

“Raunas Staburaga teritorijā esošo avotu ūdens plūsmas izmaiņu cēloņu izpēte”

ID Nr. RND 2020/19

Gala nodevums

Sagatavoja: LU, ĢZZF vadošie pētnieki:

Māris Krievāns

Normunds Stivriņš

Andis Kalvāns

Rīga, 2022

Saturs

Raunas pieguļošās teritorijas attīstība leduslaikmeta beigu posmā.....	3
Pētījumu teritorijas ģeoloģiskā uzbūve.....	5
Raunas Staburaga morfoloģija.....	13
Hidrogrāfiskais tīkls.....	16
Hidroģeoloģiskais urbums.....	20
Hidroģeoloģisko apstākļu raksturojums un to ietekme.....	23
1-dimensijas pazemes ūdens barošanās modelis.....	26
Raunas Staburaga attīstība pēdējo 14 500 gadu laikā.....	27
Secinājumi - kopsavilkums.....	31

Raunas pieguļošās teritorijas attīstība leduslaikmeta beigu posmā

Vēlā Vislas apledošanas laikā Fenoskandijas ledusvairogs savu maksimālo izplatību sasniedza pirms 26,5 un 19-20 tūkstošiem gadiem (Clark et al., 2009¹). Šajā laikā tika daļēji vai pilnībā iznīcināts Ziemeļeiropas, Centrāleiropas un Krievijas ziemeļu reģionu senais upju tīkls (Starkel, 2003²; Vandenberghe, Huisink, 2003³). Ledājs bloķēja daudzu upju noteci, kuras pirms tam plūda ziemeļu virzienā. Šajā laikā lielākā Centrāleiropas daļa atradās ilggadīga sasaluma joslā. Uzlabojoties klimatiskajiem apstākļiem un iestājoties Vēlā Vislas apledošanas degradācijas etapam, sākās strauja ledus kušana. Visos reģionos, ko bija klājis ledājs, vienlaicīgi ar tā izzušanu aizsākās jauna upju tīkla veidošanās un pārveidošanās (Starkel, 2003²).

Pētījumu teritorija atrodas pēdējā Fenoskandijas ledusvairoga perifēriālās segas iekšējā zonā (Āboltiņš, 1989⁴; Āboltiņš et al., 1988⁵; Straume, 1979⁶; Zelčs, Markots, 2004⁷; Zelčs et al., 2011⁸). Apskatāmās teritorijas ledāja veidotais reljefs sāka formēties pēdējā leduslaikmeta noslēguma posmā (Āboltiņš, 1989⁴). Ledāja malas atkāpšanos, kuru dažreiz, pārtrauca ledus lobu un mēļu aktivizācija, fiksē ledāja malas veidojumu joslas, no kurām vecākā, un tuvākā Raunas Staburagam ir ir Linkuvas josla (Zelčs et al., 2011⁸).

Tomēr hidrogrāfiskā tīkla (fluviālās sistēmas) attīstībā liela nozīme bija arī Valdemārpils deglaciācijas fāzei, kuras veidojumi atrodas ārpus pētījumu teritorijas, taču ledus malas novietojums šajā laikā sekmēja ledājūdeņu un ārpus ledāja noteces dambēšanos un Silciema un

¹ Clark, P.U., Dyke, A.S., Shakun, J.D., Carlson, A.E., Clark, J., Wohlfarth, B., Mitrovica, J.X., Hostetler, S.W., McCabe, A.M. 2009. The Last Glacial Maximum. *Science*, 325 (5941), pp. 710–714.

² Starkel, L. 2003. Palaeohydrology of Central Europe. In: Gregory, K.J., Benito, G. (eds.), *Palaeohydrology*. John Wiley & Sons, pp. 77-104.

³ Vandenberghe, J., Huisink, M. 2003. High-latitude Fluvial Morphology: The Example from the Usa River, Northern Russia. In: Gregory, K.J., Benito, G. (eds.), *Palaeohydrology*. John Wiley & Sons, pp. 49-58.

⁴ Āboltiņš, O. 1989. Glaciostruktūra i lhednikovij morfogenhez. *Zinātne, Rīga*, 286 s.

⁵ Āboltiņš, O., Zelčs, V. 1988. Litomorphogenesis of inner zone of ancient glacial region (investigations in Latvia). In: Purin, V. R., Zvejnieks, R. (eds.), *Ģeogrāfiskās domas attīstība Padomju Latvijā*. Rīga, Latvijas Valsts Universitāte, lpp. 103-126.

⁶ Straume, J. 1979. Geomorfologija. In: Misāns, J., Brangulis, A., Danilāns, I., Kuršs, V. (eds.), *Geologisches stroyenie i poleznye iskopyemye Latvii*. Zinātne, Rīga, s. 297-439.

⁷ Zelčs, V., Markots, A. 2004. Deglaciation history of Latvia. In: Ehlers, J., Gibbard, P. L. (eds.), *Extent and Chronology of Glaciations, v. 1 (Europe)*. Elsevier, pp. 225-244.

⁸ Zelčs, V., Markots, A., Nartišs, M., Saks, T. 2011. Chapter 18: Pleistocene Glaciations in Latvia. In: Ehlers, J., Gibbard, P.L., Hughes, P.D. (eds.), *Quaternary glaciations – extent and chronology. A closer look*. *Developments in Quaternary Sciences* 15, Elsevier, pp. 221-229.

Zemgales sprostēzēru veidošanās (Āboltiņš, 1989⁴; Āboltiņš et al., 1972a⁹,b¹⁰, 1974b¹¹, 1977¹²; Meirons et al., 1976¹³; Straume, 1979¹⁴; Savvaitovs, Veinbergs, 1996¹⁵; Zelčs, Markots, 2004⁷; Zelčs et al., 2011⁸). Līdz ar to Raunas Staburaga vecums nevar būt jaunāks par Valdemārpils deglaciācijas fāzi.

Upju ieleju tīkla attīstība dienvidaustrumu Baltijā (Lietuvā, Latvijā un Igaunijā) ir cieši saistīta ar Vēlās Vislas Fenoskandijas ledusvairoga deglaciācijas gaitu (Eberhards, Miidel, 1984¹⁶; Raukas et al., 1995¹⁷; Gaigalas, Dvareckas, 2000¹⁸). Teritorijas ģeoloģiskās uzbūves un ledāja radītās zemes virsmas topogrāfiskās atšķirības, kā arī paleoģeogrāfisko apstākļu straujas izmaiņas noteica to sarežģītu attīstību (Eberhards, 1979a¹⁹, 2013; Raukas, Eberhards, 1986²⁰). Latvijā upju ieleju veidošanās un mūsdienu gultnes procesu pētījumi, kā arī detaļa ģeomorfoloģiskā analīze veikta pagājušā gadsimta septiņdesmito gadu sākumā (Āboltiņš, 1971²¹; Eberhards, 1972a²²), bet

⁹ Āboltiņš, O., Veinbergs, I., Danilāns, I., Meirons, Z., Straume, J., Eberhards, G., Juškevičs, V., Jaunputniņš, A. 1972a. Osnovnije cherti lednikovogo morfogenheza i osobennostideglaciaciji poslhednego lhednikovogo pokrova na territoriji Latviji. Grām.: Putevoditelh polhevogo simpoziuma IV vsesojuznogo mezhved. soveshch. po izucheniju krayevih obrazovaniy materikovikh oledeneni. Zinatne, Rīga, s. 3–16.

¹⁰ Āboltiņš, O., Veinbergs, I., Stelle, V., Eberhards, G. 1972b. Main complexes of marginal formations andglacial retreat in the territory of Latvian SSR. In: Goretskiy, G.I., Pogulayev, D.I., Shick, S.M. (eds.), Krayevye obrazovaniya materikovikh oledeneni. Nauka, Moscow, s. 30–37

¹¹ Āboltiņš, O., Veinbergs, I., Eberhards, G. 1974b. O formirovanii predfrontalnykh vodnolednikovyykh basseynov i dolinno - rechnoy seti vo vremya deglyatsiatsii lednika poslednego oledeneniya na territorii Latviyskoy SSR. Predfrontalnyye krayevyye lednikovyye obrazovaniya. Vilnyus, Mintis, s. 60 - 80.

¹² Āboltiņš, O., Isachenkov, V., Karukjapp, R., Raukas, A., Faustova, M. 1977. Strojnihijeglavnihlhedorazdelnih zon. In: Chebotareva, N.S. (ed.-in-chief), The structure and dynamics of the last icesheet of Europe. Nauka, Moscow, s. 19–112.

¹³ Meirons, Z., Straume, J., Juškevičs, V. 1976. Osnovnyye raznovidnosti marginalnykh obrazovaniy i otstupaniye poslednego lednika na territorii Latvii. Grām.: Voprosi chetvertichnoy geologii, 9. Zinatne, Rīga, s. 50 – 73.

¹⁴ Straume, J. 1979. Geomorfologiya. In: Misāns, J., Brangulis, A., Danilāns, I., Kuršs, V. (eds.), Geologicheskoe strojenje i poleznye iskopayemye Latvii. Zinātne, Rīga, s. 297-439.

¹⁵ Savvaitovs, A., Veinbergs, I. 1996. Pēdējā ledāja dinamikas īpatnības Latvijas teritorijā dažādos tā attīstības etapos. In: Kuršs, V. (atb. red.), Latvijas devona un kvartāra nogulumu pētījumu materiāli: Zinātnisko rakstu krājums. LU, Rīga, lpp. 47-57.

¹⁶ Eberhards, G., Miidel, A. 1984. Main features of the development of river valleys in the East Baltic. Proceedings of the Academy of Sciences of the Estonian SSR. Geology, 33, pp. 136-145.

¹⁷ Raukas, A., Āboltiņš, O., Gaigalas, A. 1995. The Baltic States: Overview. In: Schirmer W. (ed.), INQUA 1995. Quaternary field trips in Central Europe. C-3 Baltic Traverse. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, Munchen, Germany, pp. 146-151.

¹⁸ Dvareckas, V. 2000. Development of the river valleys in Lithuania. Prace Geograficzne, zeszyt 105, pp. 321-328.

¹⁹ Eberhards, G. 1979a. Osnovnyye zakonomernosti dolinoobrazovaniya v Pribaltike. In: Istoriya razvitiya rechnykh dolin i problemy melioratsii zemel'. Evropeyskaya chast' SSSR. Nauka, Novosibirsk, s. 55-60.

²⁰ Raukas, A., Eberhards, G. 1986. The problems of palaeohydrological reconstructions in the area of the last glaciation on the example of the Soviet Baltic countries. In: INQUA Euro Siberian Subcommission for the study of the Holocene. IGCP Project 158-A: abstr. Belgium, pp. 11-12.

²¹ Āboltiņš, O. 1971. Razvitie dolini reki Gauja. Zinātne, Rīga, 105 s.

²² Eberhards, G. 1972a. Strojnie i razvitije dolin baseina reki Daugava. Zinātne, Rīga, 131 s.

vēlāk izdarīti šo pētījumu reģionālie vispārinājumi (Eberhards, 1979b²³, 2013²⁴). Minētais norāda uz nepamatoti mazu zinātnisku un praktisku interesi pēdējos divdesmit gadus par hidrogrāfiskā tīkla attīstības gaitu ne tikai pēdējā leduslaikmeta beigu posmā, bet arī par mūsdienās notiekošo aluviālo procesu dinamikas izziņāšanas nozīmīgumu mūsdienu klimata maiņas kontekstā. Līdz ar to arī pētījumu par saldūdens kaļķiežu veidošanos, kontekstā ar upju ieleju attīstību ir ļoti maz, kā arī tie ir veikti lielākoties pagājušā gadsimata sešdesmitajos un septiņdesmitajos gados.

Pētījumu teritorijas ģeoloģiskā uzbūve

Pētījumu teritorija atrodas Vidzemes vidienē. Tā izvietota dabas apstākļu, tajā skaitā kvartāra nogulumu izplatības un ģeomorfoloģiskā ziņā atšķirīgos fiziogēogrāfiskos apvidos vai to daļās - Vidzemes augstienes ziemeļu nogāzē, Mežoles paugurainē un tai pieguļošajā teritorijā (1. attēls). Vidzemes augstiene pēc ģenēzes pieder pie starplobu salveida akumulatīvi glaciostrukturālajām augstienēm (Āboltniņš, 1989²⁵, 1992²⁶, 1995²⁷; Āboltniņš et al., 1975²⁸; 1988²⁹), jeb starplobu izometriskajām augstienēm (Zelčs, 1993³⁰; Zelčs, Markots, 2004³¹). Teritorijai raksturīgs virsmas slīpums, kas krīt no DA uz Z-ZR no 228 līdz 47 m vjl. Reljefa kritums sakrīt ar pirmskvartāra kāpli. Kvartāra nogulumu un reljefa veidošanās Raunas ielejas apkārtnē cieši jāsaista ar Linkuvas ledāja oscilācijas fāzes deglaciācijas posmu un ledājkūšanas ūdeņu noteces veidošanos gar Veselavas gala morēnas valni. Neapšaubāmi, ka tagadējā upes augšteces posma veidošanās starp

²³ Eberhards, G. 1979b. Osnovnyye zakonomernosti formirovaniya dolinno-rechnoy seti oblasti poslednego Evropeyskogo oledeneniya. In: Biske, G.S. (ed.–in–chief), Paleogeografiya oblasti skandinavskikh materikovykh oledeneniya. Geograficheskoye obschestvo SSSR, Leningrad, s. 10-18.

²⁴ Eberhards, G. 2013. Upju ieleju veidošanās un mūsdienu gultnes procesi dienvidaustrumu Baltijā. Rīga, LU Akadēmiskais apgāds, 212 lpp.

²⁵ Āboltniņš, O. 1989. Glaciostruktura i lhednikovij morfogenhez. Zinātne, Rīga, 286 s.

²⁶ Āboltniņš, O. 1992. The Vidzeme highland. In: Āboltniņš, O., Eberhards, G., Zelčs, V. (ed.), Glaciotectonic processes, sediments, landforms and their influence on the present. Guidebook of the Baltic regional summer field meeting of geomorphologists and Quaternary geologists North and central Vidzeme, Latvia. LU, Rīga, pp. 48–69.

²⁷ Āboltniņš, O. 1995. Vidzeme Highland. In: Schirmer, W. (ed.), INQUA 1995. Quaternary field trips in Central Europe, 1. C–3 Baltic Traverse. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, Munchen, pp. 159 - 160.

²⁸ Āboltniņš, O., Straume, J., Juškevičs, V. 1975. Osobennosti reljefa i osnovnije etapi morfogenheza Centralhno – Vidzemskoivozvisshennosti. Grām.: Voprosi chetvertichnoy geologii, 8. Zvaigzne, Rīga, s. 31–47.

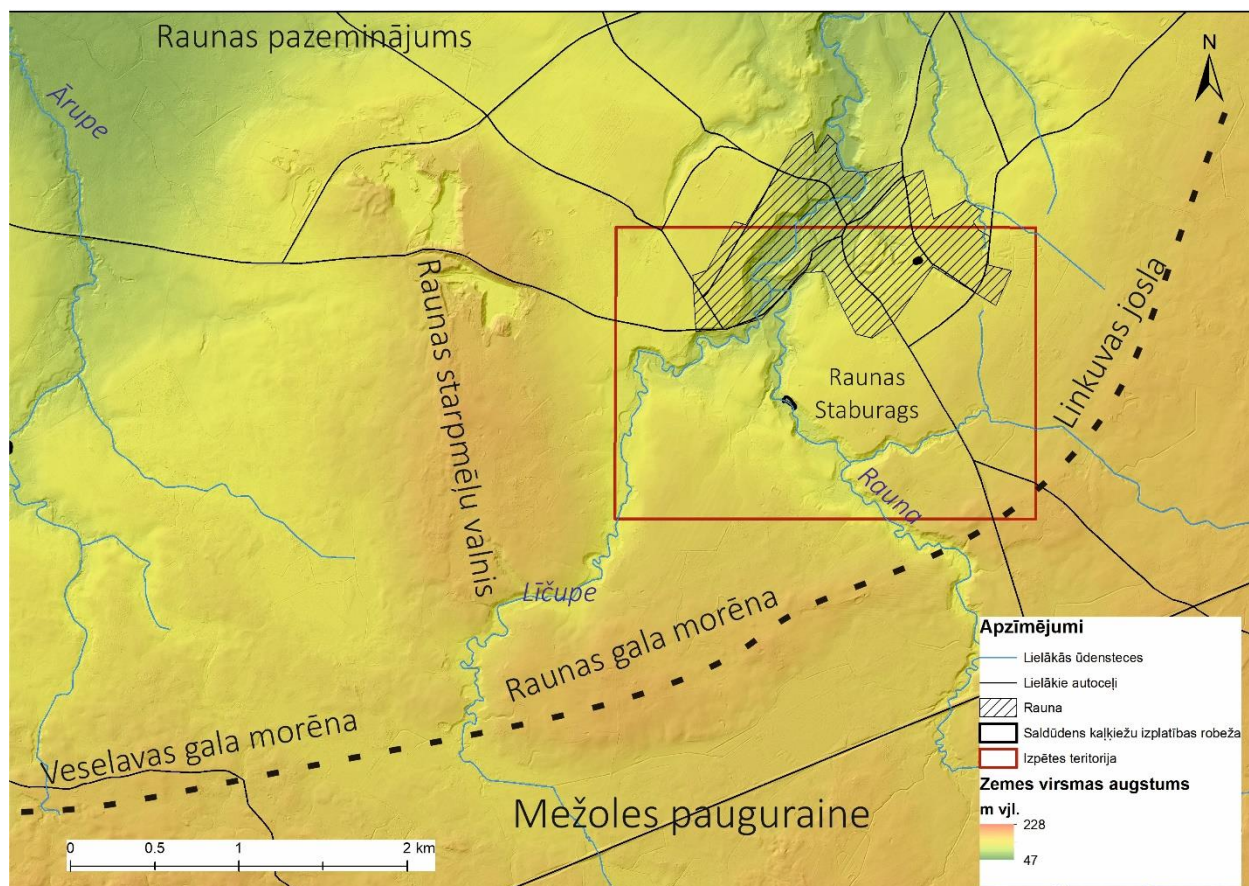
²⁹ Āboltniņš, O., Aseyev, A., Vonsavičus, V., Isačenko, I., Mozhajev, B., Raukas, A. 1988. Ostrovnije vozvisshennosti kak osonim obrazom organhizovannije geologicheskiye objekti. AN ESSR, Tallin, 56 s.

³⁰ Zelčs, V. 1993. Glaciotectonic landforms of divergent type glaciodepressional lowland. Dissertation work synthesis. University of Latvia, Riga, pp. 41-71.

³¹ Zelčs, V., Markots, A. 2004. Deglaciation history of Latvia. In: Ehlers, J., Gibbard, P. L. (eds.), Extent and Chronology of Glaciations, v. 1 (Europe). Elsevier, pp. 225-244.

apdzīvotām vietām Apši un Kauliņi uz ZR no Raunaiša ezera aizsākās jau ledāja Gulbenes fāzes deglaciācijas laikā (Āboltiņš et al. 1972³²).

Vidzemes augstienes malu un nosacīto pētījumu teritorijas robežjoslu veido Raunas gala morēna, kas virzienā uz R–DR turpinās kā Veselavas gala morēna (Āboltiņš, 1989³³, 1995³⁴). Tomēr jāņem vērā, ka Veselavas un Raunas galamorēnas ir veidojušās vienā laikā, un abas reljefa formas nodala, vēlāk veidojusies, Līčupes ieleja.



1. attēls. Raunai pieguļošās teritorijas lielākās reljefa mezoforamas.

Veselavas gala morēna ir viena no pazīstamākajām ledāja malas veidojumu grēdām Latvijā (1.attēls). Minētais faktors un arī savulaik ievērojamais atsegumu skaits Līčupes un Rauņa ielejas pamatkrastos un tām blakusesošajos smilts – grants karjeros sekmēja šīs gala morēnas iekšējās

³² Āboltiņš, O., Veinbergs, I., Danilāns, I., Meirons, Z., Straume, J., Eberhards, G., Juškevičs, V., Jaunputniņš, A. 1972. Osnovnije čerti lednhikovogo morfogenheza i osobennostideglhaciaciji poslhednego lhednikovogo pokrova na territoriji Latviji. Grām.: Putevoditelh polhevogo simpoziuma IV vsesojuznogo mezhved. soveshch. po izucheniju krayevih obrazovaniy materikovikh oledeneni. Zinatne, Riga, s. 3–16.

³³ Āboltiņš, O., 1989. Glāciostruktura i lednikovij morfogenez. Zinatne, Riga, 284 s.

³⁴ Āboltiņš, O. 1995. Vidzeme Highland. In: Schirmer, W. (ed.), INQUA 1995. Quaternary field trips in Central Europe, 1. C–3 Baltic Traverse. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, Munchen, pp. 159 - 160.

uzbūves un veidošanās apstākļu izpēti tās rietumu daļā (Āboltniš, 1972³⁵, 1975³⁶, 1989³⁷, 1998³⁸). Tajā pašā laikā informācija par šīs reljefa formas vidusdaļu balstās tikai uz atsevišķu urbumu datiem. Lai gūtu pilnīgāku ieskatu par gala morēnas uzbūvi un veidošanās apstākļiem Silenieku un Lībiešu karjeru atsegumos 2014. gadā tika veikti jauni iekšējās uzbūves pētījumi, kuros izmantotas struktūrģeoloģijas metodes un nogulumu OSL vecuma noteikšana, kā arī pielietotas ĢIS metodes ledāja malas veidojumu morfoloģijas un izvietojuma precizēšanai (Zelčs et al., 2014³⁹)

Gala morēna stiepjas 750 m līdz 1200 m platas, gandrīz 7,5 km garas, lēzeni izlocītas grēdas veidā starp Rauņa un Līčupes ieleju. Gala morēna ir daļa no Linkuvas (Ziemeļlietuvas) oscilācijas fāzes ledāja malas veidojumu joslas (Āboltniš et al., 1972⁴⁰, 1975⁴¹; Meirons et al., 1976; Zelčs et al., 2011), kas sniedzas gandrīz 25 km garumā rietumu-austrumu virzienā, gar Vidzemes augstienes ziemeļu pakāji starp Gaujas senieleju un Līčupes ieleju.

Šīs joslas austrumu spārns saslēdzas ar Raunas starpmēļu masīvu (1. attēls) un tālāk turpinās kā Raunas gala morēna (Āboltniš, 1972³⁵, 1998³⁸). No dienvidos esošā Gulbenes (Viduslietuvas) oscilācijas fāzes orientētā margiņālo paugurgrēdu reljefa (Meirons et al., 1976⁴²; Zelčs et al., 2011⁴³) to šķir ledājūdeņu margiņālās noteces ieleju un sprostezeru ieplaku virkne, kuru mūsdienās aizņem Zīparu leja, Augšvaives-Rīdzeņupītes, Dzirnupes-Gūžupes un Līču grāvja pazeminājumi. Galamorēnu virsmā izdalās subparalēli un paralēli, zemi vaļņi un ieplakas, kuru garenasis sakrīt ar

³⁵ Āboltniš, O., 1972. Maršrut: Cesis – Veselava – Taurene – oz. Alauksts – oz. Zobols – Skujene – Nitaure – Līgatne – Sīgulda – Rīga. In Danilāns, I., Āboltniš, O. (red.), Putevoditel' poľevogo simpoziuma IV Vsesojuznogo soveščanija po izučeniju krajevnykh obrazovanij materikovogo oledeneniija. LGU im. P. Stučki, Rīga, s. 47-59.

³⁶ Āboltniš, O., 1975. Glaciodinamičeskije osobennosti formirovaniija vozvyššennostej Latvii. In Danilans, I. (ed.), Problems of Quaternary geology, 8. Zinātne, Rīga, pp. 5-23.

³⁷ Āboltniš, O., 1989. Glaciostruktura i lednikovyj morfogenez. Zinatne, Rīga, 284 s

³⁸ Āboltniš, O., 1998. End moraine at Veselava. In Zelčs, V. (ed.), Field Symposium in Glacial Processes and Quaternary Environment in Latvia. Rīga, 25-31 May 1998: Excursion Guide. University of Latvia, Rīga, pp. 64-66.

³⁹ Zelčs, V., Krievāns, M., Strautnieks, I. 2014. Veselavas gala morēna. Latvijas Universitātes 72. zinātniskā konference. Ģeogrāfija, ģeoloģija, Vides zinātne. Referātu tēzes. Latvijas Universitāte, Rīga, lpp. 293.–295.

⁴⁰ Āboltniš, O. P., Veinbergs, I. G., Stelle, V. J., Eberhards, G. J., 1972. Osnovnije kompleksi margiņalnih obrazovanij i otstupanije lednika na territorii Latviiskoj SSR. In: Goretskij, G. I., Poguļajev, D. I., Shick, S. M. (eds.), Krayevyje obrazovanija materikovyx oledeneniij. Nauka, Moskva, s. 30-37.

⁴¹ Āboltniš, O., Straume, J., Juškevičs, V., 1975. Relief peculiarities and main stages of morphogenesis of Central Vidzeme Upland. In Danilāns, I. (ed.), Problems of Quaternary Geology, 8, Zinātne, Rīga, pp. 31-47 (krievu val.).

⁴² Meirons, Z., Straume, J., Juškevičs, V., 1976. Main varieties of the marginal formations and Deglaciation of the Last glaciation in the territory of the Latvian SSR. In Danilāns, I. (ed.), Problems of Quaternary Geology, 9, Rīga, Zinātne, pp. 50-73 (krievu val., ar angļu kopsavilkumu).

⁴³ Zelčs, V., Markots, A., Nartišs, M., Saks, T., 2011. Pleistocene Glaciations in Latvia. In J. Ehlers, P.L. Gibbard and P.D. Hughes (eds), Developments in Quaternary Science, 15, Amsterdam, The Netherlands, pp. 221-229.

gala morēngrēdas vērsumu. Grēdu nogāzes ir asimetriskas, ar atšķirīgu relatīvo augstumu, lielākoties to distālā nogāze ir īsāka un stāvāka (Zelčs et al., 2014⁴⁴).

Veselavas un Raunas galamorēnās pirmskvartāra nogulumiežus pārsedz 30-40 m bieza pleistocēna nogulumu sega. Dārzupes apraktajā ielejā pleistocēna nogulumu biezums ir līdz 100 m, bet Rauņa paleoecera virzienā nogulumu biezums samazinās līdz 10-20 m. Gala morēnas grēdu veido augšpleistocēna nogulumi. Vecākie no tiem ir smalkgraudainas ar vidējgraudainas smilts un aleirīta nogulumi, kuru vecums (59 ± 10 ka, paraugs Veselava 02, Hel-TL04178), atbilst Lejasciema interstadiālam (Zelčs et al., 2011⁴⁴). Tie veido gala morēnas grēdas pamatni; nereti ir glaciotektoniski deformēti izspieduma krokās, ierauti zvīņveida uzbīdījumu bazālajā daļā vai veido ievilkuma tekstūras morēnā, bet atsevišķos gadījumos satur atūdeņošanās (gravitācijas plūsmas) struktūras. Dažās vietās smilts nogulumu kontaktvirsnā ar pārsedzošo smilšainas grants un oļu slāņkopu ir saglabājušās erozijas pēdas. Smilšainas grants un oļu slāņkopā ir novērojamas bīdes zonas ar saberztiem dolomītiem un sašķeltiem oļiem. Lielākajā daļā smilšainas grants un oļu slāņkopa atsedzas grēdas muguras daļā vai arī to klāj relatīvi plāna, pārskalotas morēnas nogulumu kārtā. Morēnas nogulumu īpatsvars grēdas uzbūvē pieaug proksimālā virzienā.

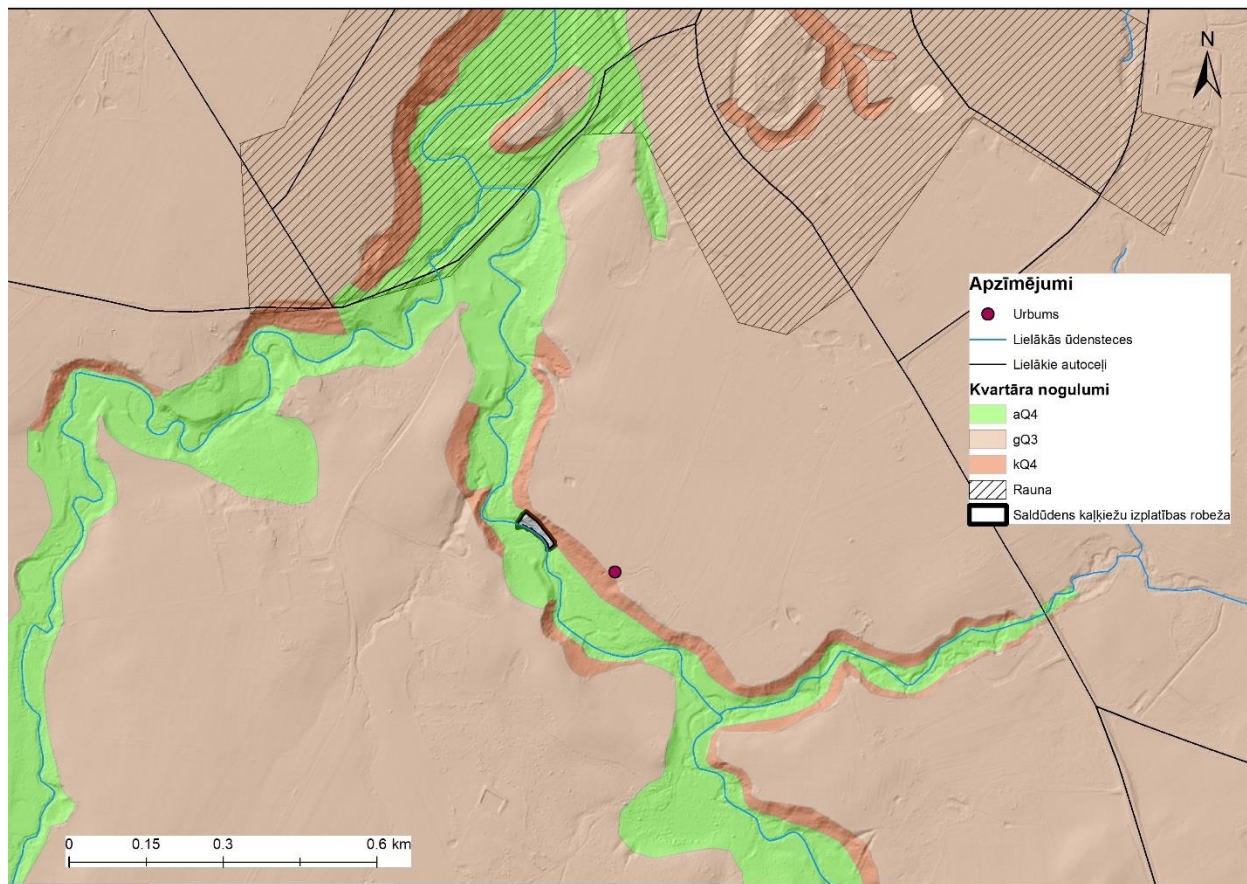
Pētījuma teritorijā kvartāra nogulumu segas uzbūve ir neviendabīga, Raunas ielejas tuvumā fragmentēta. Tā kā aprakstāmā teritorija atradās ledāja vairoga nogāzē - zonā ar intensīvu ledāja kustību un eksarācijas procesu pārsvaru, tad tās lielākajā daļā izveidojās plāna nogulumu sega un relatīvi līdzens reljefs, kurā nereti atspoguļojas zemkvartāra virsmas reljefa elementi. Lielākajai teritorijas daļai raksturīgi morēnas nogulumi (2. attēls), to biezums mainās no 0,9-1,5 m līdz par 6-8 m. Morēnas slāņkopas un izveidošanās jeb uzkrāšanās notika vēlā Vislas apledošanas ledāja gultnē, tam uzvirzoties Raunas apkārtnē. Mežoles pauguraines ziemeļu daļā sastopamā morēna ir mālaina, brūnā, sarkanbrūnā vai pelēkbrūnā krāsā⁴⁵. Visbiežāk ir sastopama morēnas mālsmilts ar oļiem un laukakmeņiem, bet vietām, kur morēna ir mālaināka, ar lielāku māla frakciju īpatsvaru, ir novērojams morēnas smilšmāls.

Veselavas un Raunas gala morēnā ar lielāku morēnas slāņkopas kopējo biezumu ir izsekojami vairāki morēnas slāņi, gan ar līdzīgu, gan arī ar atšķirīgu granulometrisku sastāvu. Morēnas mālsmilts slāņi mijas ar morēnas smilšmāla slāņiem, kurus vietām atdala smilts un aleirīta

⁴⁴ Zelčs, V., Krievāns, M., Strautnieks, I. 2014. Veselavas gala morēna. Latvijas Universitātes 72. zinātniskā konference. Ģeogrāfija, ģeoloģija, Vides zinātne. Referātu tēzes. Latvijas Universitāte, Rīga, lpp. 293.–295.

⁴⁵ Juškevičs, V. 2000a. Kvartāra nogulumi. Krāj. Āboltiņš, O, Kuršs, V. (red.), Latvijas ģeoloģiskā karte, Mērogs 1:200 000, 43. lapa – Rīga, 53. lapa – Ainaži; paskaidrojuma teksts un kartes. VĢD, Rīga, lpp. 10-31

starpslāņi⁴⁶. Dažviet starp morēnas slāņiem ir redzams rupju oļu un laukakmeņu bruģis, kas izveidojies bīdes jeb kontaktzonā starp diviem morēnas slāņiem. Nereti morēnas slāņkopā ir novērojamas, ledāja spiediena rezultātā izveidojušās kroku deformācijas⁴⁷. Morēnas slāņi viens no otra atšķiras arī ar erātisko laukakmeņu daudzumu un to izmēriem. Laukakmeņu koncentrācijas izsekojamas Raunas ielejā, upes gultnē un arī erozijas un cokolterašu virsmās, kur ūdens straumes ir aizskalojušas morēnas sīkākās frakcijas.



2. attēls. Raunas Staburagam pieguļošās teritorijas kvartāra nogulumu karte. Apzīmējumi: aQ4 – holocēna aluviālie nogulumi; kQ4 – holocēna koluviālie nogulumi gQ3 – augšpleistocēna glacigēnie nogulumi.

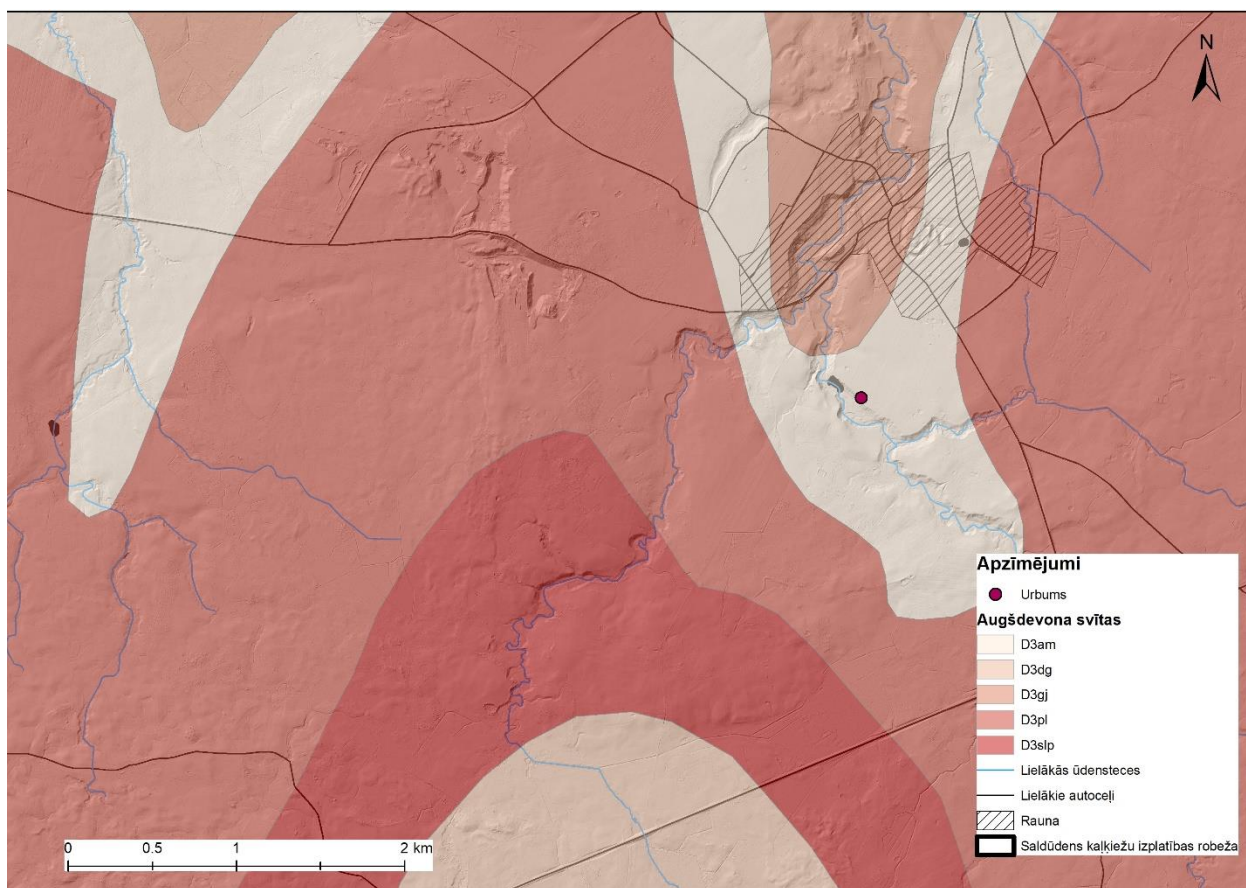
Raunas ciemam pieguļošajos viegli viļņoto līdzenumu teritorijā morēnas biezums ir mazāks un tā uzguļ tieši dolomītiem. Morēnas slāņa apakšējo daļu tieši virs kontakta ar dolomītiem, veido lokālmorēna. Karbonātisko iežu atlūzu ievērojams daudzums morēnu padara karbonātisku, kam,

⁴⁶ Zelčs, V., Krievāns, M., Strautnieks, I. 2014. Veselavas gala morēna. Latvijas Universitātes 72. zinātniskā konference. Ģeogrāfija, ģeoloģija, Vides zinātne. Referātu tēzes. Latvijas Universitāte, Rīga, lpp. 293.–295.

⁴⁷ Āboltiņš, O., 1989. Glaciostruktura i lednikovj morfogenez. Zinatne, Rīga, 284 s.

visticamāk, var būt liela nozīme saldūdens kaļķiežu veidošanā. Uz stāvākajām upju ieleju nogāzēm un lielākajās gravās uzkrājušies koluviālie nogulumu⁴⁸ (2. attēls), kurus veido pārskalots morēnas un lokālmorēnas materiāls, nogulumu, pārvietojoties lejup pa nogāzi, ir stipri pārjaukti un lielu organikas daudzumu.

Zem kvartāra nogulumu paguļ augšdevona nogulumu, Raunas apkārtnē sastopamas piecas svītas (3. attēls): Gaujas (D3gj), Amatas (D3am), Pļaviņu (D3pl), Salaspils (D3slp) un Daugavas (D3dg). Augšdevona Gaujas un Amatas svīta – smilšakmeņi, aleirolīti, māli un aleirītiski māli izplatīti tikai dziļākajās upju ielejas daļās, piemēram Ārupes ielejā un leļpus Raunas Staburagam. Toties, Gaujas un tās pieteku krastos vērojami krāšņi Gaujas smilšakmeņu atsegumi.



3. attēls. Raunas apkārtnes pamatiežu karte.

Šo svītu terīgēnās nogulas uzkrājās seklu jūru piekrastē, kurai bija raksturīgs neliels ūdens sāļums, aktīva dažāda virziena straumju un viļņu darbība. Nogulas varēja uzkrāties arī upju

⁴⁸ Juškevičs, V. 2000b. Kvartāra nogulumu karte. Krāj. Āboltiņš, O, Kuršs, V. (red.), Latvijas ģeoloģiskā karte, Mērogs 1:200 000, 43. lapa – Rīga, 53. lapa – Ainaži; paskaidrojuma teksts un kartes. VĢD, Rīga, 68 lpp. t., 2 k.

deltās⁴⁹. Kopējais abu svītu biezums mainās no 85 līdz 162 m⁵⁰. Gaujas svītā sastopami unikāli zivju pārakmeņojumi, tā iedalās divās ridās. Apakšējo – Sietiņu ridu veido smilšakmeņi, bet augšējā – Lodes rida sastāv no māliem, aleirolītiem un smilšakmeņiem.

Amatas svītu veido zaļganpelēki smilšakmeņi. Amatas svītā Staburaga apkārtnē dominē smalkgraudaini smilšakmeņi ar karbonātu cementu. Svītas augšdaļā pie kontakta ar pārsedzošajiem Pļaviņu svītas dolomītiem ir izplatīti kunkuļaini lodīšu smilšakmeņi. Tie ir sastopami arī Raunas upes gultnes kreisajā krastā zem 1. virspalu terases grants-oļu slāņkopas pārdesmit metrus augšpus Raunas Staburagam. Jāpiezīmē, ka Amatas svītas zaļganpelēkie smilšakmeņi atsedzas Raunas kreisajā pamatkrastā aptuveni 150 m lejpus pašam Raunas Staburagam.

Vīrs Amatas svītas uzguļ Pļaviņu svītas karbonātiskie nogulumu – dolomīti ar domerītu, smilšakmeņu, aleirolītu un mālu starpkārtām atbilst jaunam jūras transgresijas ciklam. Pēc iežu sastāva, organismu kompleksa atšķirībām un griezuma uzbūves īpatnībām Pļaviņu svītu iedala 4 pasvītās. Pirmo (apakšējā) pasvītu veido domerīti, māli, smilšakmeņi un dolomīti. Pārējās 3 pasvītas sastāv galvenokārt no dolomītiem, domerīti ir mazāk sastopami. Raunas Staburaga apkārtnē Pļaviņu svīta veido dažus metrus biezu dolomītu slāņkopu. To pārsvarā veido 10-20 cm biezas dolomīta plāksnes. Pļaviņu svītas augšdaļā kontaktā ar pārsedzošajiem kvartāra nogulumiem, dolomīti ir ļoti plaisaini. Dolomītu slāņkopas virsējā daļa ir šķembaina un vairāk sadēdējusi, turklāt arī daudz dolomīta šķembu ir pārsedzošajā morēnas slānī.

Salaspils svīta pētījuma teritorijā izplatīta DR daļā no Raunas Staburaga (3. attēls) un tā sastāv no karbonātiskiem nogulumiem – dolomītiem, domerītiem, māliem un ģipšiem. Atšķirībā no senākiem (Pļaviņu) iežiem tie ir veidojušies seklā jūrā un lagūnās baseina regresijas posmā, kad tika traucēta normāla sāļuma ūdens pieplūde. Daugavas svīta – dolomītu, domerītu un mālu slāņmija izplatīta tikai uz pētījuma teritorijas dienvidos (3. attēls). Daugavas slāņkopu parasti iedala trīs daļās, kuras nedaudz atšķiras pēc iežu sastāva un organismu atliekām. Apakšējo daļu veido dolomīti ar domerītu starpslāņiem, vidējo – domerītu, mālu un dolomītu slāņmija, bet augšējā dominē dolomīti⁵¹.

⁴⁹ Kuršs V. 1992. Devonskoe terrigennoe osadkonakoplenie na Glavnom devonskom pole. Rīga, «Zinatne», 106 s.

⁵⁰ Brangulis A., Kuršs V., Misāns J., Stinkulis Ģ. 1998. Latvijas ģeoloģija. 1:500 000 mēroga ģeoloģiskā karte un pirmskvartāra nogulumu apraksts. Rīga, Valsts ģeoloģijas dienests, 70 lpp.

⁵¹ Brangulis, A.J. 2000. Pirmskvartāra nogulumu. Latvijas ģeoloģiskā karte, mērogs 1: 200 000, 43. lapa – Rīga, 53. lapa – Ainaži, paskaidrojuma teksts un kartes. Valsts ģeoloģijas dienests, Rīga, lpp. 5 - 10

Mūsdienu reljefa slīpā virsma, kas no krīt no DA uz Z-ZR, sakrīt ar kāpli pamatiežu virsmā. Zemkvartāra virsmas augstums samazinās no 120 līdz 60 m vjl. Kāple zemkvartāra virsmā ir arī litoloģiskā robeža starp terigēnajiem iežiem, galvenokārt, smilšakmeņiem uz ziemeļiem no Raunas pazeminājuma un karbonātiežiem – pārsvarā dolomītiem, uz dienvidiem no tā. Kāples izveidošanās ir izskaidrojama ar smilšakmeņu un dolomītu atšķirīgajām īpašībām, to noturību attiecībā pret kvartāra perioda, pleistocēna segledāju mēļu dinamisko ietekmi – eroziju (eksarāciju), glaciotektonisko ietekmi un arī ūdens eroziju leduslaikmeta beigās un pēclepuslaikmetā. Smilšakmeņi un aleirolīti ir vāji cementēti un vieglāk erodējami ieži, bet karbonātieži ir kompaktāki – klinšaini ieži ar daudz lielāku mehānisko izturību, tāpēc dolomītu atsegumos veidojas vertikālas kraujas.

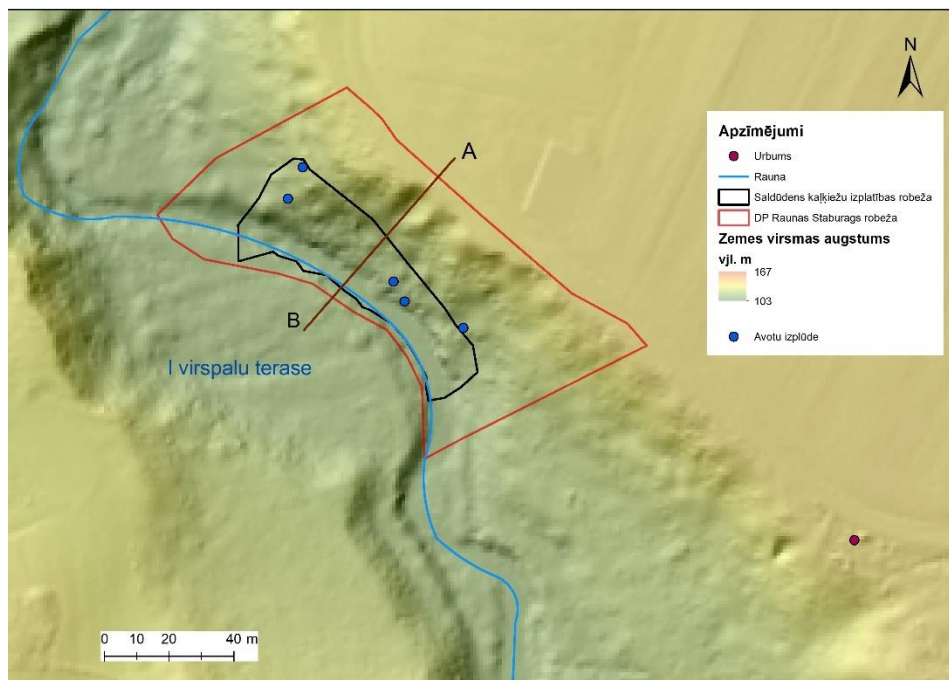
Kāples malas joslā dolomītos ir raksturīga ievērojami lielāka plaisainība, kas ir izveidojusies ledāju spiediena un bīdes kustību ietekmē⁵². Plašākās plaisas leduslaikmeta beigās izmantoja ledājkūšanas ūdeņu straumes, veidojot ledājkūšanas ūdeņu noteces ielejas. Ievērojamā virsmas augstuma starpību dēļ izveidojās 15–30 m dziļi ielejveida iegrauzumi. Leduslaikmeta beigās izveidotos ielejveida iegrauzumus manto mūsdienu ūdensteces – Rauna, Līčupe, Raunis u.c., kuras ir izvietojušās dziļos virsmas iegrauzumos. Atsevišķos posmos upēm ir kanjonveida ielejās (Vaive), kur pamatkrastu kraujās atsedzas senie – pirmskvartāra ieži. Pirmskvartāra jeb pamatiežu atsegumi ir novērojami tikai vietām, pārsvarā dziļāko ieleju pamatkrastu apakšdaļā un vidusdaļā.

⁵² Āboltiņš, O., 1989. Glaciostruktūra i lednikovyj morfogenez. Zinatne, Riga, 284 s.

Raunas Staburaga morfoloģija

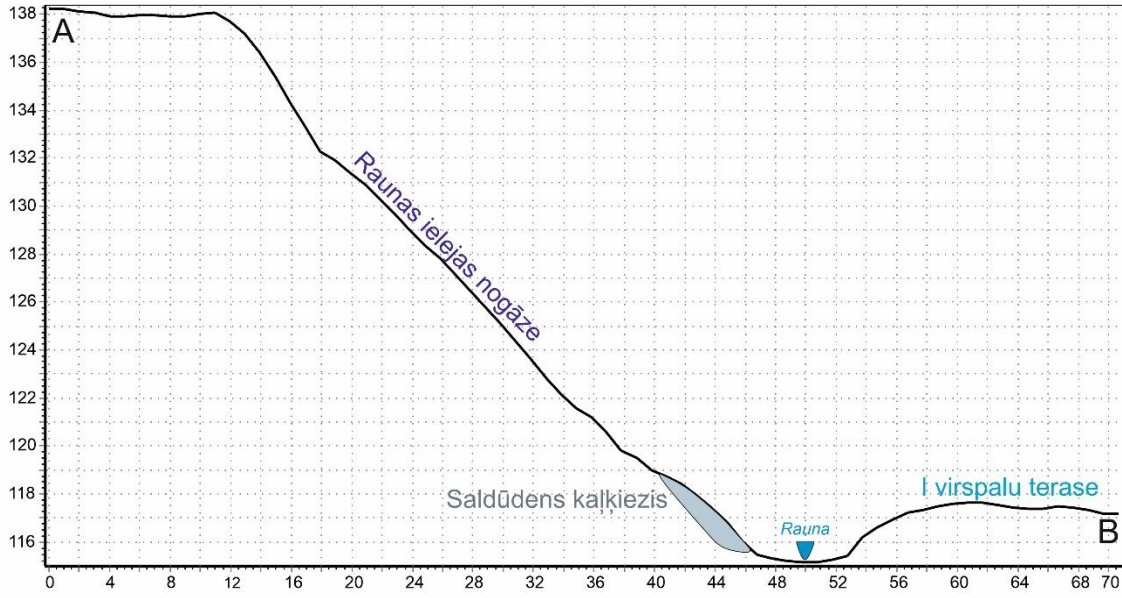
Ģeoloģiskais un ģeomorfoloģiskais dabas piemineklis “Raunas Staburags” atrodas Raunas novadā, Raunas pagastā aptuveni 0,7 km uz dienvidiem no apdzīvotās vietas Rauna. Dabas piemineklis ir novietots Raunas upes labajā pamatkrastā. Raunas Staburags atrodas īpaši aizsargājamās dabas teritorijā - dabas liegumā “Raunas Staburags” (dibināts 1987. gadā, kods LV0503300), vienlaikus arī Natura 2000 teritorijā. Tas ir izvietots Vidzemes augstienes Mežoles paugurainē.

Raunas Staburags ir Raunas ielejas labā pamatkrasta nogāzes vidusdaļā un piekāvē izveidojusies blīva saldūdens kaļķiežu (šūnakmens) iegula. Tās garums ir 82 m, augstums virs upes līmeņa variē no 1,5 m līdz pat 9 m, starp nogāzi un upi iegulas platums variē no 10 līdz 25 m (4. attēls). Kaļķiežu atradnes daļā, kas ir vērsta uz upi, izsekojama, 34 m gara (5. attēls), kāpļveidīga krauja, tās izteiksmīgākajā daļā kraujas augstums sasniedz 3,7 m un garums 17 m.



4. attēls. Raunas ielejas daļa, ar pakājē esošo saldūdens kaļķieža iegulu.

Gar upi visā atradnes garumā izsekojami pārtraukti kāpļveida atsegumi (kraujas) (6. attēls un 7. attēls). Raunas Staburags pieskaitāms pie retiem avotkaļķu iegulu tipiem – krauju iegulām. Pēc Staburaga appludināšanas līdzīga veida kaļķiežu kraujas ar pāri plūstošiem avotiem, bez Raunas Staburaga Latvijā vairs nav.



Attālums no profila sākuma - profils sākas 11 m pieguļošajā teritorijā

5. **attēls.** Raunas ielejas šķēršprofila daļa, ar pakājē esošo saldūdens kaļķieža iegulu.

Raunas Staburags veidojies izplūstot avotiem, kuru ūdens satur lielu daudzumu kalcija hidroģēnkarbonātu. Pazemes ūdeņiem atslogojoties avotu veidā, mainās arī ūdens hidroķīmiskie apstākļi, kā rezultātā notiek saldūdens kaļķiežu nogulsnešanās. No ūdens izgulsnētais kalcija karbonāts, lēnām uzkrājas un litificējoties veido saldūdens kaļķiezi. Kopumā atradnes teritorijā konstatēti pieci nelieli avoti, kuru ūdeņi piesātināti ar kalcija hidroģēnkarbonātu (4. attēls).

Atradnes kraujās atsedzas masīvs, slāņains, dzeltenpelēks un pelēkbalts porains saldūdens kaļķiezis. Tas ir labi konsolidēts, avotos sastopams samērā neliels nekonsolidēta kaļķieža daudzums. Atseguma centrālajā daļā redzams sens noslīdenis. Saldūdens kaļķiežu kraujas raksturīgākajā daļā redzama līdz 1 m augsta, no 0,7 līdz 2 m plata un 1,3 m dziļa niša (6. attēls). Visticamāk, ka tā nav veidojusies mūsdienās saldūdens kaļķiežu šķīšanas rezultātā, bet laikā kad Raunas pirmā virspalu terase vēl bija paliene un niša izveidojās upes sānu un ledus erozijas rezultātā. Upes gultnei iegrauzoties līdz mūsdienu līmenim, redzams, ka kraujas piekājē nedaudz virs ūdens līmeņa veidojas jauna erozijas niša.



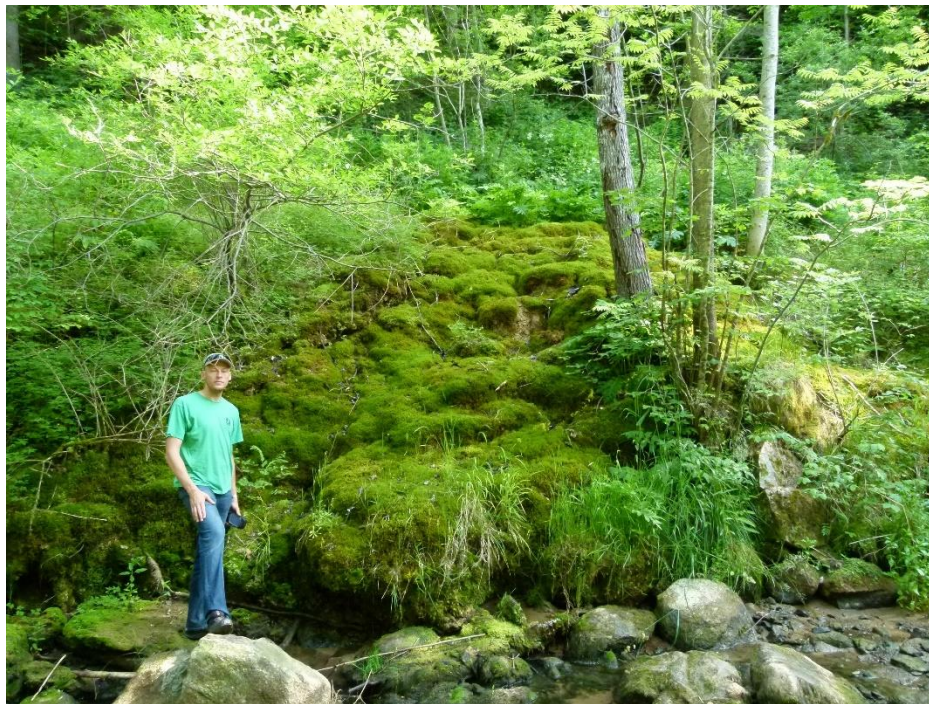
6. attēls. Raunas Staburaga izteiksmīgākā kraujas daļa, centrā redzama niša (latas augstums 4 m).

Pēc literatūras datiem saldūdens kaļķieži sākuši veidoties aptuveni pirms 8000 gadiem un to veidošanās turpinās arī mūsdienās (izvērstāku apskats sniegts nodaļā “Raunas Staburaga attīstība pēdējo 14 500 gadu laikā”). Saldūdens kaļķiežu iegula un krauja atrodas mežainā apvidū. Raunas Staburagu klāj sūnas, nelieli krūmi un atsevišķi koki. Izteiksmīgākā kraujas daļa ir labi saskatāma no upes pretējā krasta.



7. attēls. Saldūdens kaļķiežu iegula izvietojusies uz upes pamatkrasta nogāzes, vietām tai kāpļveidīga forma.

Apkārtņē nav ainavu bojājošu elementu. Apsaugums ar krūmiem un kokiem pakāpeniski samazina saldūdens kaļķiežu atseguma platību. Cilvēku kāpelēšana un staigāšana pa Staburaga virsmu var noplicināt uz tā augošās sūnas, tādējādi tiktu veicināta arī paša kaļķiežu atseguma erozija. Raunas Staburaga ziemeļrietumu, nedaudz arī dienvidaustrumu daļa ir apaugusi ar krūmiem un nelieliem kokiem, tādējādi lielākā daļa no saldūdens kaļķiežu iegulas nav redzama (8. attēls). Saldūdens kaļķieža iegula turpinās aptuveni 25-30 m garā posmā uz ziemeļrietumiem no kraujas izteiksmīgākās daļas.

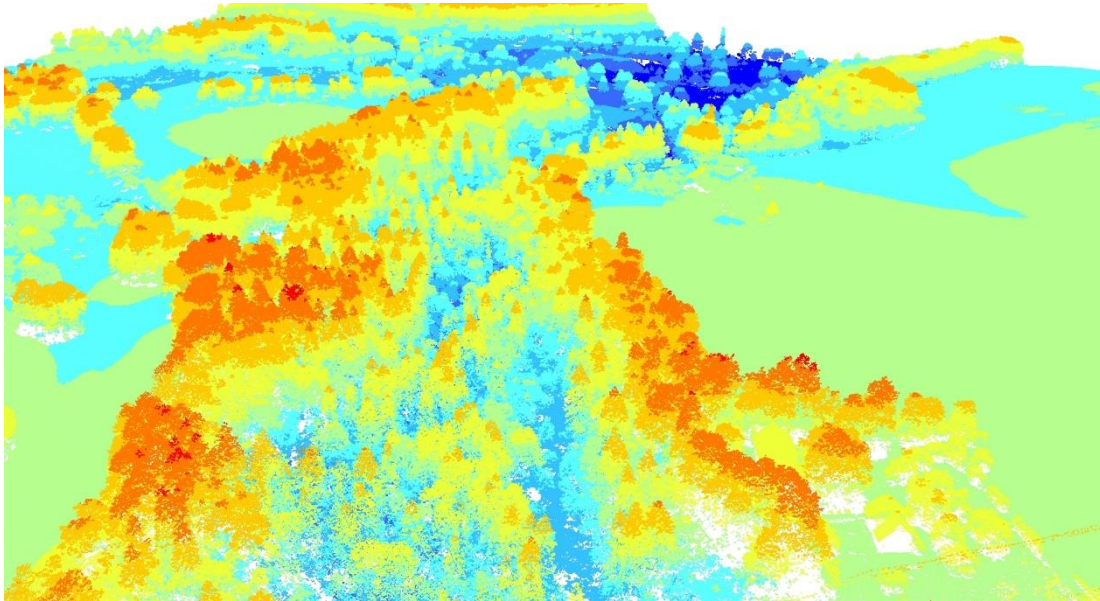


8. attēls. Saldūdens kaļķieža ziemeļrietumu daļu klāj koki, krūmi un sūnas.

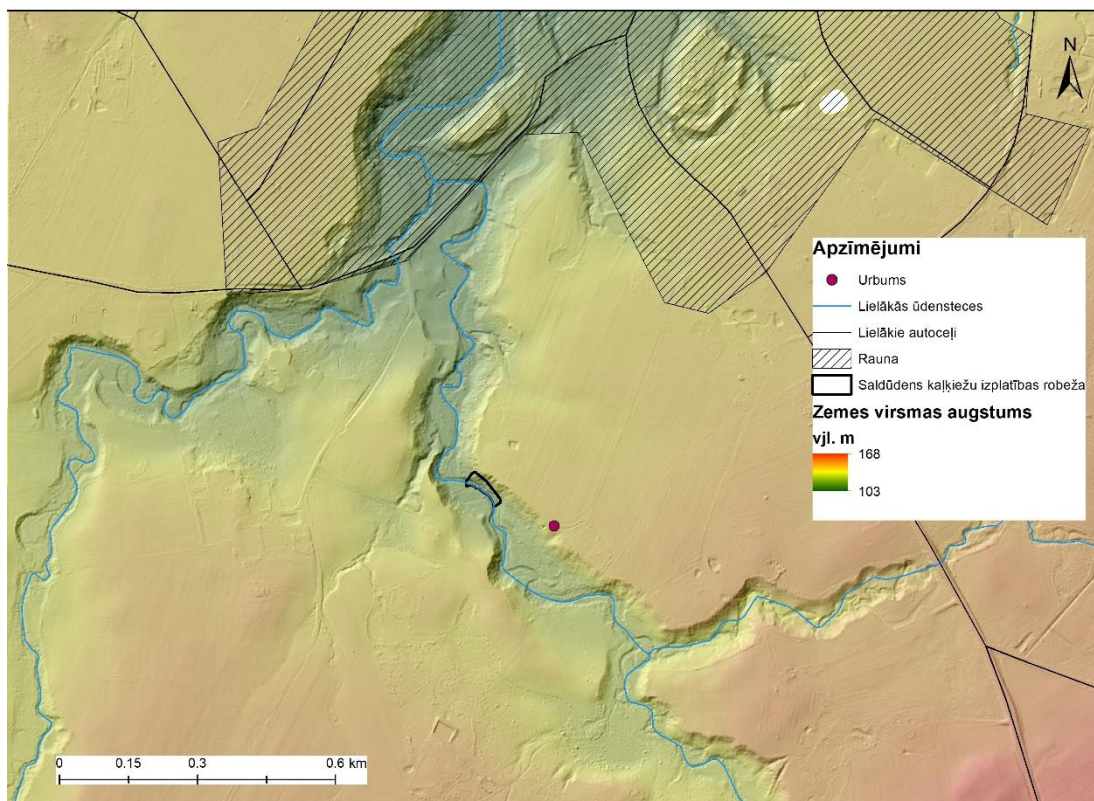
Hidrogrāfiskais tīkls

Pārskata sniegšanai izmantoti aerolāzerskenēšanas ceļā iegūtie punktu mākoņu (LiDAR) dati, ko Latvijas Ģeotelpiskās informācijas aģentūra ieguvusi 2019. gadā veiktajos aerolāzerskenēšanas darbos. LiDAR punktu mākoņi (9. attēls) publicēti kā brīvpieejas dati aģentūras mājaslapā (<https://www.lgia.gov.lv/>). Digitālā zemes virsmas modeļa izveidē izmantotas 4342-25-11, 4342-25-12, 4342-25-13, 4342-15-51, 4342-15-52, 4342-15-53, 4342-15-41, 4342-15-42 un 4342-15-43 LAS karšu lapas. No šiem datiem izveidots zemes virsmas reljefa modelis ar izšķirtspēju 1x1 m un veikta hidroloģiskā modelēšana, izmantojot ESRI ArcMap 10.7.1 programmatūras telpiskās analīzes rīku Hydrology un QGIS 3.10.2-A Coruņa programmatūras telpiskās analīzes rīkus.

Ģeoloģiski-ģeomorfoloģiskā situācija aprakstīta izmantojot ģeoloģiskās kartēšanas materiālus, publicēto un nepublicēto informāciju, kā arī vairākārtējus teritorijas apsekojums klātienē.



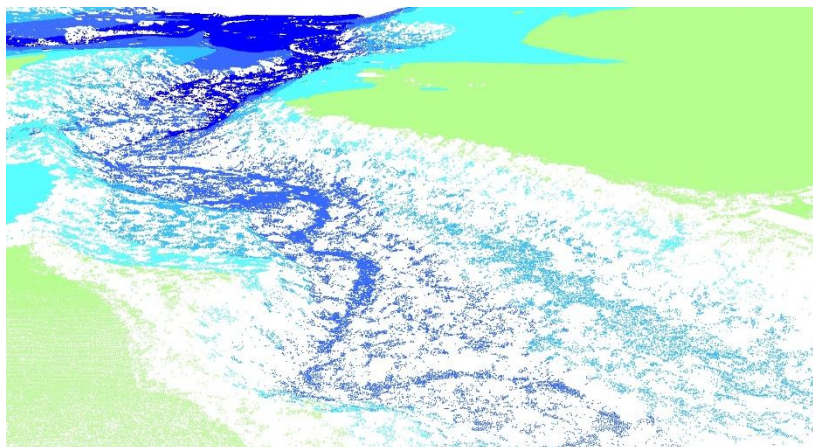
9. attēls. Raunas ielejas LiDAR punktu mākonis.



10. attēls. Raunas Staburagam pieguļošās teritorijas zemes virsmas modelis.

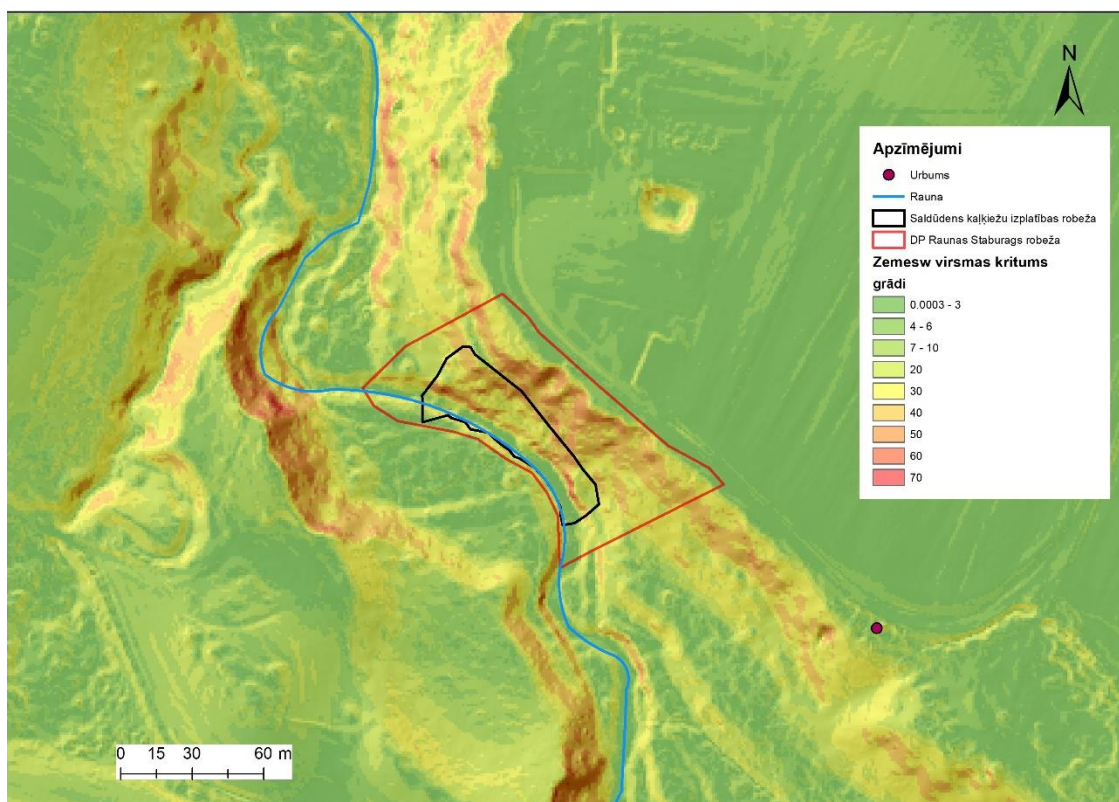
Raunas Staburagam tai pieguļošajai teritorijai, izmantojot aerolāzerskenēšanas ceļā iegūtos punktu mākoņa (LiDAR) datus, izveidots zemes virsmas reljefa modelis (10. attēls) ar izšķirtspēju

1x1m. Modeļa dati ir piesaistīti koordinātu sistēmai LKS-92 TM un Latvijas normālo augstumu sistēmai LAS-2000,5. Aerolāzerskenēšanas zemes virsmu raksturojošo punktu (11. attēls) vidējais blīvums ir ne mazāks par 1,5 p/m².



11. attēls. Aerolāzerskenēšanas zemes virsmu raksturojošo punkti

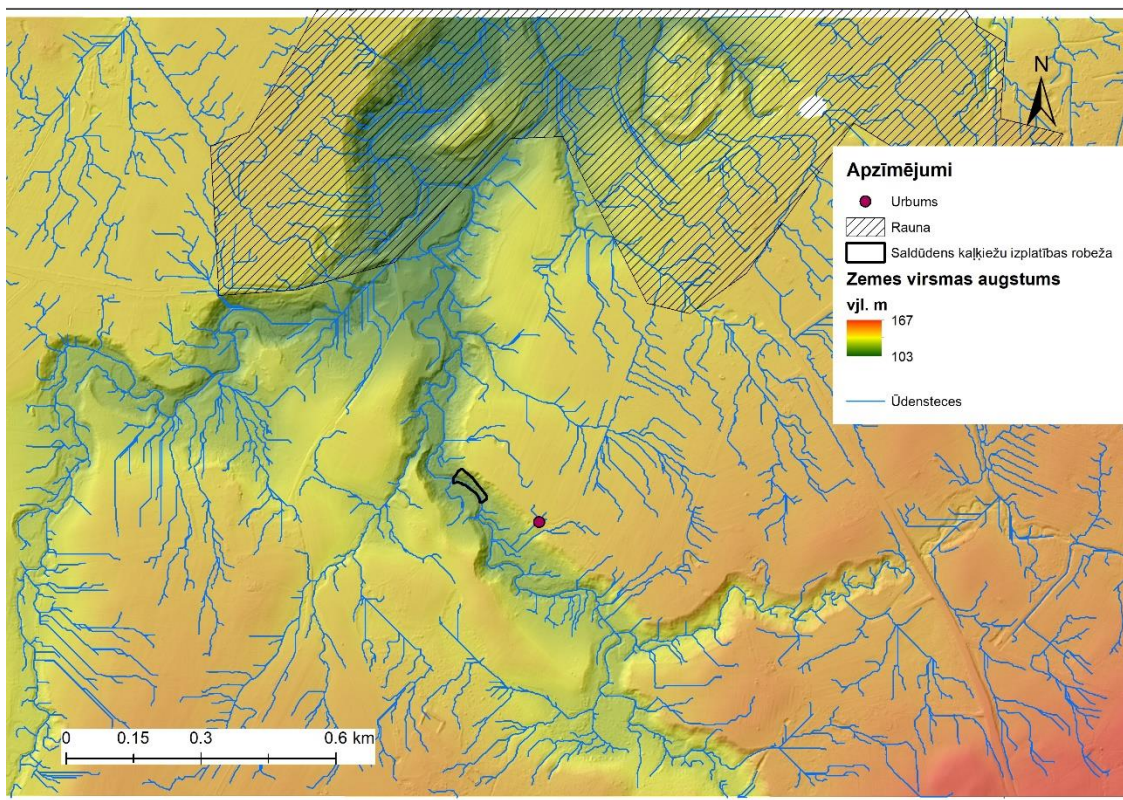
Veiktā reljefa analīze parāda, ka Raunas pamatkrasta nogāzes kritums pieguļošajā teritorijā pārsniedz 38 grādus, pie pašas krants sasniedzot pat 60-80 grādus (12. attēls), tādējādi nogāžu procesi ir aktīvi – turpinās lineārās erozijas veidošanās, pastāv ļoti augsts noslīdeņu risks.



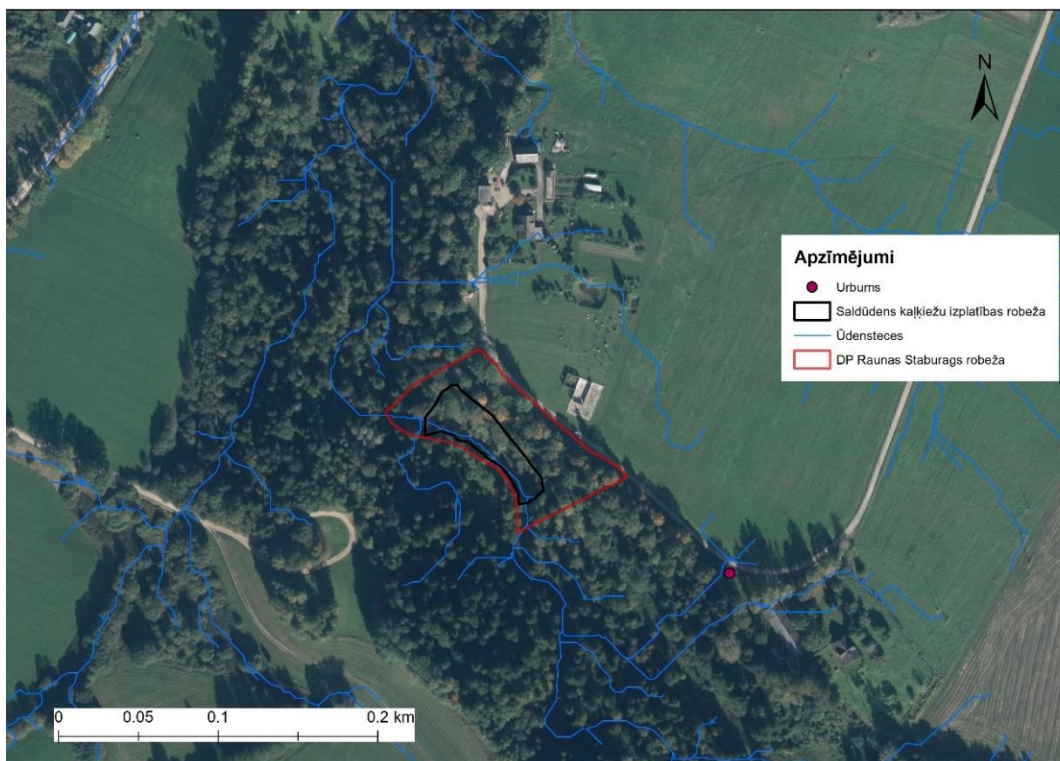
12. attēls. Reljefa kritums Raunas Staburaga un tai pieguļošajā teritorijā.

Teritorijas apsekošanā konstatēts, ka uz nogāzēm turpina norisināties krīps (lēna nogāzes slīdēšana). Atsevišķās nogāzes daļās redzami noslīdeņi, tādējādi jebkādas papildus slodzes nogāzes tuvumā radīs papildu riskus jaunu noslīdeņu izveidē.

Veicot hidroloģisko modelēšanu, iegūtie dati (13. attēls) parāda virszemes ūdens noteces plūsmas izpētes teritorijā un tai pieguļošajā teritorijā. Līdzšinēji izveidotie Eiropas un Latvijas klimata izmaiņu modeļi norāda, ka Eiropas ziemeļu un ziemeļaustrumu daļā ikgadējais nokrišņu daudzums palielināsies par 1-2% katrā desmitgadē, virszemes noteces apjoms pieaugs par 10-15% laika posmā līdz 2070, tiek prognozēts, ka ekstremāli nokrišņi būs biežāka parādība. Dr. ģeol. Juris Soms savā doktora disertācijā (2010) norāda, ka klimatisko faktoru izraisīta lineārās erozijas procesu pastiprināšanās sateces baseinos, visdrīzāk, izjauks jau izveidojušos dabisko erozijas-akumulācijas līdzsvaru visos hidrogrāfiskā tīkla posmos un pastiprinās cietvielu noteces un biogēno vielu plūsmu. Līdz ar to paātrināta augšņu noskalošana un gravu attīstība izraisīs atlūzu materiāla ievērojamu apjomu nokļūšanu uztverošajās ūdenstilpēs un ūdenstecēs. Tādējādi gravu attīstība Latvijā un atzinuma teritorijā pastiprināsies un nav pamats uzskatīt, ka šie procesi laika gaitā palēnināsies.



13. attēls. Modelētais virszemes noteces līknes attēlots ar zilajām līnijām.

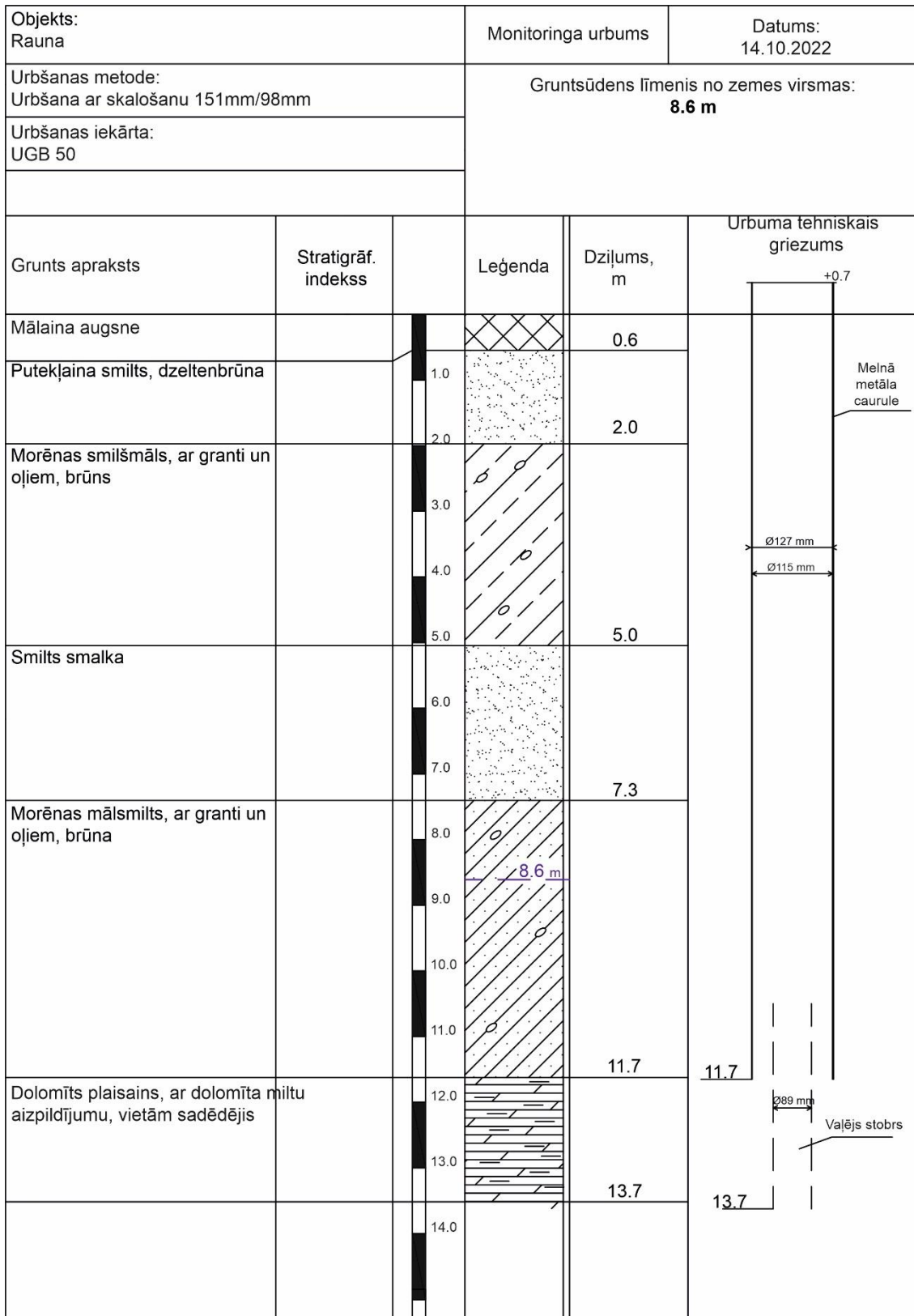


14. attēls. Detalizētāka modelētā virszemes noteces tīkla daļa Raunas Staburaga pieguļošajā teritorijā (noteces tīkla līknes attēlots ar zilajām līnijām).

No hidrogrāfiskā modeļa datiem (13. un 14. attēls) izriet, ka tiešas virszemes ūdeņu ietekmes uz Raunas Staburagu nav, ja neskaita tiešus lietus vai sniega kušanas ūdeņus, kas plūst no nogāzes uz saldūdens kaļķieža iegulu. Līdz ar to svarīgāks ir infiltrācijas ūdens apjoms, kas baro pazemes ūdeņus. Jāpiezīmē, ka virszemes notece no pieguļošajiem laukiem un mājām tieši neietekmē Raunas Staburagu. Tuvākā virszemes notece notiek uz ziemeļiem un dienvidiem no Dabas pieminekļa robežas (14. attēls).

Hidroģeoloģiskais urbums

Projekta gaitā ir izveidots 13,7 m dziļš hidroģeoloģiskais urbums (15. attēls), kas ierīkots nepilnus 50 m uz ziemeļrietumiem no Brīvzemnieku mājām (14. attēls). Urbšanas gaitā konstatēts, ka augšējās 0,6 m veido mālaina augsne, zem kuras iegul 1,4 m plāns dzeltenbrūnas putekļainas smilts slānis. Urbuma vidusdaļu veido ciets, brūns morēnas smilšmāls ar granti un oļiem (15. attēls). Zem morēnas slāņa iegul 2,3 m biezs smalkas smilts slānis, dziļāk 4,4 m biezumā paguļ brūna, cieta mālsmilts ar granti, oļiem un šķembām. Morēnas slāņa apakšējo daļu veido šķembaina lokālmorēna zem kuras paguļ plaisaini dolomīti ar dolomīta miltu aizpildījumu, vietām dolomīti ir stipri sadēdējuši.



15. attēls. Hidrogeoloģiskā urbuma konstrukcija.

Urbumā virsējie gruntsūdeņi konstatēti 8,6 m dziļumā. Urbšanas dolomītos veikta ar serdes urbšanu, kuras rezultātā iegūti plaisaino dolomītu paraugi (16. attēls). Kwartāra nogulumos ārējais urbuma diametrs ir 127 mm, savukārt iekšējais 115 mm. Pamatiežos veiktā urbuma diametrs ir 89 mm.



16. attēls. Urbuma serdes piemērs dziļuma intervālā no 12,7 līdz 13,7 m.

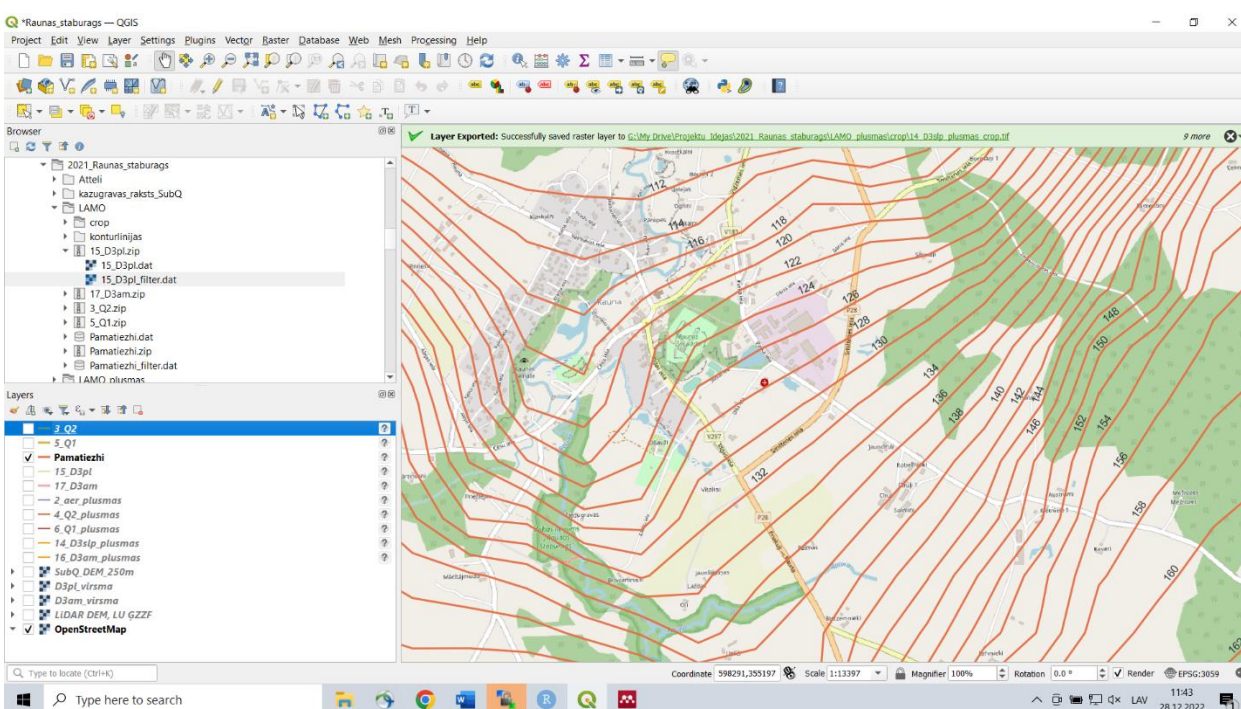
Pēc urbuma ierīkošanas, tā augšējais stobrs aiztaisīts ar metāla vāku (17. attēls), lai urbumā neiekļūtu lietussūdeņi, kā arī tiktu pasargāta urbuma kolona no nelabvēlīgiem vides apstākļiem un iespējamo cilvēka darbību.



17. attēls. Hidroģeoloģiskā urbuma augšējā atvere.

Hidroģeoloģisko apstākļu raksturojums un to ietekme

Pētījuma vietā reģionālā pazemes ūdens plūsma zemes virsmai tuvākajos pamatiežu ūdens nesējslāņos ir virzienā no Dienvid-Austrumiem uz Ziemeļ-Rietumiem, atbilstoši RTU izstrādātā Latvijas hidroģeoloģisko modeļa LAMO⁵³ datiem. To nosaka pazemes ūdens barošanās Vidzemes augstienē un atslodze Gaujas un tās pieteku ielejās un tālāk Ziemeļvidzemes zemienē. Tuvākajā Raunas Staburaga apkārtnē, pēc LAMO modeļa datiem, pazemes ūdens pjezometriskais līmenis zemes virsmai tuvākajā ūdens nesējslānī ir robežās starp 138 m v.j.l. (pie Kalmupes posma starp ieteku Raunā un autoceļu P28) līdz 120 m v.j.l. (Raunas pilsēta) (18. attēls). Savukārt modelētais gruntsūdens līmenis kvartāra ūdens nesējslānī līdz 2 m augstāks.



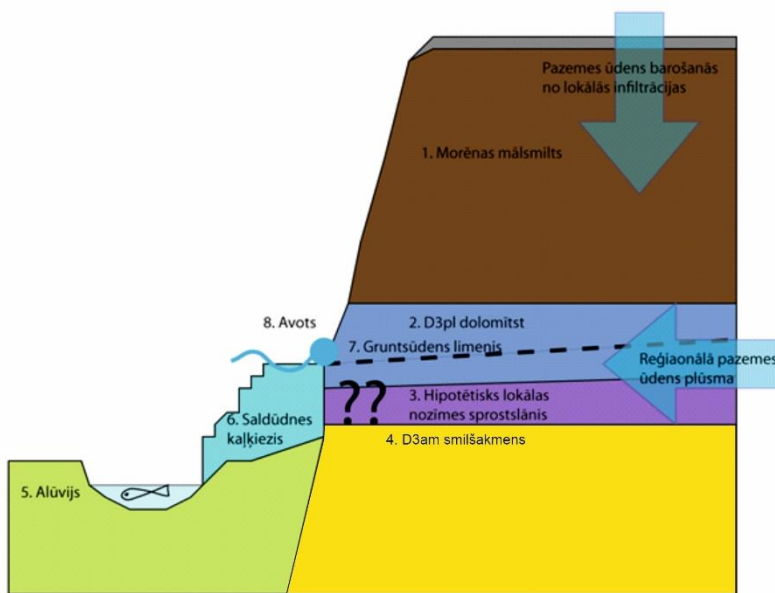
18. attēls Pamatiežu virsmas pazemes ūdens pjezometriskā līmeņa kart (LAMO).

Gruntsūdeņu barošanās

Raunas Staburaga ūdens domājams bilanci veido kombinācija starp lokāliem infiltrācijas ūdeņiem un reģionālo pazemes ūdens plūsmu no Vidzemes augstienes (19. attēls). Pēc LAMO modeļa datiem lokālo pazemes ūdeņu barošanās apgabalu aptuveni iezīmē Raunas ieleja Dienvidrietumos un Ziemeļrietumos, Klampupe Deividos un grāvji, kas savieno Klampupes un

⁵³ Latvijas hidroģeoloģiskā modeļa LAMO izveidošana, izmantošana un pilnveidošana, Rīgas Tehniskās Universitātes zinātniskais žurnāls "Datormodelēšana un robežproblēmas", 57. sēj. Rīga, 2018, RTU Press, 5-15 lpp. ISSN 2255-9124, ISSN 2255-9132

Raunas ielejas Austrumos. Pagaidām nav iegūti rezultāti, kas ļauto nodalīt šo ūdens avotu proporcijas. Ūdens Raunas Staburagā domājams pieplūst no Augšējā devona Pļaviņu svītas dolomītiem⁵⁴. Līdzīga ģeoloģiskā situācijā ir novērota un aprakstīta netālu esošajā Kazu lejā (Kazu gravā), kur arī mūsdienās notiek aktīva saldūdens kaļķiežu veidošanās. Raunas Staburags atrodas zonā, kur ir tika identificētā Kazu lejai analoga ģeoloģiskā uzbūve⁵⁵. Novērtēt, cik lielu lomu Raunas Staburaga ūdens bilanci veido lokālā infiltrācija un cik – reģionālā pazemes ūdens plūsma (20. attēls), iespējams veicot ūdens uzturēšanās laika datējumi. Netieša norādes uz ūdens avotu, iespējams, var iegūt izmantojot arī detalizētas ķīmiskā sastāva analīzes, bez pamatkomponentiem nosakot arī tādu savienojumu kā Ba, Sr, Al, F, SiO₂ saturu ūdenī⁵⁶.



19. attēls. Raunas staburaga konceptuālais hidroģeoloģiskai griezumam.

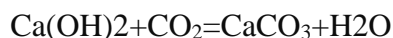
Nemot vērā, ka Raunas Staburaga apkārtnē virs Amatas svītas smilšakmeņiem uzguļ Pļaviņu svītas dolomīti, tad plaisas dolomītos sekmē atmosfēras nokrišņu ūdeņu infiltrāciju un arī pazemes ūdeņu filtrāciju. Karbonātu daudzums pazemes ūdeņos pieaug, atmosfēras nokrišņiem infiltrējoties cauri karbonātiskajai morēnas slāņkopai. Tāpat, to koncentrācija pazemes ūdeņos pieaug, ūdeņiem filtrējoties caur dolomītu plaisām un šķīdinot tos. Pazemes ūdeņi šķīdina

⁵⁴ Bodnieks I, Čakare I, Veinbergs Ģ, et al Īpaši aizsargājamās dabas teritorijas dabas lieguma „Raunas Staburags” dabas aizsardzības plāns Raunas novada Raunas pagasts, plāns izstrādāts laikposmam no 2018. gada līdz 2030. gadam. Rauna

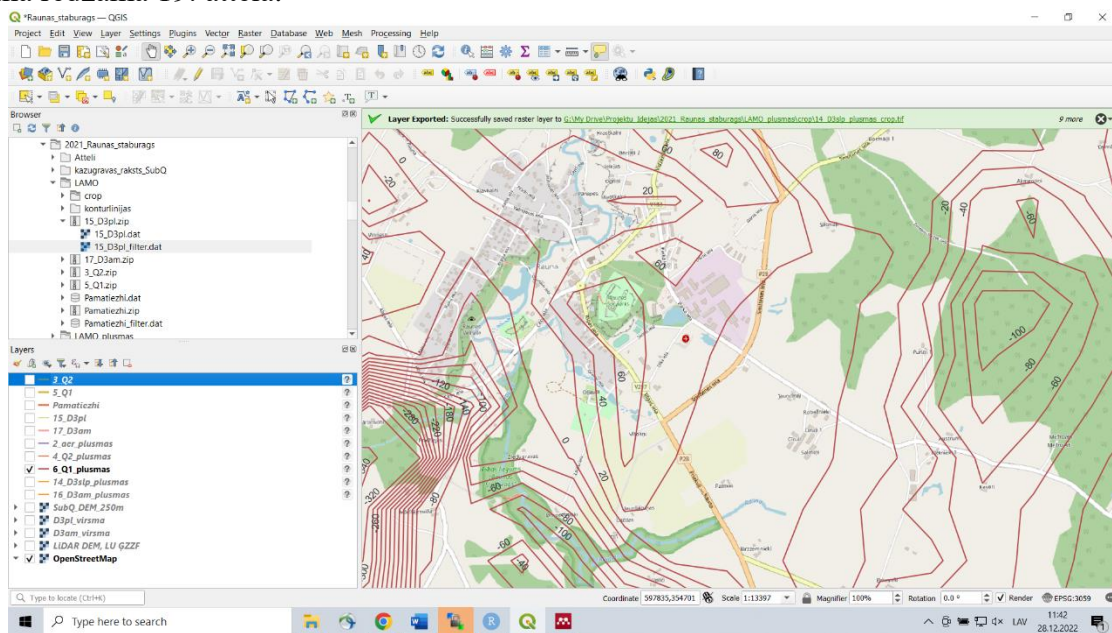
⁵⁵ Kalvāns A, Popovs K, Priede A, et al (2021) Nitrate vulnerability of karst aquifers and associated groundwater-dependent ecosystems in the Baltic region. *Environ Earth Sci* 80:1–16. <https://doi.org/10.1007/s12665-021-09918-7>

⁵⁶ Koit O, Tarros S, Pärn J, et al (2021) Contribution of local factors to the status of a groundwater dependent terrestrial ecosystem in the transboundary Gauja-Koiva River basin, North-Eastern Europe. *J Hydrol* 600:126656. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126656>

dolomītus un pakāpeniski paplašina tajos esošās plaisas. Lai gan dolomīti ir ūdenī vājāk šķīstoši ieži nekā kaļķakmeņi, tomēr ievērojamā plaisainība tajos, ir šķīdināšanu jeb karsta procesu sekmējošs faktors. Pazemes ūdeņi savas īpašības gūst no iežiem, kuros tie atrodas, tāpēc tajos ir augsta izšķīdušo karbonātu jonu koncentrācija. Izšķīstot Ca karbonātam, ūdeņi piesātinās ar Ca bikarbonātu, no tā izdalās CO₂ un, bāziskajiem katjoniem savienojoties ar CO₂, veidojas kalcīts, kas izgulsnējas un uzkrājas pazemes ūdens izplūdes vietās, vai arī iežu tukšumos, alās. Tur notiek aerācija, t.i., atmosfēras gaisa pieplūde un gāzu apmaiņa, kas veicina ķīmisko reakciju:



Tādējādi notiek sekundāra kalcīta (CaCO₃) veidošanās, kam uzkrājoties rodas saldūdens avotkaļķiežu iegulas. Dabas apstākļu kopums, ko veido pazemes ūdeņu izplūde, avotu ūdeņu tecējums, gāzu burbuļu plīšana, dažādu organisko atlieku – zāles stiebru, lapu, sūnu, koksnes atlieku klātbūtne, to pārkaļķošanās, trūdēšana un izskalošanās sekmē poraina kaļķieža jeb šūnakmens veidošanos. Raunas Staburaga izveidošanās un novietojuma Raunas upes ielejas labā pamatkrasta nogāzē viens svarīgākajiem nosacījumiem ir ģeoloģiskā uzbūve, kuras principiālā shēma redzama 19. attēlā.

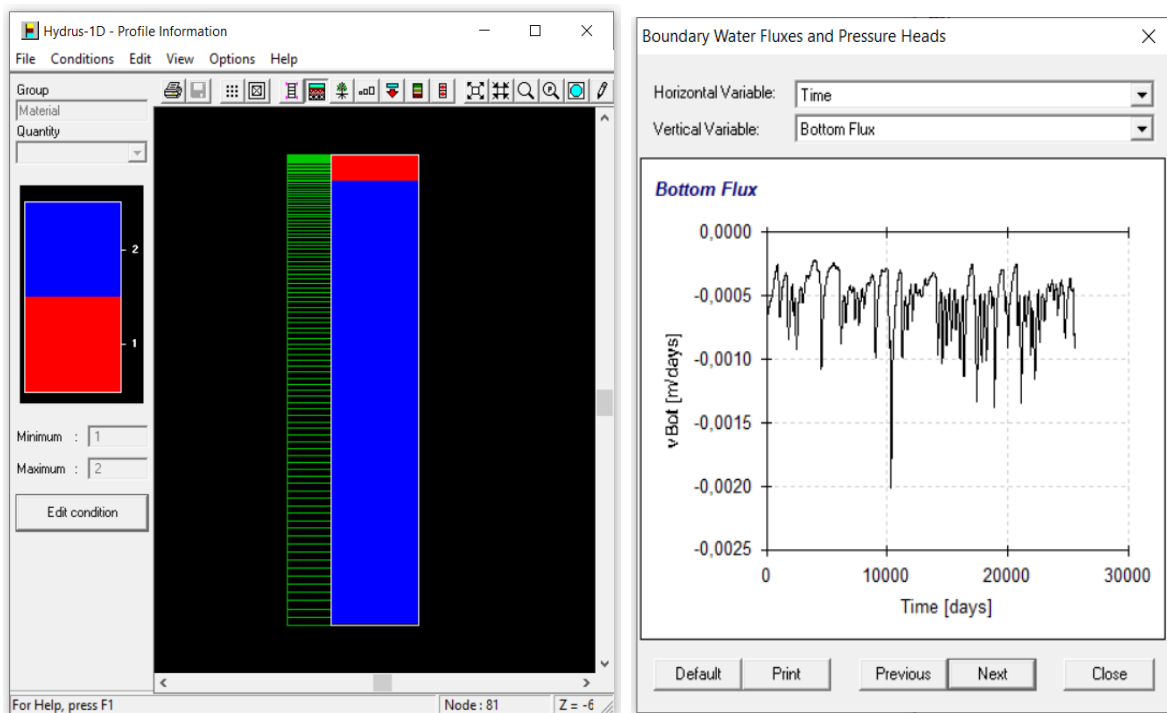


20. attēls. LAMO modelētā pazemes ūdens plūsma (mm/gadā) starp kvartāra un pamatiežu pazemes ūdens nesējslāņiem, negatīvas vērtības ir augšupejoša plūsma (pazemes ūdens atslodze); nulles izolīnija iezīmē lokālo pazemes ūdens barošanās apgabalu (LAMO)⁵⁷.

⁵⁷ Latvijas hidroģeoloģiskā modeļa LAMO izveidošana, izmantošana un pilnveidošana, Rīgas Tehniskās Universitātes zinātniskais žurnāls "Datormodelēšana un robežproblēmas", 57. sēj. Rīga, 2018, RTU Press, 5-15 lpp. ISSN 2255-9124, ISSN 2255-9132

1-dimensijas pazemes ūdens barošanās modelis

Projekta gaitā ir izstrādāts 1d modeli, kas raksturo pazemes ūdeņu barošanos. Lokālo pazemes ūdens barošanas modelēšanai nepieciešams ņemt vērā meteoroloģiskos apstākļos, veģetācijas stāvokli un grunts parametrus. Šinī pētījumā ir izmantot Hydrus-1D modelēšanas platforma⁵⁸. Ir izveidota sākotnējā modeļa versija un iegūt pirmie rezultāti (21. attēls). Ar modeli iespējams atspoguļot pazemes ūdens barošanos, tomēr lai interpretētu rezultātus ir nepieciešami dati par novērtēt pazemes ūdens rezervuārā kapacitāti un avota debitu. No tā var iegūt priekšstatu par sezonālītāti un starpgadu debita svārstībām (20. attēls), pašlaik modelis tiek kalibrēts ar novērojumu staciju Kazu gravā un tiks izmantots nākotnes pētījumiem.



21. attēls. Hydrus-1D modeļa struktūras un provizorisķā aprēķina rezultāts - gruntsūdens barošanās.

Vispārīgais hidroģeoloģijas modelis un gruntsūdens plūsmas virziens ar barošanās baseinu parāda, ka izmaiņas gruntsūdens sastāvā un plūsmas bilancē nav sagaidāmas. Klimata izmaiņu rezultātā, ja pieaugs nokrišņu daudzums, pieaugs arī izpūstošo avotu debits, tas negatīvi ietekmēs Raunas Staburaga avotkaļķus, jo samazināsies izšķīdušo karbonātu jonu koncentrācija, līdz ar to

⁵⁸ Šimūnek J, Šejna M, Saitoh TM, et al (2013) The HYDRUS-1D Software Package for Simulating the One-Dimensional Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in Variably-Saturated Media, Version 4.17 June 2013. 343

tā var veicināt kaļķieža šķīšanu. Jāņem vērā, ka saldūdens kaļķiežu veidošanās var norisināties tikai vēsā klimatā, jo paaugstinoties gaisa temperatūrai, samazinās karbonātu izgulsnēšanai nepieciešamo reakciju norise.

Raunas Staburaga attīstība pēdējo 14 500 gadu laikā

Saldūdens kaļķiežu ģeoloģiskā un paleoekoloģiskā izpēte ir izaicinoša, jo nav tiešā mērā pielietojamas standarta pētnieciskās metodes, ko nosaka pašu kaļķiežu veidošanās. Lai noskaidrotu Raunas Staburaga attīstību cauri laikam (pēdējo 14 500 gadu laikā), tika pielietotas dažādas zinātniskās pētījumu metodes un rekonstrukcijas. Līdz šim uzskatīts (piem., Danilāns 1957⁵⁹, 1973⁶⁰), ka līdzīgi kā lielākā daļa Latvijā atrodamo kaļķakmeņu, tā arī Raunas Staburags ir veidojies un uzkrājies galvenokārt agrajā Holocēnā (pirms 11 700 – 8200 gadiem). Te jānorāda, ka kaļķiežu veidošanās ir galvenokārt atkarīga no ar karbonātiem piesātinātu gruntsūdeņu/avotu izplūdi zemes virskārtā, gaisa temperatūras un atmosfēras gaisa pieplūdes, kas nosaka karbonātu izkrišanai nepieciešamo reakciju norisi. Saldūdens apstākļos, karbonāti izkrīt un uzkrājas pavasara-vasaras-rudens sezonā un tā var noritēt sākot jau pie 12,5 °C ūdens temperatūras⁶¹. Gaisa temperatūras rekonstrukcijas no 20 km tuvā Āraišu ezera (22.attēls) liecina, ka Vidzemes augstienē vasaras vidējās gaisa temperatūras bija Leduslaikmeta beigu posmā bija robežās no 11 līdz pat 15,2 °C. Lai notiktu karbonātu izkrišana būtu nepieciešams, lai gaisa temperatūra būtu vismaz 12,5-15 °C⁶² un tādi klimatiskie apstākļi bija pieejami jau pirms 13 800 gadiem (22.attēls). Jautājums, protams, vai tik agri varēja notikt kaļķakmeņu veidošanās Raunas Staburagā? Kā liecina zinātniskā literatūra, tad saldūdens kaļķieži Eiropā veidojušies jau leduslaikmeta beigu posmā, kas norāda, ka teorētiski Raunas Staburags varētu būt sācis veidoties jau pirms Holocēna⁶³. Te gan jāņem vērā arī lokālie paleoģeogrāfiskie apstākļi – upju sistēmu veidošanās un Raunas Staburaga teritorijas ūdens līmeņa pazemināšanās līdz kaļķieža veidošanās līmenim.

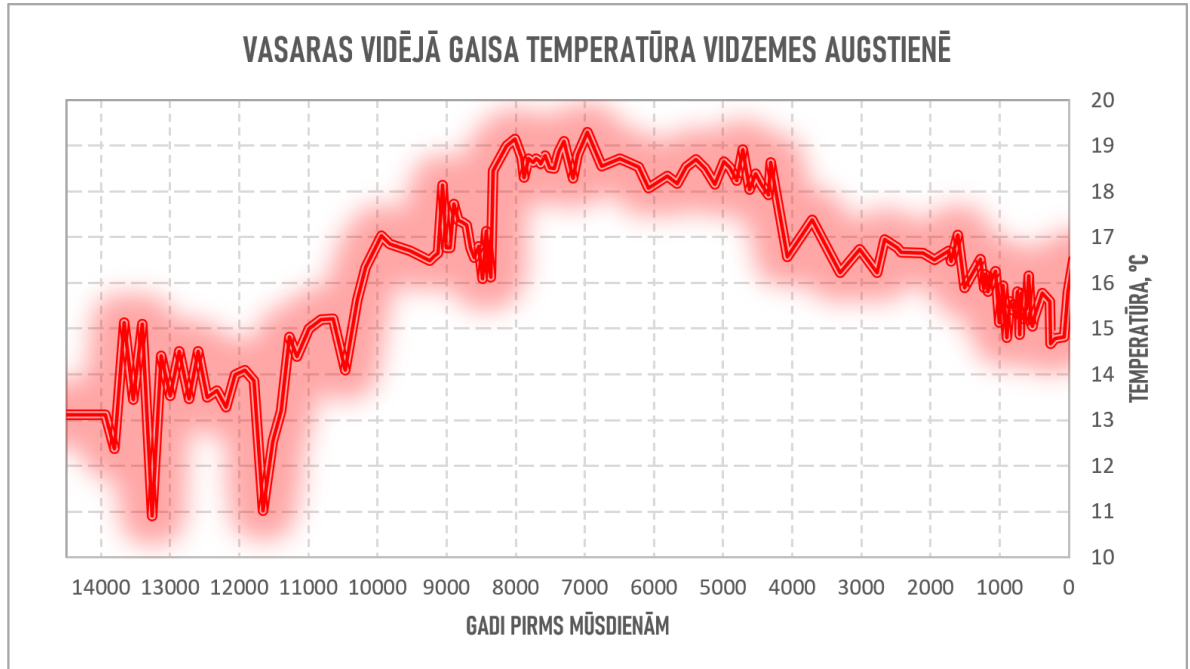
⁵⁹ Danilāns, I. 1957. Golocenovije presnovodnije izvestkovije otlozenija Latvii. AN LSSR, Rīga, 151 s. (krieviski)

⁶⁰ Danilāns, I. 1973. Quaternary Deposits of Latvia. Zinatne, Rīga, 312 pp. (krieviski)

⁶¹ Barešič, J., Faivre, S., Sironič, A., Borkovič, D., Mikelič, I.L., Drysdale, R.N., Bronič, I.K. 2021. The Potential of tufa as a tool for paleoenvironmental research – A study of tufa from the Zrmanja river canyon, Croatia. *Geosciences*, 11, 376.

⁶² Carthew, K.D., Drysdale, R.N., Taylor, M.P. 2003. Tufa deposits and biological activity, Riversleigh, Northwestern Queensland. *Advance in Regolith*, 55-59.

⁶³ Dabkowski, J. 2020. The late-Holocene tufa decline in Europe: Myth or reality? *Quaternary Science Reviews*, 230, 106141,



22. attēls. Vidējā gaisa temperatūra Vidzemes augstienē vasaras periodā.

Raunas Staburaga kaļķieža vecuma noteikšana netika veikta. Pastāv vairākas datēšanas metodes, kuras varētu pielietot kaļķieža vecuma noteikšanā, bet to sniegtie rezultāti būtu jāuztver ar piesardzību. Tā piemēram, visplašāk izmantotā radioaktīvā oglekļa datēšanas metode kaļķieža vecuma noteikšanā nav izmantojama, jo pats kaļķiezis satur pārsātinātu oglekļa koncentrāciju, kas nav uzkrājusies konvencionālā manierē, tas ir, parasti tiek datēti organiskas izcelsmes objekti. Kaļķieža veidošanās reakcijas ietver papildus mūsdienu oglekļa un “senā” oglekļa izmantošanu, kas nozīmē, ka nav iespējams korekti aprēķināt slāņa veidošanās vecumu. Var izmantot izotopus, lai noteiktu ūdens vecumu, bet tas neļautu noteikt paša Raunas Staburaga vecumu. Ņemot vērā augstāk minēto, nav iespējams aprēķināt precīzu kaļķieža uzkrāšanās sākuma brīdi, tā attīstību un pieauguma dinamiku. Tas pats attiecas arī uz pārējiem Latvijas saldūdens kaļķiežiem, ja vien tie nav datēti vismaz ar 4 līdz 10 datējumiem, kur lielākā daļa datējumu uzrāda loģisku superpozīcijas principu.

Ja nav iespējams noteikt vecumu pašam objektam, tad likumsakarīgi, ka netika veiktas arī putekšņu analīzes kaļķiežim, jo nebūtu iespējams sasaistīt putekšņu rezultātus ar loģisku kaļķieža attīstības dinamiku. Papildus aspekts, kas jāņem vērā ir plūstošā vide un kaļķieža veidošanās, kur pie plūstošiem ūdeņiem nenotiek putekšņu uzkrāšanās, bet kaļķieži veidojošās sūnas nomāktu citu ainavā augošās floras putekšņus. Kaļķiežu pētījumi rāda, ka tajos sastopami putekšņi ļoti mazā koncentrācijā, kas nozīmē, ka netiktu iegūti statistiski ticami rezultāti, ja tiktu veikta putekšņu

analīze no kaļķieža. Tas attiecināms arī uz nākotnes pētījumiem, kur putekšņu analīze nebūtu ieteicama Latvijā esošajiem kaļķiežiem. Daudz precīzākus un augstākas raudzes datus, kurus var asociēt ar vispārīgo ainavas un klimata attīstību iegūstami pētot ezeru un purvu nogulumus. Šim nolūkam izpētīts (veģētācija, temperatūras rekonstrukcijas) Āraišu ezers, kurš atrodas turpat 20 km no Raunas Staburaga un glabā netraucētus nogulumus, kuri uzkrājušies pēdējo 14 600 gadu laikā. Tas nozīmē, ka Āraišu ezerdobe izveidojusies vēl pirms 14 600 gadiem un sākot ar 14 600. gadu, Āraišu apkārtnē attīstījies pirmā veģētācija. Āraišu ezera tuvums nozīmē, ka Raunas Staburaga teritorija bija ledusbrīva jau pirms 14 600 gadiem un veģētācija tā apkārtnē attīstījās identiski kā Āraišu ezera un Vidzemes augstienes reģionā.

Raunas Staburaga un plašākā mērā arī Vidzemes augstienes vasaras vidējā gaisa temperatūra pēdējo 14 600 gadu laikā ir būtiski mainījusās. Vasaras Raunas Staburaga apkārtnē bija vēsākas Leduslaikmeta beigu posmā, kad tās vidēji bija 13,5 °C, bet vēsākos brīžos pat 11 °C. Šādos apstākļos ainavā dominēja skraja veģētācija, kuru var definēt kā tundru ar atsevišķiem koku puduriem siltākajos brīžos. Sākoties Holocēnam pirms 11 700 gadiem, vasaras vidējā gaisa temperatūra strauji paaugstinājās no 11 līdz 15 °C. Agrajā Holocēnā (pirms 11 700 – 8200 gadiem) notika strauja klimata sasilšana ar paaugstināšanos 0,17 °C desmit gados. Klimatam kļūstot siltākam, Raunas Staburaga ainavā sāk dominēt boreālā tipa veģētācija. Šajā brīdī mežos dominē priedes, bērzi un egles. Laika posmā no 8400. līdz 8200. gadam notika ledājkūšanas ūdeņu noplūde no Ziemeļamerikas Ziemeļatlantijas okeānā, un šis notikums pavēsināja silto Golfa straumi, kā rezultātā Vidzemes Augstienē, tai skaitā arī Raunas Staburaga apkārtnē piedzīvoja klimata pavēsināšanos par 1 līdz pat 1,5 °C.

Pirms 8200-4200 gadiem vasaras vidējā gaisa temperatūra Raunas Staburaga teritorijā sasniedza pat 19,2 °C, un tādējādi, Vidusholocēnā vasaras bija par 1,5-2 °C siltākas nekā mūsdienās. Šajā brīdī Raunas Staburaga apkārtnē slejas platlapju meži (nemorālā veģētācija), kuriem patīk silti apstākļi. Ģeoloģijā šo laika posmu mēdz dēvēt arī par Holocēna Termālo Maksimumu, jo tas raksturo Holocēna siltāko laiku. Pieņemot, ka nākotnē sagaidām gaisa temperatūras paaugstināšanos par 1,5-2,5 C, tad var paredzēt, ka Raunas Staburaga apkārtnē lielākā apjomā varētu atkal augt platlapju un siltumtolerantās koku sugas (ozoli, alkšņi, gobas, dižskabārdis u.c.).

Klimats kļuva mainījās kopš 4200. gada, kad tas ne tikai kļuva vēsāks, bet arī mitrāks. Šādas izmaiņas veicināja boreālo veģētācijas migrāciju. Vēlā Holocēna laikā (pēdējie 4200 gadi)

Vidzemes augstienē dominē jaukta tipa veģetācija, jeb hemiboreālā (boreonemorālā) veģetācija. Gaisa temperatūras pakāpeniski ir samazinājušās, līdz tās atkal lēnām sāk paaugstināties. Pēdējo 1300 gadu vasaras gaisa temperatūras rekonstrukcijā uzrāda kritumu, bet šis kritums saistāms ar tiešu cilvēka ietekmi Āraišu apkārtnē, jo sākot ar 8.gs. Āraišu ezera apkārtni nepārtraukti apdzīvo cilvēki, kas nozīmē, ka tie izcērt mežus un iekopj laukus. Tādējādi, tiek izmainīta veģetācija un tā vairs nav dabīga, kas arī tad nevar vairs tikt izmantota temperatūras rekonstrukcijām sākot ar 8.gs. konkrētajā gadījumā, bet citviet to varētu darīt (ja nebūtu cilvēka ietekmes).

Ņemot vērā gaisa temperatūras izmaiņas pēdējo 14 600 gadu laikā, nav izslēgts, ka Raunas Staburags varēja sākt veidoties jau sen, bet par to nav tiešu liecību (precīzi un ticami datējumi). Tik pat labi, kaļķiezis varēja sākt uzkrāties kādā konkrētā laika brīdī, vai pat tikai pēdējo 4200. gadu laikā. Kaut arī nav zināms tiešs Raunas Staburaga sākuma brīdis, jāņem vērā, ka zinātnē notiek būtiski metožu uzlabojumi nepārtraukti un kādu dienu, tā vecumu un attīstības dinamiku būs iespējams rekonstruēt.

Secinājumi - kopsavilkums

1. Pētījuma teritorijas ledāja veidotais reljefs sāka formēties pēdējā leduslaikmeta noslēguma posmā Ledāja malas atkāpšanos, kuru dažreiz, pārtrauca ledus lobu un mēļu aktivizācija, fiksē ledāja malas veidojumu joslas, no kurām vecākā, un tuvākā Raunas Staburagam ir Linkuvas josla.
2. Kvartāra nogulumu un reljefa veidošanās Raunas ielejas apkārtnē saistīta ar Linkuvas ledāja oscilācijas fāzes deglaciācijas posmu un ledājukušanas ūdeņu noteces veidošanos gar Veselavas gala morēnas valni.
3. Hidrogrāfiskā tīkla attīstībā liela nozīme bija Valdemārpils deglaciācijas fāzei, kuras veidojumi atrodas ārpus pētījumu teritorijas, taču ledus malas novietojums šajā laikā sekmēja ledājūdeņu un ārpus ledāja noteces dambēšanos un Silciema un Zemgales sprostezeru veidošanos. Līdz ar to var secināt, ka Raunas Staburaga vecums nevar būt jaunāks par Valdemārpils deglaciācijas fāzi.
4. Veiktā reljefa analīze parāda, ka Raunas pamatkrasta nogāzes kritums pieguļošajā teritorijā pārsniedz 38 grādus, pie pašas krants sasniedzot pat 60-80 grādus, tādējādi nogāžu procesi ir aktīvi – turpinās lineārās erozijas veidošanās, pastāv ļoti augsts noslīdeņu risks.
5. No hidrogrāfiskā modeļa datiem var secināt, ka tiešas virszemes ūdeņu ietekmes uz Raunas Staburagu nav, ja neskaita tiešus lietus vai sniega kušanas ūdeņus, kas plūst no nogāzes uz saldūdens kaļķieža iegulu. Līdz ar to svarīgāks ir infiltrācijas ūdens apjoms, kas baro pazemes ūdeņus.
6. Virszemes notece no pieguļošajiem laukiem un mājām tieši neietekmē Raunas Staburagu. Tuvākā virszemes notece notiek uz ziemeļiem un dienvidiem no Dabas pieminekļa robežas.
7. Raunas Staburags veidojies izplūstot avotiem, kuru ūdens satur lielu daudzumu kalcija hidroģēnkarbonātu. Pazemes ūdeņiem atslogojoties avotu veidā, mainās arī ūdens hidroķīmiskie apstākļi, kā rezultātā notiek saldūdens kaļķiežu nogulsnešanās.
8. Pētījuma vietā reģionālā pazemes ūdens plūsma zemes virsmai tuvākajos pamatiežu ūdens nesējslāņos ir virzienā no Dienvid-Austrumiem uz Ziemeļ-Rietumiem.
9. Pazemes ūdens plūsmas virzienu nosaka pazemes ūdens barošanās Vidzemes augstienē un atslodze Gaujas un tās pieteku ielejās un tālāk Ziemeļvidzemes zemienē. Tuvākajā Raunas Staburaga apkārtnē, pēc LAMO modeļa datiem, pazemes ūdens pjezometriskais līmenis zemes

virsmai tuvākajā ūdens nesējslānī ir robežās starp 138 m v.j.l. līdz 120 m v.j.l.. Savukārt modelētais gruntsūdens līmenis kvartāra ūdens nesējslānī līdz 2 m augstāks.

10. Raunas Staburags ir veidojies un uzkrājies galvenokārt agrajā Holocēnā (pirms 11 700 – 8200 gadiem). Kaļķiežu veidošanās ir galvenokārt atkarīga no ar karbonātiem piesātinātu gruntsūdeņu/avotu izplūdi zemes virskārtā, gaisa temperatūras un atmosfēras gaisa pieplūdes, kas nosaka karbonātu izkrišanai nepieciešamo reakciju norisi.
11. Saldūdens apstākļos, karbonāti izkrīt un uzkrājas pavasara-vasaras-rudens sezonā un tā var noritēt sākot jau pie 12,5 °C ūdens temperatūras.
12. Gaisa temperatūras rekonstrukcijas no 20 km tuvā Āraišu ezera liecina, ka Vidzemes augstienē vasaras vidējās gaisa temperatūras bija Leduslaikmeta beigu posmā bija robežās no 11 līdz pat 15,2 °C. Lai notiktu karbonātu izkrišana nepieciešams, lai gaisa temperatūra būtu vismaz 12,5-15 °C un tādi klimatiskie apstākļi bija jau pirms 13 800 gadiem.
13. Papildu aspekts, kas ņemts vērā pētījuma izstrādes gaitā, ir plūstošā vide un kaļķieža veidošanās, kur pie plūstošiem ūdeņiem nenotiek putekšņu uzkrāšanās, bet kaļķiezi veidojošās sūnas nomāktu citu ainavā augošās floras putekšņus. Kaļķiežu pētījumi rāda, ka tajos sastopami putekšņi ļoti mazā koncentrācijā, kas nozīmē, ka netiktu iegūti statistiski ticami rezultāti, ja tiktu veikta putekšņu analīze no kaļķieža.
14. Raunas Staburaga un plašākā mērā arī Vidzemes augstienes vasaras vidējā gaisa temperatūra pēdējo 14 600 gadu laikā ir būtiski mainījusās. Vasaras Raunas Staburaga apkārtnē bija vēsākas Leduslaikmeta beigu posmā, kad tās vidēji, bija 13,5 °C, bet vēsākos brīžos pat 11 °C.
15. Tādējādi var secināt, ka nākotnē sagaidām gaisa temperatūras paaugstināšanos par 1,5-2,5 C, tad var paredzēt, ka Raunas Staburaga apkārtnē lielākā apjomā varētu atkal augt platlapju un siltumtolerantās koku sugas (ozoli, alkšņi, gobas, dižskabārdis u.c.).
16. Līdzšinēji izveidotie Eiropas un Latvijas klimata izmaiņu modeļi norāda, ka Eiropas ziemeļu un ziemeļaustrumu daļā ikgadējais nokrišņu daudzums palielināsies par 1-2% katrā desmitgadē, virszemes noteces apjoms pieaugs par 10-15% laika posmā līdz 2070, tiek prognozēts, ka ekstremāli nokrišņi būs biežāka parādība. Līdz ar to var secināt, ka pazemes ūdenī samazināsies izšķīdušā Ca karbonāta koncentrācija, un ūdeņu piesātinājums ar Ca bikarbonātu arī samazināsies, kas negatīvi ietekmēs Raunas Staburaga kaļķiežu izgulsnēšanos, pat veicinās tā šķīšanu.