

EOLO KĀPU IEKŠĒJĀS UZBŪVES PĒTĪJUMI, IZMANTOJOT RADIOLOKĀCIJAS METODI

Abstract

The paper deals with problems of methodology of using radiolocation method on aeolian sediments. This is a comparatively new method, and thus its prospective application and research methodology are not elaborated yet. Research take place in 2 outcrops in Strenči and Valka district, NE Latvia. The information from outcrops where compared with records of geophysical measurements to find out how and how precise aeolian slipfaces, angles of these slipfaces, dune base and paleosoils are shown in ground penetrating radar images. The results shows that ground penetrating radar is perspective method for studies of aeolian sediment and internal structure of dune.

Atslēgas vārdi: *kāpas, radiolokācija, eolais slīpslāņojums.*

Ievads

Kāpas veido plašu un garu joslu gar jūras piekrasti un pēdējā apledojuma un tā deglaciācijas fāzes malas veidojumiem, kas sākas Jitlandes pussalā un ar pārtraukumiem ir labi izsekojama līdz pat Urālu kalniem, tostarp arī Baltijas valstu teritorijās (Jungerius and Riksen 2010: 59). Izpratne par kāpu uzbūvi var sniegt atbildes uz daudziem jautājumiem, kas saistīti ar kāpu aktivitātes ilgumu, vēja transportam pieejamā smilts materiāla daudzumu un klimata izmaiņām pēdējā apledojuma beigu posmā un holocēnā. Savukārt eolā slīpslāņojuma raksturs var sniegt priekšstatu par kāpu attīstības dinamiku, ilgstoši valdošo vēju virzienu un gruntsūdens līmeni to izplatības teritorijā (Lancaster 2004: 285). Neskatoties uz to, kāpu iekšējā uzbūve gan Latvijā, gan kaimiņvalstu teritorijās ir nepietiekami pētīta. Pētnieki ir vairāk pievērsušies šo reljefa formu telpiskās izplatības un vecuma pētījumiem (Celiņš un Nartišs 2011; Līcis 2006; Аболтыньш 1971: 16-19). Iekšējās uzbūves pētījumus galvenokārt apgrūtina ierobežotais atsegumu skaits, kas saistīts ar eolās smilts mazo nozīmi tautsaimniecībā.

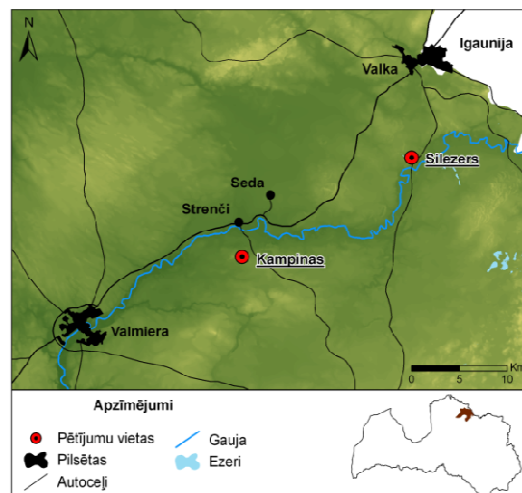
Ģeofizikālo pētījumu pielietošana varētu būt efektīvs šīs problēmas risinājums. Lai arī radiolokācijas metode ir salīdzinoši jauna, tā ir kļuvusi par pieejamāko un lētāko no ģeofizikālo pētījumu metodēm. Tomēr joprojām pasaulē nav izstrādāta standartizēta lauka darbu metodika, kā arī kamerālo datu apstrādes metodika, pat paņēmieni un procedūras nav izstrādātas – tās līdz šim vienmēr tiek pielāgotas konkrētā pētījuma vajadzībām (Старовойтов 2008; Финкельштейн и др. 1994). Arī metodes izmantošanas iespējas pilnībā nav apzinātas, kas arī apstiprina pētījuma aktualitāti, ko izceļ un īpaši akcentē citi pētnieki (Reynolds 1997: 682; Burger et al., 2006).

Ņemot vērā iepriekš minēto, pētījuma mērķis bija apzināt radiolokācijas metodes pielietošanas iespējas eolo kāpu iekšējās uzbūves pētījumos

Metodes

Lauka darbi

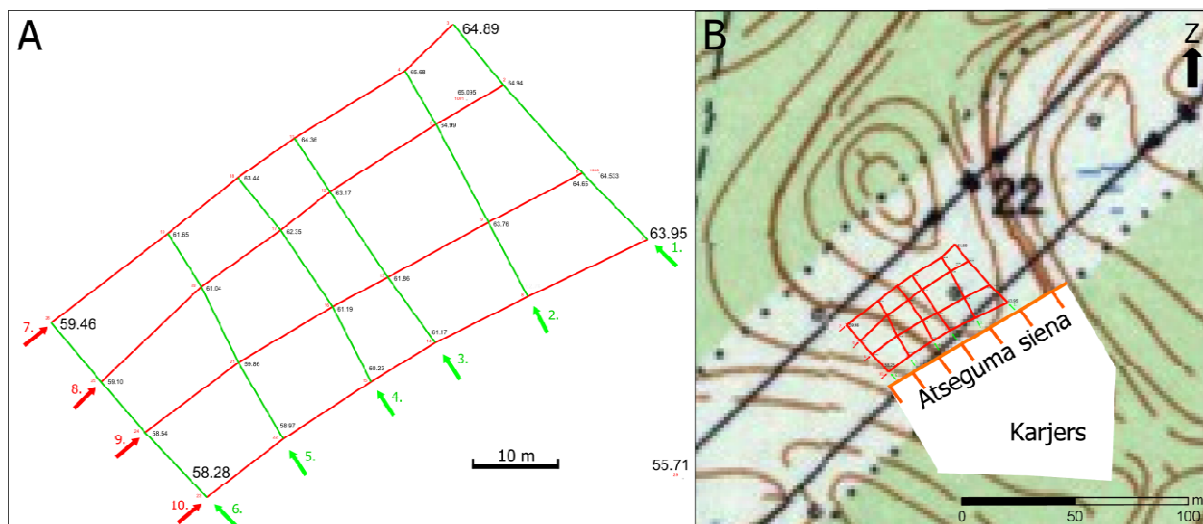
Pētījuma lauka darbi tika veikti 2010. gada 19. oktobrī un 2011. gada 26. martā. Pētījumiem tika izvēlēts liels, kāpas profilu pilnībā atsedzošs atsegums (pētījumu vieta *Silezers*) 8 m augstas paraboliskās kāpas uzvēja nogāzē uz DA no Silezera (skat. 1. un 2. att.), Valkas novadā un neliels atsegums (pētījumu vieta *Kampiņas*) ar vāji izteiktu apraktās augsnes horizontu, zemas āķveida paraboliskās kāpas astes daļā, uz dienvidiem no Strenčiem, Strenču novadā (skat. 1. un 3. att.). Lauku darbu laikā tika paredzēts veikt radiolokācijas profilēšanu, profilu piketu topogrāfisko uzmērīšanu, atsegumu fotografēšanu un nogulumu saguluma veidojošo elementu mērījumus.



1. att. **Pētījumu vietu novietojums**
(izstrādāts, izmantojot Envirotech 2004 un NASA SRTM DEM 2006).

Pētījumu vietā *Silezers* radiolokācijas pētījumi tika veikti ar mērķi noteikt eolo nogulumu saguluma apstākļus, savukārt pētījumu vietā *Kampiņas*, mērķis bija radiolokācijas profilos identificēt apraktās augsnes slāni.

Abās pētījuma vietās paredzētās profilu līnijas tika iezīmētas ar piketu palīdzību, kuri tika topogrāfiski uzmērīti, izmantojot totālo staciju *Nikon NPL 33N* un augstas precizitātes GPS iekārtu *ProMark3 Thales*.



2. att. Pētījumu vietā *Silezers* veikto profilu shēma (A) un profilu novietojums teritorijā (B)

(izstrādāts, izmantojot TOPO 10K PSRS).

Pētījumā tika izmantots *SIA Radar Systems* ģeoradars *Zond-12e* (skat. 4. att.). Radiolokācijas profilēšana tika veikta ar 300 un 500 Mhz antenām, jo sākotnēji tika izvirzīts mērķis iegūt informāciju par kāpas iekšējo uzbūvi visā griezumā ar pēc iespējas augstāku detalitāti. Jāpiezīmē, ka iekārtas ražotāji *SIA Radar Systems* smilts nogulumu pētījumiem iesaka izmantot tieši 300 MHz antenu. 500 MHz antena tika izmantota, lai novērtētu vai kāpā ir izteiktas struktūras, kuras nav iespējams izšķirt ar 300 MHz antenu.

Ģeoradara darbības parametri tika iestatīti atbilstoši veicamajam uzdevumam. Tika pieņemts, ka pētāmā vide ir sausas smiltis un atbilstošais vides dielektriskās caurlaidības koeficients ir vienāds ar 5. Izmantojot 300 MHz antenu, ieraksts tika veikts līdz 300 ns laika aizturei, kas, pieņemot, ka vide ir sausas smiltis, atbilst aptuveni 20 m. Laika aizture tika izvēlēta, balstoties pēc testa signāla, uzstādot maksimālo laika aizturi līdz kurai tika uztverti kvalitatīvi signāli. Izmantojot 500 MHz antenu tika iestatīta 200 ns laika aizture, kas, pieņemot, ka vide ir sausas smiltis, atbilst aptuveni 14 m.

Saņemtais signāls tika pastiprināts proporcionāli dziļumam, vadoties pēc testa signāla. Ieraksts tika veikts nepārtraukti, fiksējot katru impulsu un izmantojot stipru signāla filtru.

Pētījuma gaitā kopumā tika iegūti 14 radiolokācijas profili ar kopējo garumu 596 m.

Apsekotajos atsegumos tika veikti arī nogulumu saguluma veidojošo elementu mērījumi. Kopumā tika veikti 49 slīpslāņojumu mērījumi abās pētījumu vietās. Slīpslāņojuma mērījumi tika veikti ar ģeoloģisko busoli *SILVA Ranger15* un metāla plāksnītes palīdzību.

Kamerālie darbi

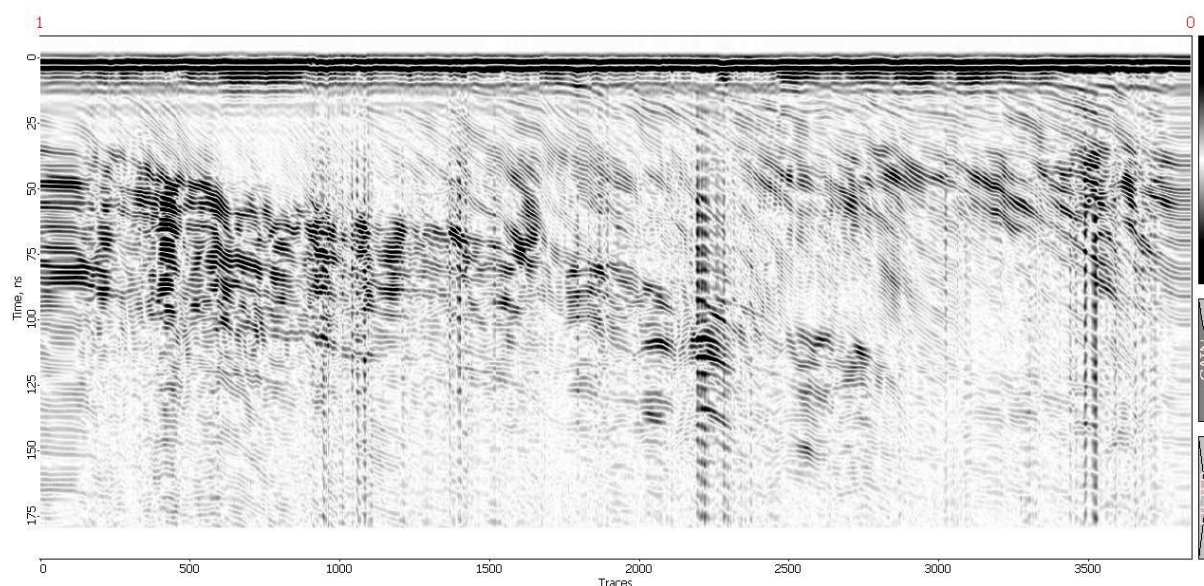


3. att. Pētījumu vietas *Kampiņas* novietojums (izstrādāts, izmantojot



4. att. Ģeoradars *Zond-12e* un 500 MHz antena darbībā.

Profilu apstrādei tika izmantota *Prism 2,5* datorprogramma. Apstrādājot profilus tika konstatēts, ka ieraksts ir ar ļoti augstu kvalitāti un tiem ir nepieciešama minimāla apstrāde. Būtiskākos traucējumus radīja augstsprieguma elektropārvades līnija (skat. 5. att.), kas atradās tieši virs pētījuma vietas, bet martā veiktajiem profiliem būtiskus traucējumus radīja mitrā sniega sega. Elektropārvades līnija radīja spēcīgu signālu, ko izdevās veiksmīgi izdalīt no derīgā signāla, izmantojot frekvenču filtru (*Ormsbija* filtrs), papildus tika izmantots filtrs fona traucējumu atdalīšanai (*Background removal*). Tomēr ir jāņem vērā, ka nereti atbrīvojoties no traucējumiem tiek dzēsta arī derīgie signāli. Tāpēc fona trokšņu dzēšana netiek veikta pilnībā, lai informatīvo signālu zudums tiktu maksimāli ierobežots.



5. att. Neapstrādāts radiolokācijas profils *Silezers_500* Nr. 10.

Turpmākā iegūto radiolokācijas profilu analīze sastāvēja no subhorizontālo signālu identificēšanas un lokālo signālu identificēšanas, lai būtu iespējams labāk saskatīt un izdalīt signālus, kā arī, lai kompensētu signāla proporcionālo pavājināšanos atkarībā no laika, pēc kura tas tiek saņemts, signāli tika nelineāri pastiprināti. Signālu identificēšana tika veikta, izmantojot atsegumu un veikto urbumu informāciju.

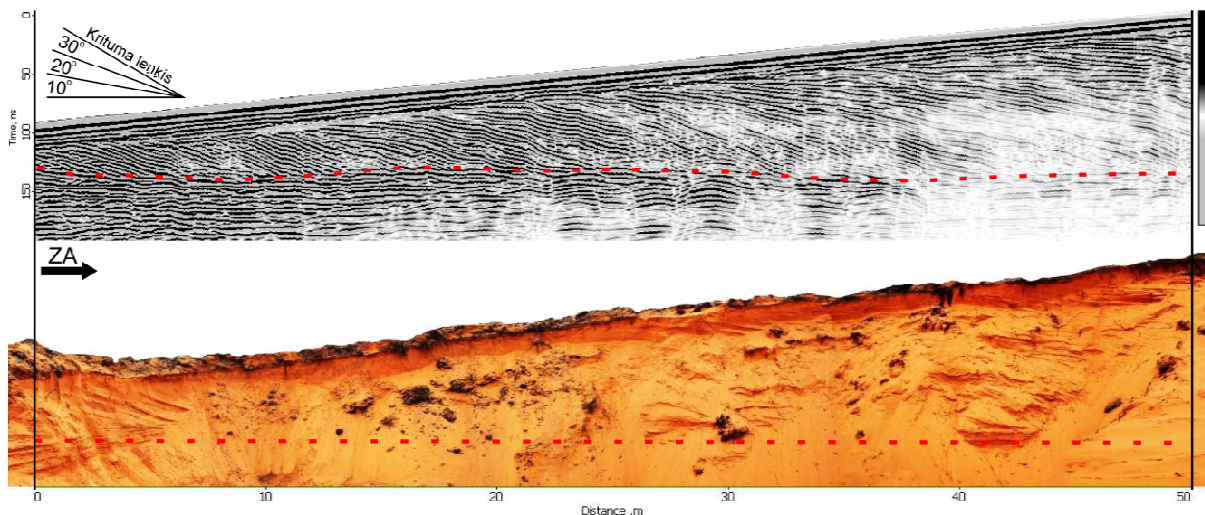
Slīpslāņojumu mērījumu rezultātu analīze notika izmantojot datorprogrammu *Stereo Net 3.1*.

Slīpslāņoto sēriju piederību uzvēja vai aizvēja nogāzei, atkarībā no slīpslāņojuma krituma leņķa, tika noteikta balstoties uz Feirbridža (Fairbridge 1968: 974-978) aprakstītajām metodikas, kurā ir noteikts, ka slīpslāņotās sērijas ar slīpumu līdz 12° veidojas uzvēja nogāzes apstākļos, bet ar slīpumu lielāku par 12° aizvēja nogāzes apstākļos.

Visām noteiktajām koordinātām, GPS datu pēcapstrādes procesā ar *MobileMapper* Oficce programmatūras palīdzību tika veikta koordināšu izlīdzināšanu LatPos tīklā.

Eolo slāņu kritumi profilā svārstās no 6° kāpas ZA daļā, līdz pat 32° kāpas DR daļā, kas apstiprina dabā veiktos slīpslāņojuma mērījumus (skat. 8. att.). Tomēr veicot šādus mērījumus, jāņem vērā, ka nogulumu sagulums veidojas trīs dimensijās. Šim nolūkam var

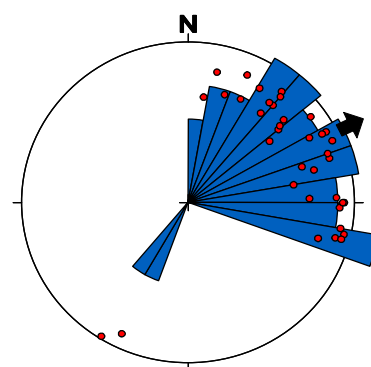
izmantot šķērsprofilu informāciju un izveidot trīs dimensiju modeli, vai veikt slīpslāņojuma kontrolmērījumus atsegumā. Visos iegūtajos šķērsprofilos eolie slāņi galvenokārt iegul horizontāli, kas nozīmē, ka garenprofilos redzamā informācija ļoti labi reprezentē eolo slāņu saguluma apstākļus.



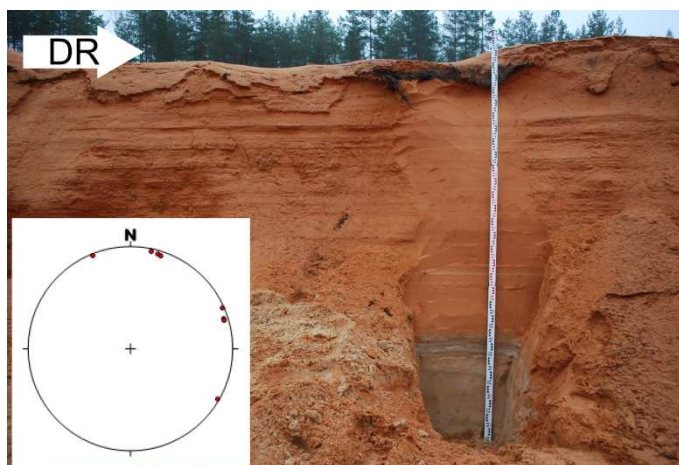
7. att. Radiolokācijas profila *Silezers_500 Nr. 10* pēc topogrāfiskās piesaistes (augša) un atseguma sienas (apakša) salīdzinājums. Ar sarkano līniju norādīta kāpas pamatne.

Arī atsegumā veiktie mērījumi liecina par nelielu eolo slāņu krituma azimuta dažādību (skat. 8. att.). Veicot šādas kontroldarbības, var izvairīties no kļūdainiem secinājumiem. Balstoties uz iepriekšējiem pētījumiem, var secināt, ka precīzākie dati par eolo slāņu sagulumu var tikt iegūti, novietojot profila līniju perpendikulāri kāpas garenasij un koriģējot tās leņķi pēc iespējamā paleovēja virziena, bet tas prasa iepriekšēju sagatavošanos un sīkākus kāpas morfoloģijas pētījumus.

Pēc profilu topogrāfiskās piesaistes, var novērot, ka kāpas pamatne ir viegli viļņota ar horizontālu slāņojumu (skat. 6. att.). Šis slānis tika novērots arī atsegumā un tajā tika veikti nogulumu saguluma elementu mērījumi, kuri liecina par praktiski horizontālu sagulumu (skat. 9. att.). Ņemot vērā, ka šo slāni veido aleirītiska smilts, tas varētu būt veidojies baseina apstākļos. Radiolokācijas profilā šis slānis veido izteiktu robežu pateicoties augstākam ūdens saturam nekā augšējos eolajos slāņos, ko veicināja smalkais materiāls un horizontāls sagulums.



8. att. Eolo nogulumu saguluma elementu mērījumu rezultāti. Veikti 7. att. redamajā atseguma sienā.

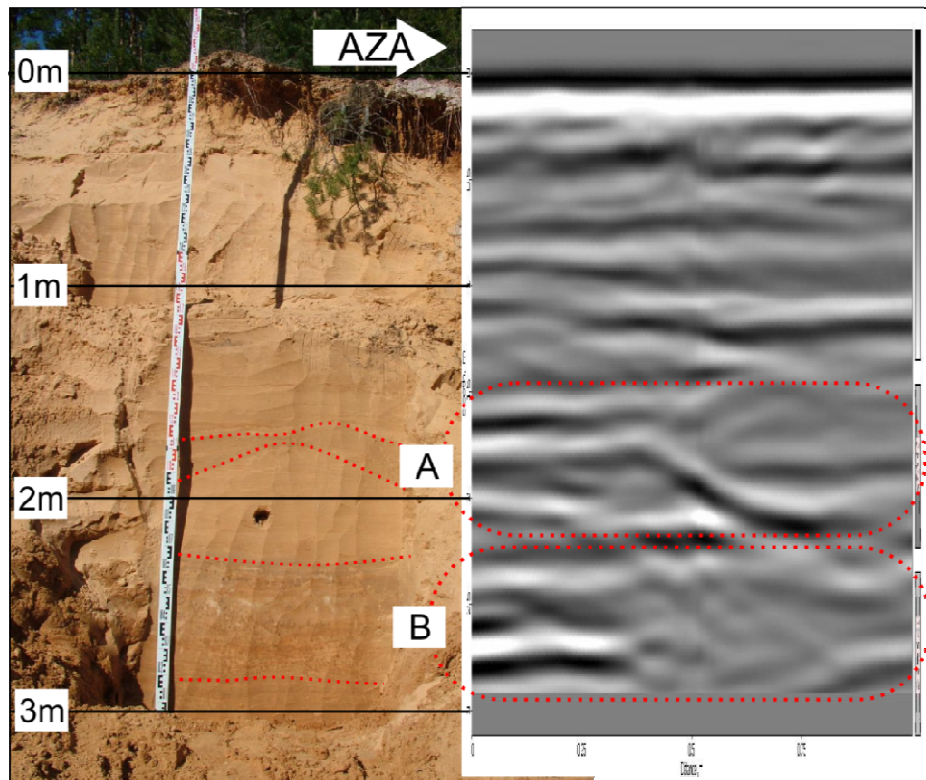


9. att. Kāpas pamatni veidojošās slāņkopas atsegums un nogulumu saguluma elementu mērījumu rezultāti.

Kampiņas

Pētījumu vietā *Kampiņas*, 1,8 m dziļumā ir izsekojams, līdz 10 cm biezs, ļoti vāji izteikts un neviendabīgs apraktās augsnes horizonts. 2,3 m dziļumā atrodas otrs apraktās augsnes horizonts, kas ir vidēji 50 cm biezs, viendabīgs, bet vāji izteikts (skat. 10 att.). Virs atseguma sienas ierakstītajā radiolokācijas profilā šie augsnes horizonti nav viennozīmīgi atpazīstami, tomēr zinot precīzu to atrašanās dziļumu, ir iespējams saskatīt sīkas neviendabības (skat. 10. att.), kuras varētu būt radušās dēļ šiem apraktās augsnes horizontiem. Tomēr šīs neviendabības ir pārāk neizteiktas, lai varētu noteikt apraktās augsnes izplatību vai virsmas raksturu. Izmantojot antenu ar augstāku frekvenci, visticamāk būtu iespējams iegūt pārliecinošākus rezultātus, bet tie neatrisinātu metodiskās problēmas, kas saistītas ar aprakto augšņu horizontu meklēšanu plašākās teritorijās, kur pastāv arī lielāki izpētes dziļumi.

Kā būtisks apstāklis, kas negatīvi ietekmēja rezultātu ir tieši vāji izteiktais apraktās augsnes horizonts. Kā liecina pētījumi Lietuvā (Buynevich et. al. 2007: 34), tad konstatēt izteiktus apraktās augsnes horizontus ir iespējams pat ar 200 MHz antenu.



10. att. Atsegums pētījumu vietā *Kampiņas* (pa kreisi) un virs atseguma iegūtā radiolokācijas profila *Kampinas_500* (pa labi) salīdzinājums. Ar sarkano līniju atzīmēti apraktās augsnes horizonti.

Salīdzinot ar abām izmantotajām antenām iegūtos rezultātus, jāsecina, ka izmantojot 300 Mhz antenu ir lielāks pētāmais dziļums un mazāk traucējumu, kas ļauj labāk uztvert informāciju, savukārt 500 Mhz antenas priekšrocība ir nedaudz lielākā detalitāte, bet līdz ar to rodas arī nevēlāmi traucējumi. Traucējumu rašanos profilā primāri ietekmē antenas jūtība, bet būtiska loma ir arī tādiem ārējiem apstākļiem, kā mitrums un nevienmērīga antenas virzība. Izvēloties antenu jāņem vērā gan kāpas augstums, nepieciešamais izpētes dziļums un detalitāte, gan iespējas attīrīt profila līniju. Tāpat būtiska loma ir lauka darbiem izvēlētais gadalaiks un laikapstākļi. Veicot profilēšanu rudenī, traucējumi galvenokārt radās no nevienmērīgas antenas virzības un nelīdzenās zemes virsmas. Savukārt ziemā sniega nolīdzinātā zemes virskārta nodrošināja labus apstākļus vienmērīgai un netraucētai antenas virzībai, bet būtiskus traucējumus radīja mitrais sniega slānis. Radiolokācijas profilēšanas darbiem eolajos nogulumos ir piemērots ilgstoši sauss laiks, neatkarīgi no gadalaika. Bet sarežģītā, šķēršļotā un aizaugušā apvidū lauka darbus būtiski atvieglo bieža sniega sega.

Secinājumi

Balstoties uz iegūtajiem rezultātiem var secināt, ka, izmantojot radiolokācijas metodes, ir iespējams noteikt eolo nogulumu saguluma apstākļus, izšķirt atsevišķus ģeoloģiskos slāņus un veikt samērā precīzus mērījumus.

Eolo nogulumu pētījumiem Latvijas apstākļos ir piemērotas gan 300 Mhz, gan 500 Mhz antenas.

Profilu ierakstīšana ziemas apstākļos atvieglo darba norisi un izslēdz daļu traucējumu, tomēr jāņem vērā gaisa temperatūra un sniega mitrums, kas var radīt būtiskus citādus informācijas traucējumus un zudumus.

Izdarot mērījumus un interpretējot saguluma apstākļus, jāņem vērā, ka saguluma elementi ir mērāmi 3 dimensijās.

Pateicības

Dalību Daugavpils Universitātes 53. Starptautiskajā zinātniskajā konferencē apmaksāja Latvijas Universitātes Studentu padome. Lauka darbi tika finansēti no LU pētniecības projekta Nr. 2007/ZP-87 „Skandināvijas ledusvairoga dienvidu malas iekšējās zonas vēlā Vislas posma deglaciācijas notikumu hronoloģijas pilnveidošana” līdzekļiem.

Autori pateicas Aleksandram Vladam par lauka darbos veikto topogrāfisko uzmērīšanu un ģeogr. doktorantam Agnim Rečam par uzmērīšanas un GPS datu pēcapstrādi.

Bibliogrāfija

1. Burger, H.R., et. al. (2006) *Introduction to Applied Geophysics*. W.W. Norton & Company, Inc.
2. Buynevich, I. V., et. al. (2007) Lithological anomalies in a relict coastal dune: Geophysical and paleoenvironmental markers. *Geophys. Res. Lett.* Vol. 34: 76-91.
3. Celiņš, I., Nartišs, M. (2011) Iekšzemes kāpas Sedas līdzenumā. *Latvijas Universitātes Raksti* Nr. 767.
4. Eberhards, G. (2003) *Latvijas jūru krasti*. Latvijas Universitāte, Rīga, 79.-112. lpp.
5. Fairbridge, R. W. ed (1968) *The Encyclopedia of Geomorphology*. Reinhold Book Corporation, New York. Pp. 974-978.
6. Jungerius, P.D., Riksen, M.J.P.M. (2010) A contribution of laser altimetry images to the geomorphology of the Late Holocene inland drift sands of the European Sand Belt. *Baltica*. Vol. 23: 59-70.
7. Lancaster, N. (2004) Dune, aeolian. In: Goudie, A. S., ed *Encyclopedia of Geomorphology*. Routledge, London. Vol. 1: 285- 291.
8. LVGD Kvartargeologija. *Valsts Ģeoloģijas Dienesta Kvartāra nogulumu karšu mozaīka mērogā 1:200 000*. LU ĢZZF WMS. Sk. 05.05.2010. Pieejams: <http://kartes.geo.lu.lv>
9. NASA SRTM DEM (2006) Digitālais augstuma modelis © NASA
10. ORTOFOTO 3. *LĢIA Latvijas 3. etapa ortofoto karšu mozaīka*. LU ĢZZF WMS. Skatīts 01.01.2010. Pieejams: <http://kartes.geo.lu.lv>
11. Reynolds, M.J. (1997) *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. West
12. Sussex, John Wiley & Sons. Pp. 682-745.

13. TOPO 10K PSRS. *Bijušās PSRS armijas ģenerālštāba 63. un 42. gada sistēmas kartes topogrāfisko karšu mozaīka mērogā 1:10 000*. LU ĢZGF WMS. Sk. 05.05.2011. Pieejams: <http://kartes.geo.lu.lv>
14. Zelčs, V. (1998) Sēdas līdzenums. Grām. G. Kavacs (red.) *Latvijas daba: enciklopēdija*. 5. sēj. Rīga, Latvijas enciklopēdija, 66.-68. lpp.
15. Аболтыныш О. П. (1971) *Развитие долины реки Гауя*. Зинатне, Рига. с. 16-19.
16. Старовойтов А.В. (2008) *Интерпретация георадиолокационных данных*. Москва, Издательство МГУ.
17. Финкельштейн М.И., и др. (1994) *Подповерхностная радиолокация*. Москва, Радио и связь.

Nepublicētie materiāli

18. Envirotech, SIA. 2004. *GIS Latvija*. Sk. 14.05.2010. Pieejams: http://www.envirotech.lv/index.php?v=1&s1_id=396
19. Līcis, A. (2006) Strenču pieledāja baseina paleoģeogrāfiskā attīstība: bakalaura darbs. Rīga, LU Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte, Latvijas Universitāte.