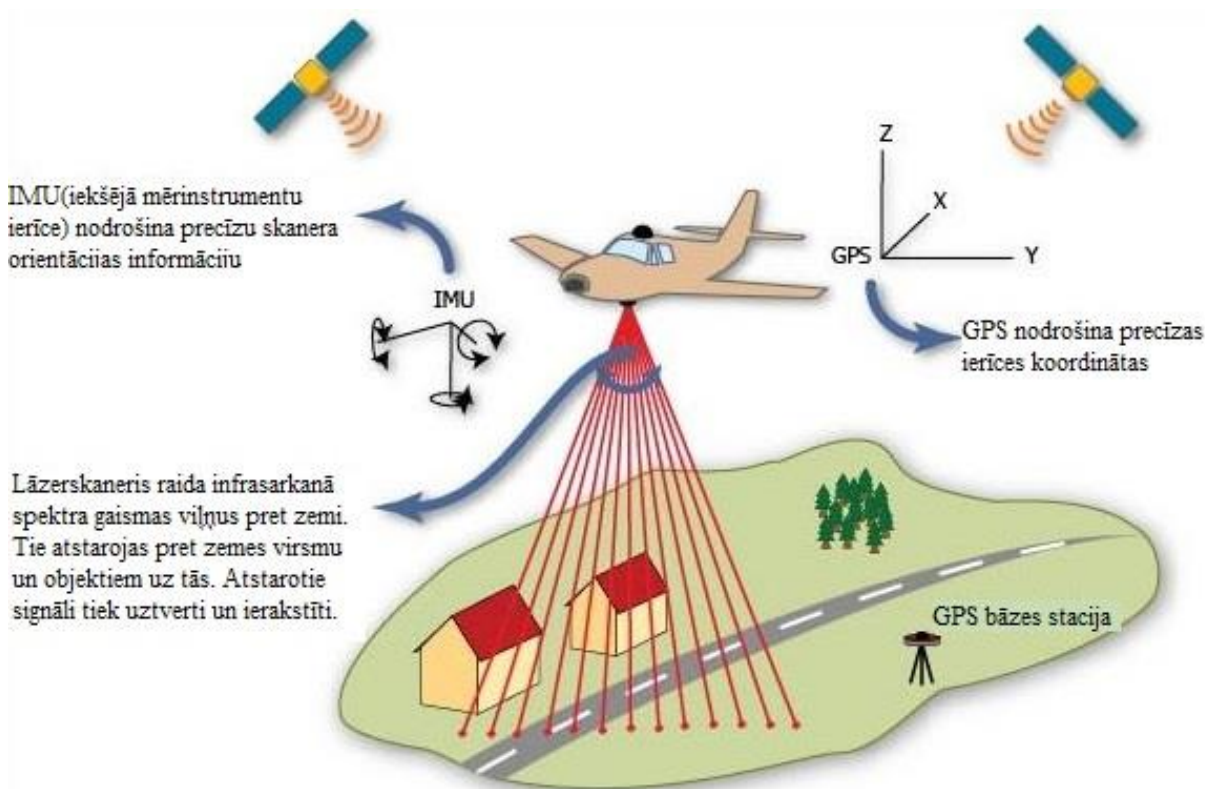
kur P – līkumainības koeficients, λ – upes gultnes garums, Z – upes ielejas garums. Ar līkumainības koeficientu var skaidrot upes gultnes pašregulēšanos ielejas ietvaros. Izdala četras līkumainības koeficienta pakāpes – taisnas gultnes (koeficients 1 – 1,05), ar nelielu līkumainību (koeficients 1,06 – 1,30), līkumainas/meandrējošas (koeficients 1,31 – 1,8) un meandrējošas (koeficients >1,8). Upei sasniedzot līkumainības koeficientu 1,8, tā ir spējīga pārraut savu meandru cilpas (Fryirs and Brierley, 2013).

Lai arī Latvijā upēm ir relatīvi jaunas ielejas un to gultnēm ir neizlīdzināti kāplaini garenprofili, lielākā daļa no tām iziet dinamiskas līdzsvara attīstības stadijas. Lielajām upēm (Daugava, Venta, Lielupe, Ogre, Salaca) lielos posmos raksturīga iegrauššanās, savukārt mazajās un vidējās upēs ar seklām ielejām raksturīgi dinamiska līdzsvara apstākļi. Bez dabiskajiem procesiem, upes tiek ietekmētas arī no cilvēku puses. Apmēram 50% no Latvijas

upju kopējā garuma (pārsvārā mazās un vidējās upes) ir tikušas mākslīgi regulētas, tās iztaisnojot un padziļinot (Eberhards, 2013).

1.5. Lidar datu ieguve un apstrāde

Lidar ir tālzipētes metode, kas izmanto pulsējošus lāzera gaismas signālus, lai mērītu attālumus no mērierīces līdz zemes vai kādai citai virsmai. Izmantojot Lidar lāzera signālus un kombinējot tos ar citiem datiem, kas savākti paralēli zemes virsmas skanēšanai, ir iespējams veidot precīzus trīsdimensionālus zemes virsmas modeļus (Filin, 2004).



1.9. attēls. Aerolāzerskanēšanas princips (GMV, 2016; ar autora papildinājumiem).

Lidar instrumentu sistēma sastāv no lāzera, skenera un GPS uztvērēja. Lidmašīnas un helikopteri ir visbiežāk izmantotie lidaparāti šo sistēmu izmantošanai. Izšķir divus Lidar datu tipus – topogrāfiskos un batimetriskos. Topogrāfiskajā Lidar sistēmā visbiežāk izmanto tuvā infrasarkanā viļņa garumu (0,7-1,4 μm), savukārt batimetrijā ūdenim cauri ejošos zaļās gaismas viļņa garumu (~510 nm), tādējādi ir iespējams nokartēt arī jūras un upju gultņu reljefu. Lidar datu ieguve parasti notiek ar gaisā paceltu lāzeru sistēmu (1.9. attēls), kura ir notēmēta pret zemes virsmu. Skeneris uztver zemes atstarotos lāzera signālus un nomēra katras atstarojošās virsmas attālumu no lidojošās sistēmas. Pēc tam, kad attālumu informācija tiek sakombinēta ar sistēmas pozīcijas un orientācijas datiem, kas ir iegūti attiecīgi no GPS un iekšējās mērinstrumentu sistēmas (IMU), tiek aprēķināti uztverto staru leņķi un tiek

kalibrēti dati. Rezultātā tiek iegūts ciešs, detalizēts augstumu punktu kūlis, kas tiek saukts par punktu mākonī. Katram punktam šajā mākonī tiek piešķirtas trīsdimensionālas koordinātas (garums, platums, augstums), kas atbilst punktiem, pret kuriem ir notikusi lāzera stara atstarošanās (Baltsavias, 1999; NOAA, 2013). Bieza punktu mākoņa esamība ļauj sasniegt augstu ģeogrāfisko objektu un zemes reljefa informācijas pēcapstrādes precizitāti (Filin, 2004).

Izmantojot Lidar sistēmas, jāuzmanās no kļūdām, kas var rasties dažādos apstākļos. Kā izplatītākās kļūdas jāmin: horizontālās un vertikālās, aparatūras izraisītās, punkta atpazīšanas, slīpuma izraisītās, punktu biezuma nepietiekamības, interpolācijas un citas kļūdas (Gardina, 2008). Tas, kādā kvalitātē dati tiek iegūti, apstrādāti un glabāti, ir svarīgākais, lai iegūtie rezultāti būtu kvalitatīvi (Large et al., 2009).

Lai iegūtu pārskatāmu un precīzu informāciju, ir nepieciešams veikt iegūto datu apstrādi un vizualizāciju. ĢIS (*Arcview, QGIS, Global Mapper*) un citas programmas, kā, piemēram, *Microstation* vai *Surfer* spēj apstrādāt un vizualizēt datus, kas ir gan teksta formātā, gan kā vektoru vai rastra dati. Lidar dati parasti glabājas kā teksta faili ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*), kas ir kodēts teksta failu formāts un ir paredzēts informācijas apmaiņai starp informācijas tehnoloģijām (Phillips, 1963) vai arī LAS formātā, kas ir binārs formāts, speciāli pielāgots Lidar specifikācijai (ASPRS, 2009).

Lai varētu izveidot digitālu zemes virsmas modeli, nepieciešams datus interpolēt, tādā veidā piešķirot augstuma vērtību jebkuram punktam starp punktiem ar zināmām vērtībām (Gardina, 2008). Populārākās interpolācijas metodes ir TIN (*Triangulated Irregular Network*), *Kriging*, *Spline*, IDW (*Inverse Distance Weighted*) un *Nearest Neighbor* metodes (Naoum and Tsanis, 2004). TIN ir neregulāru trijstūru tīkls, kuru virsotnes veidojas no punktiem ar zināmām horizontālajām un vertikālajām koordinātām, pie tam šajā tīklā trijstūri viens ar otru nepārklājas (De Floriani and Magillo, 2009). *Kriging* metode vairāk balstās uz datu telpisko izplatību, nevis uz to aktuālajām vērtībām. *Spline* metode balstās uz matemātisku algoritmu, kurš cenšas minimizēt virsmas saposmojumu. IDW interpolācijas metode tuvākos zināmos punktus uzskata par nozīmīgākiem, kā tālākos un virsmu veido pietuvinātu tuvākajiem punktiem, savukārt *Nearest Neighbor* interpolāciju balsta uz proporcionālu attiecību starp zināmajiem punktiem un interpolētie virsmas augstumi vienmēr atrodas zināmo, blakus esošo, augstumu robežās (Arun, 2013). Pēc interpolācijas veikšanas iespējams izveidot digitālu zemes virsmas modeli, uz kura pamata var veikt nepieciešamos mērījumus un datu vizualizāciju.

Nogāzēs Lidar datu punktu mākoņa precizitāte var būt mazāka, jo to ietekmē skanēšanas leņķis un nogāzes slīpums. Līdz ar to veidojot zemes virsmas modeļa virsmu, ne vienmēr

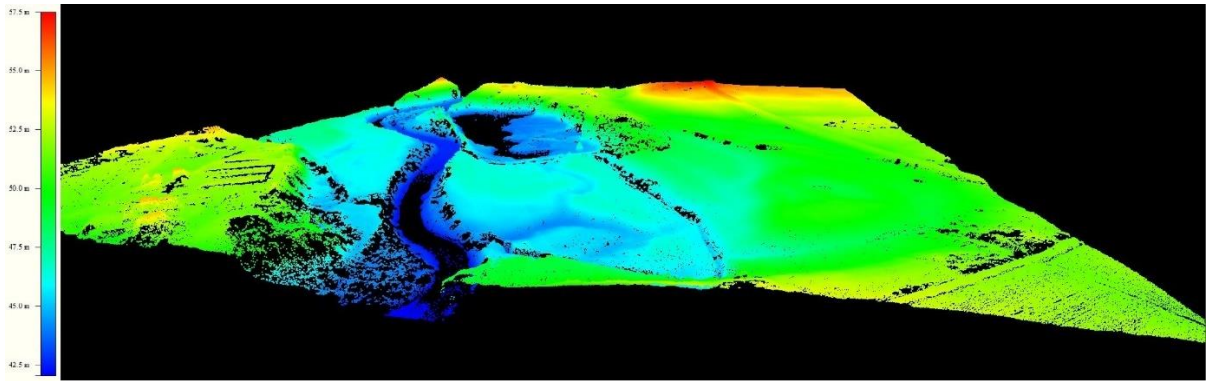
detalizēti atspoguļojas visas mazākās reljefa formas (bedres, rakumi u.c.). Precizitāti ietekmē arī veģetācijas blīvums un nogāzes segums, kas var veidot lielākas augstumu starpības, tomēr jebkurā gadījumā aerolāzerskenēšanas metode šobrīd ir ātrākā un efektīvākā telpisko datu ieguves metode (Pētersons, 2016).

1.6. Lidar datu izmantošana upju morfoloģijas pētījumos

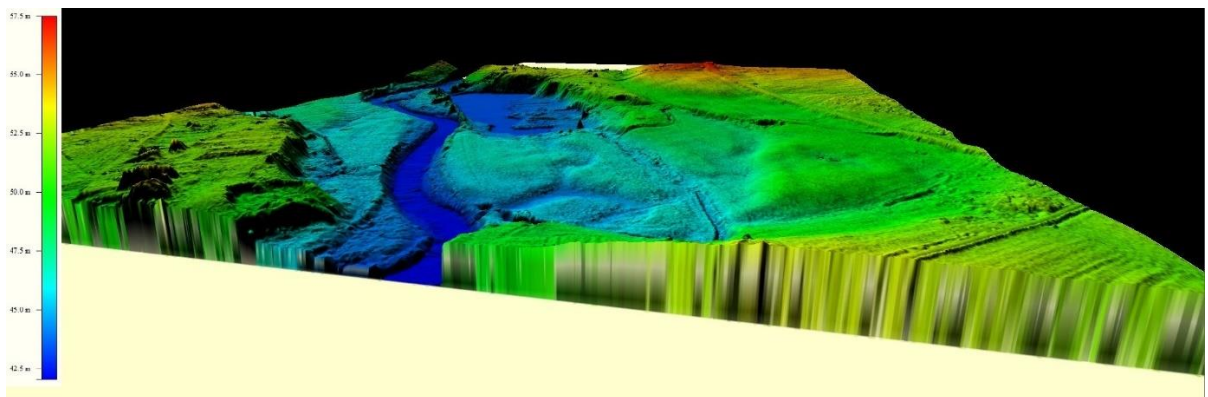
Upju morfoloģijas pētījumos Lidar datu izmantošana var būt problemātiska vairāku aspektu dēļ. Upju krasti, salīdzinot ar plakanām virsmām, ir kompleksi veidojumi. Tie mēdz būt ar lielu slīpumu, apauguši ar veģetāciju, bieži upēs vai pāri tām ir pārgāzušies koki, kas apgrūtina tiešu lāzera staru atstarošanos pret zemes virsmu. Arī dažādi augšņu tipi var ietekmēt mērījumu precizitāti (Bowen and Waltermine, 2002; Hodgson et al., 2005; Gardina, 2008). Ūdens virsmu noteikt ir gandrīz neiespējami, jo tā neatstaro lāzera signālus, ja vien uz tās nav kādi objekti, kas varētu tos atstarot (Korzeniowska, 2012).

Sakarā ar lielo slīpumu krastu nogāzēs, rodas Lidar datu neprecizitātes (vertikālās kļūdas), un kļūdas lielums ir tieši atkarīgs no nogāzes slīpuma (Hodgson et al., 2005). Horizontālās kļūdas var būt ievērojamas, un tās ir tieši atkarīgas no lidaparāta lidojuma augstuma, jo lāzera staru kūlis lielākā attālumā paliek platāks, līdz ar ko tas var atstaroties plašākā teritorijā (Hodgson and Bresnahan, 2004). Lai izvairītos no lielajām kļūdām slīpuma dēļ, ieteicams kontrolēt mērījumus, izmantojot GPS mērījumus zināmiem punktiem, un pēc tam, pielietojot statistiskās metodes, koriģēt datus (Bowen and Waltermine, 2002). Lai iegūtu pēc iespējas detalizētāku zemes virsmas punktu pārklājumu, lāzerskenēšanu ieteicams veikt periodā, kad kokiem nav lapas un ir veģetācija klāj pēc iespējas mazāku zemes virsmas teritoriju. (Hodgson et al. 2003)

Izmantojot precīzus trīsdimensionālos zemes virsmas modeļus, ir iespējams viegli konstatēt upju terases, kas ir svarīga ģeomorfoloģiska upju sistēmu. 1.10. un 1.11. attēlos parādīts kā izskatās Lidar punktu mākonis un no tā izveidots trīsdimensionāls neregulāru trijstūru tīkls (*TIN*). Redzams, ka nogāzēs punktu mākoņa blīvums ir krietni zemāks kā plakanās virsmās. Krāsu skala attēlos norāda uz virsmas augstumu virs jūras līmeņa metros. Melnie apgabali 1.9. attēlā norāda uz to, ka šajās vietās ir salīdzinoši rets atstaroto punktu pārklājums un līdz ar to, digitālā virsmas modeļa precizitāte šajās vietās ir apšaubāma.



1.10. attēls. Lidar punktu mākonis (izveidojis darba autors, izmantojot LĢIA Lidar datus).



1.11. attēls. Trīsdimensionāls neregulāru trijstūru tīkls (izveidojis darba autors, izmantojot LĢIA Lidar datus).

2. FAKTISKAIS MATERIĀLS UN PĒTĪJUMU METODES

2.1. Faktiskais materiāls

Bakalaura darba izstrādes laikā tika apskatīts plašs zinātniskās literatūras un dažāda mēroga kartogrāfiskā materiāla klāsts par Ogres ielejas apkārtnes ģeoloģisko un ģeomorfoloģisko uzbūvi, kā arī iepriekš veiktajiem pētījumiem. Publicētā literatūra, kas apskata darba metodikas un teorētiskās nostādnes, tika meklēta Latvijas Universitātes Dabas Zinātņu centra bibliotēkā, Latvijas Nacionālajā bibliotēkā, Latvijas Universitātes repozitorijā, un Latvijas Universitātes abonētajās datu bāzēs. Lai iegūtu pilnīgu priekšstatu par Ogres ielejas apkārtnes ģeoloģisko uzbūvi, tika izpētīti LVĢMC Valsts ģeoloģijas fonda materiāli. LU ĢZZF karšu serverī pieejamās M 1:10 000 un M 1:25 000 topogrāfiskās un ortofoto kartes tika izmantotas Ogres upes gultnes tipu pētīšanai, kā arī izmaiņu noteikšanai.

Lidar dati, kas nepieciešami digitālā zemes virsmas modeļa izstrādē, pēc līguma, par to izmantošanas tiesībām bakalaura darba izstrādē, noslēgšanas, tika iegūti no Latvijas ģeotelpiskās informācijas aģentūras (LĢIA). Iegūtie dati saturēja informāciju par zemes, kā arī veģetācijas un būvju virsmas punktu trīsdimensionālajām koordinātām. Telpiskie dati kā ceļi, apdzīvotās vietas u.c. tika iegūti no GIS Latvija 10.2 datu bāzes, kas pieejama SIA Envirotech mājaslapā (Envirotech, 2013).

2.2. Kamerālie pētījumi

Kamerālo pētījumu laikā izveidots digitāls zemes virsmas modelis Ogres ielejai un tai pieguļošajai teritorijai. Modelis tika izveidots ne tikai, lai vizualizētu teritoriju un kartētu fluvialās un nogāžu veidotās reljefa formas, bet arī lai veiktu pētāmās teritorijas reljefa analīzi un izveidotu upes lejteces garenprofilu.

Izstrādājot digitālo zemes virsmas modeli un zīmējot ielejas šķērsprofilus, tika izmantota *Global Mapper v15* programmatūra. Datu vizualizācijai un tālākai mērījumu izdarīšanai tika izmantota arī *QGIS 2.8.1.* datorprogramma. Upes garenprofila zīmēšanai tika izmantota *Microstation V8i (Series3)* datorprogramma.

Digitālā zemes virsmas modeļa izveide

Bakalaura darbā izveidotais trīsdimensionālais zemes virsmas modelis pētāmajam Ogres ielejas posmam tika izstrādāts, izmantojot *Global Mapper v15* datorprogrammu. Programma tika pielietota, jo tā ir ērta un samērā viegli izmantojama Lidar datu apstrādē. Tajā var ātri un ērti importēt, apstrādāt un eksportēt datus, veikt profilu izzīmēšanu un precīzu augstumu nolasīšanu (LIDAR module, 2016).

Lai sāktu digitālā zemes virsmas modeļa izstrādi, *Global Mapper* programmatūrā tika importēti no LĢIA iegūtie ASCII formāta Lidar faili, kas satur katra punkta ģeotelpiskās koordinātas. Izmantojamajiem Lidar datiem vertikālā precizitāte ir 12 cm (2 sigmas ar 95% ticamības līmeni pret Valsts ģeodēzisko tīklu) un horizontālā precizitāte ir 36 cm (2 sigmas ar 95% ticamības līmeni pret Valsts ģeodēzisko tīklu). Minimālās prasības pret punktu blīvumu ir 4 p/m², un vidējais zemes punktu blīvums ir 1,5 p/m². LĢIA, kontroles vajadzībām, veic datu precizitātes pārbaudes ar augstas precizitātes ģeodēziskajiem mērījumiem dabā (Pētersons, 2016).

Darbi tika veikti LKS-92 (EPSG:3059) koordinātu sistēmā. Pēc failu pievienošanas no tiem tika izveidots TIN. Lai iegūtu digitālo zemes virsmas modeli, TIN tika eksportēts uz Arc ASCII formātu, izmantojot tuvākā kaimiņa (*Nearest Neighbor*) metodi. Šī metode interpolācijai izmanto tuvākos dotos punktus un piešķir šūnai vērtību, kas aprēķināta ņemot vērā tuvākās zināmās vērtības un attālumus līdz tām. Izmantojot *Nearesr Neighbor* metodi reljefs tiek attēlots bez izciļņiem vai bedrēm starp zināmajiem punktiem un to var izmantot datiem gan ar vienmērīgu, gan nevienmērīgu pārklājumu (Arun, 2013). Interpolācija tika veikta arī ar citām *Global Mapper* programmatūrā pieejamajām metodēm, tomēr tās nesniedza tik labus rezultātus.

Ņemot vērā, ka datu apjoms visai teritorijai ir ļoti liels, zemes virsmas modeļa izstrāde notika posmveidīgi, pievienojot failus pa grupām, un katrai grupai tika izveidots atsevišķs zemes virsmas modelis. Izmēģinot dažādus rastra šūnas izmērus priekš digitālā zemes virsmas modeļa, tika izveidoti paraugi 25 km² lielai teritorijai ar dažādiem šūnas izmēriem. Tika ņemts vērā tas, ka precīzākie (ar mazāko rastra šūnu) modeļi aizņem vislielāko datu apjomu un to apstrādes laiks ir daudz lielāks, salīdzinot ar mazāk precīzajiem modeļiem (Ivanovs un Krievāns, 2016b). Izveidoto paraugu rastra šūnas izmēra un datu apjoma rādītāji ir apkopoti 2.1. tabulā.

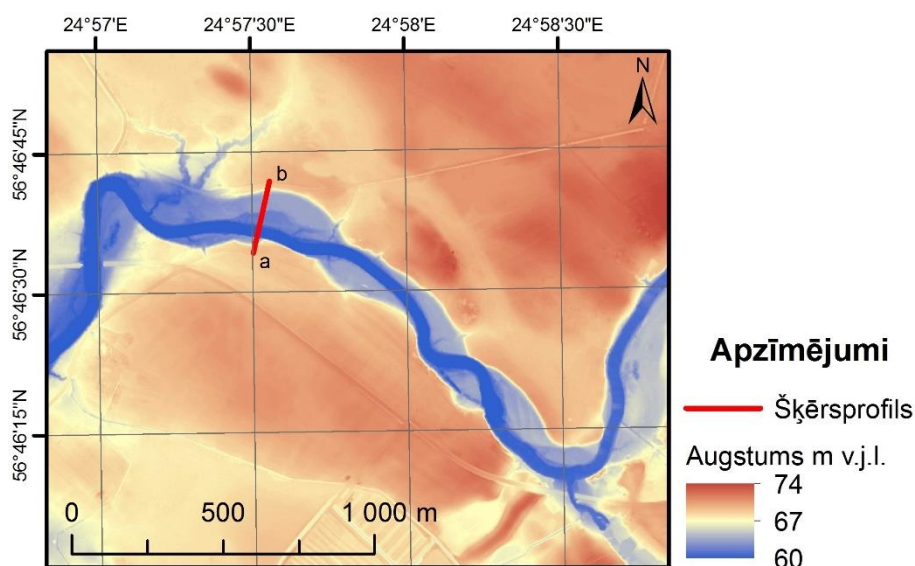
2.1. tabula

Rastra šūnas izmēru salīdzinājums (izveidojis darba autors, izmantojot LĢIA Lidar datus)

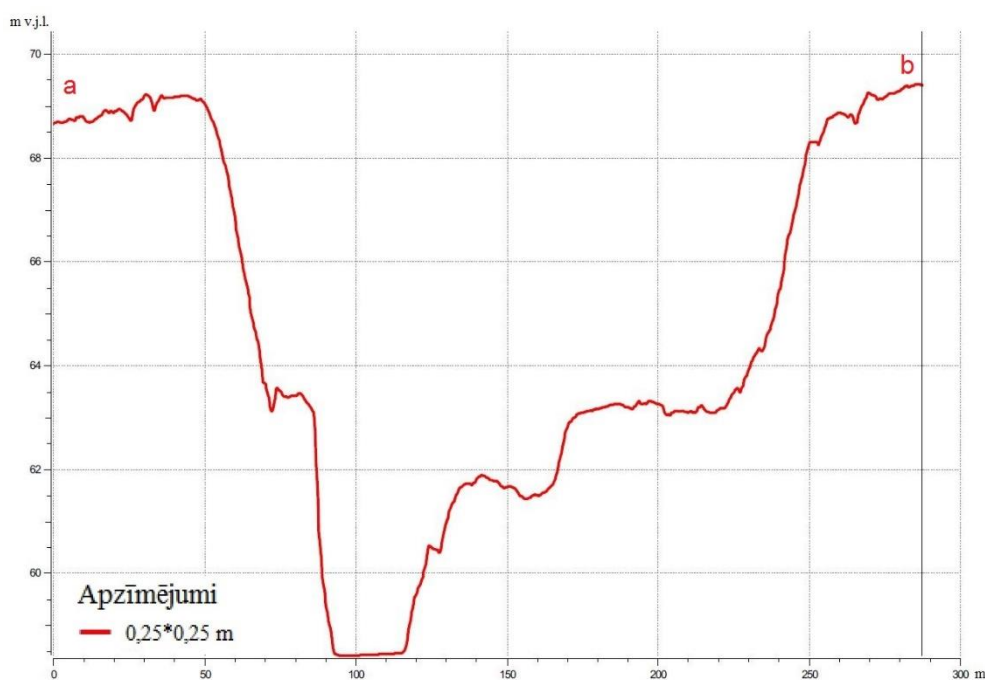
Rastra šūnas izmērs	Datu apjoms
0.25*0.25 m	2,55 GB
0.5*0.5 m	654 MB
1*1 m	163 MB
2*2 m	40 MB
5*5 m	6.5 MB

Kā redzams 2.1. tabulā, rastra šūnas malas izmēra dubultošana nozīmē, ka datu apjoms pieaug četras reizes, tāpēc lai pēc iespējas efektīvāk un pietiekami precīzi veiktu Ogres ielejas

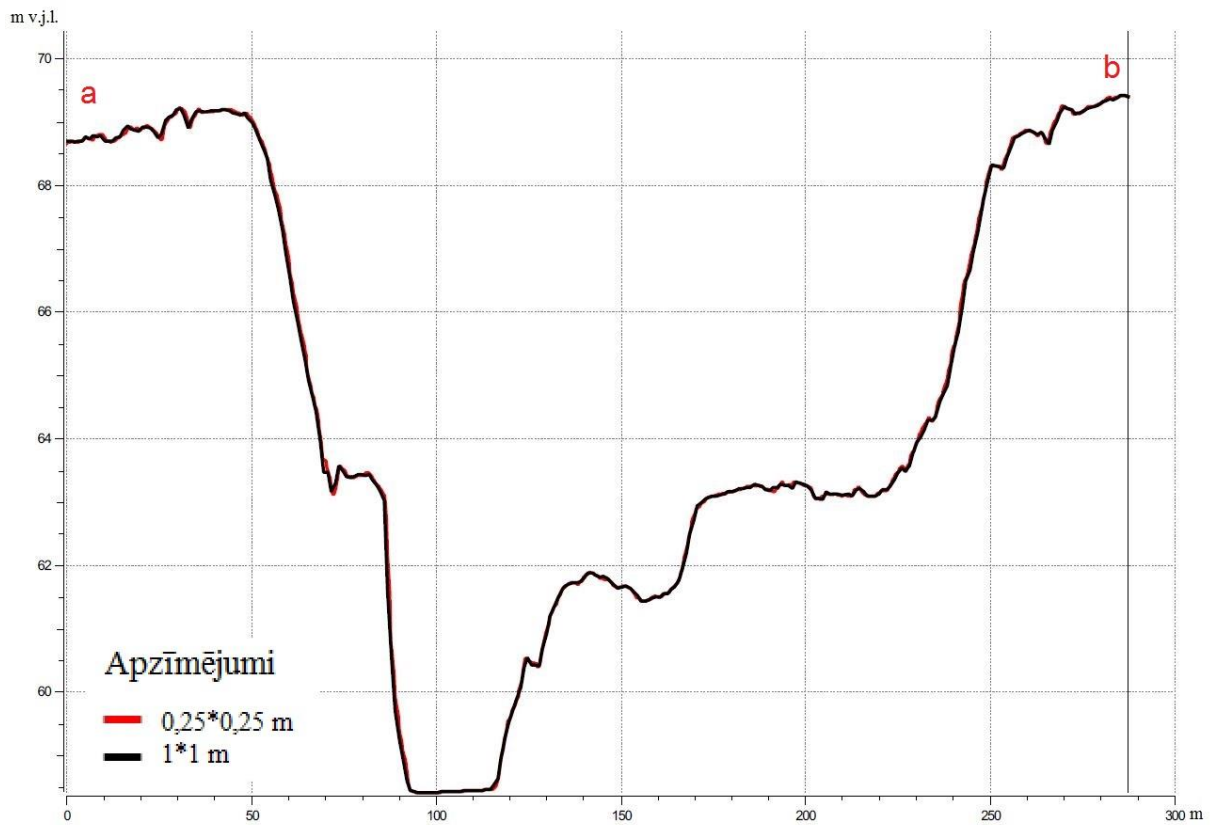
raksturošanu pēc digitālā zemes virsmas modeļa bija jānosaka kurš modelis ir optimālākais darba veikšanai. *QGIS* programmā, izmantojot *Profile Tool* papildinājumu uz visiem paraugiem pāri upes ielejai tika izzīmēts šķēršprofils (2.1. attēls) un pēc profila līniju salīdzināšanas tika konstatēts, ka digitālie zemes virsmas modeļi ar rastra šūnas izmēru līdz 1*1 m ir relatīvi nemainīgi un visi ieleju raksturojošie morfoloģiskie elementi ir nolasāmi bez grūtībām (2.2. un 2.3. attēli) Uz digitālā zemes virsmas modeļa ar rastra šūnas izmēru 2*2 m (2.4. attēls) profila līnija jau sāka nogludināties, bet digitālajam zemes virsmas modelim ar rastra šūnas izmēru 5*5 m profils jau bija izteikti nogludināts un daudzas upes ieleju raksturojošās morfoloģiskās pazīmes, kā, piemēram, šauri palienes vai terašu fragmenti vairs nebija identificējami.



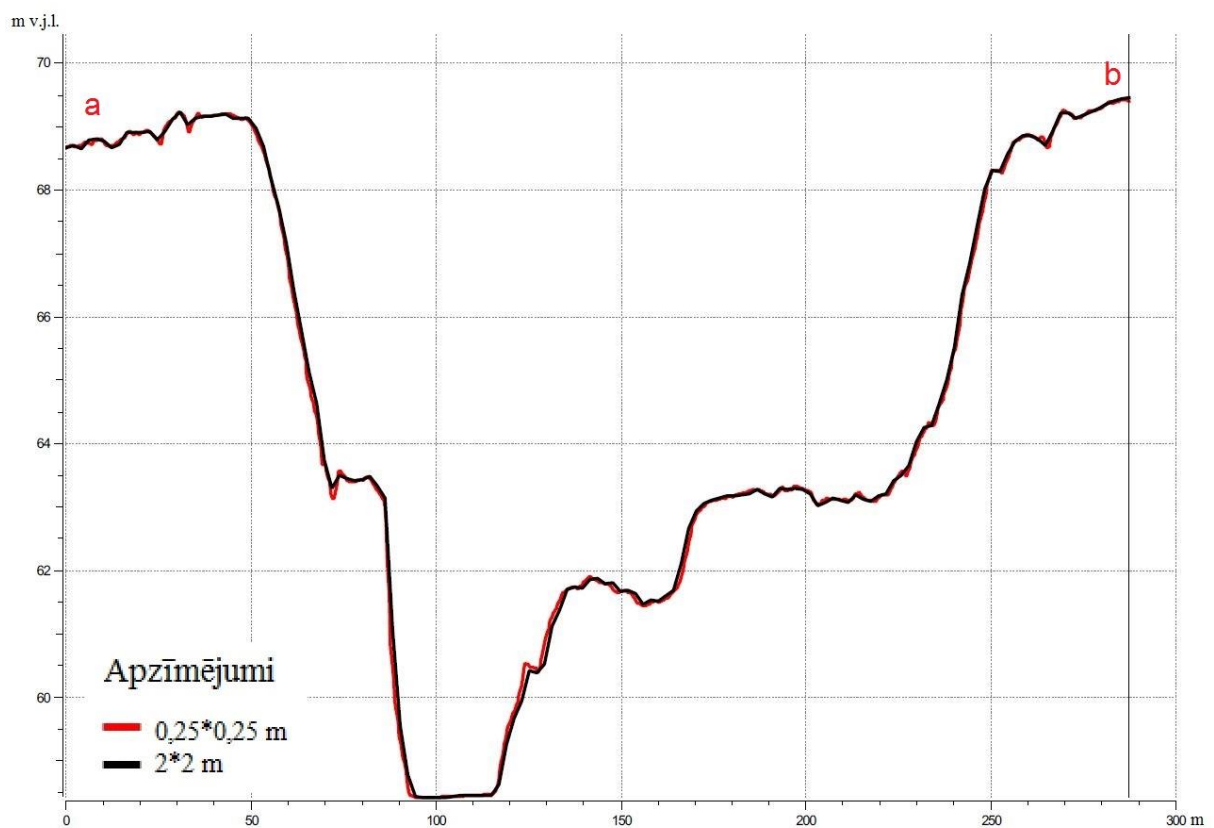
2.1. attēls. Šķēršprofila atrašanās vieta (izveidojis darba autors, izmantojot LĢIA Lidar datus)



2.2. attēls. Šķēršprofils uz modeļa ar rastra šūnas izmēru 0,25*0,25 m (izveidojis darba autors, izmantojot LĢIA Lidar datus).



2.3. attēls. Šķēršprofils uz modeļiem ar rastra šūnas izmēru 0,25*0,25 m un 1*1 m (izveidojis darba autors, izmantojot LĢIA Lidar datus).

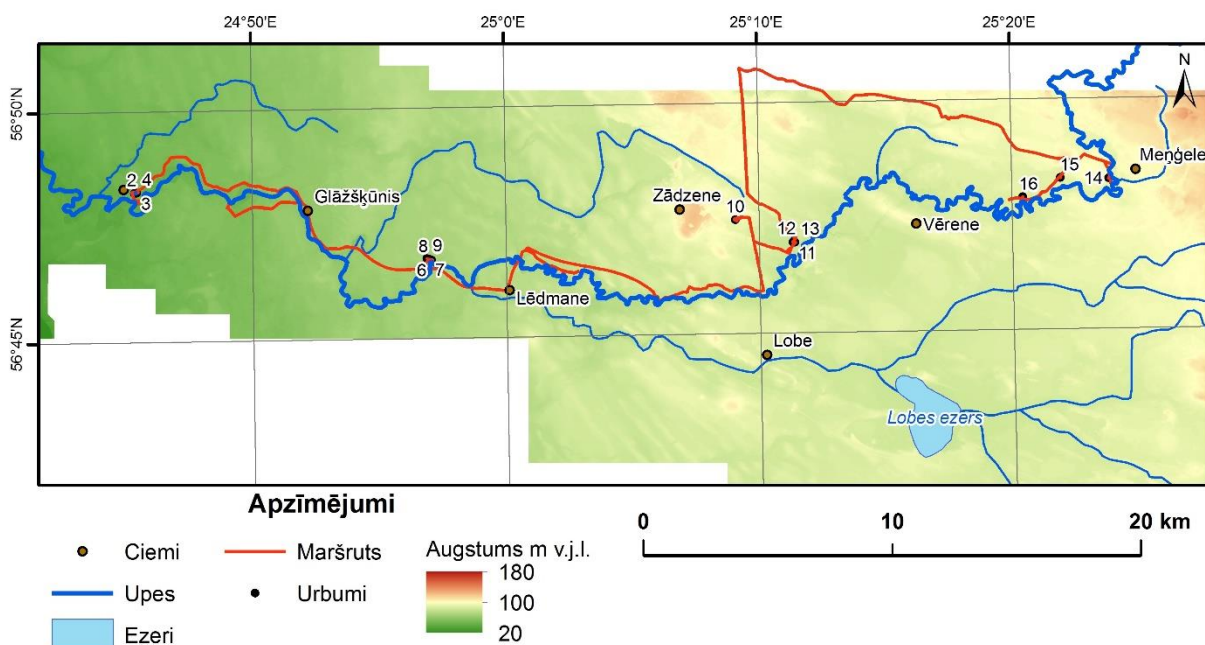


2.4. attēls. Šķēršprofils uz modeļiem ar rastra šūnas izmēru 0,25*0,25 m un 2*2 m (izveidojis darba autors, izmantojot LĢIA Lidar datus)

Arī citos upju ieleju morfoloģijas pētījumos (Wheaton et al., 2010; Brasington et al., 2012), kas balstīti uz Lidar datiem, digitālais zemes virsmas modelis veidots ar rastra šūnas izmēru 1*1 m. Pētījuma gaitā tika izveidots zemes virsmas modelis ar rastra šūnu 10*10 m, tomēr tas ir paredzēts tikai uzskatei un nav piemērots detalizētu pētījumu veikšanai.

2.3. Lauka pētījumi

Lauka pētījumi tika veikti 2015. gada novembrī. To mērķis bija dabā fiksēt upes ielejas terasveidīgo reljefa formu fragmentus un seno sprostezeru krasta līnijas. Lauka pētījumos izdarīti urbumi ar rokas urbi un veikta to ģeotelpiskā piesaiste ar augstas precizitātes GPS Trimble GeoXT GeoExplorer 2008 Series uztvērēju. 2.5. attēlā redzamajā faktiskā materiāla kartē attēlots lauka pētījumu maršruts un veikto urbumu telpiskais izvietojums.



2.5.attēls. **Autora izdarīto urbumu izvietojums** (izveidojis darba autors, izmantojot LĢIA Lidar un Envirotech vektordatus).

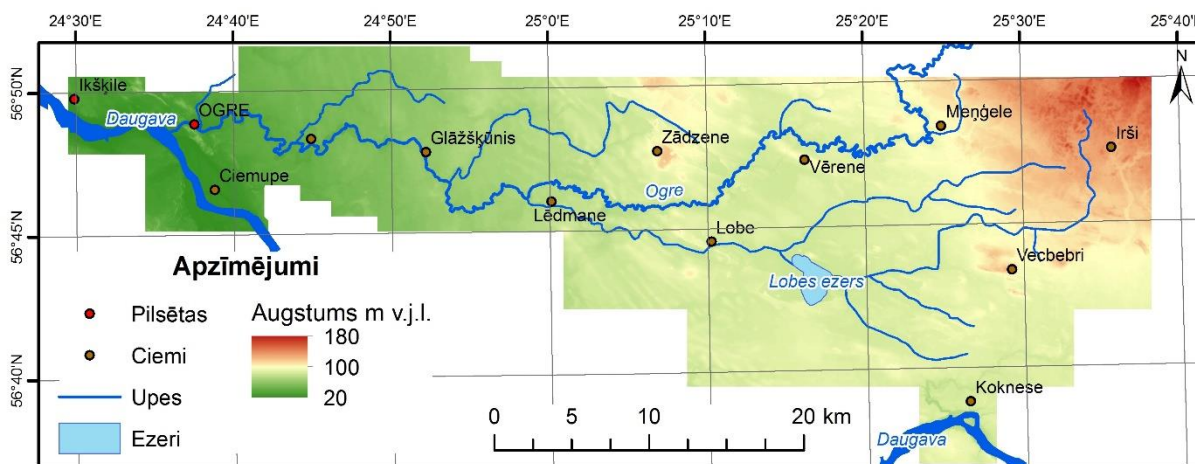
3. REZULTĀTI

3.1. Ogres ielejas morfoloģija

Bakalaura darbā veiktie morfoloģiskie pētījumi ietver Ogres ielejas lejteces posma garenprofila un šķērsprofilu sastādīšanu atsevišķiem morfoloģiski atšķirīgiem upes ielejas posmiem. Šāda pieeja upju ieleju pētījumos ir vispāratzīta gan Latvijā, gan citur pasaulē (Eberhards, 1972; 2013; Easterbrook, 1999; Huggett, 2003).

3.1.1. Ogres ielejas un tai pieguļošās teritorijas trīsdimensionālais zemes virsmas modelis

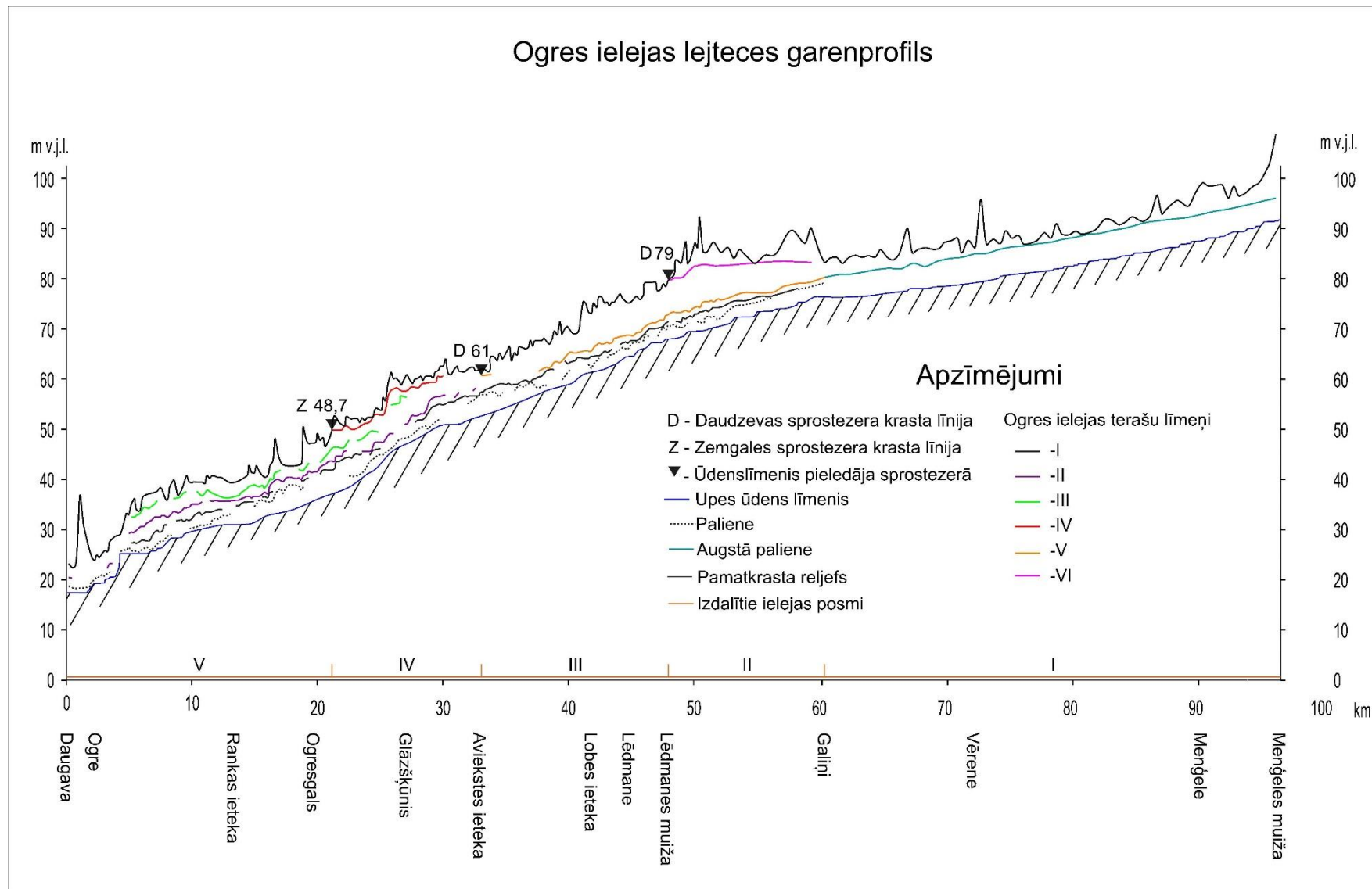
No LĢIA iegūtie lidar dati satur zemes virsmas augstuma informāciju par visu Ogres lejteces posmu un lielu daļu šī posma sateces baseina. Digitālais zemes virsmas modelis tika izveidots visai dotajai teritorijai. Pateicoties informācijai par plašu apkārtējo teritoriju bija iespējams novērtēt arī procesus, piemēram, ledāja pārvietošanās virzienu, piededāja sprostezeru izvietojums u.c., kas ietekmējuši Ogres ielejas attīstību. Izveidotais digitālais zemes virsmas modelis kopā ir 1155 km² plašs.



3.1. attēls. Ogres ielejas lejteces posma zemes virsmas modelis (izveidojis darba autors, izmantojot LĢIA Lidar un Envirotech vektordatus).

3.1.2. Ogres ielejas garenprofils

Ogres ielejas garenprofils tika izveidots balstoties uz zemes virsmas augstuma punktiem upes krastos un upes ielejas šķērsprofiliem, kas iegūti izmantojot digitālo zemes virsmas modeli. Šķērsprofili tika izvilkti visā Ogres lejteces garumā ar ~200 m intervāliem. Ielejas terasveidīgās formas priekš upes garenprofila izveides kopumā nolasītas no 470 šķērsprofiliem, savukārt upes gultnes kritums nolasīts no Lidar datu punktu augstumiem upes krastos. Ogres ielejas lejteces garenprofils tika izveidots *Microstation V8i* vidē precīzi atliekot visus gultnes, palienes, terašu fragmentu un labās puses pamatkrasta krotas augstumus.



3.2. attēls. Ogres ielejas lejteces garenprofils (izveidojis darba autors, 2016; izmantojot LĢIA Lidar datus).

Vidējais aprēķinātais upes kritums ir 0,7 m/km. Tas aprēķināts promilēs jeb m/km pēc Bernharda Sarmas sniegtās formulas (Sarma, 1960):

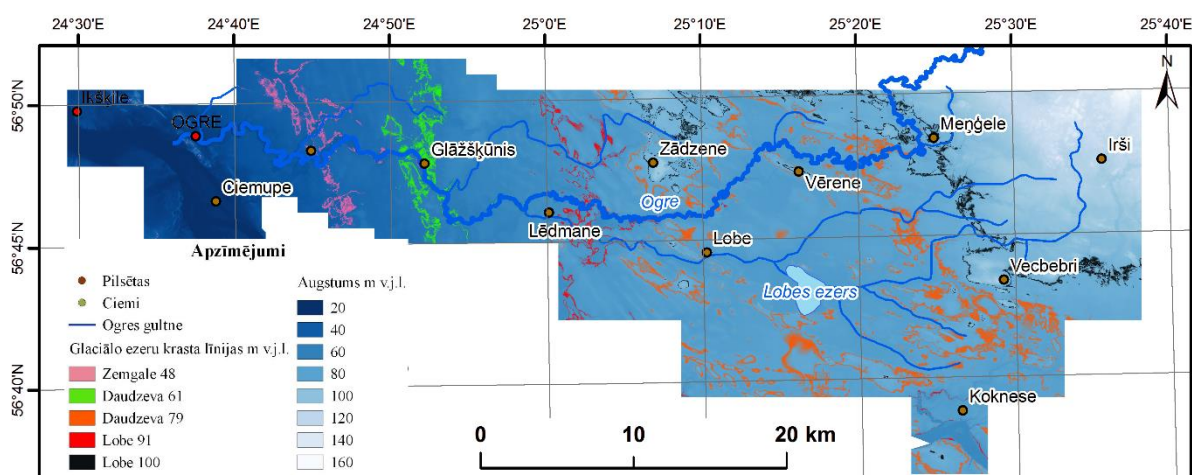
$$I = (\Delta H/L) * 1000,$$

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

Upes gultnes relatīvais kritums visā lejteces posmā nav vienmērīgs. Lejteces sākumā līdz pat Skrīveru – Madlienas šosejai, bijušā Lobes paliku ezera teritorijā, Ogres relatīvais kritums ir tikai 0,42 m/km, kamēr atlikušajā posmā tas veido 1 m/km. Arī atlikušajā posmā kritums nav vienmērīgs un aiz Glāzšķūņa posmā pie Kalnrēžu mājām sasniedz pat 2,9 m/km. Gultnes garenprofils visā tā posmā ir kāpļains, kas norāda, ka upes straume vēl to nav paspējusi nolīdzināt.

3.1.3. Glaciālo ezeru krasta līnijas

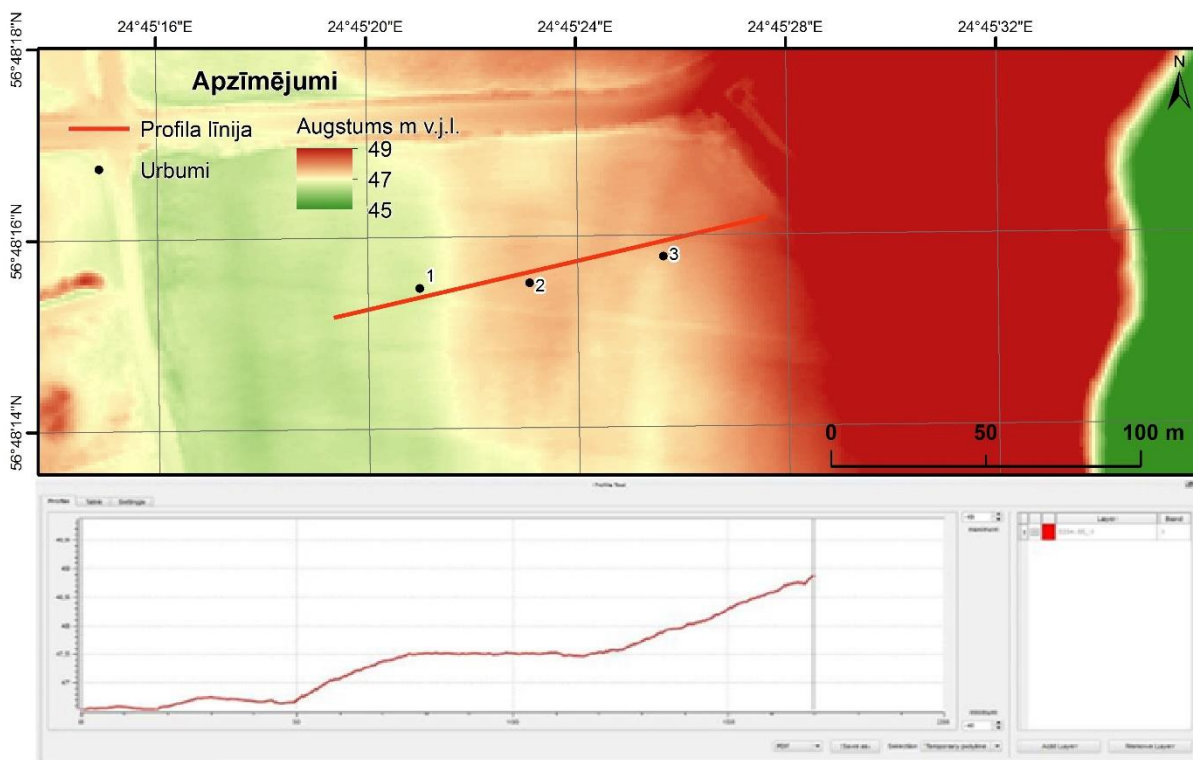
Ogres ielejas lejteces posma attīstību ietekmējusi vairāku glaciālo ezeru un paliku ezeru veidošanās, attīstība un noteces apstākļi. Ogres ielejas lejteces attīstību ietekmējušo Lobes, Daudzevas un Zemgales glaciālo ezeru krasta līnijas pēc Eberharda (1972) datiem atradās attiecīgi 100-102 m un 91-92 m v.j.l. Lobes sprostezeram, 81-82 m un 62 m v.j.l. Daudzevas sprostezeram un 51 m un 45 m v.j.l. Zemgales sprostezeram. Zinot aptuvenos glaciālo sprostezeru krasta līniju līmeņus un izsekojot Ogres ielejas terašu fragmentus, tika mēģināts rekonstruēt glaciālo ezeru krasta līnijas digitālajā zemes virsmas modelī (3.3. attēls).



3.3. attēls. Iespējamās glaciālo ezeru krasta līnijas (izveidojis darba autors, 2016; izmantojot LĢIA Lidar datus).

Izveidojot šķēršprofilus uz iespējamajām sprostezeru krastu līnijām, tika noteikti to augstumi un atrašanās vietas. Pēc digitālā zemes virsmas modeļa apstrādes, iespējamās glaciālo ezeru krasta līnijas tika konstatētas Lobes glaciālā ezera krasta līnijas 100 un 91 m v.j.l. augstumā, Daudzevas glaciālā ezera krasta līnijas 79 un 61 m v.j.l. augstumā, un Zemgales glaciālā ezera krasta līnija 49 m v.j.l. augstumā. Konstatētās glaciālo ezeru krasta

līnijas dažu metru robežās atšķiras no Eberharda norādītajiem. Jāņem vērā, ka agrākajos pētījumos konstatētajām krasta līnijām ir zināma tikai aptuvena to atrašanās vieta. Lauka pētījumos tika mēģināts izsekot glaciālo ezeru krasta līnijas dabā. Pētījumu gaitā tika konstatēta Zemgales sprostezera krasta līnija 49 m v.j.l. (3.4. attēls). Lai pārliecinātos, ka atrastā reljefa forma ir bijusi paleoezera krasta līnija, tika veikti vairāki urbumi ar rokas urbi.



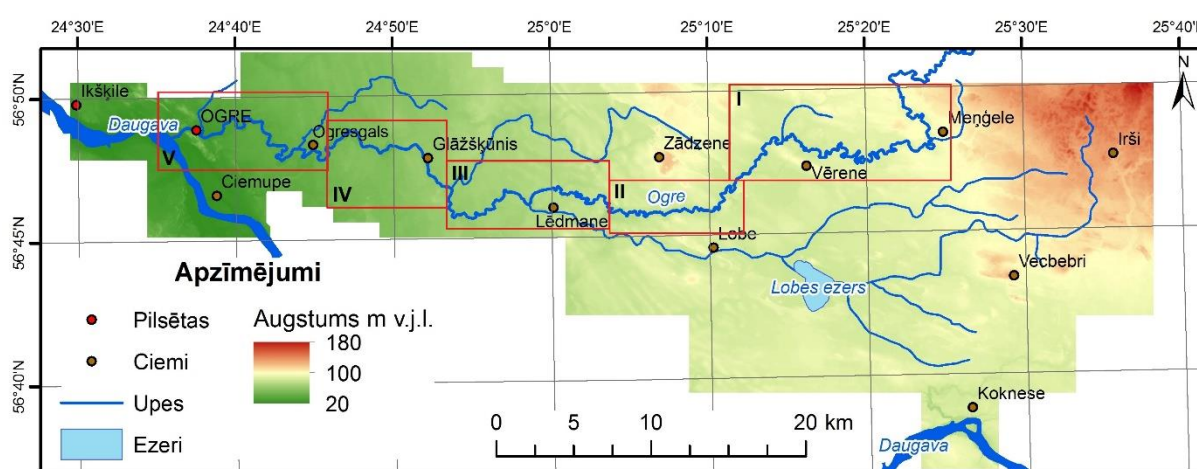
3.4. attēls. Zemgales piededāja sprostezera krasta līnijas šķēršprofils (izveidojis darba autors, 2016; izmantojot LGIA Lidar datus).

Visos trijos urbumos augsnes slānis sastāv no smalkas smilts ar aleirīta piejaukumu. Pirmajā urbumā, kas atrodas reljefa formas piekāpjē, zem augsnes slāņa līdz 56 cm dziļumam sastopams pelēkbrūns aleirīts ar smalkas smilts piejaukumu. Tad līdz 93 cm dziļumam seko dzeltenbrūns smalkas smilts slānis ar aleirīta starpslāņiem. Savukārt tam līdz urbuma beigām 107 cm dziļumā seko krēmīgi pelēkbrūns māla slānis ar aleirīta piejaukumu. Māla slānis liecina, ka šajā vietā nogulumu uzkrāšanās laikā bijuši mierīgi zemūdens apstākļi.

Otrajā urbumā, pirmās kāples virsotnē zem augsnes slāņa no 30 līdz 58 cm dziļumam konstatēts dzeltenbrūnu smalku smilšu slānis. No 58 līdz 82 cm dziļumā atrodas sarkanīgi dzeltenbrūns smalkas smilts slānis ar aleirīta piejaukumu, savukārt dziļumā līdz 100 cm konstatēts mālains aleirīts. Šie nogulumi ir ar rupjāku granulometrisko sastāvu, kas liecina, ka šajā vietā ir bijuši hidrodinamiski aktīvāki apstākļi. Trešajā urbumā, reljefa formas nogāzes slīpumā, zem augsnes slāņa līdz 100 cm dziļumam konstatēti dzeltenbrūni aleirītiski nogulumi.

3.1.4. Ogres ielejas lejteces terases

Ogres ielejas lejteci var iedalīt piecos dažādos posmos, kā posmu robežas izmantojot bijušo pieledāja sprostezeru krasta līniju izvietojumu. Katrā no izdalītajiem posmiem mainās upes ielejas morfoloģija, piemēram, gultnes kritums, ielejas platums un terašu skaits. Izdalīto posmu telpiskais izvietojums attēlots 3.5. attēlā esošajā kartoshēmā. Pirmais no Ogres ielejas lejteces posmiem stiepjas no Gnēžām līdz Galiņu saimniecībai, Otrais posms turpinās līdz Lēdmanes muižai, Trešais posms sekojoši turpinās līdz Aviekstes ietekai Ogres upē. Tālāk sekojošais ceturtais posms turpinās līdz Ogresgala ciemam, savukārt piektais posms noslēdzas ar Ogres upes ieteku Daugavā.

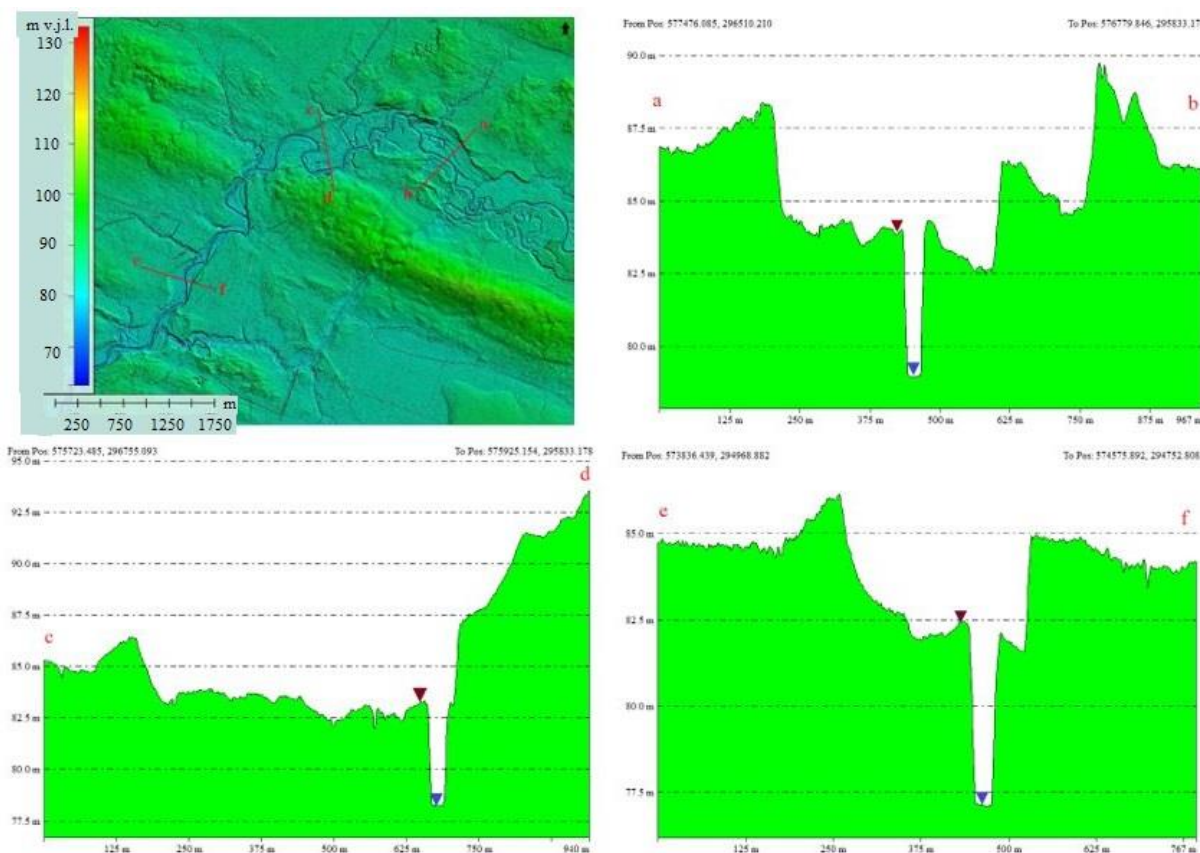


3.5. attēls. Ogres ielejas lejteces atsevišķo posmu izvietojums uz digitālā zemes virsmas modeļa (izveidojis darba autors, 2016; izmantojot LĢIA Lidar datus Envirotech vektordatus).

Ielejas posms Gnēžas – Galiņi

Gnēžu – Galiņu posmā Ogres ieleja vijas caur bijušā Lobes paliku ezera teritoriju. Posma garums ir 34 km un kopējais kritums sastāda 15,2 m, kas veido vidējo kritumu 0,45 m/km. Ielejas garums šajā posmā ir 19,7 km un līkumainības koeficients ir 1,72. Tik augsts līkumainības koeficients nozīmē, ka upes gultne ir meandrējoša. Visā posma garumā ir savstarpēji mijas aktīvi un pasīvi meandrējoši nogabali. Atsevišķās vietās, salīdzinot dažādu laiku ortofotoainas, upes gultnes pārvietošanās ir redzama izteikti. Ielejas platums ir robežās no 150 līdz 1100 m, tomēr pārsvarā tā ir 250 līdz 500 m plata. Ielejas dziļums šajā posmā ir līdz 10 m. Gnēžu – Galiņu ielejas posmā terases nav izsekojamas, bet pateicoties aktīvajam straumes iegraušanos procesam ir novērojama augstā paliene, kuras augstums virs upes līmeņa sasniedz 4,5 – 5,2 m (Eberhards, 1972) (3.4. att.). Morfoloģiski un pēc tās augstuma virs gultnes līmeņa, augstā paliene šajā upes posmā atgādina terasveidīgu formu, jo atsevišķos

ielejas posmos tā atrodas pat 8 m virs gultnes līmeņa. Lai precizētu šīs reljefa formas izcelsmi, jāveic papildus lauka pētījumi.



3.6. attēls. Digitālais zemes virsmas modelis un upes ielejas šķērsprofili Ogres ielejas lejteces posmā Gnēžas – Galiņi (izveidojis darba autors, 2016; izmantojot LĢIA Lidar datus). Zilais trīsstūris norāda Ogres līmeni, brūnais trīsstūris – palienu.

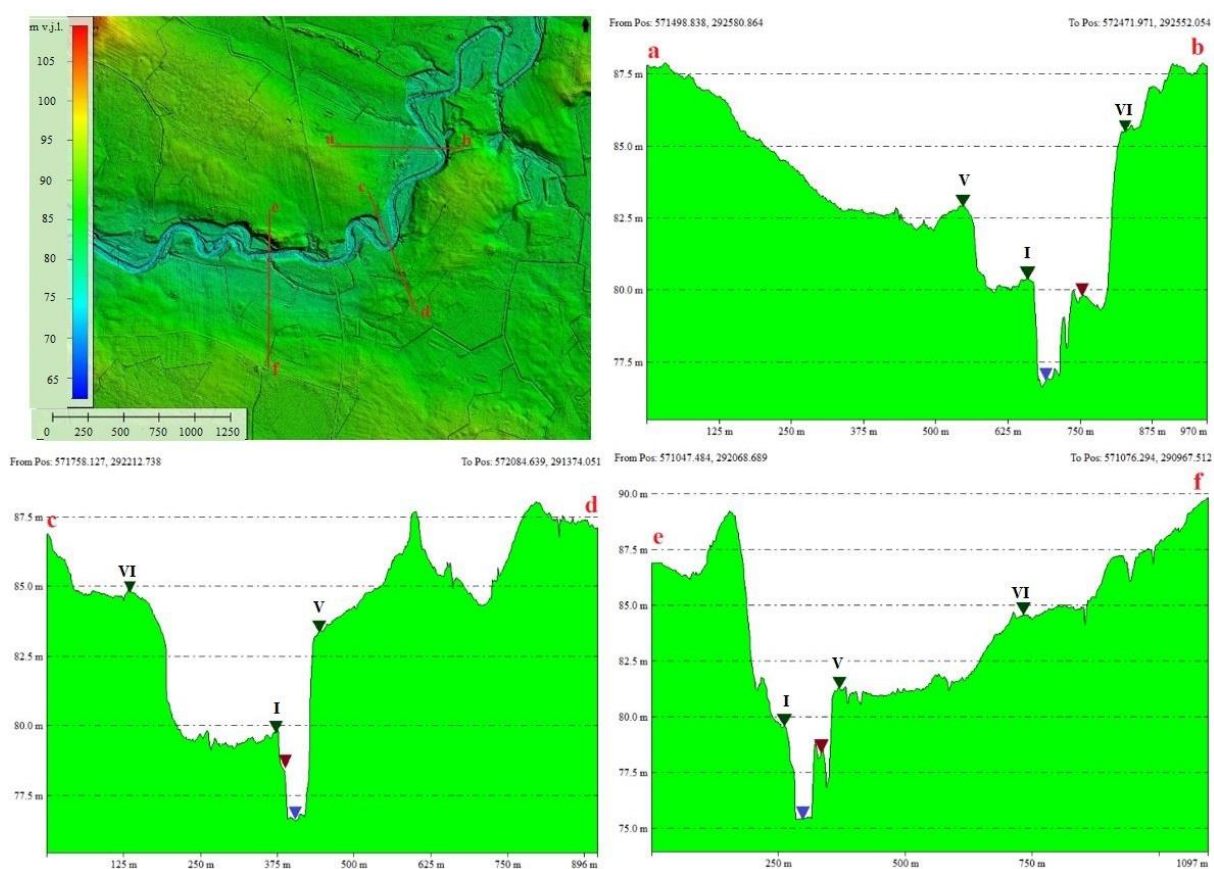
Ielejas posms Galiņi – Lēdmanes muiža

Pēc Ogres iztecēšanas no bijušā Lobes paliku ezera teritorijas tās ielejā novērojama paliene un trīs terašu līmeņi. Ielejas platums svārstās no 500 līdz 750 m bet tās dziļums ir 10 – 12 m. Ielejas posma garums ir 12 km un kopējais kritums ir 6,8 m un tas veido vidējā gultnes krituma pieaugumu līdz 0,57 m/km. Upes ielejas garums Galiņu – Lēdmanes muižas posmā ir 9,7 km un gultnes līkumainības koeficients ir 1,29. Šāds gultnes līkumainības koeficients norāda uz strauju gultnes iztaisnošanos, salīdzinot ar iepriekšējo posmu. Upes gultne šajā posmā ir līkumota, tomēr tajā nenotiek meandrēšanas process. Gultnē ir akmeņaina un upē novērojamas sēres, kā arī nelielas salas.

Paliene ir 2,5 m augsta un vietām platumā pārsniedz 100 m (3.5. att.). Nosakāmie terašu līmeņi atbilst Rankas terašu spektra I, V un VI līmeņiem. I terases līmenis posma sākumā atrodas apmēram 3 – 4 m augstumā virs upes līmeņa, šīs terases fragmenti ir līdz pat 200 m plati. V līmeņa terases augstums virs upes gultnes šī posma sākumā ir apmēram 5 m un tās fragmenti var sasniegt līdz 300 m platumu. VI Ogres ielejas lejteces terašu līmenis posma

sākumā 8 – 9 m augstumā virs upes gultnes un šī līmeņa terašu fragmenti sasniedz apmēram 180 m platumu.

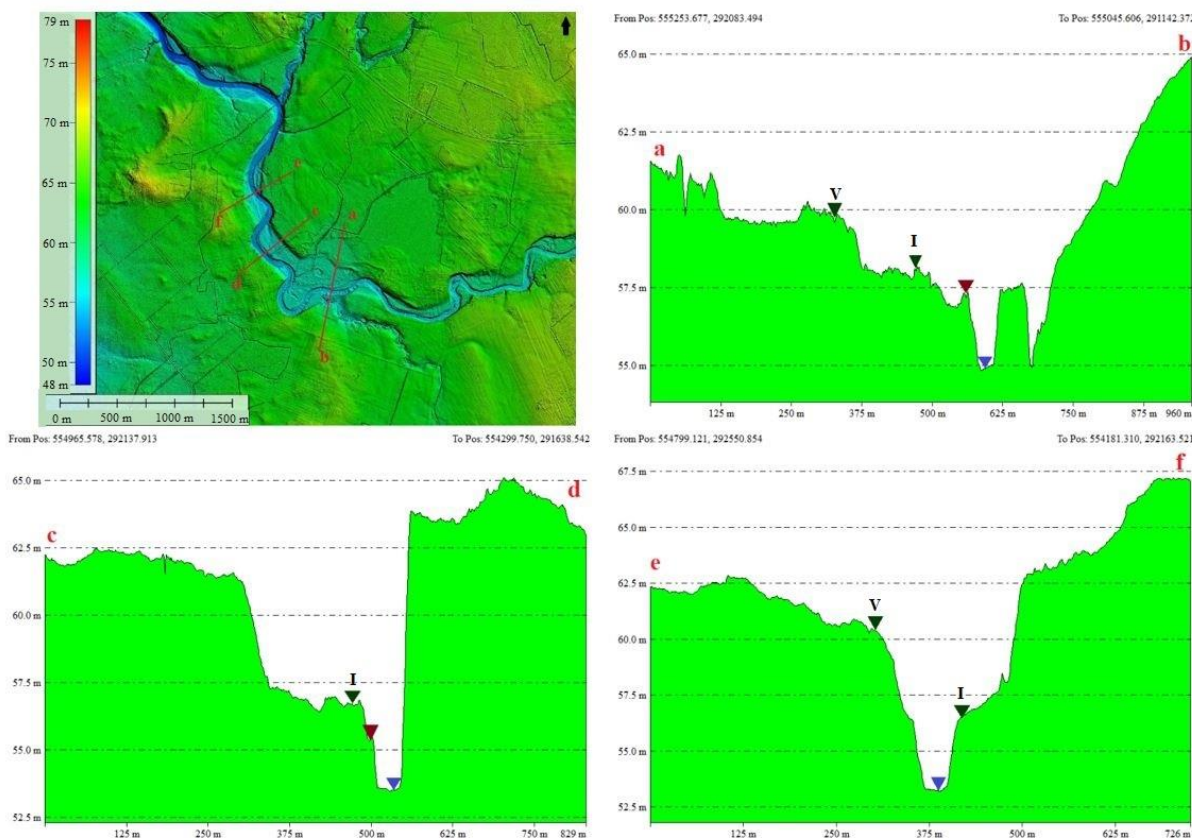
Posma beigu daļā Ogres ieleja paliek platāka un sasniedz 1200 m platumu, un tās dziļums pieaug līdz 13 m. Palienes augstums un platums saglabājas iepriekšējā līmenī, savukārt I līmeņa terases augstums virs upes gultnes pieaug līdz 4 – 5 m. Tās fragmentu platums pieaug līdz 250 m. V līmeņa terase beigu posmā atrodas apmēram 7 – 8 m augstumā virs upes gultnes līmeņa un tās platums sasniedz pat 400 m. Savukārt VI līmeņa terases augstums virs gultnes līmeņa beigu posmā pieaug līdz pat 12 m un tās fragmentu platums sasniedz 250 m. VI terašu līmenis beidzas līdz ar bijušā Daudzevas glaciālā sprostezera krasta 79 m v.j.l. augstumā sasniegšanu.



3.7. attēls. Digitālais zemes virsmas modelis un upes ielejas šķēršprofili Ogres ielejas lejteces posmā Galiņi – Lēdmanes muiža (izveidojis darba autors, 2016; izmantojot LĢIA Lidar datus). Zilais trīsstūris norāda Ogres līmeni, brūnais trīsstūris – palienu, bet zaļais trīsstūris terasi

Ielejas posms Lēdmanes muiža – Aviekstes ieteka

Lēdmanes muižas – Aviekstes ielejas posmā Ogres ieleja kļūst šaurāka un tās platums pārsvarā ir 150 – 350 m bet tās dziļums ir no 10 līdz 12 m. Posma garums ir 20 km un kopējais kritums ir 17,6, kas veido vidējo gultnes krituma pieaugumu līdz 0,88 m/km. Ogres ielejas garums šajā posmā ir 15,4 km un gultnes likumainības koeficients ir 1,28, tātad tā ir nedaudz likumota, tomēr bez meandrēšanas pazīmēm. Ogres Upes gultne šajā posmā ir pārsvarā akmeņaina ar atsevišķām sērēm, taču posmveidīgi novērojami arī zarotas (grants tipa) gultnes fragmenti.



3.8. attēls. Digitālais zemes virsmas modelis un upes ielejas šķēršņi Ogres ielejas lejteces posmā Lēdmanes muiža – Aviekstes ieteka (izveidojis darba autors, 2016; izmantojot LĢIA Lidar datus). Zilais trīsstūris norāda Ogres līmeni, brūnais trīsstūris – palienu, bet zaļais trīsstūris terasi

Paliene posma sākumā ir apmēram 2 – 2,5 m virs gultnes līmeņa, tā ir izsekojama posmveidīgi un ir līdz 50 m plata. Šajā posmā fragmentāri izsekojami Rankas terašu spektra I un V terašu līmeņa fragmenti. I līmeņa terase ar pārtraukumiem ir izsekojama apmēram 3 – 4 m augstumā virs gultnes līmeņa, savukārt V līmeņa terase ir izsekojama visā posma sākumā un tās augstums virs gultnes līmeņa ir 4,5 – 5,2 m. Posma vidusdaļā aiz Lobes ietekas Ogrē paliene īslaicīgi kļūst saposmotāka un vietām nav izsekojama, tās augstums samazinās un ir vairs tikai 0,7 – 1,6 m augstumā virs gultnes. Posma beigu daļā (3.8. attēls) paliene ir izsekojama posmveidīgi un tās augstums atkal palielinās līdz 1,5 – 2 m virs upes gultnes. I līmeņa virspalu terases fragmenti ir regulāri izsekojami un to augstums ir 2,5 – 3,2 m

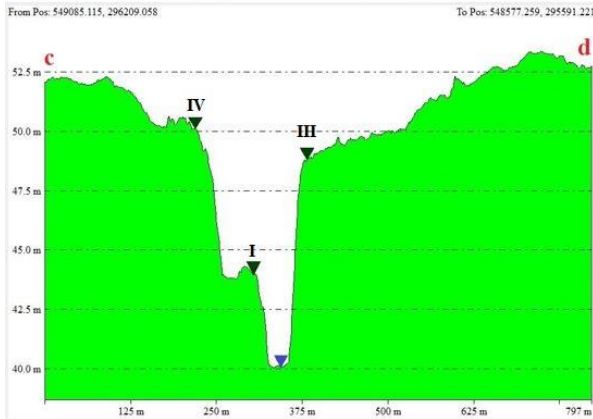
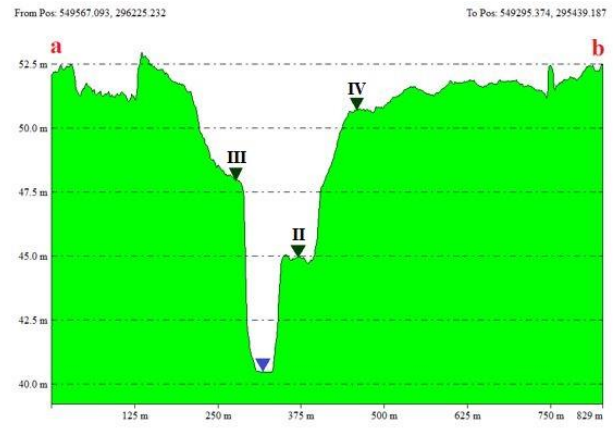
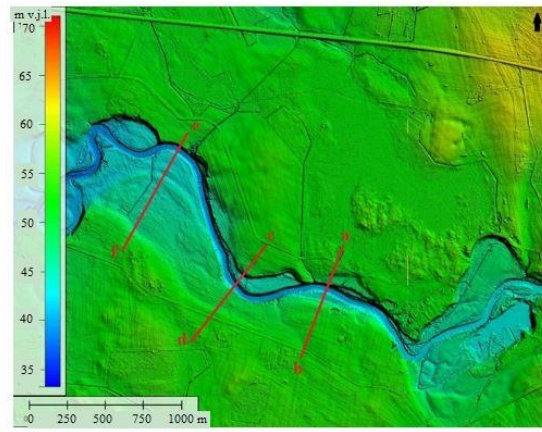
augstumā virs gultnes, to platums vietām sasniedz 150 m. Posma beigās parādās arī atsevišķi IV līmeņa Ogres ielejas lejteces terases fragmenti, kuru augstums ir apmēram 5 m virs gultnes līmeņa, bet platums vietām sasniedz 125 m. V līmeņa virspalu terase beigu posmā uz brīdi nav izsekojama vispār, līdz tā atkal parādās īsi pirms posma beigām. Posma beigās tā izsekojama 6,5 – 7 m augstumā virs gultnes līmeņa un tās platums sasniedz 75 m. Šim posmam beidzoties pie bijušā Daudzevas sprostezera krasta līnijas 61 m v.j.l. augstumā beidzas arī V virspalu terases līmenis. Aiz šī posma seko plaša delta, kas iestiepās tālu Daudzevas sprostezērā līdz tagadējai Glāzšķūņa teritorijai.

Ielejas posms Aviekstes ieteka – Ogresgals

Posma Aviekstes ieteka - Ogresgals sākumā ielejas platums samazinās līdz 100 – 150 m un tās dziļums sasniedz 13 m. Posma garums ir 13 km un kopējais kritums ir 15,3 m, kas nozīmē, ka vidējais kritums pieaug līdz 1,18 m/km. Krasti ir stāvi un vietām novērojami Ogres svītas dolomitizēta smilšakmens atsegumi. Upes ielejas garums šajā posmā 11,2 km un gultnes līkumainības koeficients ir 1,12, kas norāda uz upes gultnes iztaisnošanos, salīdzinot ar iepriekšējo posmu. Ir gultne ir akmeņaina un vietām novērojamas krāces. Posma beigu daļā ielejas raksturs krasi izmainās. Tās platums pieaug līdz 600 m un dziļums samazinās līdz 10 m. Novērojamas ir meandrēšanās pazīmes (vecupju fragmenti), tomēr mūsdienās gultne ir akmeņaina un taisna ar atsevišķām sērēm vai mazām salām.

Posma sākumā paliene ir izsekojama tikai fragmentāri un tā ir šaura, augstums virs gultnes līmeņa sasniedz 0,5 – 1 m. I līmeņa terases fragmenti šajā posma daļā ir izsekojami labi un to augstums virs gultnes ir 3,3 – 4 m augstumā. Fragmentāri posma sākumā parādās arī II līmeņa terases fragmenti, kuri novērojami 4,7 – 5,5 m augstumā. Posma vidusdaļā ieleja paliek platāka un sasniedz 200 m platumu. Šajā posmā parādās arī III līmeņa terases fragmenti, kuri atrodas 6 – 7 m augstumā (3.9 attēls).

Posma beigās paliene ir šaura un brīžiem neizsekojama. I līmeņa terases fragmenti atrodas 3 – 4 m augstumā virs gultnes un tās platums var sasniegt 175 m. II līmeņa terašu fragmenti sasniedz 4,5 – 6 m augstumu virs gultnes un to platums ir līdz 250 m. III līmeņa terašu fragmenti izsekojami 7 – 8 m virs gultnes līmeņa un to platums var sasniegt 100 m, savukārt IV līmeņa terašu fragmenti sasniedz 9 – 10,5 m augstumu un to platums vietām ir 100 m. Šis posms beidzas līdz ar Zemgales glaciālā sprostezera krasta līniju, pie kuras 49 m v.j.l. augstumā izbeidzas IV terases līmenis.



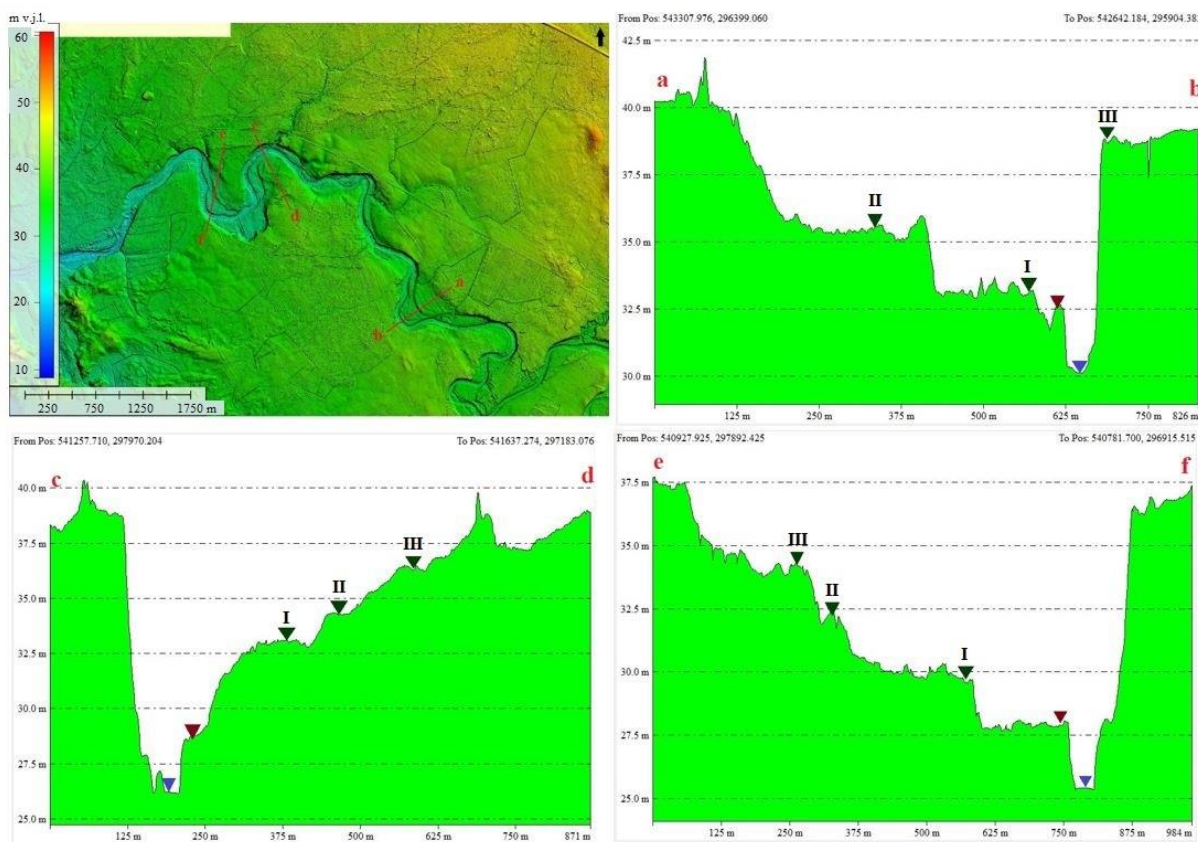
3.9. attēls. Digitālais zemes virsmas modelis un upes ielejas šķēršņi Ogres ielejas lejtecē posmā Aviekstes ieteka - Ogresgals (izveidojis darba autors, 2016; izmantojot LĢIA Lidar datus). Zilais trīsstūris norāda Ogres līmeni, brūnais trīsstūris – palienu, bet zaļais trīsstūris terasi

Ielejas posms Ogresgals – Ogres ieteka

Ielejas posma Ogresgals – Ogres ieteka platums 300 – 1000 m robežās un tās dziļums ir 8 – 12 m. Posma garums ir 18 km un kopējais kritums ir 17,7, kas nozīmē, ka šajā posmā vidējais gultnes kritums samazinās līdz 0,98 m/km. Šajā posmā Ogres krastos vietām ir novērojami Daugavas svītas dolomītu atsegumi. Upes ielejas garums šajā posmā ir 16,1 km un gultnes līkumainības koeficients ir 1,14. Gultne ir akmeņaina un nedaudz līkumota ar atsevišķām sērēm un nelielām salām.

Posma sākumā ir ielejā ir izsekojama paliene un 3 terašu līmeņi. Paliene ir apmēram 2,5 m augsta vietām sasniedz 150 m platumu (3.10. attēls). I līmeņa terases izsekojamas posmveidīgi, to augstums šī posma sākumā ir 3 – 6 m virs gultnes līmeņa un tās platums atsevišķās vietās sasniedz 250 m platumu. II līmeņa terase posma sākumā izsekojama vienmērīgi, tās augstums virs gultnes sasniedz 6 – 7 m un platums vietām ir līdz 250 m. III līmeņa terases fragmenti šajā posmā sastopami fragmentāri, to augstums virs gultnes sasniedz 8 – 10 m un platums var sasniegt 150 m.

Posma beigās, Ogres pilsētas teritorijā, antropogēnās darbības rezultātā terašu fragmenti ir izsekojami ļoti reti un tos grūti savā starpā korelēt, tāpēc šajā darbā tie atsevišķi netiek izdalīti.



3.10. attēls. Digitālais zemes virsmas modelis un upes ielejas šķēršprofili Ogres ielejas lejteces posmā Ogresgals – Ogres ieteka (izveidojis darba autors, 2016; izmantojot LĢIA Lidar datus). Zilais trīsstūris norāda Ogres līmeni, brūnais trīsstūris – palieni, bet zaļais trīsstūris terasi.

4. DISKUSIJA UN INTERPRETĀCIJA

Kvartāra nogulumu izplatība un reljefa veidošanās Ogres ielejas lejteces posmā ir cieši saistītas ar Linkuvas un Valdemārpils ledāja deglaciācijas fāzēm un ar to saistīto glaciālo ezeru izplatību. Interpretējot šī pētījuma laikā iegūtos datus un salīdzinot tos ar iepriekš veiktajiem pētījumiem šajā teritorijā var spriest, ka Ogres ieleja lejteces posmā ir attīstījusies posmveidīgi. Terases Ogres ielejā attīstījušās lēcienveidīgi pazeminoties glaciālo ezeru ūdens līmeņiem un zemes virsmai paceļoties glacioizostāzes rezultātā.

Autora izstrādātais garenprofils, kas ir balstīts uz lāzerskenēšanas datiem un izveidoto digitālo zemes virsmas modeli, balstoties uz glaciālo ezeru attīstību pēc ledāja atkāpšanās, ļauj ielejas lejteci izdalīt 5 posmos. Katrs no tiem raksturojas ar atšķirīgu ielejas morfoloģiju un attīstības laiku.

Salīdzinot autora izstrādāto Ogres ielejas lejteces garenprofilu ar G. Eberharda (1972) izveidoto, ir redzamas līdzības palienes un terašu skaita ziņā un to izplatībā. Tomēr šajā darbā iegūtais garenprofils ielejas raksturu parāda detalizēti un tajā ir redzams, ka palienes un terašu fragmenti ir saposmoti, nevis vienlaidus, kā to var noprast pēc Eberharda zīmētā garenprofila.

Augstā paliene, kas izsekojama I izdalītajā ielejas posmā no Gnēžām līdz Galiņiem ir vidēji 4,5 – 5,2 m augstumā virs upes gultnes. Mēģinot noskaidrot palu līmeņu augstumu Ogres upē, tika noskaidrots, ka pie Ogresgala, Lielpēču novērojumu stacijā, tie var sasniegt 4,2 (LVGMC, 2013). Ļoti iespējams, ka palu līmeņi citviet Ogres upē sasniedz arī augstākus līmeņus. Visa I posma garumā upes gultne ir meandrējoša upes krasti stāvi. Meandrējošās gultnēs, salīdzinot ar taisnām, ir mazāks straumes ātrums (Maynard et al., 2012) un kūstot sniegam, vai spēcīgu nokrišņu laikā, upei saņemot lielu daudzumu ūdens, šādās gultnēs ir iespējami augstāki palu līmeņi.

Augstā paliene, ielejai sasniedzot II izdalīto posmu beidzas, bet ir hipsometriski vienā augstumā ar tālāk izdalīto V terašu līmeni. Šādu parādību var skaidrot ar to, ka apkārtnes reljefa augstums, ielejai sasniedzot II posmu, salīdzinot ar bijušā Lobes paliku ezera gultnes augstumu hipsometriski pieaug un izmainās arī kvartāra nogulumu sastāvs un gultnes tips. Lobes paliku ezeram noplūstot uz Daudzevas glaciālo ezeru, izveidojās Ielejas V un VI terašu līmenis, savukārt veidojoties pirmajam terašu līmenim

Veidojot digitālo zemes virsmas modeli, galvenā problēma ir rastra šūnas izmēra izvēle. Digitālā zemes virsmas modeļa mērķis ir ar pēc iespējas mazāk punktiem, jeb lielāko rastra šūnas izmēru pēc iespējas precīzāk attēlot virsmas reljefu. Veidojot pārāk detalizētus digitālos zemes virsmas modeļus, tie paildzina datu apstrādi, nepaaugstinot pētījuma kvalitāti.

Lidar datu izmantošana Ogres ielejas lejteces morfoloģijas pētījumā izrādījās ļoti efektīva un izmantojot digitālo zemes virsmas modeli ar rastra šūnas izmēru 1*1 m varēja ļoti labi nolasīt arī terasveidīgās ielejas formas. Tā kā palienes un terašu virsmas platums Ogres ielejas lejtecē pārsvarā ir vairāku desmiti vai pat simti metri, tad to nolasīšana uz digitālā zemes virsmas modeļa problēmas nesagādāja. Stāvākajās nogāzēs un pie šaurākajiem terašu un palienes fragmentiem digitālā zemes virsmas modeļa precizitāte gan varētu būt apšaubāma, jo pieaugot virsmas slīpumam, palielinās Lidar datu kļūdas iespējamība. Pie tam palielinoties virsmas slīpumam, pieaug arī tās virsmas laukums, salīdzinot ar horizontālo plakni, līdz ar to, atstaroto punktu blīvums uz 1 m² slīpas virsmas ir mazāks kā uz tāda paša lieluma horizontālas virsmas.

5. SECINĀJUMI

Balstoties uz veiktajiem lauka pētījumiem, dažāda mēroga tematiskajām kartēm un izstrādājot digitālo zemes virsmas modeli ir iegūti jauni, augstas precizitātes dati par Ogres ielejas morfoloģiju. Jauniegūtie dati ļauj izdarīt secinājumus, ka Ogres ielejas lejtece ir morfoloģiski sarežģīts un salikts veidojums un tā attīstījusies posmveidīgi sākot ar teritorijas deglaciāciju. Galvenie darba gaitā izdarītie secinājumi ir:

- Lidar datu izmantošana upju ieleju pētniecībā var būt neprecīza, sakarā ar ielejas stāvajām nogāzēm, tomēr tādi morfoloģiskie veidojumi kā paliene un terases ir izšķiramas ļoti labi un lāzerskenēšanas datu izmantošana šobrīd ir efektīvākais veids zemes virsmas reljefa pētījumos.
- Lai uz digitālā zemes virsmas modeļa visefektīvāk reprezentētu aktuālo zemes virsmas reljefu, jācenšas panākt visaugstākā virsmas detalizācijas pakāpe pie lielākā iespējamā rastra šūnas izmēra. Tā kā izmantoto Lidar datu vidējais atstarojumu skaits no zemes virsmas ir 1,5 punkti uz m², tad digitālais zemes virsmas modelis ar 1 m rastra šūnas izmēru šim uzdevumam atbilst vislabāk.
- *Nearest Neighbor* interpolācijas metode ir piemērota augstas biežības Lidar datu interpolēšanai priekš digitālā zemes virsmas modeļa, jo interpolācijai tā izmanto tuvākos zināmos punktus, un pie pietiekamas punktu biežības reprezentē aktuālos augstumus.
- Pēc vairāk kā 450 šķērsprofilu izvilšanas pāri Ogres ielejas lejteces posmam uz digitālā zemes virsmas modeļa, tika izdalīti 6 terašu līmeņi un paliene. Pēc datu apstrādes, tika secināts, ka terases Ogres ielejas lejtecē ir saposmotas, ar mainīgiem virsmas augstumiem un ar pārtraukumiem starp atsevišķiem posmiem.
- Terašu veidošanās Ogres ielejas lejteces posmā notikusi zemes virsmas pacelšanās un klimata mainības dēļ. Lai precīzāk varētu spriest par tiešajiem terašu veidošanās iemesliem un kāda no faktoriem ietekmes svaru, būtu jāveic detalizētāki ielejas morfoloģijas un attīstības pētījumi.
- Ogres ielejas lejteces garenprofilā pēc ielejas morfoloģijas un attīstības izdalāmi pieci posmi, kas noslēdzas ar bijušo glaciālo ezeru krasta līnijām.
- Daudzevas un Zemgales glaciālajiem ezeriem literatūrā minēti vairāk krasta līniju augstumi, kas varētu attiekties uz Ogres ieleju, tomēr tikai pie dažiem no līmeņiem Ogres ielejai ir izveidojusies terases. Domājams, ka pie pārējiem līmeņiem glaciālā ezera krasta līnijas atkāpšanās notikusi vienmērīgāk un ar mazākiem lēcieniem un tāpēc nav notikusi jaunu terašu veidošanās.

PATEICĪBAS

Vēlos izteikt lielu pateicību darba vadītājam Dr. geol. Mārim Krievānam par atbalstu un vērtīgajiem padomiem bakalaura darba izstrādes laikā. Vēlos izteikt pateicību arī prof., Dr. geol. Vitālijam Zelčam par interesanto bakalaura darba tēmas piedāvājumu un “Latvijas ģeotelpiskās informācijas aģentūrai” par iespēju izmantot lāzerskenēšanas datus.

IZMANTOTĀ LITERATŪRA

Publicētie avoti

- Arun, P.V., 2013. A comparative analysis of Different DEM interpolation methods. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*. 16(2), 133-139.
- Āboltniš, O. 2010. *No ledus laikmeta līdz globālajai sasiļšanai. Dabas vides pagātne un tagadne Latvijā*. Rīga, LU akadēmiskais apgāds, 128 lpp.
- Āboltniš, O., Brangulis, A.J. 2002. *Kvartāra nogulumu biežums*. M.: 1:500 000. Valsts ģeoloģijas dienests, 33. lapa.
- Āboltniš, O., Eniņš, G. 1979. *Gaujas senieleja*. Rīga, Liesma.
- Baltsavias, E.P. 1999. A comparison between photogrammetry and laser scanning. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 54, 83-94.
- Bowen, Z.H., Waltermine, R.G. 2002. Evaluation of Light Detection and Ranging (Lidar) for Measuring River Corridor Topography. *Journal of the American Water Resources Association*. 38(1), 33-41.
- Brasington, J., Vericat, D., Rychkov, I. 2012. Modeling river bed morphology, roughness, and surface sedimentology using high resolution terrestrial laser scanning. *Water Resources Research*, 48(11), 1-18.
- Bridgland, D., Westaway, R. 2008. Climatically controlled river terrace staircases: A worldwide Quaternary phenomenon. *Geomorphology*. 98, 285-315.
- Bridgland, D.R. 2000. River terrace systems in north-west Europe: an archive of environmental change, uplift and early human occupation. *Quaternary Science Reviews*. 19, 1293-1303.
- Bristow, C.S., Best, J.L. 1993. Braided Rivers: Perspective and Problems. *Geological Society. Special Publication*. 75, 1-11.
- Chen, W.S., Chen, Y.G., Shin, R.C., Liu, T.K., Huang, N.W., Lin, C.C., Sung, S.H., Lee, K.J. 2003. Thrust-related river terrace development in relation to the 1999 Chi-Chi earthquake rupture, Western Foothills, central Taiwan. *Journal of Asian Earth Sciences*. 21, 473-480.
- De Floriani, L., Magillo, P. 2009. Triangulates Irregular Network. *Encyclopedia of Database Systems*. 3178-3179.
- Easterbrook, D.J. 1999. *Surface Processes and Landforms*. 2nd edn. New Jersey, Prentice-Hall.
- Eberhards, G. 1972. Stroenie i razvitie dolin basseina reki Daugava. Rīga, Zinātne.
- Eberhards, G. 2013. *Upju ieleju veidošanās un mūsdienu gultnes procesi dienvidaustrumu Baltijā*. Rīga, LU akadēmiskais apgāds.
- Eipurs, I. 1997. Ogre. Grām. G. Kavacs (red). *Latvijas daba: enciklopēdija*. 4.sēj. Rīga, Latvijas enciklopēdija, 50.
- Filin, S. 2004. Surface Classification from airborne laser scanning data. *Computers & Geosciences*. 30, 1033-1041.
- Fryirs, K.A., Brierley, G.J. 2013. *Geomorphic Analysis of River Systems. An Approach to Reading the Landscape*. West Sussex, Blackwell Publishing.
- Güneralp, İ., Rhoads, B.L. 2009. Spatial autoregressive structure of meander evolution revisited. *Geomorphology*. 120, 91-106.
- Hodgson, M.E., Bresnahan, P. 2004. Accuracy of Airborne Lidar-Derived Elevation: Empirical Assessment and Error Budget. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 70(4), 331-339.
- Hodgson, M.E., Jensen, J., Raber, G., Tullis, J., Davis, B.A., Thompson, G., Schuckman, K. 2005. An evaluation of lidar-derived elevation and terrain slope in leaf-off conditions. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 71(7), 817-823.
- Hodgson, M.E., Jensen, J.R., Schmidt, L., Schill, S., Davis, B. 2003. An evaluation of LIDAR- and IFSAR - derived digital elevation models in leaf-on conditions with USGS Level 1 and Level 2 DEMs. *Remote Sensing of Environment*. 84, 295-308.

- Huggett, R.J. 2003. *Fundamentals of Geomorphology*. Oxon, Routledge.
- Ivanovs, J., Krievāns, M. 2016a. Ogres ielejas morfoloģija un virspalu terašu līmeņi Viduslatvijas zemienes posmā. *Latvijas Unoversitātes 74. zinātniskā konference. Ģeogrāfija, ģeoloģija, Vides zinātne. Referātu tēzes*. Latvijas Unoversitāte, Rīga, lpp. 246.-248.
- Ivanovs, J., Krievāns, M. 2016b. Using LIDAR topography data for determination of Morpology and Terrace Levels of the River Ogre Valley in Middle Latvia Lowland. *Geology, Geophysics & Environment*. p. 2. In press.
- Korzeniowska, K. 2012. Modelling of water surface topography on the Digital Elevation Models using LiDAR data. *AGILE'2012 International Conference on Geographic Information Science*. Avington, France, 333-335.
- Krievāns, M. 2011. Rauņa ielejas attīstība Leduslaikmeta beigu posmā un holocēnā. *Acta Universitatis Latviensis: Zemes un vides zinātņu sērija*. 767. sēj., lpp. 35-47.
- Krievāns, M. 2015. *Hidrogrāfiskā tīkla veidošanās Lejas Gaujas senielejā pēdējā apledošana beigu posmā*. Rīga, LU akadēmiskais apgāds. 132 lpp.
- Krievāns, M., Rečs, A. 2012. Miegupes ielejas morfoloģija un veidošanās leduslaikmeta beigu posmā. *Acta Universitatis Latviensis Zemes un vides zinātņu sērija*. 789. sēj. Rīga, Latvijas Universitāte, lpp. 127-142.
- Large, A.R.G., Heritage, G.L., Charlton, M.E. Laser Scanning: The Future. *Laser Scanning for the Environmental Sciences*. [S.I.], Blackwell Publishing Ltd.
- Leopold, L.B., Wolman, M.G. 1957. River Channel Patterns Braided, Meandrins and Straight. *U.S. Geological Survey Professional Paper*. 282-B.
- Lewin, J., Brewer, P.A. 2001. Predicting channel patterns. *Geomorphology*. 40, 329-339.
- Meirons, Z. 2002. *Kvartāra nogulumi. M.: 1:200 000*. Valsts ģeoloģijas dienests, 33.lapa.
- Meirons, Z., Goldforbs, J. 2002. *Zemkvartāra virsmas reljefa karte. M.: 1:500 000*. Valsts ģeoloģijas dienests, 33 lapa.
- Meynars, T., Smith, N., Vincenti, A. 2012. Geomorphology ans changing flood risk in the UK. *Lloyd's*, 25.
- Merrits, D.J., Vincent, K.R., Wohl, E.E. 1994. Long river profiles, tectonisms, and eustasy: A guide to interpreting fluvial terraces. *Journal of Geophysical Research*. 99, 14031-14050.
- Mūrnieks, A. 2002. *Pirmskvartāra nogulumi. M.: 1:200 000*. Valsts ģeoloģijas dienests, 33 lapa.
- Nanson, G.C., Croke, J.C. 1992. A Genetic Classification of Floodplains. *Geomorphology*. 4(6), 459-486.
- Naoum, S., Tsanis, I.K., 2004. Ranking Spatial Interpolation Techniques Usind a Gis-Based DSS. *Global Nest: the Int. J.* 6(1), 1-20.
- Phillips, C.A. 1963. American Standard Code for Information Interchange. *American Standards Association*. New York, 12.
- Sarma, B. 1960. *Upju hidroloģija: noteces un hidrometrijas pamati*. Latvijas valsts izdevniecība, Rīga, 204.
- Stinkulis, Ģ. 1999. Field Trip "Devonian" Guidebook. *The Fourth Baltic Stratigraphical Conference*. Rīga, 50.
- Straume, J., Juškevičs, J., Meirons, Z. 1981a. *Pēcloduslaikmeta baseinu izplatības karte. M.: 1:2 000 000*. Latvijas PSR ģeoloģijas pārvalde.
- Straume, J., Juškevičs, J., Meirons, Z. 1981b. *Latvijas PSR ģeomorfoloģiskā karte. M.: 1:500 000*. Latvijas PSR ģeoloģijas pārvalde.
- Törnquist, T.E. 1998. Longitudinal profile evolution of the Rhine-Meuse system during the last deglaciation: interplay of climate change and glacio-eustasy? *Terra Nova*. 10, 11-15.
- Veinbergs, I. 1975. Formirovaniye Abavsko-Slotsenskoy sistemy dolin stoka talykh lednikovykh vod. *Grām.: Voprosy chetvertichnoy geologii*, 8. Riga, Zinatne, s. 82-101.

- Wheaton, J.M., Brasington, J., Darby, S.E., Sear, D.A. 2010. Accounting for uncertainty in DEMs from repeat topographic surveys: improved sediment budgets. *Earth Surface Processes and Landforms*. 35(2), 136-156.
- Zhanyu, W. 2015. Evaluating fluvial terrace riser degradation using LiDAR-derived topography: An example from the northern Tian Shan, China. *Journal of Asian Earth Sciences*. 105, 430-442.

Nepublicētie avoti

- Gardina, V.J. 2008. Analysis of Lidar Data For Fluvial Geomorphic Change Detection at a Small Maryland Stream. University of Maryland, ProQuest Dissertations Publishing.
- Pētersons, P., Peteris.Petersons@lgia.gov.lv 2016. *Lidar datu precizitāte*. E-pasts Jānim Ivanovam (janis.ivanovs02@gmail.com). Nosūtīts 25.04.2016. 11:24. Sk. 25.04.2016. Pieejams <https://mail.google.com/mail/u/0/#inbox/1544c5ccc3c7d46c> Atsauce tekstā (Pētersons, 2016)
- Stinkulis, Ģ. 2015. Augšdevona Franas stāva karbonātiskā slāņkopa. Rīga, LU Ģeogrāfijas un zemes zinātņu fakultāte, Latvijas Universitāte.

Interneta resursi

- Airborne Laser Scanning*. 2016. Geospatial Modelling & Visualization. Sk. 04.05.2016. Pieejams: <http://gm.v.cast.uark.edu/scanning-2/airborne-laser-scanning/> Atsauce tekstā (GMV, 2016).
- Common Lidar Data Exchange Format - .LAS Industry Initiative*. 2009. ASPRS. Sk. 04.01.2016. Pieejams http://www.asprs.org/a/society/committees/lidar/lidar_format.html Atsauce tekstā (ASPRS, 2009).
- GIS Latvija 10.2*. 2013. SIA Envirotech. Sk. 09.05.2016. Pieejams: <http://www.envirotech.lv/lv/aktualitates/gis-latvija-10-2/> Atsauce tekstā (Envirotech, 2013).
- Hidrodinamiskie apstākļi Latvijas upju baseinos 2012. – 2013. gadu ziemā un to gaidāmā ietekme uz ledus iešanas gaitu un palu maksimālajiem līmeņiem*. 2013. LVĢMC. Sk. 15.05.2016. Pieejams: https://www.google.lv/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwi28onTk9zMAhWGOSwKHQNXDhQQFggbMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.olaine.lv%2Fuploads%2Ffiledir%2Fpali_2013.doc&usq=AFQjCNFQJgNxe0LLTOPkynmLtGeqRfGw2g&sig2=kXGnrVfly32yxwJ31CDk7g Atsauce tekstā (LVĢMC, 2013)
- LIDAR module*. 2016. Blue Marble Geographics. Sk. 08.01.2016. Pieejams <https://www.bluemarblegeo.com/products/global-mapper-lidar-features.php> Atsauce tekstā (LIDAR module, 2016).
- LIDAR—Light Detection and Ranging—is a remote sensing method used to examine the surface of the Earth*. 2013. NOAA. Archived from the original. Sk. 04.01.2016. Pieejams <http://www.webcitation.org/6H82i1Gfx> Atsauce tekstā (NOAA, 2013).