

*Putniņš Artūrs, Celiņš Ivars
Latvijas Universitāte, Latvija*

LEDĀJA PLŪSMAS VIRZIENU UN DEGLACIĀCIJAS FĀŽU SAISTĪBA AR ZEMLEDĀJA KUŠANAS ŪDEŅU VEIDOTAJĀM LINEĀRAJĀM RELJEFA FORMĀM LATVIJĀ

Abstract

Using the linear subglacial glaciofluvial landform (the tunnel valley and esker) systems to recognize the ice margins besides the other indicators have become a wide used method for identifying the phases of the deglaciation. Although the importance of these landforms, a large and detailed research covering the whole territory of Latvia has not been done before. This research is based on identifying the tunnel valley and eskers systems all over the territory of Latvia, comparing and analyzing congruencies between the landform geographical placement and the most recent opinion of the deglaciation phases of Latvia. The congruencies between the tunnel valley and esker systems and the ice flow directions are also discussed in this paper. Numerous of topographic maps, quaternary geology and geomorphologic maps combining with the digital elevation model were used leading to detailed review maps for each phase of the deglaciation.

Atslēgas vārdi: osi, tuneļielejas, ledāja plūsmas virziens, deglaciācijas fāzes.

IEVADS

Pēdējo gadu laikā kā Eiropas un pasaules, tā arī Latvijas mērogā aktuāli ir kļuvuši pētījumi par pleistocēna pēdējā apledojuma ledāja izplatību un tā deglaciācijas gaitu, kā arī deglaciācijas etapu un to radīto reljefa formu laiktelpisko piesaisti izmantojot nogulumu absolūtā vecuma datēšanas (visbiežāk – optiski stimulētās luminiscences) metodes. Iespējams, tieši nogulumu absolūtā vecuma datēšanas metožu attīstība un precizitātes pieaugums ir devis papildus impulsu šīs pētījumu jomas atkārtotā aktualizācijā. Taču, salīdzinot ar agrākajiem, 20. gs laikā veiktajiem pētījumiem, mūsdienās lielu pienesumu pētījuma kvalitātes, un līdz ar to – ticamības, pieaugumā 21. gs sniedz arī ĢIS piedāvātās kartogrāfisko materiālu analīzes un reljefa formu digitizēšanas iespējas.

Pielietojot ĢIS sniegtās iespējas tika apsektas un analizētas tādas Latvijas teritorijā plaši sastopamas lineārās reljefa formas, kā osi un tuneļielejas, kas ledāja kušanas ūdeņu darbības rezultātā zemledāja apstākļos veidojas tiešā ledus mēļu malu un galu tuvumā.

Pētījums ir nozīmīgs, jo šīm reljefa formām ir būtiska paleoģeogrāfiskā nozīme, pirmkārt, analizējot ledāja plūsmas virzienus un deglaciācijas gaitu konkrētajā teritorijā, kā arī rekonstrējot ledāja-gultnes kontaktzonas termālos apstākļus. Tāpēc pētījuma mērķis bija apzināt osu un tuneļieleju telpisko izplatību Latvijas teritorijā un veikt iegūto datu analīzi saistībā ar agrākajos pētījumos noteiktajiem ledāja plūsmas virzieniem un deglaciācijas fāzēm. Jāuzsver, ka

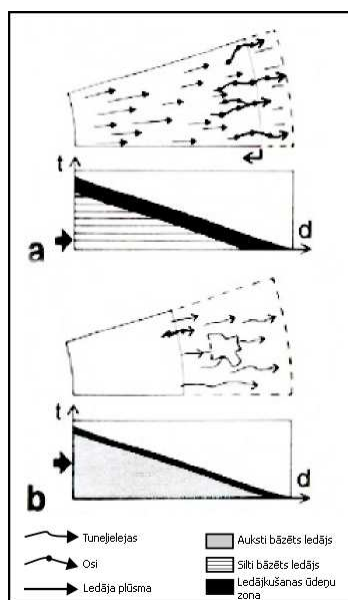
līdz šim plaši, specializēti pētījumi par šo reljefa formu telpisko izplatību visā Latvijas teritorijā nav veikti.

Pētījuma gaitā tika secināts, ka izteiktas osu un tuneļieļu izplatības likumsakarības saistāmas ar Dagdas un Linkuvas deglaciācijas fāzēm. Savukārt ledāja plūsmas virzieni ļoti labi korelējas ar lielākajām osu sistēmām.

ZEMLEDĀJA KUŠANAS ŪDEŅU VEIDOTĀS LINEĀRĀS RELJEFA FORMAS

Pētījuma ietvaros identificēto zemledāja kušanas ūdeņu veidoto reljefa formu grupa apvieno divas no ģenēzes viedokļa līdzīgas, taču morfoloģiski diametrāli atšķirīgas (pozitīvās un negatīvās) reljefa formu kopas - osus un tuneļieļas.

Osi ir zemledāja apstākļos veidojušies upju tuneļi, ar ledus malām, kas ir aizpildīti ar straumju nesto drupu materiālu. (Benn & Evans 1998: 450). Tie parasti veidojas R-tipa kanālos un iezīmē ūdens pārvietošanās virzienu pa ledāja gultni. Ūdens plūsmu kontrolē ledāja virsmas un gultnes topogrāfija. Tādējādi osiem var būt augšup vai lejup ejošs profils un tie var pārvarēt topogrāfiskus šķēršļus. Vietās, kur ledāja drenāžas tuneļi vairs neaizveras ledāja iekšējās deformācijas rezultātā, dominē atmosfēras spiediens un ūdens tecēšanas virzienu sāk ietekmēt topogrāfija (Benn & Evans 1998: 450).



1. att. Ledāja gultnes morfoloģijas un osu veidošanās saistība (Kleman et al. 1997: 284)

Osi galvenokārt veidojas ledāja malas zonā, kuru stipri ietekmē sezonas kušana un ledāju kušanas ūdeņu infiltrācija ledājā (skat. 1.att.). Osu izplatība parasti ir saistīta ar ledāja malas

veidojumiem, deltām un gala morēnām (Kleman et al. 1997: 284). To izplatība nereti ir saistīta ar tādām subglaciālajām reljefa formām kā drumliniem, rogenas morēnām, paugurainēm un tuneļielejām.

Osi var būt individuāli un izolēti no citiem osiem, vai arī veidot vienotu, dendrītisku tīklu. Pēc telpiskās izplatības rakstura, izšķir, elementāru osu, ko veido atsevišķs oss, osu virkne, kas veidojas savienojoties virknē vairākiem elementāriem osiem. Ja osi stiepjas viens otram blakus, tad tos dēvē par osu grupu. Bet, ja vairāki osi savienojas, tad tie veido osu sistēmu (Eberhards 1977: 43). Osu virkne parasti sastāv no osiem, kas līdzīgi pēc morfoloģijas un veidošanās apstākļiem, savukārt osu sistēmās nereti ir apvienotas vairākas osu virknes, kas atšķiras pēc morfoloģijas (Eberhards 1977: 43).

Latvijas osi galvenokārt ir taisnvirziena vai meandrējošas formas. Zemienēs sastopamajiem osiem raksturīgs tas, ka to distālie gali izbeidzas ledāja malas veidojumu joslās (Eberhards 1977: 43). Tie pieskaitāmi galvenokārt pie radiālā tipa osiem, kas veidojušies aprimušā ledus apstākļos.

Tuneļielejas (citos avotos – subglaciālās iegultnes) ir plaši, padziļināti kanāli, kas zemledāja kušanas ūdeņu darbības rezultātā, relatīvi dziļi iegrauzušies pamatiežos vai nogulumos. Tās ir galvenokārt orientētas paralēli vai subparalēli ledāja kustības virzienam. Vadoties pēc vairāku autoru sniegtajām reljefa formas definīcijām tuneļieleju garums bieži variē no 5 līdz 20 km un platums no 150 līdz 500 m, dziļums 5 – 30 m (Cofaigh 1996: 1), taču Latvijas teritorijā visai bieži sastop arī izmēru ziņā iespaidīgākas tuneļielejas, piemēram, Kornetu – Peiļu subglaciālās iegultne.

Tuneļielejas veidojas zemledāja apstākļos, ledus mēļu galos vai malās. Vēl joprojām pastāv diskusija vai tas notiek seklūdēns, vai subareālos apstākļos (Menzies 2002: 265). To veidošanās sākas iecirkņos, kur ledājs ir pilnīgi vai daļēji piesalis pie gultnes, noplūstot katastrofiskam ledājkušanas ūdeņu daudzumam, kas vismaz daļēji atrauj ledāju no gultnes veicot tuneļielejas dziļumiegraušanas un materiāla iznesi. Reljefa formu veidošanās laikā netiek izslēgta arī daļēja glaciotektonisko procesu iesaiste, taču subglaciālo iegultņu galvenais veidošanās faktors, atšķirībā no subglaciālajām vagām, ir zemledāja kušanas ūdeņu straumju radītā gultnes erozija. Identificējot tuneļielejas un to distālajos galos esošās glaciofluviālā materiāla iznesu deltas, var spriest par deglaciācijas etapu secību.

Gadījumos, kad tuneļielejas ir aizpildījušās ar vecuma ziņā jaunākiem glaciokvālajiem nogulumiem, tas dēvē par apraktajām ielejām. Tieši galvenokārt ar aprakto ieleju veidošanās izpēti ir saistīti līdz šim zināmie pētījumi par tuneļielejām Latvijas teritorijā, kurus savulaik ir

veikuši tādi pētnieki kā Meirons, Straume, Juškevičs u.c. Savukārt, tuneļielejas, kas visai skaidri atspoguļojas mūsdienu reljefā, visticamāk, pēc to izveidošanās ir tikušas aizpildītas ar apraktā ledus blāķiem, kas ir tās pasargājis no to aizpildīšanās ar glaciofluviālajiem nogulumiem (Jørgensen and Sandersen 2006: 1339).

MATERIĀLI UN METODES

Osu un tuneļieleju telpiskā izplatības noteikšana un morfometriskie mērījumi tika veikta ar ESRI ArcGis 9.2. un QuantumGIS programmām, izmantojot PSRS Armijas ģenerālštāba topogrāfiskās 1:10 000 mēroga topogrāfiskās kartes (TOPO 10K PSRS) un PSRS Armijas ģenerālštāba topogrāfiskās kartes mērogā M 1:25000 (TOPO 25K63g PSRS). Lai precizētu osu un tuneļieleju izplatību un identificētu atsevišķas reljefa formas, tika izmantotas LU ĢZZF WMS serverī pieejamās kvartārģeoloģiskās (LVGD Kvantargeoloģija) un morfoloģiskās kartes.

Informācija par konstatēto reljefa formu garumiem, platumiem, relatīvajiem augstumiem / dziļumiem un orientāciju pret ziemeļiem tika saglabāta ĢIS datu bāzē. Balstoties uz pieejamo informāciju, datu bāzē papildus tika pievienota informācija par objektu iekšējo uzbūvi, nosaukumu, publikācijām un vecumu, kā arī tika novērtēta ticamība, kas balstās uz konkrētā objekta detālākiem pētījumiem, piemēram, apsekošana dabā vai neapstrīdamu pazīmju konstatēšana.

Osu izplatības īpatnību un morfoloģijas izmaiņu analīzei dažādos Latvijas deglaciācijas posmos tika izmantotas 2010. gada deglaciācijas fāzes (Zelčs et.al. 2010 *in print*), bet osu piemērotība ledāja plūsmas virzienu noteikšanai tika izmantota Ledāja plūsmas karte (Zelčs and Markots 2004: 225).

REZULTĀTI UN INTERPRETĀCIJA

Pētījuma laikā kopā tika apzinātas 5227 osveida un 3017 subglaciālās reljefa formas. Osveida reljefa formu relatīvais augstums vidēji ir zem 10 m, retāk tas pārsniedz 20 m. To garums pārsvarā svārstās no 400 līdz 600 m un tās nereti veido sistēmas, kas vidēji ir līdz 25 km garas, bet ir sastopamas arī nepārtrauktas osveida reljefa formas ar garumu līdz 13 km un osveida reljefa formu sistēmas ar garumu līdz pat 56 km. Arī subglaciālās iegultnes līdzīgi kā osveida reljefa formas veido līdz pat 55 km garām sistēmām, jo īpaši Latgales augstienes DA daļā. Savukārt garākā individuālā ielejveida reljefa forma stiepjas 18 km garumā.

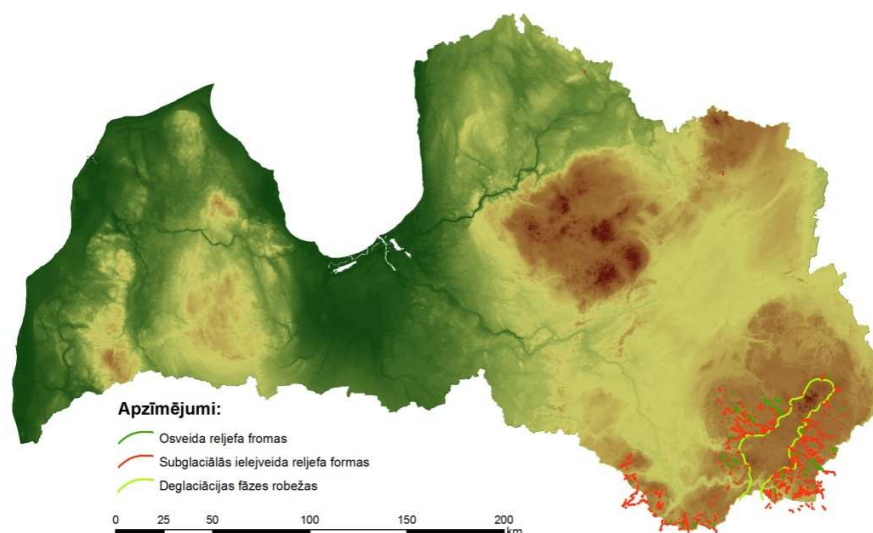
Lielākais osu blīvums novērojams Viduslatvijas zemienē, Latgales augstienē un Z Vidzemē, savukārt Kurzemes R un Vidzemes augstienē sastopami vien atsevišķi osi. Savukārt,

lielākais tuneļieleju blīvums ir Latgales un Vidzemes augstienēs, bet zemieņu teritorijās tās ir izplatītas salīdzinoši reti.

Ņemot vērā osu veidošanās ciešo saistību ar ledāja deglaciāciju un tā malas veidojumiem, pasaulē osi ir plaši izmantoti kā deglaciācijas fāžu noteikšanas indikators. Latvijā līdz šim osi deglaciācijas fāžu izplatības noteikšanai tika izmantoti tikai atsevišķos gadījumos.

Maksimālajā ledāja izplatības fāzē, jeb laika posmā pirms Dagdas fāzes, Latgales augstienes centrālajos apgabalos sastopamas plašas tuneļieleju sistēmas (skat. 2. att.), kas, iespējams, vietām izveidojušas mantotajos reljefa pazeminājumos. Savukārt, teritorijā, kas attiecās uz šo laika posmu, ir sastopami tikai atsevišķi osi, kas visticamāk norāda uz auksti bāzētām ledus masām šajā teritorijā.

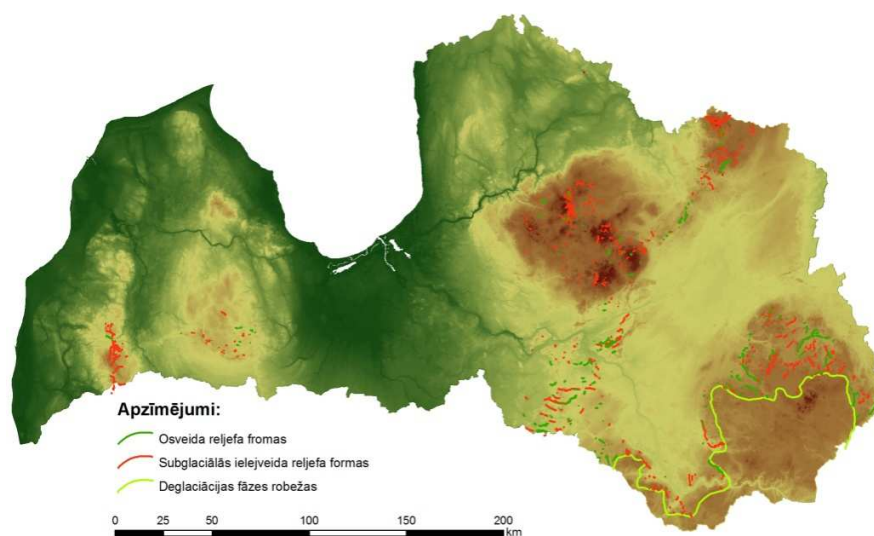
Dagdas fāzē tuneļielejas un osi ir cieši saistīti ar ledāja malas veidojumiem un ļoti labi reprezentē ledāja plūsmas virzienu. Osu ir salīdzinoši maz, bet tie izceļas ar samērā lielu relatīvo augstumu un garumu. Atsevišķiem osiem raksturīgas arī samērā izteiktas deltas. Pie Dagdas fāzes piederošās tuneļielejas izceļas ar lielu relatīvo dziļumu un garumu. Iespējams, ka nelielu osu skaitu ir noteicis arī teritorijas lielais hipsometriskais augstums un, samazinoties ledāja segas biezumam, ledājs vairs nevarēja nodrošināt hidrostatisko spiedienu tādā līmenī un lēdājkušanas ūdeņu straumes tika pakļautas topogrāfijai (Brennand 2000: 263).



2.att. Dagdas fāze. Kartes pamatnē digitālais augstuma modelis, NASA SRTM DEM, 2006, © NASA. Deglaciācijas fāzes robežas pēc Zelčs et. al. Deglaciation history of Latvia, 2010 *In Press*.

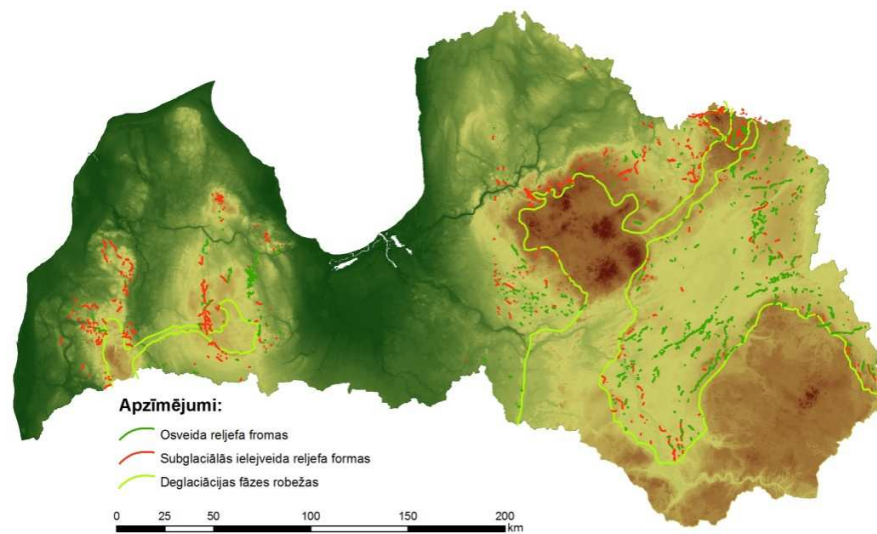
Kaldabruņas fāzē tuneļieleju un to sistēmu garumi samazinās (skat. 3. att.), taču tās ir sastopamas arī citviet Latvijas teritorijā, ārpus Latgales augstienes. Savukārt, osu raksturs ir

samērā līdzīgs Dagdas fāzei. Palielinājies ir osu sistēmu garums un tie sāk zarotas sistēmas un meandrēt. Aizsākas osu attīstība ledāja mēļu saplūdes zonās – Gulbenes un Sēlijas paugurvaļņos.



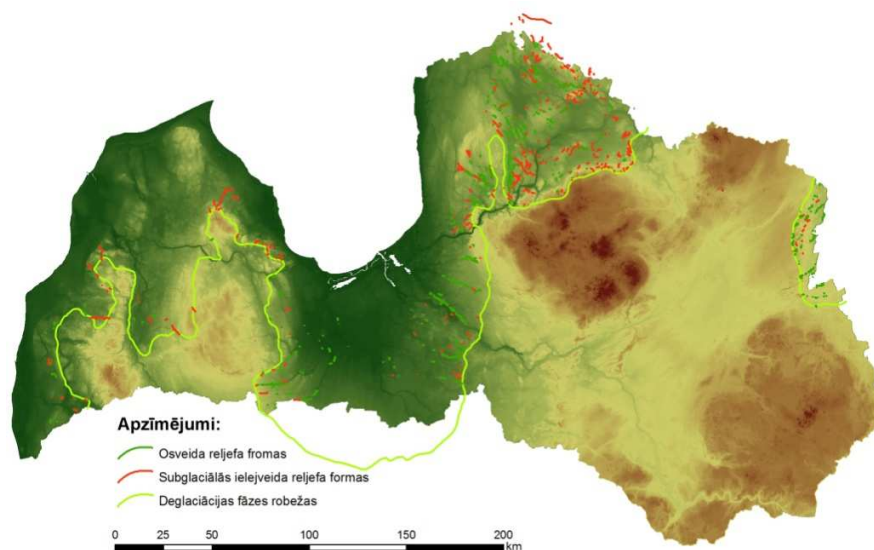
3. att. Kaldabruņas fāze. Kartes pamatnē digitālais augstuma modelis, NASA SRTM DEM, 2006, © NASA. Deglaciācijas fāzes robežas pēc Zelčs et. al. Deglaciation history of Latvia, 2010 *In Press*.

Zemledāja kušanas ūdeņu reljefa formu attīstība Gulbenes fāzē saistāma gan ar augstieņu malas zonām, gan Viduslatvijas zemieni. Tieši Viduslatvijas zemienē, Latgales augstienes malas zonā izvietojusies 56 km garā osu sistēma (skat. 4. att.). Arī citur zemienē raksturīgas garas, meandrējošas un zarotas osu sistēmas (Stirnienes oss). Šie osi atšķirībā no iepriekšējām fāzēm raksturīgi ar to, ka to izplūšana no ledāja saistāma ar zemūdens apstākļiem. Nelielais virsmas slīpums un pieledāja sprostezera veidošanās, varēja nodrošināt patstāvīgu ūdens daudzumu zemledāju tuneļos cauru gadu, tādējādi nodrošinot garu un netraucētu osu sistēmu veidošanos. Garās osu sistēmas tāpat var liecināt par ledāja apīmšanu lielās teritorijā, bet pieledāja baseins un ledāja straujā kušana varēja nodrošināt silti bāzētu gultni, kas ir piemērots osu veidošanās faktors (Brennand 2000: 263). Bez garajām osu sistēmām, izplatītas ir arī īsas un zemas osu virknes, kas liecina par ledāja malas strauju kušanu un liela daudzuma kušanas ūdeņu rašanos. Arī tuneļieleju relatīvi nelielais skaits un sistēmu īsie garumi, iespējams, norāda uz strauju ledāja atkāpšanos. Garākās tuneļieleju sistēmas ir sastopamas Austrumkursas augstienē.



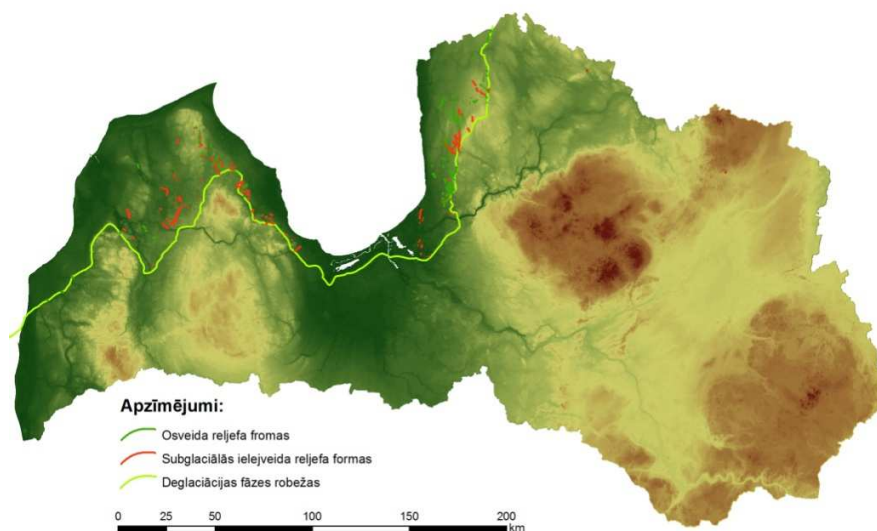
4. att. Gulbenes fāze. Kartes pamatnē digitālais augstuma modelis, NASA SRTM DEM, 2006, © NASA. Deglaciācijas fāzes robežas pēc Zelčs et. al. Deglaciation history of Latvia, 2010 *In Press*.

Arī Linkuvas deglaciācijas fāzē osu izplūšana notiek galvenokārt zemūdens apstākļos, kas nodrošina vidēji augstu un garu osu veidošanos. Osu distālās daļas ļoti labi iezīmē Linkuvas deglaciācijas fāzes joslu praktiski visā tās garumā, bet jo īpaši Zemgalē un Z Latvijā (skat. 5. att.). Vidzemē liela osu koncentrācija novērojama pie Augstrozes pacēluma, kas varētu būt izskaidrojams ar divu ledāja mēļu kontaktzonu. Savukārt, šai fāzei atbilstošās tuneļielejas pārsvarā ir visai īsas, un relatīvi seklas. Garākās tuneļielejas ir izvietojušās Vaidavas apkārtnē, kā arī Ērgemes paugurainē. Atsevišķi tuneļieleju fragmenti, kas kombinējas ar osiem Burtnieku drumlinu laukā, liecina par ledāja aktivitātes samazināšanos (Brennand 2000: 263). Garas osu sistēmas Linkuvas fāzē ir samērā retas, vairāk ir izplatītas nelielas osu virknes, kas norāda uz strauju ledāja biezuma samazināšanos un osu veidošanos galvenokārt malas zonas plaisās un nelielajos tuneļos.



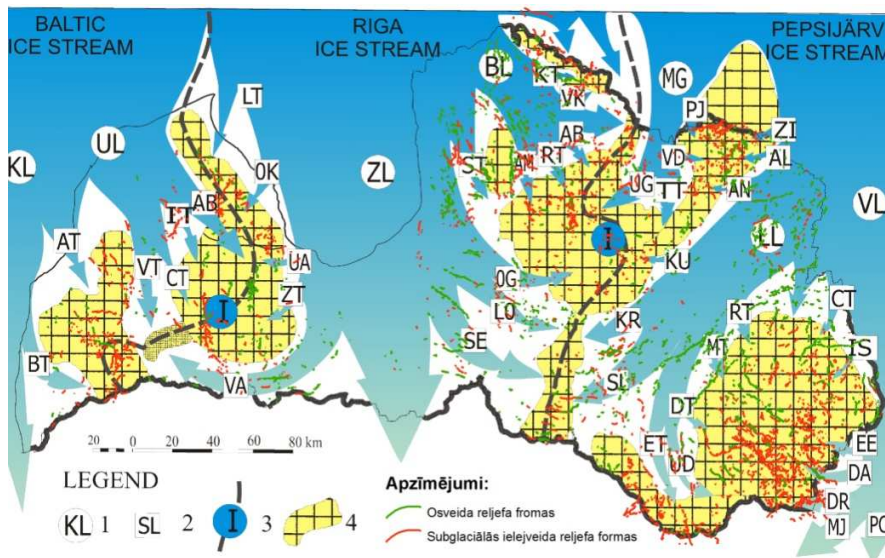
5. att. Linkuvas fāze. Kartes pamatnē digitālais augstuma modelis, NASA SRTM DEM, 2006, © NASA. Deglaciācijas fāzes robežas pēc Zelčs et. al. Deglaciation history of Latvia, 2010 *In Press*.

Valdemārpils fāzē sastopami vairs tikai īsu osu virknes ar nelielu relatīvo augstumu, ko arī var skaidrot ar strauju kušanu un osu veidošanos tikai ledāja pašā malā (skat. 6. att.). Osi bieži ir haotiski izvietoti un neveidojas noteiktā orientācijā pret ledāja malas veidojumiem, kas, iespējams, liecina par nelielu ledāja segas biezumu (Brennand 2000: 263). Arī tuneļielejas raksturojas ar samērā īsu garumu. Tās visbiežāk ir sastopamas Ziemeļkursas augstienē. Atsevišķa tuneļieleju sistēma izvietojusies Limbažu apkārtnē.



6. att. Valdemārpils fāze. Kartes pamatnē digitālais augstuma modelis, NASA SRTM DEM, 2006, © NASA. Deglaciācijas fāzes robežas pēc Zelčs et. al. Deglaciation history of Latvia, 2010 *In Press*.

Spriežot pēc Ledāja plūsmas virzienu kartes, garākās osu virknes un sistēmas samērā labi norāda uz ledāja plūsmas virzieniem, bet tuneļieejas var norādīt uz ledus mēļu konfigurāciju augstieņu teritorijās (skat. 7. att.).



7. att. Ledus plūsmas Latvijas teritorijā. (Pēc Zelčs and Markots 2004: 225).

SECINĀJUMI

Latvijā galvenokārt ir izplatītas līdz 20 km garas un līdz 10 m augstas osu virknes un sistēmas. Savukārt tuneļieejas Latvijas teritorijā galvenokārt ir līdz 20 m dziļas, un vidēji no 0,5 līdz 5 km garas.

Bieži vien sastopamas zemledāja kušanas ūdeņu noteces sistēmas, kuru ietvaros to atsevišķos posmos tuneļieejas aizvieto osu fragmenti, un otrādāk, kas tādejādi liecina par termiskajām atšķirībām ledāja gultnē konkrēto drenāžas sistēmas izveides laikā.

Atšķirības osu morfoloģijā un telpiskajā izplatībā liecina par atšķirīgiem to veidošanās apstākļiem dažādos deglaciācijas etapos.

Pētījuma gaitā tika secināts, ka izteiktākās osu un tuneļieēju izplatības likumsakarības saistāmas ar Gulbenes un Linkuvas deglaciācijas fāzēm. Savukārt ledāja plūsmas virzieni ļoti labi korelējas ar lielākajām osu sistēmām.

Bibliogrāfija

1. Benn, D.I., Evans, D.J.A. (1998) *Glaciers and Glaciation*. London: Arnold Pp. 450-458.
2. Brennand, T. (2000) Deglacial meltwater drainage and glaciodynamics: inferences from Laurentide eskers, Canada. *Geomorphology* Vol. 32: 263-293.
3. Digitālais augstuma modelis, NASA SRTM DEM, 2006, © NASA

4. Eberhards, G. (1977) *Glaciālā ģeomorfoloģija*. P.Stučkas Latvijas Valsts universitāte, Rīga, 43-47 lpp.
5. Jørgensen A, Sandersen P.B.E. (2006) Buried and open tunnel valleys in Denmark—erosion beneath multiple ice sheets. *Quaternary Science Reviews*. Vol. 20: 1339-1363.
6. Kleman J. et al. (1997) Fennoscandian palaeoglaciology reconstructed using a glacial geological inversion model. *Journal of glaciology*. Vol. 43: Pp. 284 – 299.
7. LVGD Kvartārģeoloģija. Kvartāra nogulumu karšu mozaīka mērogā 1:50 000. LU ĢZZF WMS. Sk. 20.04.2011. Pieejams <http://kartes.geo.lu.lv>
8. Menzies, J. (2002) *Modern and Past Glacial Environments: Revised Student Edition*. Butterworth-Heinemann. Pp. 265-273.
9. Cofaigh, C. (1996) Tunnel Valley genesis. *Progress in Physical Geology*. Vol. 20: 1-19.
10. TOPO 10K PSRS. *Bijušās PSRS armijas ģenerālštāba 63. un 42. gada sistēmas kartes topogrāfisko karšu mozaīka mērogā 1:10 000*. LU ĢZZF WMS. Sk. 05.05.2010. Pieejams: <http://kartes.geo.lu.lv>
11. TOPO 25K PSRS. *Bijušās PSRS armijas ģenerālštāba 63. gada sistēmas topogrāfisko karšu mozaīka mērogā 1:25 000*. LU ĢZZF WMS. Sk. 02.05.2011. Pieejams: <http://kartes.geo.lu.lv>
12. Zelčs V., Markots A. (2004) Deglaciation history of Latvia. In: Ehlers J., Gibbard P. L. ed *Extent and Chronology of Glaciations*, v.1 (Europe). Elsevier. Pp. 225-244.
13. Zelčs V., et. al., (2010) Deglaciation history of Latvia. *In press*. Riga.