

LATVIJAS UNIVERSITĀTE
ĢEOGRĀFIJAS UN ZEMES ZINĀTŅU FAKULTĀTE
ĢEOLOĢIJAS NODAĻA

**KALCĪTS UN TĀ VEIDOŠANĀS APSTĀKĻI AUGŠĒJĀ
DEVONA DAUGAVAS SVĪTAS DOLOMĪTOS LATVIJAS
CENTRĀLAJĀ UN AUSTRUMU DAĻĀ**

BAKALaura DARBS

Autors: Linda Venera
Stud. apl. lv15020
Darba vadītājs:
Dr. geol., asoc. prof. Ģirts Stinkulis

RĪGA 2017

SATURS

ANOTĀCIJA.....	3
ANNOTATION.....	4
IEVADS	5
1. LITERATŪRAS APSKATS	7
1.1. Devona Franā stāva nogulumu sedimentācijas apstākļi	7
1.2. Daugavas svītas nogulumu Latvijā.....	9
1.3. Paleokarsts un ar to saistītie procesi Latvijā.....	11
1.4. Pētīto dolomīta atradņu raksturojums	15
1.5. Kalcīts un tā iepriekšējie pētījumi devona dolomītos Latvijā.....	17
1.6. Fluorescences raksturojums un ietekmējošie faktori	21
2. MATERIĀLI UN METODES.....	25
2.1. Lauka pētījumu metodes	25
2.2. Kalcīta fluorescences izpausmju testēšanas metode	26
2.3. Laboratorijas pētījumu metodes.....	27
2.3.1. Plānslīpējumu izgatavošana un analizēšana.....	27
2.3.2. Kalcīta ķīmiskā sastāva noteikšana ar induktīvi saistītās plazmas optiskās emisijas spektrometriju.....	31
2.3.3. Oglekļa stabilo izotopu attiecību noteikšana.....	33
2.4. Kamerālie darbi.....	36
3. REZULTĀTI	37
3.1. Pētīto dolomīta atradņu ģeoloģiskie griezumī	37
3.1.1. Dolomīta atradne “Rītupes”	37
3.1.2. Dolomīta atradne “Aiviekstes kreisais krasts”	38
3.1.3. Dolomīta atradne “Jaunsmilktiņas 1”.....	39
3.1.4. Dolomīta atradne “Lauce”, iecirknis “Pelši”.....	40
3.1.5. Dolomīta atradne “Sienāži”	42
3.1.6. Dolomīta atradne “Jaundutkas”.....	43
3.2. Kalcīta fluorescences izpausmes, to saistība ar fizikālajām īpašībām un paraugu ievākšanas vietu	44
3.3. Kalcīts un tā attiecības ar citiem dolomīta komponentiem plānslīpējumos	50
3.4. Mikroelementi kalcītā.....	58
3.5. Oglekļa stabilo izotopu attiecības kalcītā	60
4. DISKUSIJA	62
4.1. Kalcīta fluorescences izpausmes	62
4.2. Kalcīta attiecības ar citiem komponentiem plānslīpējumos	64
4.3. Kalcīta mikroelementu satura interpretācija	66
4.4. Kalcīta veidošanās apstākļi un aptuvenais veidošanās laikposms.....	68
5. SECINĀJUMI.....	71
PATEICĪBAS	72
IZMANTOTĀ LITERATŪRA	73
PIELIKUMI.....	77

ANOTĀCIJA

Bakalaura darbā “Kalcīts un tā veidošanās apstākļi augšējā devona Daugavas svītas dolomītos Latvijas centrālajā un austrumu daļā” ir raksturotas minerāla kalcīta fizikālās īpašības, mikroelementu saturs un veidošanās apstākļi. Pētījumi veikti 8 dolomīta atradnēs; ģeoloģiskajā griezumā un atradņu teritorijā salīdzinātas kalcīta īpašības. Testētas kalcīta fluorescences izpausmes, pētīti plānslīpējumi, raksturoti kalcītā sastopamie mikroelementi un oglekļa stabilo izotopu attiecības tajā. Secināts, ka kalcīts kristalizējies no atmosfēras ūdeņiem sauszemes apstākļos. Šis minerāls veidojies paleokarsta procesa beigu stadijā pēc iegruvumu izveidošanās.

Atslēgas vārdi: mineraloģija, paleokarsts, fluorescences, $\delta^{13}\text{C}$ analīze, mikroelementi, pēcsedimentācijas izmaiņas

ANNOTATION

Bachelor's thesis "Calcite and its formation conditions in the dolomites of the Upper Devonian Daugava Formation in Central and Eastern Latvia" discusses physical properties, minor element content, and formation conditions of mineral calcite. Studies were carried out in 8 quarries of the Daugava Formation dolomites; features of calcite were compared in geologic sections and territory of the quarries. Fluorescence testing of calcite, studies of thin-sections, minor element and carbon stable isotope ratio analysis of calcite have been done. It is concluded that calcite has crystallised in terrestrial conditions under the influence of meteoric waters. This mineral formed in the final stage of palaeokarst process after the karst pipes were already formed.

Keywords: mineralogy, palaeokarst, fluorescence, $\delta^{13}\text{C}$ analysis, minor elements, diagenesis

IEVADS

Kalcīts ir plaši izplatīts minerāls Latvijas augšējā devona karbonātiežu slāņkopā, kurā tas veido drūzas, žeodes, sakopojumus un plaisu aizpildījumus. Par kalcīta veidošanās apstākļiem un norises laiku augšējā devona nogulumiežos ir maz pētījumu. Tādēļ joprojām ir daudz neskaidrību par kalcīta veidošanos, to ietekmējošiem faktoriem un procesiem, saistībā ar pēcsedimentācijas norisēm.

Līdzšinējos Latvijas devona dolomītu pēcsedimentācijas izmaiņu pētījumos kalcīts ir atzīmēts kā raksturīgs pēcsedimentācijas procesu veidojums. Ir norādīts, ka tas veidojies kataģenezēs vai hiperģenezes stadijā no pazemes ūdeņiem (Hodireva, 1997; Stinkulis, 1998), taču trūkst šī minerāla izveidi sekmējošo faktoru, kalcija karbonāta avota, procesa mehānisma analīzes, kā arī nav noskaidrots šī minerāla izveides laikposms. Šie apstākļi nosaka bakalaura darba tēmas aktualitāti.

Pastāv iespēja, ka ievērojams karbonātu daudzums nonācis pazemes ūdeņos laikā, kad Latvijas teritorijā notika intensīvi dolomītu karsta procesi. Pastāv uzskats, ka paleokarsta norises ir attiecināmas uz neogēna periodu (Скуодис, 1974). Tātad, iespējams, arī kalcīts ir veidojies kainozojā un tā izveide ir saistīta ar paleokarsta procesiem, ko savā bakalaura darbā pārbaudīs tā autore.

Autore iepriekš ir pētījusi kalcītu un tā fluorescences izpausmes Latvijas augšējā devona Pļaviņu un Daugavas svītas dolomītos. Bakalaura darba tēma izvēlēta, jo autore vēlas padziļināti pētīt kalcītu, tā veidošanās apstākļus un saistību ar paleokarsta procesiem Daugavas svītas dolomītos.

Bakalaura darba mērķis ir raksturot Latvijas augšējā devona Daugavas svītas dolomītu atradnēs esošā kalcīta fluorescences izpausmes un citas fizikālās īpašības, ķīmisko sastāvu, tā izmaiņas un kalcīta veidošanās apstākļus, atkarībā no paleokarsta un ar to saistītiem procesiem.

Lai sasniegtu bakalaura darba mērķi, tika izvirzīti šādi uzdevumi:

1. Veikt literatūras atlasu un analīzi;
2. Veikt lauka pētījumus un ievākt kalcīta paraugus no Daugavas svītas dolomīta atradnēm Latvijas centrālajā un austrumu daļā;
3. Veikt kalcīta fluorescences izpausmju pētījumus un raksturot citas fizikālās īpašības: kristālu formu, krāsu, izmērus;
4. Izgatavot kalcīta paraugu plānslīpējumus un veikt to pētījumus, lai noskaidrotu šī minerāla attiecības ar citiem iežu komponentiem, kā arī to veidošanās secību.

5. Noteikt kalcīta ķīmisko sastāvu, izmantojot induktīvi saistītās plazmas optiskās emisijas spektrometriju;
6. Noteikt oglekļa stabilo izotopu attiecības kalcīta paraugos, lai precizētu apstākļus, kuros kristalizējies kalcīts;
7. Analizēt iegūtos datus, apkopot iegūtos rezultātus, izdarīt secinājumus.

Darba mērķa sasniegšanai tika pielietotas vairākas metodes: veikta nepieciešamās literatūras atlase un analīze; dokumentēti 7 ģeoloģiskie griezumi; ievākti 133 kalcīta paraugi, kuriem noteikti kristālu izmēri, krāsa un forma; testētas kalcīta fluorescences izpausmes, izmantojot garo, vidējo un īso staru ultravioletās lampas; veikta 30 plānslīpējumu izgatavošana un analīze polarizācijas mikroskopā; 51 kalcīta paraugam noteikts ķīmiskais sastāvs, izmantojot induktīvi saistītās plazmas optiskās emisijas spektrometriju (ICP-OES), kā arī 11 paraugiem veikta oglekļa stabilo izotopu attiecību masspektrometrijas analīze, izmantojot nepārtrauktās plūsmas sistēmu (CF-IRMS).

Bakalaura darbs satur 99 lappuses, 5 nodaļas, 31 attēlu, 2 tabulas un 4 pielikumus.

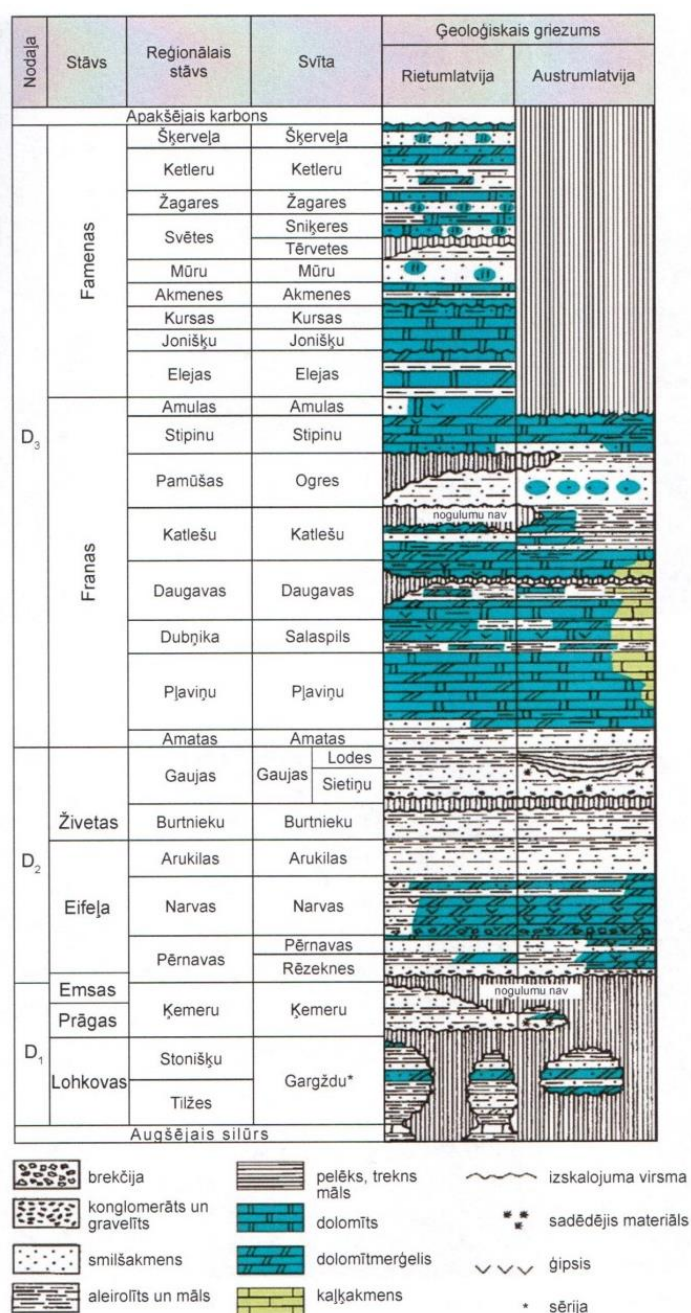
Pirmajā nodaļā sniegts augšējā devona Franas stāva nogulumu un to sedimentācijas apstākļu apraksts, raksturoti Daugavas svītas nogulumi Latvijā, aprakstīti paleokarsta un ar to saistītie procesi Latvijā, pētītās dolomīta atradnes, raksturots kalcīts un tā iepriekšējie pētījumi Latvijā, kā arī sniegts fluorescences un to ietekmējošo faktoru raksturojums. Otrajā nodaļā aprakstīti pētījuma veikšanā pielietotie materiāli un metodes. Trešajā nodaļā apkopoti pētījumā iegūtie rezultāti, ceturto nodaļu veido diskusija un piekto nodaļu – secinājumi.

Darba izstrādes laikā sākotnēji iegūtie rezultāti par kalcīta fluorescences izpausmēm dolomīta atradnē “Lauce” iecirknī “Pelši” aprobēti Latvijas Universitātes 75. zinātniskajā konferencē (Venera, 2017).

1. LITERATŪRAS APSKATS

1.1. Devona Franas stāva nogulumu sedimentācijas apstākļi

Devona periodam bija raksturīgas ievērojamas paleoģeogrāfisko apstākļu un nogulumu sastāva izmaiņas. Devona nogulumi (1.1. attēls) ir izplatīti visā Latvijas teritorijā. Nogulumu slāņkopas biežums ir mainīgs, vislielākais tas ir Rietumlatvijā Latvijas – Lietuvas depresijā (815 m), bet vismazākais (100–220 m) - Latvijas ziemeļu un austrumu daļā, kas skaidrojams ar slāņkopas denudāciju jau pēc devona perioda (Brangulis u.c., 1998).



1.1. attēls. Latvijas devona griezumš, kurā parādīta dažādu nogulumu izplatība (Stinkule, Stinkulis, 2015).

Augšējā devona Franas stāva nogulumi sastopami lielākajā Latvijas teritorijas daļā, izņemot Kurzemes un Vidzemes ziemeļus. Šo nogulumu izplatības laukums ir samazinājies pleistocēna ledāja ietekmē (Brangulis u.c., 1998). Franas stāvā ietilpst astoņas svītas (1.1. attēls) – Amatas, Pļaviņu, Salaspils, Daugavas, Katlešu, Ogres, Stipinu un Amulas svītas (Stinkule, Stinkulis, 2015).

Gan Amatas, gan Pļaviņu svītas nogulumi atbilst devona jūras transgresijām, kuru laikā notika ievērojama sedimentācijas baseinu paplašināšanās un senāku iežu denudācija, īpaši Galvenā devona lauka ziemeļaustrumu daļā, ārpus Latvijas teritorijas. Amatas svītā dominējošie nogulumi ir pelēki un dzeltenīgi smalkgraudaini smilšakmeņi ar kalcīta un dolomīta cementu, kā arī sarkanbrūni aleirolīti un māli (Brangulis u.c., 1998). Amatas laikposma beigās noslēdzās devona klastisko nogulumu izgulsnēšanās etaps un, sākot ar Pļaviņu laikposmu, Galvenajā devona laukā notika krasas sedimentācijas apstākļu izmaiņas – veidojās galvenokārt karbonātiski nogulumi, kas raksturīgi turpmākajai Franas laikmeta attīstībai (Lukševičs et al., 2012). Pļaviņu laikposmā Latvijas teritoriju klāja sekls epikontinentāls baseins un samazinājās drupu materiāla pieplūde no Baltijas vairoga (Stinkulis, 1998), kas bija iemesls sedimentācijas apstākļu izmaiņām. Pļaviņu svītai raksturīgie nogulumi ir dolomīti ar dolomītmerģeļu, kaļķakmeņu, mālu, aleirolītu un smilšakmeņu starpkārtām (Brangulis u.c., 1998).

Pļaviņu svītā pirmoreiz izpaužas Franas stāva karbonātiskajai daļai raksturīgā fāciju zonalitāte, kas liecina par to, ka šajā laikposmā Maskavas sineklīzē eksistēja atklāta jūra, kas pārgāja daļēji norobežotā baseinā virzienā uz Latviju. Rietumu virzienā, pakāpeniski aizvien vairāk norobežojoties no atklāta baseina, modificējās sāļu sastāvs ūdenī, līdz ar to bija iespējama agrīni diaġenētiskā dolomīta veidošanās un Latvijas dienvidrietumu daļā ūdens iztvaikošanas un sāļuma palielināšanās dēļ – arī ģipša sedimentācija. Rietumu virzienā sakarā ar norobežošanos no atklātas jūras, samazinājās baseinā mītošo organismu skaits un daudzveidība (Brangulis u.c., 1998).

Salaspils laikposmā notika sedimentācijas baseina regresija, izveidojās seklāka jūra nekā Pļaviņu laikposmā un norobežošanās no atklātas jūras ar normāla sāļuma ūdeni bija vēl lielāka. Iespējams arī, ka klimats kļuva arīdāks. Tā rezultātā ūdens sāļums palielinājās un veidojās agrīni diaġenētiski dolomīti, dolomītmerģeļi, māli un ģipšainie nogulumi (Brangulis u.c., 1998).

Daugavas laikposmā no Maskavas sineklīzes notika plašas jūras uzvirzīšanās, un tajā laikā Latvijas teritorijā pārsvarā veidojās dolomīti. Nogulumu sastāvs un fāciju zonalitāte kopumā līdzinās Pļaviņu svītas nogulumiem (Brangulis u.c., 1998). Tā kā bakalaura darbā

tiek pētīts kalcīts Daugavas svītas dolomītos, tad šīs svītas nogulumu un to veidošanās apstākļi tiks sīkāk aprakstīti nākamajā apakšnodaļā.

Katlešu svītas nogulumu, galvenokārt māli un dolomītmerģeļi, veidojušies regresējošā jūrā un ir izplatīti lielā Latvijas daļā, izņemot dienvidaustrumu un ziemeļu reģionus. Nogulumu uzguļ izskalotai Daugavas svītas virsmai, ko vietām ietekmējuši karsta procesi (Brangulis u.c., 1998). Katlešu svītas izplatības ziemeļu daļā raksturīgi mālaini un smilšaini nogulumi, Latvijas centrālajā daļā tajos ir dolomītu un dolomītmerģeļu starpslāņi, bet Latvijas dienvidrietumu daļā arī ģipša starpslāņi (Сорокин, 1981).

Ogres laikposmā notika sedimentācijas baseina transgresija no dienvidiem un dienvidrietumiem. Ogres svītas nogulumu sastopami lielā Latvijas teritorijas daļā, taču to nav ziemeļu un dienvidaustrumu reģionos. Šai svītai raksturīgie smilšakmeņi, aleirolīti, smilšainie dolomīti, dolomītsmilšakmeņi un citi nogulumi uzguļ izskalotai Katlešu svītas virsmai, vienīgi Latvijas ziemeļrietumu un ziemeļaustrumu daļās tieši pārsedz Daugavas svītu (Brangulis u.c., 1998).

Stipinu svītas nogulumu, tāpat kā Ogres svītas nogulumu, veidojās baseinā, kas transgresēja no dienvidiem un dienvidrietumiem, tomēr Stipinu svītai, atšķirībā no Ogres svītas, raksturīgi karbonātiski nogulumi – dolomīti un dolomītmerģeļi (Brangulis u.c., 1998).

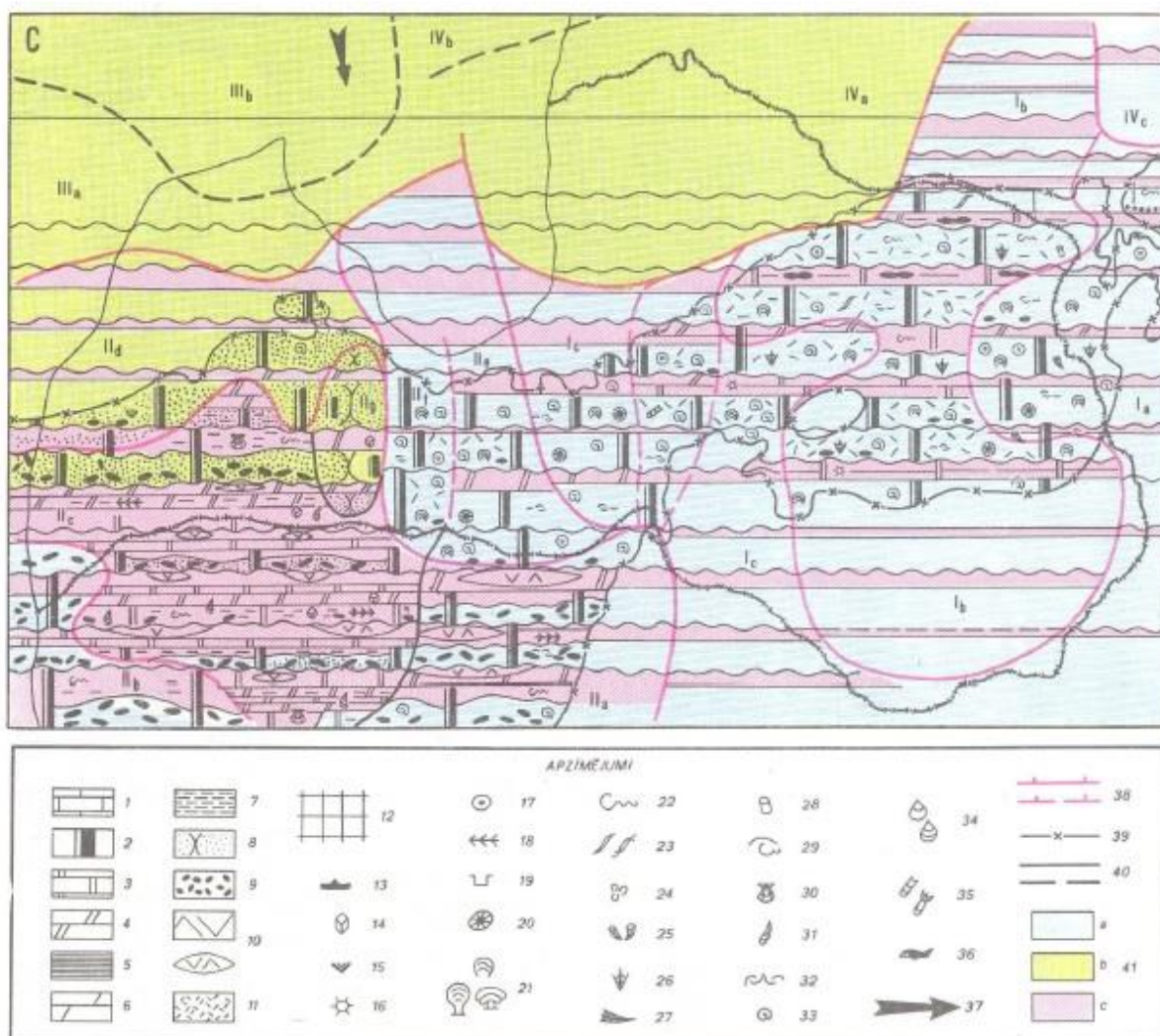
Amulas svītas nogulumu veidojušies seklā jūrā un lagūnās laikā, kad notika jūras regresija, tādēļ tie sastopami tikai Latvijas dienvidrietumu daļā (Brangulis u.c., 1998). Amulas svītas izplatības laukuma ziemeļu daļā tās nogulumu ir smilšakmeņi, aleirolīti, mālaini dolomīti, ar mālu, dolomītmerģeļu starpslāņiem. Dienvidu virzienā smilšakmeņi nomainās uz smilšainiem un aleirītiskiem dolomītiem, bet galējā Latvijas rietumu daļā sastopami arī ģipši un ģipšaini dolomīti (Lukševičs et al., 2012).

1.2. Daugavas svītas nogulumu Latvijā

Augšējā devona Franās stāva Daugavas svītas nogulumu ir izplatīti lielākajā Latvijas teritorijas daļā. Svītas nogulumu atsedzas daudzu upju krastos, taču vispilnīgākie griezumā ir Daugavas upes krastos (Brangulis u.c., 1998). Vislielākais svītas biežums ir Latvijas austrumu rajonos – no 20 līdz 25 metriem, Jēkabpils – Pļaviņu apkaimē no 10 līdz 15 metriem, savukārt Rīgas apkaimē svītas biežums ir vairs tikai 6 līdz 8 metri (Stinkule, Stinkulis, 2015).

Daugavas svītas dolomīti, dolomītmerģeļi, kaļķakmeņi, māli un ģipši veidojušies jaunas, plašas jūras transgresijas laikā. Tā kā ūdens līmenis paaugstinājās un līdz ar to samazinājās baseina gultnes nelīdzenumu ietekme, notika brīvāka ūdensapmaiņa ar atklāto jūru Maskavas sineklīzē. Šī iemesla dēļ Daugavas svīta gan pēc sastāva, gan fāciju zonalitātes (1.2. attēls) vairāk līdzinās Pļaviņu nekā Salaspils svītai (Stinkulis, 1998). Karbonātisko

nogulumu dominānce Daugavas svītā skaidrojama ar paleobaseina sedimentācijas vidi – epikontinentālajai jūrai transgresējot, ūdens sāļums bija tuvs normālam, kā arī bija pavisam neliels klastiskā materiāla pieplūdums (Lukševičs et al., 2012).



1.2. attēls. **Daugavas svītas nogulumu izplatības un fāciju karte** (Sorokins, 1994): 1 - kaļķakmeņi; 2 – metasomatiskais dolomīts; 3 – plātņains dolomīts; 4 – dolomītmerģelis; 5 – māls; 6 – merģelis; 7 – aleirolīti; 8 – smilšakmeņi; 9 – konglomerāti un gravelīti; 10 – ģipšakmeņi un anhidrīti; 11 – detrīts; 12 – lokālie pacēlumi, kur Ilmeņa slāņi Buregu fāzē noskaloti; 13 – krama konkrēcijas; 14 – halīta gliptomorfozes; 15 – sekundārais ģipsis; 16 – žūšanas plaisas; 17 – onkolīti; 18 – aļģes *Chaetocladus*; 19 – umbellas; 20 – stromatopori; 21 – stromatoporu un aļģu veidojumi; 22 – tārpu ejas; 23 – *Santacruziana*; 24 – *Vermetidae*; 25 – koraļļi (tabulāti); 26 – koraļļi (rugozi); 27 – sūneņi; 28 – krinoidejas; 29 – ostrakodi; 30 – konhostraki; 31 – lingulas; 32 – pleckāji; 33 – gliemeži; 34 – gliemenes; 35 – nautiloīdi; 36 – bruņuzivis; 37 – terīgēnā materiāla pieplūdes virziens; 38 – lūzumi; 39 – Daugavas svītas nogulumu izplatības robežas mūsu dienās; 40 – litofāciju zonu robežas; 41 – jūras ūdens sāļums (a – normāls; b- samazināts; c – palielināts).

Daugavas laikposmā baseins uzvirzījās no Maskavas sineklīzes, kuras teritorijā baseinā notika kalcija karbonātu sedimentācija. Līdzīgi apstākļi bija arī Latvijas ziemeļaustrumu daļā, kur sastopami tīri un daļēji dolomitizēti kaļķakmeņi. Virzienā uz rietumiem kaļķakmeņos pakāpeniski pieaug dolomitizācijas pakāpe. Centrālajā un Austrumlatvijā sastopami galvenokārt tādi dolomīti, kas veidojušies jau litificētu kaļķakmeņu dolomitizācijas rezultātā, bet Rietumlatvijā, domājams, ir vairāk agrīnas izcelsmes dolomītu (Brangulis u.c., 1998).

Latvijas austrumu un centrālajā daļā Daugavas svītas nogulumos sastopams bagātīgs organismu komplekss. Tas skaidrojams ar to, ka baseinam bija samērā brīva ūdens apmaiņa ar Maskavas sineklīzes jūru, līdz ar to pastāvēja labvēlīgi apstākļi dažādiem organismiem – gliemenēm, gliemežiem, brahiopodiem, galvkājiem, stromatorātiem, sūkļiem, tabulātiem, četrstarkoraļļiem u.c., savukārt Latvijas rietumu daļā ūdens sāļums periodiski bijis palielināts, tādēļ apstākļi bija piemēroti tikai organismiem, kas spēj pielāgoties dzīvei dažāda sāļuma ūdenī, piemēram, gliemenēm, lingulīdiem, zivīm, aļģēm u.c. organismiem (Brangulis u.c., 1998).

Pēc iežu sastāva un organismu atliekām Daugavas svītu iedala trīs litostratigrāfiskajās vienībās - Oliņkalna, Selgu un Kranciema ridā. Oliņkalna rida sastāv no dolomītiem ar dolomītmerģeļu starpslāņiem, Selgu rida - no dolomītmerģeļiem, mālainiem dolomītiem un dolomītiskiem māliem, savukārt Kranciema ridas nogulumi ir kvarcītveida vai smilšakmeņveida dolomīti, bet Latvijas ziemeļaustrumos – smilšakmeņi ar karbonātu cementu (Stinkule, Stinkulis, 2015).

Daugavas svītas nogulumiem raksturīgi interesanti veidojumi – autigēnie silicīti. Dolomīta slāņos ir plaši sastopamas pārkrātas koraļļu, gliemežu, brahiopodu un stromatorātu atliekas, kā arī kvarca un halcedona agregāti. Silicītu konkrēciju izcelsme nav īsti skaidra, tomēr tās varētu būt veidojušās, vai nu bagātinoties ar SiO₂ no sanešu avota baseinā ienestiem dēdēšanas produktiem, vai arī hidrotermālo procesu rezultātā (Brangulis u.c., 1998).

1.3. Paleokarsts un ar to saistītie procesi Latvijā

Latvijā devona dolomītiem un klastiskajiem nogulumiežiem, kas mijas ar dolomītiem, raksturīga parādība ir paleokarsta veidojumi (Stinkule, Stinkulis, 2015), kas izveidojušies pirms kvartāra perioda (Скюдис, 1978). Senās karsta kritenes aizpilda devona mālainie, smilšainie un cita sastāva nogulumi (1.3. attēls). Tā kā par mūsdienu karsta veidojumiem devona dolomītos nav pārliecinošu datu, paleokarsta veidojumi visdrīzāk ir mantoti no senākiem ģeoloģiskajiem posmiem (Stinkule, Stinkulis, 2015).

Pagājušā gadsimta 60. gados Daugavas ielejā veikto inženierģeoloģisko pētījumu rezultātā tika atklāti liela izmēra karsta iegruvumi, kas līdz zemkvartāra virsmai bija aizpildīti ar sadrupinātiem, sajauktiem augšējā devona nogulumiem. Paleokarsta veidojumi ir ļoti daudzveidīgi, atkarībā no tā, kādā pakāpē un formā konkrētajā vietā attīstījušies vēlākie denudācijas procesi, kas atsedza paleokarsta veidojumus. Denudācijas procesu galvenie veidi ir ledāja eksarācija, starpleduslaikmetu un pēcleduslaikmeta erozijas procesi (Скуодис, 1973).



1.3. attēls. **Paleokarsta kritenes aizpildījums Aiviekstes kreisā krasta dolomīta atradnē** (fotografējusi autore).

Senajiem karsta veidojumiem ir kopīgas morfoloģiskās iezīmes – iežiem, kas aizpilda veidojumus, ir kopīga denudācijas virsma ar apkārtējo teritoriju, paleokarsta veidojumu virsmai horizontālā plaknē visbiežāk ir ieapaļa vai elipsveida forma (Скуодис, 1973), savukārt vertikālā griezumā paleokarsta veidojumu forma līdzinās vertikālām akām, šahtām vai koniskām piltuvēm (Варфоломеева, 1965). Paleokarsta veidojumi sasniedz 60–70 metru dziļumu, dažos gadījumos pat vairāk nekā 100 metru lielu dziļumu (Скуодис, 1973).

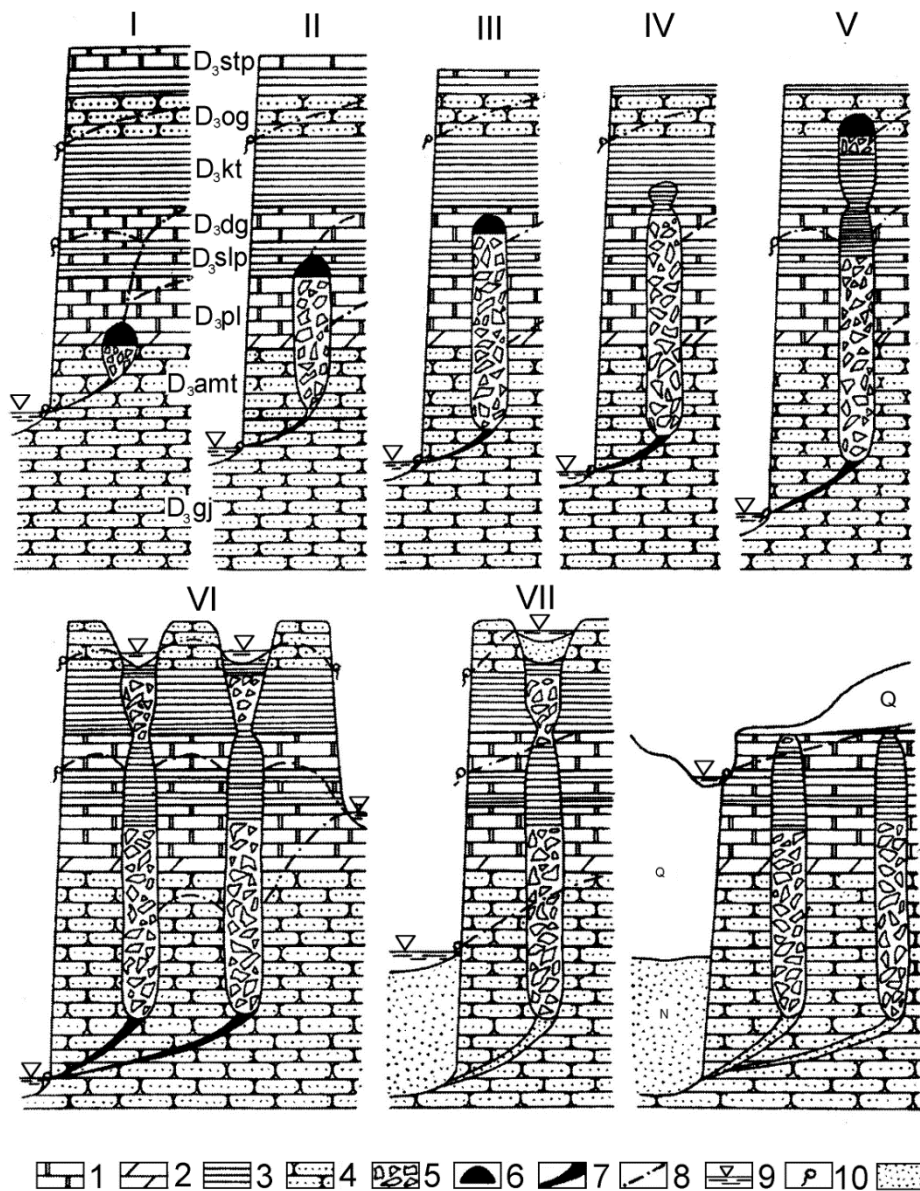
Tā kā paleokarsta veidojumu pamatne atrodas aptuveni 50 metrus dziļāk par mūsdienu erozijas bāzes līmeni, paleokarsta veidojumi varēja veidoties kontinentālos apstākļos, kad Latvijas teritorija bijusi pacelta un atradās augstāk par mūsdienu Baltijas jūras līmeni (Варфоломеева, 1965).

Karsta veidojumu smilšaini mālainā aizpildījuma materiāla ģeoloģiskais vecums ir Katlešu un Ogres svīta (Hodireva, 1997; Kaļva, 2010). Karsta veidojumus aizpildošie Katlešu un Ogres svītas ieži ir dažādi – pelēcīgi, zilgani, violetīgi māli, pelēcīgi aleirolīti, gaiši smalkgraudaini kvarca smilšakmeņi (Hodireva, 1997) un daudzos gadījumos tie vairs nav saglabājušies karsta veidojumu apkārtnē (Скюдис, 1973).

Paleokarsta veidojumiem V. Skuodis nodala septiņas attīstības stadijas (1.4. attēls). Pirmā karsta veidojumu attīstības stadija sākās, izskalojot Amatas svītas smilšakmeņus. Izskalošana notika, ūdenim pieplūstot pa plaisām no augstāk esošajiem iežu slāņiem. Izskalojumam kļūstot lielākam, augstāk esošie Pļaviņu svītas dolomīti sāka iegrūt. Izskalošanas un ieegrūšanas process progresēja galvenokārt virzienā uz augšu. Trešā stadija sākās ar Daugavas svītas dolomītu ieegrūšanu vertikālajā kanālā, kas nodrošināja Daugavas svītas ūdens horizonta saistību ar zemāk esošajiem ūdens horizontiem, kā rezultātā ievērojami pastiprinājās ūdens plūsma. Kad karsta procesi sestajā stadijā sasniedza slāņus, kas atrodas Zemes virspusē, tad izveidojās liela izmēra karsta piltuves un kritenes. Pēdējā stadijā notiek pavisam nelielas morfoloģiskās izmaiņas, kā arī tukšumu un plaisu kalcitizācija un aizpildīšanās ar dolomītmiltiem (Скюдис, 1978).

Karsta veidojumos sastopamās kavernoza dolomītu atlūzas liecina par to, ka poru un kavernu veidošanās notikusi pirms karsta procesu attīstības. Vairumā gadījumu dolomītiem raksturīgas šķīšanas poras un kavernas, kas saistītas ar atsevišķu minerālu graudu un kristālu, to sakopojumu vai faunas izskalošanās procesiem. Kavernu izmērs un forma ir atkarīga no to veidošanās apstākļiem. Ja kavernas veidojušās organismu atlieku vietā, to izmēri ir no 1 līdz 5 cm, retāk 10 cm. Daudzveidīgākas formas un izmēri ir tām kavernām, kas veidojušās šķīstot kalcīta – dolomīta iecirkņiem. Šādu kavernu izmērs ir no 0,5 līdz 20 un vairāk centimetriem, raksturīgākā forma – neregulāri ovāla. Karbonātiežos paleokarsta procesi sākās ar poru veidošanos, kā rezultātā izveidojās poraini kavernoza tekstūra, pēc tam, iezīm sabrūkot, radās atlūzas un dolomītmilti. Ar paleokarstu saistītas daļējas dolomīta struktūras un mineraloģiskā sastāva izmaiņas kalcitizācijas, silikatizācijas un sulfatizācijas procesos (Барфоломеева, 1965).

Dolomīti karsta veidojumu tuvumā ir ļoti pārveidoti – izskaloti, bagāti ar dzelzs savienojumiem un kalcīta kristālu drūzām plaisās un kavernās, kas liecina par to, ka notikusi aktīva un ilgstoša pazemes ūdeņu cirkulācija. Pazemes ūdeņi pānesuši izšķīdušās vielas pa plaisām un tukšumiem dolomītu slāņos, un notikusi atkārtota vielu izgulsnēšanās. Dolomītu slāņos tikuši ieskaloti arī karsta veidojumus aizpildošie Katlešu un Ogres svītas mālaini terigēnie nogulumu, tādējādi karsta veidojumiem izveidojušies atzarojumi un to forma atgādina koka stumbru ar zariem (Hodireva, 1997).



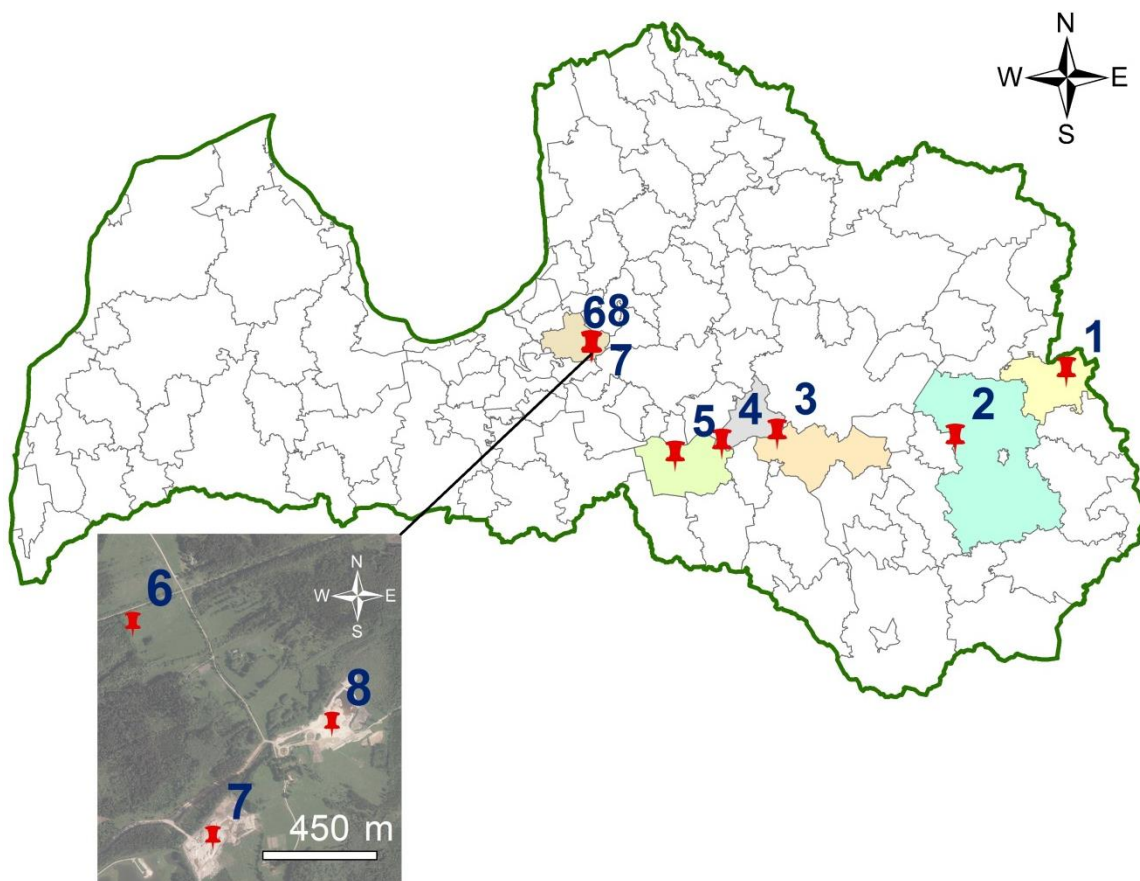
1.4. attēls. Karsta – sufozijas – erozijas iegruvumu attīstības shēma (Stinkule, Stinkulis, 2015; pēc Скуодис, 1978): 1 – dolomīts; 2 – dolomītmerģelis; 3 – māls; 4 – smilšakmens, aleirolīts; 5 – sajauktas dažādu izmēru atlūzas; 6 – iegruvuma tukšums; 7 – sufozijas-erozijas tukšums; 8 – pazemes ūdeņu līmenis; 9 – virszemes ūdeņu līmenis; 10 – avoti; 11 – smilšaini akumulatīvie veidojumi; I-VII – paleokarsta veidojumu attīstības stadijas; D₂gj – vidējā devona Gaujas svīta; D₃am – augšējā devona Amatas svīta; D₃pl – augšējā devona Pļaviņu svīta; D₃slp – augšējā devona Salaspils svīta; D₃dg – augšējā devona Daugavas svīta; D₃kt – augšējā devona Katlešu svīta; D₃og – augšējā devona Ogres svīta; D₃stp – augšējā devona Stipinu svīta; N – neogēns; Q – kvartārs.

Palinoloģisko pētījumu laikā tika analizētas karsta veidojuma iekšienē esošajos dolomītmiltos un mālos sastopamās sporas un putekšņi. Pētījumos tika konstatētas ne tikai devona augiem raksturīgās sporas, bet arī priežu putekšņi, kas ir raksturīgi paleogēna un

neogēna periodiem (Скуодис, 1974). Nesenos pētījumos paleokarsta veidojumu aizpildījumā konstatēti gan priedes, gan ginka putekšņi, kas arī norāda uz kainozoju (Kaļva, 2009). Tomēr līdz šim iegūtie analīžu rezultāti viennozīmīgi nepierāda veidojumu vecumu, tādēļ pagaidām neskaidrs ir jautājums par seno karsta veidojumu rašanās laiku. Lai to noskaidrotu, nepieciešams veikt papildus ģeomorfoloģiskos, palinoloģiskos un litoloģiskos pētījumus (Stinkule, Stinkulis, 2015).

1.4. Pētīto dolomīta atradņu raksturojums

Bakalaura darba ietvaros pētītās dolomīta atradnes ir izvietotas Latvijas centrālajā un austrumu daļā (1.5. attēls) Visās šajās atradnēs sastopamie dolomīti pēc ģeoloģiskā vecuma pieder augšējā devona Daugavas svītai.



1.5. attēls. Pētītās Daugavas svītas dolomīta atradnes (izstrādājusi autore, izmantojot SIA Envirotech datu bāzi ĢIS Latvija 2010 un 5. etapa ortofoto karti, LU ĢZZF WMS): 1 – atradne “Rītupes”, Kārsavas novads; 2 – atradne “Pērtnieki”, Rēzeknes novads, 3 – atradne “Aiviekstes kreisais krasts”, Krustpils novads; 4 – atradne “Jaunsmilktiņas 1”, Pļaviņu novads; 5 – atradne “Lauce”, iecirkņi “Atradzes” un “Pelši”, Jaunjelgavas novads; 6 – atradne “Sienāži”, Ropažu novads; 7 – atradne “Jaundutkas”, Ropažu novads; 8 - atradne “Dutkas”, Ropažu novads.

Dolomīta atradne “Rītupes” atrodas Kārsavas novadā, Malnavas pagastā. Daugavas svītu tur veido divas dolomīta slāņkopas, kuras atdala 3,0 metru bieza dolomītmerģeļa, mālaina dolomīta un mālu starpkārta. Augšējās slāņkopas vidējais biezums ir 4,9 metri, bet apakšējās slāņkopas biezums – 21,1 metri. Pazemes ūdeņu līmenis atradnē ir no 0,5 līdz 2,0 metriem no Zemes virsmas. Segkārtas biezums ir 1,6 līdz 3,6 metri: to veido augsnes, kūdras, smilts – grants, smilšmāla un mālsmilts slāņi (Vides pārraudzības valsts birojs, 2009b).

Pērtnieku dolomīta atradne atrodas Rēzeknes novadā, Sakstagala pagastā. Derīgo slāņkopu veido dolomīts, tās biezums ir no 8,7 līdz 21,3 metriem. Dolomīta slāņkopā vietām sastopams 0,4 līdz 1,7 metrus biezs mālaina dolomīta slānis. Pazemes ūdeņu līmenis atradnē ir 2,0 līdz 15,0 metri no Zemes virsmas. Segkārtas biezums ir mainīgs, no 1,5 līdz 10,9 metriem, to veido augsne, vietām kūdra un kūdraina smilts, aleirīts, morēnas mālsmilts un smilšmāls, mālains dolomīts (Vides pārraudzības valsts birojs, 2009a).

Aiviekstes kreisā krasta dolomīta atradne ir Krustpils novadā, Variešu pagastā. Tā ir valsts nozīmes atradne un lielākā dolomīta atradne Latvijā. Dolomītu slāņkopas vidējais biezums atradnē ir 7 metri. Derīgās slāņkopas apakšējā daļā iegul tumši pelēki, smalkkristāliski, plaisaini dolomīti ar augstu stiprību, virs tiem iegul monolīts mazāk izturīga dolomīta slānis. Augstāk griezumā šo slāni atkal nomaina mehāniski izturīgi un plaisainie dolomīti. Slāņkopas vidusdaļā ir lāsumaina, poraina un kavernoza dolomīta slānis. Lielākajā atradnes teritorijas daļā slāņkopu caurvij ļoti izturīgs, tumši pelēks kvarcītveida dolomīts ar kavernām un plaisām. (Kondratjeva, Hodireva, 2000). Atradnē ir konstatēti 17 paleokarsta veidojumi, kuru relatīvais augstums ir no 5,0 līdz 10,0 m un pēc formas tie pārsvarā ir ieapaļi vai iegareni (Kaļva, 2009). Aiviekstes atradnē ir liels pazemes ūdeņu pieteces apjoms. Segkārtas biezums virs dolomītu slāņkopas ir no 1,0 līdz 6,2 metriem (Kondratjeva, Hodireva, 2000).

Dolomīta atradne “Jaunsmilktiņas 1” atrodas Pļaviņu novadā, Klintaines pagastā. Atradnē derīgo slāņkopu biezumā no 3,87 līdz 6,97 metriem veido mehāniski ļoti izturīgi dolomīti. Zem Daugavas svītas dolomītiem iegul zilganpelēki māli ar dolomītmerģeļa un merģeļa starpkārtām. Karsta iegruvumi nevienā no urbumiem nav konstatēti. Pazemes ūdens līmenis atrodas 2,6 līdz 3,6 metru dziļumā no Zemes virsmas. Virs dolomītiem iegul smilts – grants slāņkopa, kuras biezums ir no 1,2 līdz 2,2 metriem. Segkārtas biezums līdz 4,0 metriem, to veido morēnas mālsmilts (Rīteru dolomīts, 2014).

Lauces dolomīta atradne, iecirkņi “Atradzes” un “Pelši” atrodas Jaunjelgavas novadā, Sērenes pagastā. “Atradzēs” derīgo slāņkopu veido dolomīti ar dolomītmerģeļa un plānām māla starpkārtām. Dolomīts ir plaisains, slāņkopas augšējā daļā (līdz 1,0 m dziļumam) sadēdējis un šķembains. Derīgās slāņkopas biezums atradnē ir no 6,1 līdz 10,4 metriem.

Segkārtas vidējais biežums ir 0,6 metri (Vides pārraudzības valsts birojs, 2007). “Pelšos” derīgo slāņkopu arī veido dolomīti ar dolomītmerģeļa un plānām māla starpkārtām. Dolomītmerģeļa starpkārtu vidējais biežums ir 1,4 metri. Dolomīts ir plaisains, slāņkopas augšējā daļā līdz 1,0 metru dziļumam sadēdējis. Dolomīta slāņkopas biežums ir no 2,7 līdz 11,8 metriem. Atradnes teritorijai ir raksturīgi senie karsta veidojumi. Pazemes ūdens līmenis atrodas zemāk par derīgo slāni, no 7 m atradnes rietumos līdz 12 m pie Lauces ielejas. Segkārtas biežums lielākajā atradnes daļā ir no 0,1 līdz 0,4 metriem, vienīgi pie Lauces ielejas sasniedz 1,7 metrus (Buls, Juškevičs, 2007).

Sienāžu dolomīta atradne atrodas Ropažu novadā, aptuveni 700 m attālumā no Dutku atradnes. Atradnes apkaimē un pašā atradnē sastopami karsta veidojumi. Derīgās slāņkopas biežums atradnē ir no 5,3 līdz 9,0 metriem. Slāņkopas apakšējo daļu veido pelēki, mehāniski vidēji izturīgi dolomīti, savukārt augšējo daļu veido kvarcītveida dolomīti, kas vietām ir kavernozi. Dolomītu slāņkopas vidusdaļā ir vidēji 1,1 metru biezs māla un dolomītmerģeļa starpslānis. Pazemes ūdens līmenis atrodas 0,6 līdz 1,8 metru dziļumā no Zemes virsmas. Segkārtu veido 0,9-2,10 m biezs glaciolimnisko nogulumu slānis, virs kura iegul 2,9 metrus biezs morēnas mālsmilts slānis (SIA “Zemes puse”, 2014).

Dolomīta atradne “Jaundutkas” atrodas Ropažu novadā, aptuveni 400 m attālumā no Dutku atradnes. Atradnes laukuma tuvumā ir novērotas karsta procesu pārveidotas platības. Derīgās slāņkopas biežums ir mainīgs – no 9,4 metriem atradnes dienvidu, rietumu un ziemeļrietumu daļā līdz 2,1 metram atradnes centrālajā daļā. Virs dolomīta iegul 1,8 līdz 2,2 metrus biezs smilts slānis. Pazemes ūdens līmenis atrodas 0,3 līdz 10,5 m dziļumā no zemes virsmas. Segkārtu veido 3,1 līdz 4,2 metrus biezs mālsmilts un augsnes slānis (Vides pārraudzības valsts birojs, 2010).

Dolomīta atradne “Dutkas” atrodas Ropažu novadā. Derīgo slāņkopu veido trīs atšķirīgas daļas, no kurām saimnieciski ir izmantojamas augšējā un apakšējā daļa, savukārt vidējo daļu veido līdz 1,1 m biezs nederīgs dolomītmerģeļa starpslānis. Kopējais Daugavas svītas biežums atradnes rietumu daļā ir 3-4 m, bet atradnes dienvidu daļā līdz pat 9 m. Vietām dolomīts ir stipri izmainīts karsta procesu rezultātā. Dolomīta krājumi atrodas zem pazemes ūdens līmeņa, kas atrodas 0,1 līdz 2,2 metru dziļumā no Zemes virsmas. Segkārtas biežums virs dolomītu slāņkopas sasniedz 3,8 metrus (Mizovska, Petersons, 2007).

1.5. Kalcīts un tā iepriekšējie pētījumi devona dolomītos Latvijā

Kalcija karbonātam (CaCO_3) ir seši dažādi paveidi: amorfais kalcija karbonāts, kalcija karbonāta heksahidrāts ($\text{CaCO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), kalcija karbonāta monohidrāts ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$), vaterīts,

aragonīts un kalcīts. Termodinamiski visnestabilākā forma ir amorfais kalcija karbonāts, kam ir nozīmīga loma bioloģiskas izcelsmes kalcija karbonāta veidošanā, savukārt termodinamiski visstabilākā forma ir kalcīts (Dobrev, Markovic, 2012).

Kalcīta ķīmiskā formula ir CaCO_3 ; to veido kalcija oksīds un oglekļa dioksīds, attiecīgi 56% CaO un 44% CO_2 , taču šo savienojumu proporcijas var mainīties. Tā kā kalcīts nelielā daudzumā satur arī magniju, dzelzi un mangānu, tad precīzāka tā formula būtu $(\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Fe}, \text{Mn})\text{CO}_3$ (Cornelis, Cornelius, 1993). Minerāla kristālrežģī magnija joni var aizstāt kalcija jonus, tādēļ tiek nodalīts kalcīts ar zemu Mg saturu (<4%) un kalcīts ar augstu Mg saturu (11-19%). Arī stroncija joni var aizstāt kalcija jonus, un, kaut arī stroncijs parasti sastopams nelielā daudzumā (<1%), tas ir nozīmīgs elements iežu vecuma noteikšanā (Nichols, 2009).

Dažādi ķīmiskie elementi ar līdzīgu lādiņu un jonu rādiusu var ieņemt vietu kalcīta kristālrežģī, taču ne vienmēr notiek elementu iekļaušana kristālrežģī - iespējami arī varianti, kad citi ķīmiskie elementi atrodas starp kristālrežģa plaknēm un vietās, kur ir kristālrežģu defekti. Elementi var būt iekļauti kalcīta sastāvā kā šķidrie un cietie iekļāvumi, kā arī atrasties izklīdētā veidā gar kristālu kontaktzonām (Dickson, 1990). Kalcītam raksturīgākie mikroelementi ir magnijs (Mg), dzelzs (Fe) un mangāns (Mn) (Cornelis, Cornelius, 1993), kā arī cinks (Zn), stroncijs (Sr) un citi elementi. Dzelzs un mangāna daudzums kalcītā var būt līdz pat 8%, bet cinka un stroncija – līdz 2% (Segliņš, 2007).

Kalcīts parasti sastopams kristālu veidā (1.6. attēls) vai arī rupjkristāliskos un smalkkristāliskos agregātos. Tīra kalcīta krāsa parasti ir balta vai bezkrāsaina, taču iespējamās arī dažādas nokrāsas – pelēka, zaļa, sarkana, dzeltena, zila. Skaldnība ir ļoti laba, spīdums stikla līdz zemjains, cietība 3, blīvums $2,71 \text{ g/cm}^3$ (Cornelis, Cornelius, 1993).

Kalcīts ir morfoloģiski ļoti daudzveidīgs minerāls – zināmas vairāk nekā 300 formas, no kurām visbiežāk sastopamās ir skalenoedri, romboedri un prizmas (Cornelis, Cornelius, 1993). No termodinamiskā viedokļa, kristālu līdzsvara morfoloģija tiek prognozēta, izmantojot Vulla likumu, kas tiek definēts kā minimālā enerģija, kas rodas, sasummējot visus atklāto kristālu plakņu produktus un to relatīvās virsmas enerģijas. No šī likuma izriet, ka kristālu forma ir atkarīga no dažādu kristalogrāfisko plakņu relatīvās virsmas enerģijas, ja vien uz katru no šīm plaknēm iedarbojas vienādi augšanas mehānismi. Tādējādi, ātrāk augošām plaknēm ir lielāka virsmas enerģija un tās izzudīs veidošanās beigu posmā, lai samazinātu virsmas ar lielāko enerģiju, tā rezultātā virsmas ar mazāku enerģiju būs vairāk atklātas noteiktajā kristāla zonā. Tomēr ne vienmēr pēc šīm termodinamikas likumsakarībām var paredzēt kristālu formu veidošanos dabiskos apstākļos. Kristalizācijas procesus un to rezultātā veidojušās kristālu formas ietekmē arī dažādas deformācijas, jonu vai organisko vielu ieslēgumi, augšanas apstākļi, tādējādi samazinot virsmas enerģiju, kas savukārt ietekmē

augšanas ātrumu dažādām kristalogrāfiskām plaknēm. Tā rezultātā kristāli ir anizotropiski un to formas ievērojami atšķiras no teorētiskajām kristālu formām ideālos augšanas apstākļos (Dobrev, Markovic, 2012).



1.6. attēls. Kalcīta kristālu drūza no Aiviekstes kreisā krasta dolomīta atradnes (fotografējusi autore).

Kalcīts veidojas sedimentācijas, dēdēšanas, metamorfisma un hidrotermālos procesos. Latvijā iespējams atrast daudzveidīgus kalcīta kristālus, kuru izmērs var sasniegt vairākus centimetrus. Kalcīts veido dzīslas vai drūzas dolomīta un kaļķakmens kavernās, kas diezgan bieži atrodamas dabiskajos karbonātiežu atsegumos. Kalcīta kristālu izvietojums saistās ar dolomīta slāņkopas ģeoloģisko uzbūvi un pazemes ūdeņu plūsmām tajās (Venera, Hodireva, 2014). Latvijas teritorijā ir izplatīts kalcija un magnija hidroģēnkarbonātu pazemes ūdeņu tips. Šāda sastāva ūdeņi veicina karbonātiežu šķīšanu un veido poraini kavernoza tekstūras, galvenokārt tīrākajos dolomītiežu paveidos (Hodireva, 1997).

Nogulumiežu slāņkopās sekundārais kalcīts ir bieži sastopams pēcsedimentācijas procesu veidojums, kas visdrīzāk izkristalizējas no sekli plūstošiem pazemes ūdeņiem kontinentālos apstākļos. Kalcīta kristālu forma un attiecības ar dolomīta pamatmasu izslēdz tā veidošanos nogulās, baseina ūdens ietekmē, notiekot diaģenēzes procesiem (Jaunžeikare, 2013).

Kalcīta izgulsnēšanos no ūdens šķīdumiem nosaka ķīmiska reakcija: $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^-$. Reakcijas līdzsvars nobīdās uz vienu vai otru pusi, mainoties izšķīdušā CO_2 daudzumam (Chang, 1998). Lai novērtētu kalcīta izgulsnēšanos, jāsalīdzina CO_2 veidošanās ātrums augstāk minētajā reakcijā ar CO_2 veidošanās ātrumu divās hidratācijas reakcijās: $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$ un $\text{CO}_2 + \text{OH}^- \leftrightarrow \text{HCO}_3^-$. Ja reakcija $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^-$ ir ātrāka, nekā abas hidratācijas reakcijas, tad šķīduma sastāvs ir atkarīgs no visu trīs reakciju kinētikas. Mērenas sārmainības apstākļos, ja pH ir lielāks par 8,3, hidratācijas reakcija $\text{CO}_2 + \text{OH}^- \leftrightarrow \text{HCO}_3^-$ var ietekmēt ātrumu, kādā notiek CO_2 apmaiņa starp atmosfēru un ūdeni (House, 1984). Kalcija karbonāts ir sastopams pazemes ūdeņos un arī virszemes ūdeņos, tādēļ kalcīta izgulsnēšanās no šiem ūdeņiem vai šķīšana tajos atkarīga no ārējiem apstākļiem, kas maina ūdenī izšķīdušā CO_2 daudzumu (Chang, 1998).

Plašākus pētījumus par kalcītu devona dolomītos Latvijā ir veikusi S. Jaunžeikare bakalaura un maģistra darbu ietvaros. Bakalaura darbā “Devona Daugavas svītas dolomītu pēcsedimentācijas izmaiņas Rīgas apkārtnē” tiek secināts, ka sekundārajam kalcītam ir lokāla izplatība, tas veidojas dolomīta plaisās un kavernās. Asociācijā ar sekundāro kalcītu bieži novērojami mangāna savienojumi, kuru proporcija pieaug zonās, kurās attīstījušies dolomītmilti un sekundārais kalcīts (Jaunžeikare, 2010).

G. Stinkulis disertācijā “Latvijas devona klastisko-karbonātiežu un kaļķakmeņu-dolomītu pārejas zonu sedimentoloģija un mineraloģija” secina, ka kalcīts karbonātu konkrēciju kavernās un kalcīta cements devona smilšakmeņos ir veidojies pazemes ūdeņu iedarbības rezultātā pēc pēdējās dolomīta kristalizācijas stadijas (Stinkulis, 1998).

Maģistra darbā “Sekundārais kalcīts Franā stāva dolomītos Latvijā” S. Jaunžeikare arī secina, ka kalcītam ir sekundāra izcelsme un tas izkristalizējies no atmosfēras ūdeņiem vai sekli plūstošiem pazemes ūdeņiem kontinentālos apstākļos pēc krama un dolomīta veidošanās, jo satur to iekļāvumus (Jaunžeikare, 2013).

Par kalcīta ķīmisko tīrību nosacīti liecina to izskats – caurspīdīgāki kristāli norāda uz mazāku ķīmiskā piejaukuma un mehānisko iekļāvumu daudzumu. S. Jaunžeikare pētījusi arī kalcīta saistību ar dedolomitizācijas procesiem (Jaunžeikare, 2013).

Šī bakalaura darba autore iepriekšējie pētījumi ir par kalcīta fluorescences izpausmēm Latvijas augšējā devona dolomītu slāņos (Venera, Hodireva, 2014; Venera, 2017), kā arī kursa darba ietvaros tika pētīts kalcīts augšējā devona Pļaviņu svītas dolomītos Dārziema atradnē (Venera, 2015).

1.6. Fluorescences raksturojums un ietekmējošie faktori

Luminiscence ir materiāla spēja izstarot gaismu dažādu ierosinātāju ietekmē. Atkarībā no tā, kas ierosina luminiscenci, tai ir dažādi veidi. Pētījuma veikšanā izmantots viens no luminiscences veidiem – fluorescence, ko visbiežāk ierosina ultravioletais starojums (Mazzoleni, 2012).

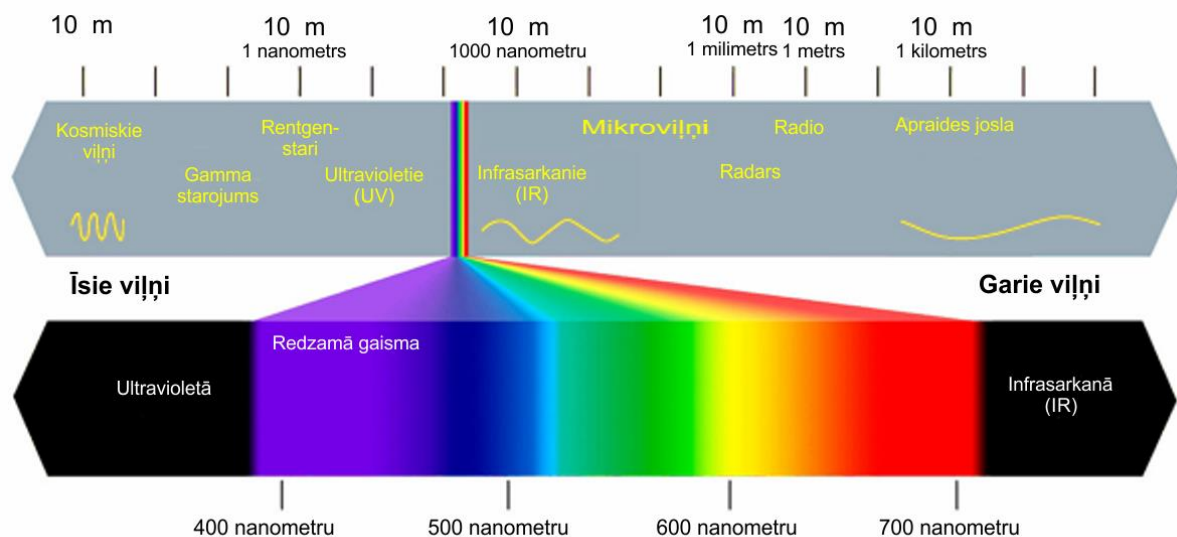
Terminu “fluorescence” ieviesis angļu zinātnieks Džordžs Gabriels Stokss 19.gs. vidū, pētot tolaik industriāli nozīmīgu minerālu – fluorītu, ko izmantoja metalurģijā un optikā. Stoksu ieinteresēja fluorīta krāsas maiņa, no smaragdzaļas līdz īpatnēji zilganzaļai, ko ierosināja noteikti gaismas apstākļi. Apstarojot fluorītu ar saules gaismu īpašos apstākļos, viņš atklāja, ka minerāls luminiscē koši zilā krāsā. Stokss šo īpašību nosauca par fluorescenci, atbilstoši pirmajam atklātajam fluorescējošajam minerālam – fluorītam (Mazzoleni, 2012).

Elektromagnētiskie viļņi atšķiras pēc garuma un frekvences (1.7. attēls). Cilvēks spēj saskatīt tikai nelielu daļu no visa elektromagnētisko viļņu spektra – viļņus ar garumu no 380 nm līdz 760 nm jeb redzamo gaismu (Mazzoleni, 2012). Nākamais viļņu spektrs pēc redzamās gaismas ar lielāku viļņu garumu ir infrasarkanais jeb siltumstarojums, savukārt spektrs ar mazāku viļņu garumu pirms redzamās gaismas spektra ir ultravioletais starojums (Warren et al., 1995).

Ultravioletais starojums dalās četrās pakāpēs: garo viļņu starojums no 350 nm līdz 380 nm, vidējo viļņu starojums no 300 nm līdz 350 nm, īso viļņu starojums no 200 nm līdz 300 nm un superīso viļņu starojums <200 nm (Mazzoleni, 2012).

Viens no starojuma veidiem, ko izstaro Saule, ir ultravioletais starojums. Līdz Zemes virsmai cauri atmosfēras slāņiem nonāk garo un vidējo viļņu ultravioletais starojums, savukārt īso un superīso viļņu starojumu aiztur atmosfēra (Warren et al., 1995).

Garu ultravioleto staru ietekmē fluorescē šādi minerāli: fluorīts, villemīts, rubīns, dimants u.c. Vidējie ultravioletie stari izraisa savādākas fluorescences izpausmes dažiem minerāliem, kā, piemēram, eikriptītam, agrelītam un arī kalcītam, kuriem citos viļņu garumos vērojama vāja fluorescence vai tās nav vispār. Īsie ultravioletie stari ir ārkārtīgi efektīvi fluorescences ierosinātāji. Lielākā daļa minerālu fluorescē tieši īsajos ultravioletajos staros. Superīsie ultravioletie stari ierosina dažādu minerālu fluorescenci, taču iespēju izmantot šo starojumu ierobežo apstākļi, ka pētījumiem ar superīsajiem stariem ir jānotiek vakuuma kamerās, jo gaisā tie tiek absorbēti (Warren et al., 1995).



1.7. attēls. **Elektromagnētisko viļņu spektrs** (Full spectrum light, 2014).

Minerālu fluorescence izpaužas, apstarojot minerālus ar ultravioleto starojumu. Minerāli starojumu absorbē, pārveido un izstaro redzamo gaismu jeb elektromagnētiskos viļņus ar lielāku garumu – no 380 nm līdz 780 nm. Pārtraucot ultravioleto starojumu, izzūd arī redzamās gaismas starojums (Warren et al., 1995). Fluorescences izpausmes ierosina ultravioletais starojums, jo tas izraisa minerālu kristālrežģī esošo atomu elektronu pāreju uz augstākiem enerģijas līmeņiem. Kad elektroni atgriežas atpakaļ līmenī, kurā tie atradās, tiek izstarota redzamā gaisma ar viļņa garumu, kāds ierosināja elektrona pāreju uz augstāku līmeni. Tomēr dažos gadījumos elektroni var iekrist arī kādā līmenī, kas atrodas pa vidu, tādējādi ierosinot gaismas izstarošanu ar lielāku viļņa garumu (Cornelis, Cornelius, 1993).

Fluorescences krāsas un to intensitātes ir ļoti dažādas (1.8. attēls), tomēr minerālu fluorescences krāsa nevar būt melna, savukārt violetas krāsas gadījumos jāizvērtē vai tā tiešām ir fluorescences krāsa. Ja minerāls fluorescē violetā krāsā, tā visdrīzāk nav fluorescences krāsa, bet gan minerāla atstarots ultravioletais starojums, ko nav absorbējis lampas filtrs. Violeta fluorescences krāsa novērojama tikai dažiem specifiskiem minerāliem, piemēram, dumorterītam. Melna fluorescences krāsa rodas, minerāliem absorbējot ultravioleto starojumu, tādējādi tā nav fluorescenci raksturojoša krāsa, bet būtībā raksturo krāsas neesamību (Warren et al., 1995).

Lielākā daļa minerālu, kuriem ir regulārs kristālrežģis un tīrs ķīmiskais sastāvs, nefluorescē. Vairumā gadījumu fluorescenci ierosina dažādu neorganisko un organisko vielu piemaisījumi, kā arī kristālrežģu defekti. Ierosinošie faktori galvenokārt ir atkarīgi no ģeoloģiskajiem apstākļiem, kādos minerāls veidojies. Sastopami arī reti izņēmumi, kad minerāli, piemēram, šēlīts un autunīts, fluorescē neatkarīgi no izcelsmes vietas un apstākļiem.

Šādos gadījumos pamats uzskatīt, ka fluorescence ir konkrētajam minerālam konstanta fizikālā īpašība, ko izraisa minerāla kristālķīmiskais sastāvs, noteiktas jonu grupas un organiskās sastāvdaļas (Mazzoleni, 2012).



1.8. attēls. Minerālu fluorescence vides centrā Vides labirints (Foto: rcmmedia.tv).

Pārējo minerālu fluorescenci ierosina aktivatori vai arī aktivatoru/koaktivatoru mijiedarbība. Kā fluorescences aktivatori var kalpot minerāla kristālrežģa jonu aizvietošana ar citiem joniem vai jonu grupām, dažādi cietie ieslēgumi, piemēram, mikroskopiski fluorescējošu minerālu kristāli, organisko vielu vai šķidrumu ieslēgumi, metālu plēvītes uz augšanas zonām kristālu iekšienē, kā arī dažādi kristālrežģu defekti. Fluorescenci ierosina dažādu ķīmisko elementu - retzemju elementu, titāna, vanādija, hroma, mangāna, vara, sudraba, alvas, antimona, volframa, tallija, svina, bismuta, urāna - joni (Mazzoleni, 2012).

Kristālrežģu defekti, kas ierosina fluorescenci, ir intersticiālais, Frenkela un Šotkija defekts. Intersticiālais defekts veidojas, ja kristālrežģī ir brīva vieta, ko aizpilda minerāla kristālķīmiskajā formulā neesoša elementa jons. Šis defekts var izmainīt elektrisko neitralitāti un līdz ar to arī stehiometrisko līdzsvaru. Tādā gadījumā fluorescences ierosinātāju (aktivatoru) var noteikt, izmantojot ķīmisko analīzi ar augstu precizitāti (Mazzoleni, 2012). Intersticiālā defekta piemērs ir kalcīta kristālrežģī iekļauts stroncija jons, kas ir lielāks, tādējādi tas izjauc kristālrežģa simetrisko sakārtojumu un ierosina zilganzaļu kalcīta fluorescenci (Warren et al., 1995). Frenkela defekts veidojas, ja jons pārvietojas no savas

normālās pozīcijas uz citu (ideālā gadījumā - brīvu) vietu kristālrežģī, veidojot nepareizu jonu izkārtojumu. Šotkija defekts ir tukšums, kas veidojas, ja kristālrežģī trūkst kāds no katjoniem un anjoniem. Frenkela un Šotkija defekti neizmaina elektrisko neitralitāti un stehiometrisko līdzsvaru, tādēļ tos nevar noteikt ar ķīmisko analīžu palīdzību (Mazzoleni, 2012).

Fluorescence ir atkarīga no elektronu enerģijas līmeņiem – ja minerāla kristālrežģī nav elektronu, kas spētu absorbēt ultravioleto starojumu un izstarot redzamo gaismu, tad aktivatori var nodrošināt nepieciešamos elektronu enerģijas līmeņus, lai tiktu ierosināta fluorescence. Gadījumos, kad aktivators viens pats nav spējīgs izraisīt fluorescenci, nepieciešami koaktivatori, kas absorbē ultravioleto starojumu un nodod to aktivatoram, kas tādējādi spēj sasniegt nepieciešamo enerģijas līmeni redzamās gaismas izstarošanai. Viens no pazīstamākajiem aktivatora – koaktivatora piemēriem ir mangāns un svins, kas ierosina daudzu minerālu, tostarp arī kalcīta, fluorescēšanu sarkanā, oranžā vai rozā krāsā (Mazzoleni, 2012).

Ir sastopami arī tādi elementi, kas fluorescenci noslāpē, kā arī tādi elementi, kas, atkarībā no to oksidācijas pakāpes, var fluorescenci gan noslāpēt, gan ierosināt. Viens no šādiem elementiem ir dzelzs. Divvērtīgais dzelzs jons (Fe^{2+}) noslāpē fluorescenci un gandrīz visi minerāli, kas satur šo jonu, nefluorescē. Pat neliels tā saturs (<1%) slāpē minerālu fluorescenci un vairumam minerālu nefluorescēšana saistīta tieši ar divvērtīgo dzelzs jonu piemaisījumiem, nevis aktivatoru neesamību. Trīsvērtīgais dzelzs jons (Fe^{3+}) var gan noslāpēt, gan ierosināt dažu minerālu fluorescenci, tomēr vairumā gadījumu tas darbojas kā fluorescences slāpētājs (Warren et al., 1995).

Tīrs kalcīts bez piemaisījumiem parasti fluorescē krēmbaltā krāsā vai krēmdzeltenā krāsā (Mazzoleni, 2012), taču kalcīta fluorescēšanu krēmdzeltenā krāsā var ierosināt arī dažādu organisko vielu ieslēgumi, kristālrežģu defekti un retzemju elementu jonu piemaisījumi (Warren et al., 1995). Mangāna un svina joni ierosina kalcīta fluorescēšanu sarkanā, oranžā vai rozā krāsā. Stroncija joni izraisa zilganzaļu kalcīta fluorescenci (Mazzoleni, 2012). Pagaidām nav veikti pārliecinoši pētījumi par to, kas ierosina kalcīta fluorescēšanu citās krāsās.

2. MATERIĀLI UN METODES

2.1. Lauka pētījumu metodes

Lauka darbi tika veikti 2016. gada augustā un septembrī. To laikā tika apmeklētas 8 dolomīta atradnes – “Rītupes”, “Pērtnieki”, “Aiviekstes kreisais krasts”, “Jaunsmilktiņas 1”, “Lauce” (iecirkņi “Pelši” un “Atradzes”), “Sienāži”, “Jaundutkas” un “Dutkas”. Pērtnieku dolomīta atradnē un Lauces atradnē iecirknī “Atradzes” kalcīts netika atrasts. Pārējās atradnēs tika ievākti kalcīta paraugi, veikta atseguma sienu un paleokarsta veidojumu aprakstīšana un dokumentēšana. Kopumā ievākti 133 kalcīta paraugi un sastādīti 7 ģeoloģiskie griezumī dažāda biezuma dolomīta slāņkopas daļām. Lauka pētījumi un paraugu noņemšana veikta tā, lai noskaidrotu iespējamās kalcīta īpašību izmaiņas gan vertikālā virzienā ģeoloģiskajā griezumā, gan arī attiecībā pret paleokarsta veidojumu izvietojumu. Dolomītu mehāniskā izturība tika novērtēta aptuveni, pēc to noturības, skaldot ar āmuru.

Atradnē “Rītupes” sastādīts ģeoloģiskais griezums 2,45 metrus biežai dolomīta slāņkopai dienvidu daļā (1. pielikums 1. att.), ievākti 13 kalcīta paraugi. Karsta veidojumi netika konstatēti.

Aiviekstes kreisā krasta atradnē sastādīts ģeoloģiskais griezums 7,7 metrus biežai dolomīta slāņkopai atradnes dienvidu malā. Kopumā ievākti 52 kalcīta kristālu paraugi no dolomīta slāņkopas atradnes dienvidu un rietumu malās un 4 karsta veidojumiem (1. pielikums 2. att.).

Atradnē “Jaunsmilktiņas 1” sastādīts ģeoloģiskais griezums dienvidu daļā 1,1 metru biežai dolomīta slāņkopai (1. pielikums 3. att.), ievākti 13 paraugi. Karsta veidojumi netika konstatēti.

Atradnē “Lauce”, iecirknī “Pelši” sastādīti 2 ģeoloģiskie griezumī 2,45 metrus un 2,20 metrus biežām dolomīta slāņkopām atradnes austrumu un dienvidrietumu daļās, konstatēts viens karsta veidojums dienvidaustrumu daļā (1. pielikums 4. att.) Kopumā ievākti 35 kalcīta paraugi atradnes austrumu, dienvidrietumu un ziemeļu daļās.

Atradnē “Sienāži” sastādīts ģeoloģiskais griezums dienvidu daļā 4,2 metrus biežai dolomīta slāņkopai, ievākti 6 kalcīta paraugi. Atradnē konstatēti arī 3 karsta veidojumi, no kuriem divos ievākti 5 kalcīta paraugi (1. pielikums 5. att.).

Atradnē “Jaundutkas” ģeoloģiskais griezums sastādīts 1,0 metrus biežai dolomīta slāņkopai ziemeļaustrumu-austrumu daļā un ievākti 2 kalcīta paraugi. Atradnes dienvidrietumu daļā ievākts 1 paraugs no nobirām netālu no gandrīz pilnībā norakta karsta veidojuma (1. pielikums 6. att.).

Atradnē “Dutkas” dolomīta slāņkopas ģeoloģiskais griezumš netika sastādīts, jo kalcīts netika konstatēts nevienā no atseguma sienām. Kopumā atradnē ievākti 6 kalcīta paraugi no nobīrām karsta veidojuma augšdaļā un malās (1. pielikums 7. att.).

Paraugu nosaukums, piemēram, S - K - R - 1, izveidots pēc sekojoša principa: pirmais burts atbilst atradnes nosaukuma pirmajam burtam, tam seko atradnes daļa, kurā ievākts paraugs - Z, A, D, R, kas norāda uz kādu no atradnes atseguma sienām vai burts K, kas apzīmē paleokarsta veidojumu. Tam seko karsta veidojumu apzīmējošs skaitlis vai atradnes daļas apzīmējums. Kā beidzamais seko kārtas skaitlis, kas apzīmē secību, kādā ievākti paraugi konkrētajā atseguma sienā vai karsta veidojumā.

Pētītajās atradnēs tika veikta visu ģeoloģisko griezumš, atseguma sienu un paleokarsta veidojumu (ja tie konstatēti konkrētajā atradnē) aprakstīšana un fotodokumentācija. Atradnēs, kurās bija sastopami karsta veidojumi, tika fiksēts to attālums līdz paraugu ievākšanas vietām.

2.2. Kalcīta fluorescences izpausmju testēšanas metode

Kalcīta paraugu fluorescences izpausmju novērtēšanai tika izmantota autores izstrādāta testēšanas metode. Fluorescences izpausmju testēšana veikta vides centrā “Vides labirints”, Alūksnē, izmantojot ASV ražotas ultravioleto staru lampas ar dažādu viļņu garumu un starojuma jaudu 50 W - garo staru ultravioletā lampa UVL – 225 D (viļņu garums 365 nm), vidējo staru ultravioletā lampa UVM – 25 D (viļņu garums 302 nm) un īso staru ultravioletā lampa UVS – 225 D (viļņu garums 254 nm). Pirms testēšanas kalcīta paraugus bija nepieciešams nomazgāt un nožāvēt, lai uz tiem esošie dolomītmilti, māli, organiskas izcelsmes un cita veida daļiņas neietekmētu kalcīta fluorescences testēšanas rezultātus. Sagatavotie paraugi tika izvietoti rindās testēšanai paredzētajā telpā (2.1. attēls).

Ņemot vērā kalcīta paraugu fluorescences īpašības un lampas jaudu, paraugi tika testēti, UV lampai atrodoties 0,4 m attālumā no paraugiem, kas tika izvēlēts kā optimālais attālums konkrētajā gadījumā. Testēšana tika veikta pilnīgi aptumšotā telpā, lai būtu iespējams precīzāk novērtēt kalcīta fluorescences krāsu un intensitātes izpausmes. Ņemot vērā to, ka ultravioleto staru (it īpaši īso staru) iedarbība ir kaitīga cilvēka organismam, testēšanas laikā tika izmantotas speciālas aizsargbrilles un testēšana sadalīta vairākos posmos.

Testēšanas laikā tika noteikta fluorescences intensitāte pēc izstrādātas vizuālā novērtējuma skalas (2.1. tabula) un fluorescences krāsa. Sakarā ar to, ka telpā esošās tumsas dēļ nebija iespējams izmantot ne izdrukātas krāsu skalas, ne arī skalas elektroniskās ierīcēs, jo jebkāda cita veida gaisma liedz novērtēt precīzu fluorescences krāsu un elektronisko ierīču monitori mēdz neprecīzi atainot krāsas, paraugu fluorescences krāsas tika noteiktas, paļaujoties uz savu krāsu izjūtu, līdz ar to rezultāti var būt subjektīvi. Darba izstrādes laikā

nebija pieejamas pārnēsājamas iekārtas fluorescences krāsas un intensitātes instrumentālai mērīšanai.



2.1. attēls. Kalcīta kristālu paraugi sagatavoti fluorescences izpausmju testēšanai (fotografējusi autore).

2.1. tabula

Fluorescences izpausmju intensitātes vizuālā novērtējuma skala (sastādījusi autore).

Fluorescences nav	Ļoti vāja fluorescence	Vāja fluorescence	Vidēja fluorescence	Stipra fluorescence
N	LV	V	VI	ST

2.3. Laboratorijas pētījumu metodes

2.3.1. Plānslīpējumu izgatavošana un analizēšana

Lai pētītu kalcīta veidošanās apstākļus, morfoloģiskās un citas īpatnības, kā arī to saistību ar paraugu ievākšanas vietu, bija nepieciešams izgatavot plānslīpējumus. No lauka darbos ievāktajiem 133 kalcīta kristālu paraugiem, plānslīpējumu izgatavošanai tika atlasīti 30 paraugi, galvenokārt ņemot vērā fluorescences izpausmju testēšanas rezultātus, paraugu ievākšanas vietu, kā arī citas atšķirīgas īpašības, piemēram, kristālu formu. Plānslīpējumiem

tika piešķirti nosaukumi atbilstoši paraugu numerācijai un nosaukumiem. Plānslīpējumu izgatavošana veikta Latvijas Universitātes Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultātes Iežu pētījumu laboratorijā.

Sākotnēji tika novērtēta izvēlēto kalcīta paraugu mehāniskā izturība. Tā kā lielākoties tie bija mehāniski neizturīgi, tad, lai nodrošinātu lielāku izturību un līdz ar to arī labāku plānslīpējumu kvalitāti, pirms tālākas apstrādes visi paraugi tika impregnēti ar epoksīda sveķiem *D.E.R. 331*.

Katrs paraugs pirms impregnēšanas tika ievietots atsevišķā plastmasas trauciņā. Tad tika sagatavots epoksīda sveķu, cietinātāja un acetona maisījums. Tā sagatavošanai izmantoti epoksīda sveķi (100%) un cietinātājs (10%). Abas sastāvdaļas tika samaisītas, līdz maisījums bija viendabīgs. Pēc tam, lai maisījums būtu šķidrāks un varētu labāk iesūkties kalcīta paraugu porās, tam tika pievienoti aptuveni 15-20% acetona no epoksīda sveķu un cietinātāja kopējās masas. Kad visas sastāvdaļas bija samaisītas viendabīgā masā, tika veikta paraugu impregnēšana un tie novietoti velkmes skapī līdz pilnīgai sacietēšanai, kas ilga aptuveni pusotru nedēļu, atkarībā no tā, cik liels acetona daudzums bija pievienots.

Kad epoksīda sveķi bija pilnībā sacietējuši, paraugi tika sazāģēti mazākos gabaliņos (aptuveni 3x2 cm) ar elektrisko zāģi *Metkon Geocut*, tā, lai parauga izmēri nepārsniegtu paraugstikliņa izmērus. Paraugu virsma pēc zāģēšanas nebija pietiekami gluda, lai to uzreiz līmētu pie paraugstikliņa, tādēļ no tās parauga plaknes, kura paredzēta plānslīpējumu izgatavošanai, tika nozāģēta 2-3 mm bieza plāksnīte ar elektrisko zāģi *Metkon Micracut 201*. Šim zāģim, atšķirībā no iepriekš izmantotā, ir iespējams manuāli uzstādīt tādu parametrus kā zāģa ripas rotācijas ātrumu, spēku, ar kādu zāģis iedarbojas uz paraugu, kā arī galdiņa virzīšanās ātrumu zāģa ripas virzienā. Impregnēto kalcīta paraugu zāģēšanai tika izvēlēti šādi attiecīgie parametri: rotācijas ātrums 1000 r/min, spēks 3 A, galdiņa virzīšanās ātrums 40 μ/sec. Viena parauga iestiprināšanai turētājā ar skrūvēm un sazāģēšanai bija nepieciešams samērā ilgs laiks – aptuveni trīsdesmit minūtes, taču rezultātā tika iegūta pietiekami gluda parauga virsma un nebija nepieciešams to papildus slīpēt ar slīpripu.

Lai sagatavotu paraugstikliņus, tie tika sagriezti ar stikla griezēju 30x45 mm izmērā un to virsma slīpēta ar automātisko slīpēšanas iekārtu *Logitech PM 5*, līdz stikliņu virsma bija matēta. Paraugstikliņu virsmas slīpēšana nepieciešama, lai epoksīda līmei, ar kuru pielīmē paraugus pie stikliņiem, būtu labāka saķere ar virsmu. Pirms stikliņu slīpēšanas nepieciešams sagatavot slīpēšanas iekārtu darbam. Vispirms cilindrā tiek sajaukta abrazīva suspensija, izmantojot 150 ml 600 gritu korunda pulveri uz 1,5 l ūdens, kas atbilst horizontālajai atzīmei cilindra vidū. Pēc tam cilindru novieto horizontāli virs iekārtas, ripas kreisajā pusē pieskrūvē plastmasas kanāliņu ar stiepli, kas nodrošina abrazīva suspensijas tecēšanu līdz ripai, savukārt

ripas labajā pusē pieskrūvē atliku materiāla savācēju, kas novada lieko abrazīva suspensiju traukā zem iekārtas. Nākamā darbība ir monitora ierīces kalibrēšana, to kopā ar svira gredzenu novietojot uz *Logitech Granite Master Flat* granīta bloka, tad savienojot garo kabeli ar kontaktu iekārtas kreisajā pusē, lai veiktu mērījumus, pēc kuru pabeigšanas, ja ierīces virsma ir $\pm 10 \mu$ robežās, lieto *Auto Zero* funkciju. Pēc tam tiek uzstādītas abas *Roller Arms*, ripas vidū ievieto centrēšanas bloku un kreisajā *Roller Arm* ievieto monitora ierīci, lai tā precīzi atrastos *Roller Arm* un saskartos ar centrēšanas bloku ripas centrā, savukārt labajā *Roller Arm* pēc tāda paša principa ievieto slīpēšanas testa bloku ar papildus sviru gredzenu. Nākamā darbība ir slīpripas slīpēšana – vispirms tiek ieslēgts cilindrs ar abrazīva suspensiju, tad iedarbināta ripa, kuras griešanās ātrums pakāpeniski tiek palielināts no 5 rpm līdz 70 rpm. Sākumā ātruma palielināšana jāveic ļoti lēnām, sagaidot kamēr ripa ir pilnībā samitrināta ar abrazīva suspensiju, pretējā gadījumā monitora un testa ierīču dimanta apmales var sabojāt ripas virsmu. Kad sasniegts nepieciešamais ātrums, tiek uzstādīts laiks – 15 minūtes un sāka slīpripas slīpēšana. *Roller Arms* virza slīpēšanas bloku tuvāk ripas malai vai centram, atkarībā no tā vai ripai ir ieliekta vai izliekta forma. Pēc slīpēšanas reālajam plaknes (*Actual flatness*) mērījumam aptuveni (1μ robežās) jāsakrīt ar mērķa plaknes (*Targer flatness*) mērījumu (0μ). Ja šie mērījumi nav aptuveni vienādi, vēlreiz jāatkārto monitora ierīces kalibrēšana un ripas slīpēšana. Pēc tam var sākt stikliņu slīpēšanu, vispirms kalibrējot mikrometru uz granīta plāksnes un paraugu iestiprināšanas ierīcei uzstādot biezumu, līdz kādam stikliņi tiks noslīpēti – konkrētajā gadījumā 0,9 mm. Tad slīpēšanas iekārtu savieno ar vakuuma sūkni, stikliņus izkārtu uz paraugu iestiprināšanas ierīces, ieslēdz vakuumu, sagaida līdz spiediens ir ≥ 840 mbar, novieto iestiprināšanas ierīci uz ripas labajā *Roller Arm*, uzstāda nepieciešamo laiku – 10 minūtes un sāk stikliņu slīpēšanu. Vienā reizē iespējams noslīpēt sešus stikliņus. Jāņem vērā, ka stikliņu malām jābūt pilnīgi taisnām, lai tiktu sasniegts nepieciešamais vakuuma spiediens. Konkrētajā gadījumā lielākajai daļai stikliņu griešanas rezultātā bija nedaudz robainas maliņas vai nolūzuši stūrīši, kas stikliņu slīpēšanas procesā neradīja problēmas, jo arī nedaudz mazāks vakuuma sūkņa spiediens ir pieļaujams stikliņu slīpēšanas procesā. Pēc slīpēšanas tika izmērīts stikliņu biezums, kas izrādījās lielāks (1,2-1,3 mm) nekā uzstādītais biezums (0,9 mm). Tas skaidrojams ar to, ka abrazīvās daļiņas veido slāni starp ripu un stikliņu virsmu, un, jo abrazīva ir vairāk, jo slānis ir biezāks. Slīpēšana ar ripu tika atkārtota piecas reizes, līdz visi 30 stikliņi bija noslīpēti.

Pēc stikliņu slīpēšanas, paraugu līmēšanai pie stikliņiem tika sagatavots epoksīda sveķu (100%), cietinātāja (10%) un acetona (5%) maisījums. Rūpīgi sajauktais maisījums tika uzklāts uz parauga virsmas plānā kārtiņā un paraugs pielīmēts pie stikliņa. Lielākā problēma, kas varēja rasties līmēšanas procesā, bija gaisa burbulīši starp stiklu un parauga virsmu, kurus

pēc iespējas jācenšas likvidēt, spiežot vai kustinot paraugu pret stikliņa virsmu. Lielāki gaisa burbuļi var izraisīt plānslīpējuma sabrukšanu slīpēšanas procesā, tādēļ bija nepieciešams darīt visu iespējamo, lai tos likvidētu. Izmantotā līme sacietē aptuveni 24 stundu laikā, tomēr piesardzības nolūkos, lai izvairītos no parauga sabojāšanas, tālākā apstrāde tika veikta pēc 72 stundām.

Kad paraugi bija pielīmēti pie stikliņiem, liekā paraugu daļa tika nozāģēta ar iepriekš izmantoto elektrisko zāģi *Metkon Micracut 201*. Minimālais parauga biezums, ko var iegūt ar šo zāģi, ir aptuveni 1 mm. Lai to panāktu, parauga nostiprināšanai tika izmantots vakuuma sūkņis, nevis paraugu turētājs ar skrūvēm. Sakarā ar to, ka parauga virsmai, kas vēlāk tiks slīpēta, nav jābūt tik gludai, kā virsmai, ko līmēja pie stikliņa, tika izvēlēts lielāks galdiņa virzīšanās ātrums, nekā iepriekš - 60 μ /sec. Tas ļāva ietaupīt laiku, jo viena parauga zāģēšanai bija nepieciešamas aptuveni desmit minūtes.

Plānslīpējumu izgatavošanas noslēdzošais posms ietver paraugu slīpēšanu līdz 0,03 mm biezumam. Sākotnēji tika plānots veikt visu plānslīpējumu izgatavošanu ar slīpēšanas iekārtu *Logitech PM 5*, taču sakarā ar to, ka sagrieztu stikliņu malas nebija pilnīgi līdzenas, radās problēmas sasniegt nepieciešamo vakuuma spiedienu, lai paraugus slīpēšanas laikā noturētu iestiprināšanas ierīcē. Tā rezultātā seši paraugi tika slīpēti ar slīpēšanas iekārtu 10 minūtes līdz 0,04 mm biezumam, iepriekš uzstādot attiecīgo nenoslīpēšanas biezumu, kas tiek aprēķināts no konkrētā parauga stikla biezuma + līmes biezuma (0,1 mm) + plānslīpējuma biezuma (0,03 mm) + abrazīvo daļiņu diametra (0,003 mm). Pēc tam sešu paraugu slīpēšana līdz 0,03 mm biezumam tika veikta ar roku, izmantojot smalkāko abrazīva pulveri. Pārējo divdesmit četru paraugu slīpēšana tika veikta ar roku, sākotnēji tos slīpējot ar rupjākā izmēra abrazīvu līdz aptuveni 0,1 mm biezumam, tad ar vidējā izmēra abrazīvu līdz aptuveni 0,05 mm biezumam un visbeidzot ar smalkākā izmēra abrazīvu līdz 0,03 mm biezumam.

Pēc plānslīpējumu izgatavošanas tie tika krāsoti ar alizarīna S šķīdumu vājas koncentrācijas sāļsskābē (0,04 g alizarīna-S; 1 ml 5% HCl; 20 ml H₂O), uzpilinot to uz parauga un aptuveni pēc 20 sekundēm viegli noskalojot ar ūdeni. Šķīdums iekrāso kalcītu rozā līdz sarkanā krāsā, taču dolomītu neiekrāso, tādā veidā plānslīpējumos ir iespējams atšķirt kalcītu no dolomīta.

Pēc tam izgatavotie trīsdesmit plānslīpējumi tika pētīti LU ĢZZF Mineraloģijas un paleontoloģijas laboratorijā polarizācijas mikroskopā *LEICA DM 4500P*, un fotografēšana veikta ar mikroskopam pievienoto kameru *LEICA DFC 480*.

2.3.2. Kalcīta ķīmiskā sastāva noteikšana ar induktīvi saistītās plazmas optiskās emisijas spektrometriju

Induktīvi saistītās plazmas optiskās emisijas spektrometrija (ICP-OES) ir elementu analīzes metode, kuras pamatā ir elementu ierosināšana ar augstas temperatūras plazmu un izstaroto spektru analīze (Hannan, 2013). Kad augstas temperatūras plazma tiek pievadīta paraugam, vielas atomu elektroni tiek ierosināti un pāriet augstākos enerģijas līmeņos. Elektronu atgriežoties zemākā enerģijas līmenī, tiek atbrīvota enerģija, kas atbilst noteiktam fotona (gaismas) viļņu garumam. Elementi tiek noteikti pēc izstaroto gaismas viļņu pozīcijas, savukārt elementu daudzumu nosaka pēc viļņu intensitātes (Hitachi..., bez dat.).

Lai radītu plazmu, tiek izmantota inertā gāze – argons. Gāzi pievada plazmas degļa spolei un, izmantojot augstas frekvences elektrisko strāvu, ko pievada spolei degļa caurules galā, caurulē izveidojas elektromagnētiskais lauks, kas jonizē argona gāzi, radot plazmu ar lielu elektronu blīvumu un augstu temperatūru (9726 °C). Tad analizējamie paraugi tiek ievadīti plazmā caur tievu caurulīti, kas atrodas plazmas degļa caurules centrā. Augstā temperatūra nodrošina daudzu elementu ierosināšanu, tādējādi ir iespējams noteikt arī elementus, ko nevar noteikt ar citām metodēm (Hitachi..., bez dat.).

Kalcīta ķīmiskā sastāva noteikšana tika veikta LU ĢZZF Vides zinātnes nodaļas Vides tehnoloģiju laboratorijā, izmantojot Thermo Scientific *iCAP 7000 Series* induktīvi saistītās plazmas optiskās emisijas spektrometru (2.2. attēls).

Izmantotajam ICP-OES modelim, salīdzinājumā ar citiem, ir savas priekšrocības, piemēram, ir iespējams noteikt vairākus elementus vienlaicīgi, optiskā sistēma nodrošina spēcīgu gaismas pārraidi, kas ļauj analizēt elementus ar nelielu koncentrāciju, kā arī ir iespējams nolasīt spektru ar viļņa garumu no 166 nm līdz 847 nm, kas nodrošina plašu analītisko diapazonu. Spektrometrs sastāv no piecām galvenajām daļām: parauga ievadīšanas sistēmas, plazmas degļa sistēmas, priekšējās optiskās sistēmas, polihromatora un detektora. Kad paraugs tiek ievadīts plazmas sistēmā, notiek atomu elektronu ierosināšana un, atbrīvojoties enerģijai, tiek izstarota gaisma, ko uztver priekšējā optiskā sistēma, kas tālāk to pārvada uz polihromatoru. Tajā gaisma tiek izkliedēta, sadalīta noteiktos viļņu garumos, fokusēta un efektīvi novadīta uz detektoru, kas analizē gaismas viļņu secību un intensitāti (Hannan, 2013).

Induktīvi saistītās plazmas optiskās emisijas spektrometrijas analīzei tika atlasīts 51 paraugs no lauka darbu laikā ievāktajiem 133 kalcīta paraugiem. Atlasīto paraugu oriģinālie nosaukumi spektrometrijas vajadzībām tika aizvietoti ar kārtas skaitļiem no 1 līdz 51.



2.2. attēls. Thermo Scientific iCAP 7000 Series induktīvi saistītās plazmas optiskās emisijas spektrometrs (Hannan, 2013).

Sākotnēji kalcīta kristāli tika mehāniski atdalīti ar asknaiblēm no visa parauga, pēc tam laboratorijā, izmantojot analītiskos svarus, tika nosvērts katrs paraugs un pierakstīti mērījumi. Nosvērtie paraugi tika ievietoti stikla vārglāzēs, kurām virsū uzrakstīts katra parauga nosaukums. Katram kalcīta paraugam tika pievienoti 7 ml koncentrētas ($\geq 65\%$) slāpekļskābes HNO_3 . Lai ķīmiskā reakcija $\text{CaCO}_3 + 2\text{HNO}_3 \rightarrow \text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{H}_2\text{CO}_3$ norisinātos ātrāk, paraugi tika karsēti uz elektriskās plītiņas aptuveni $110\text{ }^\circ\text{C}$ temperatūrā. Pēc paraugu atdzišanas tika veikta paraugu filtrācija, lai izvairītos no iespējamām neizšķīdušajām nogulsnēm, kas varētu ietekmēt spektrometrijas analīzes rezultātus. Gatavo paraugu glabāšanai tika izmantotas 50 ml plastmasas mēģenes, kurās sākotnēji bija ielieti aptuveni 20 ml destilēta ūdens, tad pievienots filtrētais paraugs un mēģenes piepildītas ar destilētu ūdeni līdz 50 ml atzīmei. Uz katras mēģenes tika uzrakstīts parauga nosaukumam atbilstošais kārtas skaitlis. Tika sagatavoti arī divi slāpekļskābes paraugi – *Blank 1* un *Blank 2*, lai varētu veikt iekārtas kalibrēšanu, jo slāpekļskābei arī ir nelieli dažādu elementu piemaisījumi, kas varētu ietekmēt rezultātus.

Induktīvi saistītās plazmas optiskās emisijas spektrometrijas analīzi un sākotnējo datu apstrādi veica LU ĢZZF Vides zinātnes nodaļas dabaszinātņu laborants Konstantīns Viligurs. Pirms analīzes sagatavotie paraugi tika atšķaidīti 10 reizes, lai izvairītos no pārāk lielas skābes koncentrācijas.

Izmantojot induktīvi saistītās plazmas optiskās emisijas spektrometrijas metodi, kalcīta paraugos tika noteikts 25 ķīmisko elementu daudzums. Nepieciešamais laiks katra elementa noteikšanai ir aptuveni piecas sekundes. Katram paraugam mērījumi veikti divas reizes un aprēķināta standartnovirze starp diviem mērījumiem. Analīzes kļūda mainās, atkarībā no ķīmiskā elementa un tā koncentrācijas. Elementiem ar lielāku koncentrāciju kļūda ir aptuveni 3-5%, savukārt elementiem, kuru noteiktais saturs paraugā ir neliels un nav noteikts precīzi, piemēram, <0,4, kļūda var būt pat 20-30%.

Induktīvi saistītās plazmas optiskās emisijas spektrometrijas dati uzrādīja ķīmisko elementu koncentrāciju ievērojamas atšķirības, kuras bija vērojamas arī attiecībā uz dominējošo katjonu kalciju. Tā daudzums dažādos paraugos mainījās no 18 līdz 47 g / 100 g parauga, kas neatbilst reālajai situācijai, jo visi ņemtie paraugi ir tīri kalcīti, un kalcija satura variācijām būtu jābūt nelielām. Konsultējoties ar Konstantīnu Viliguru, netika noskaidroti šo atšķirību iemesli. K. Viligurs norādīja, ka ir iespējams izteikt ķīmisko elementu daudzumus procentos attiecībā pret kādu citu elementu. Pieņemts lēmums izteikt tos kā procentus attiecībā pret CaCO₃ saturu paraugā, veicot šīs vielas molu aprēķinus pēc noteiktā Ca satura.

Sākotnēji iegūtais elementu daudzums mg/kg tika pārrēķināts uz elementu daudzumu masas procentos attiecībā pret CaCO₃. Vispirms no Ca daudzuma paraugos tika aprēķināts kopējais CaCO₃ daudzums, pēc tam, reizinot ķīmiskā elementa daudzumu mg/kg ar 100 un izdalot ar aprēķināto CaCO₃ daudzumu, tika iegūts elementa daudzums masas % kalcītā.

2.3.3. Oglekļa stabilo izotopu attiecību noteikšana

Izotopi ir viena ķīmiskā elementa atomi, kam ir vienāds skaits protonu un elektronu, bet atšķirīgs skaits neitronu, kā rezultātā viena elementa izotopiem ir vienādi lādiņi, taču atommasa ir atšķirīga. Stabilo izotopu kodolos, atšķirībā no radioaktīvo izotopu kodoliem, nenotiek sabrukšana laika gaitā (Kendall, Caldwell, 1998).

Viena elementa izotopiem sakarā ar dažādajām atommasām ir nedaudz atšķirīgas ķīmiskās un fizikālās īpašības. Elementiem ar mazu atomskaitli masu atšķirība ir pietiekami liela, lai dažādi fizikālie, ķīmiskie vai bioloģiskie procesi un reakcijas izraisītu izotopu fracionēšanos jeb izmaiņas viena elementa izotopu relatīvajās proporcijās. Izotopu fracionēšanās rezultātā veidojas unikāla smago un vieglo izotopu attiecība, kas var norādīt uz to izcelsmi vai veidošanās procesiem (Kendall, Caldwell, 1998). Izotopu fracionēšanās procesiem ir divi veidi, kurus iespējams identificēt – līdzsvara un kinētiski kontrolētā izotopu fracionēšanās. Atšķirības izotopu sastāvā starp divām līdzsvara fāzēm ir neizbēgamas, ja

elementu saites atšķiras šajās divās fāzēs: vieglākais izotops, kuram piemīt tendence veidot vājākas saites, koncentrējas fāzē, kurā saistīšanās ir vājāka. Kinētiskā fracionēšanās notiek, kad ir nepietiekams laiks, lai tiktu attīstīts līdzsvars un šajā reakcijā visbiežāk iesaistās vieglākais izotops (Tucker, 1988). Vājākās saites starp vieglākajiem izotopiem vienmēr ir vieglāk saraujamas nekā stiprākās saites starp smagajiem izotopiem, tādēļ vieglie izotopi aktīvāk iesaistās reakcijās un to koncentrācija ir lielāka reakcijas produktos, savukārt smago izotopu koncentrācija ir lielāka atlikušajos reaģentos (Kendall, Caldwell, 1998).

Stabilo oglekļa ($\delta^{13}\text{C}$) izotopu attiecības var izmantot nogulumu veidošanās apstākļu rekonstrukcijās. Ogleklī, skābeklī un citiem vieglajiem elementiem stabilo izotopu attiecības parasti nosaka kā „delta” (δ) vērtības promilēs (‰), iegūtos datus salīdzinot ar standarta vērtībām. Pozitīva izotopu attiecība norāda, ka analizētajā vielā ir vairāk smagā izotopa nekā standartā, bet negatīva izotopu attiecība liecina par to, ka ir palielināts vieglākā izotopa saturs. Oglekļa gadījumā analizējamais vieglais (izplatītākais) stabils izotops ir ^{12}C , bet smagais stabils izotops ^{13}C .

Izteiktākā oglekļa izotopu fracionēšanās ir saistīta ar oglekļa fiksāciju organiskajā vielā fotosintēzes procesos. Organiskā oglekļa $\delta^{13}\text{C}$ vērtības augos ir negatīvas: no -10 līdz -30‰, tātad, tajos ir salīdzinoši daudz vieglā izotopa. Diaģenēzes procesos organisko sabrukšanas produktu nonākšana poru ūdenī izraisa nozīmīgas $\delta^{13}\text{C}$ izmaiņas un palielinātas karbonātu sārmainības vērtības, kas izraisa autigēno karbonātu un fosfātu ar īpatnēju izotopu sastāvu veidošanos. Saldūdens apstākļos $\delta^{13}\text{C}$ vērtības parasti ir negatīvas un daudzos gadījumos svārstīgas, atkarībā no organiskā oglekļa un atmosfēras CO_2 pievades apjoma (jo vairāk organiskā oglekļa, jo ir negatīvākas vērtības) (Tucker, 1988).

Literatūrā ir aprakstītas noteiktas sakarības starp izotopu attiecībām karbonātos. Vidējās $\delta^{13}\text{C}$ vērtības neizmainītiem jūras karbonātiem ir tuvu 0‰. Karbonātiem, kas atrodas līdzsvarā ar virszemes ūdeņiem, $\delta^{13}\text{C}$ vērtības ir no 2 līdz 4‰. Zemākas $\delta^{13}\text{C}$ vērtības ir saistītas ar diaģenēzes procesiem.

Lai pētītu, kādos apstākļos veidojies minerāls kalcīts, no ievāktajiem paraugiem izvēlēti vienpadsmit kalcīta paraugi, kam tika noteiktas stabilo oglekļa izotopu attiecības, izmantojot nepārtrauktas plūsmas izotopu attiecību masspektrometru *Nu-HORIZON*.

Vienpadsmit kalcīta paraugiem bija plānots noteikt arī stabilo skābekļa izotopu attiecības ($\delta^{18}\text{O}$), taču diemžēl tehnisku iemeslu (iekārtas bojājuma) dēļ analīze netika veikta.

Galvenās nepārtrauktās plūsmas izotopu attiecību masspektrometrijas (CF - IRMS) sastāvdaļas ir elementu analizators, interfeiss un masspektrometrs (Carter, Barwick, 2011).

Nepārtrauktās plūsmas sistēmās tiek izmantoti divu veidu elementu analizatori, atkarībā no tā, kādi izotopi tiek analizēti. Oglekļa (C) un slāpekļa (N) izotopu analīzē paraugi tiek

pakļauti degšanai skābekļa atmosfērā, savukārt skābekļa (O) un ūdeņraža (H) analīzē – augstas temperatūras termiskajai konversijai. Oglekļa un slāpekļa analīzē kā nesējgāze tiek izmantots hēlijs, kā darba gāzes – CO₂ un N₂, paraugi tiek ievadīti elementu analizatorā, izmantojot alvas kapsulas (Carter, Barwick, 2011).

Elementu analizators C un N analīzei sastāv no divu reaktoru sistēmas – sadegšanas un reducēšanas reaktoriem, kuri var būt arī apvienoti vienā caurulē. Aiz reaktoriem ir pieslēgta ūdens nodalīšanas ierīce jeb “ūdens slazds”, kas satur magnija perhlorātu (Mg(ClO₄)₂) un izotermiski pakota gāzu hromatogrāfijas ierīce, kas atdala radušās CO₂ un N₂ gāzes. Degšana norisinās skābekļa atmosfērā kvarca sadegšanas reaktorā, kas parasti satur Cr₂O₃ un Co₃O₄ + Ag, lai saistītu sēru un halogēnus, taču ir iespējami arī citi varianti. Degšanas laikā temperatūra reaktorā parasti ir no 900 līdz 1500 °C, taču alvas kapsulās var sasniegt pat 1800 °C. Degšanas rezultātā rodas CO₂, NO_x un H₂O. Otrajā – kvarca reducēšanās reaktorā 650°C notiek atlikušā skābekļa aizvadīšana un NO_x reducēšana par N₂ (Carter, Barwick, 2011).

Interfeiss ir nepieciešams, lai savienotu IRMS ar elementu analizatoru. Tas ierobežo masspektrometra jonu avotā iekļūstošo gāzu apjomu, nodrošina darba gāzu impulsu ievadīšanu un darba gāzu atšķaidīšanu ar hēliju. Tādā veidā tiek nodrošināta iespēja vienlaicīgi noteikt divus elementu C un N vai O un H izotopus (Carter, Barwick, 2011).

Masspektrometra jonu avotā gāzu molekulas tiek jonizētas ar elektronu staru (elektronu jonizācija). Joni atstāj avotu, tiek fokusēti un paātrināti ar augsta sprieguma elektrisko strāvu. Pēc tam joni iziet cauri magnētiskajam laukam un tad sasniedz Faradeja kausu detektorus. Magnētiskā lauka un strāvas stiprums nosaka jonu trajektoriju, tādējādi arī nosakot, kuri joni sasniegs Faradeja kausu detektorus. Slāpekļa un oglekļa izotopu attiecību analīzē izmanto trīs Faradeja kausu detektorus, kas var būt speciāli novietoti detektoru komplekti vai arī universāls detektors. Arī skābekļa izotopu attiecību analīzei tiek izmantoti tādi paši detektori, jo skābekļa izotopu analīze ir balstīta uz CO analīzi, kas ir N₂ izobārs (Carter, Barwick, 2011).

Pirms oglekļa stabilo izotopu attiecību masspektrometrijas analīzes kalcīta kristāli ar asknaiblēm tika atdalīti no kopējā parauga un homogenizēti, izmantojot ahāta piestu. Tad 0,5 līdz 1 mg parauga tika iesvērti 5x9 mm *EuroVector* alvas kapsulās, izmantojot piecīmīgos analītiskos svarus *BOECO* (max 60/210 g, precizitāte ± 0,01/0,1 mg). Kad paraugs bija iesvērts kapsulā, to nepieciešams aizlocīt, izmantojot pinceti ar plakaniem galiem un sapresēt pēc iespējas sfēriskākā formā, lai tie neiesprūstu elementu analizatora ieejas caurulē. No katra parauga homogenizētais kalcīts tika iesvērts trīs alvas kapsulās. Viena parauga iesvēršanai trīs alvas kapsulās un to salocīšanai nepieciešamais laiks ir aptuveni pusstunda.

Pirms paraugu analizēšanas ar nepārtrauktas plūsmas izotopu attiecības masspektrometru tika veikta iekārtas kalibrācija ar glutamīnskābes standartiem, kā arī ik pēc

10 analizētajām paraugu kapsulām, tika atkārtoti ievadīts glutamīnskābes standarts, lai pārlicinātos, ka rezultāti ir precīzi. Kalcīta paraugu CF-IRMS analīzi un sākotnējo datu apstrādi veica Latvijas Universitātes Ķīmijas fakultātes Analītiskās ķīmijas katedras pētniece Lauma Buša.

2.4. Kamerālie darbi

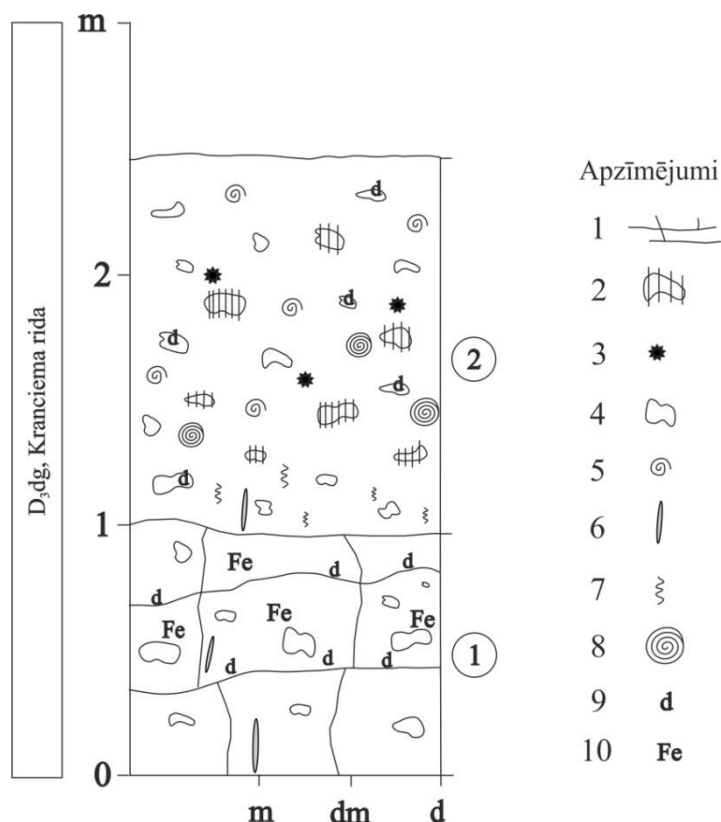
Kalcīta fizikālo īpašību, fluorescences izpausmju dati (4. pielikums) un induktīvi saistītās plazmas optiskās emisijas spektrometrijas rezultāti tika apkopoti un analizēti, izmantojot *Microsoft Excel 2010* programmu. Kartes veidotas, izmantojot *ESRI ArcGis ArcMap 10.2.2* programmu. Pētīto dolomīta atradņu kopējā karte veidota, izmantojot SIA Envirotech datu bāzi ĢIS Latvija 2010. Atradņu kartes veidotas, izmantojot LU ĢZZF WMS karšu servera 5.etapa ortofoto kartes, izņemot Sienāžu dolomīta atradni, kurai karte veidota, izmantojot LU ĢZZF WMS karšu servera LiDAR ēnojuma mozaīku, jo atradnē sāka ieguve tikai 2016. gadā, līdz ar to pieejamajās ortofoto kartēs atradnes teritoriju klāj meži, un nav iespējams precīzi novērtēt karsta veidojumu atrašanās un paraugu ievākšanas vietas. Ģeoloģiskie griezumī digitalizēti, izmantojot programmu *CorelDRAW X7*. Fotografijas lauka un laboratorijas darbu laikā uzņemtas ar digitālo fotoaparātu *Fujifilm FinePix S9800*. Bakalaura darba noformēšanai izmantota *MS Word 2010* programma.

3. REZULTĀTI

3.1. Pētīto dolomīta atradņu ģeoloģiskie griezumumi

3.1.1. Dolomīta atradne "Rītupes"

Ģeoloģiskais griezumus aprakstīts no apakšas uz augšu. Griezums (3.1. attēls) sastādīts atradnes dienvidu sienā atsegtajai dolomītu slāņkopas vidusdaļai.



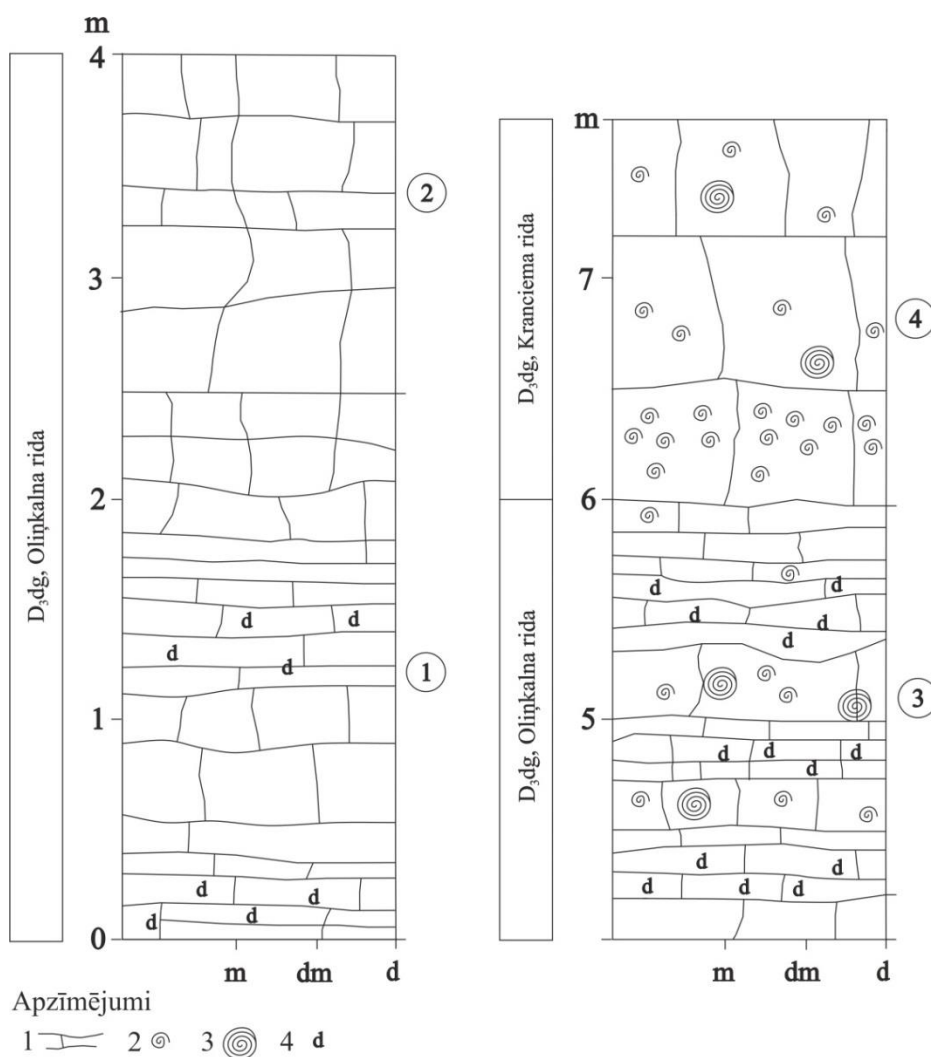
3.1. attēls. Dolomīta atradnes "Rītupes" dolomītu derīgās slāņkopas ģeoloģiskais griezumums (sastādījusi autore). Apzīmējumi: 1 – plaisas un slāņojuma virsmas; 2 – kalcīts kavernās; 3 – kalcīts saaudzis ar dolomītu; 4 – tukšas kavernas; 5 – kavernas izšķīdušu gliemežu vietā; 6 – vertikālas māla lēcas; 7 – vertikālas organismu ejas; 8 – stromatoporas; 9 – dolomītmilti plaisās, kavernās un uz slāņu virsmām; 10 – dzelzs oksīdi un hidroksīdi; m – māls; dm – dolomītmerģelis; d – dolomīts.

1. slānis. 0,00-1,05 m. Dolomīts, smalkkristālisks. Krāsa gaiši brūngana līdz violeta, nevienmērīga. Slāni veido dažāda biezuma plātnes, no 10 līdz 70 cm. Mehāniskā izturība laba. Samērā daudz vertikālu plaisu, kavernu maz. Novērojamas šķīšanas pazīmes, plaisās un uz dažu kavernu sienām ir dolomītmilti. Slāņa virsmā novērojami dzelzs savienojumu sarkanīgi uzsūbējumi. Vietām sastopamas nelielas, vertikālas māla lēcas, biezumā no 2 līdz 3 mm.
2. slānis. 1,05-2,40 m. Dolomīts, smalkkristālisks līdz vidējkristālisks. Krāsa pelēkbrūna. Slāni veido viena, vienāda biezuma plātne. Mehāniskā izturība laba. Vertikālu plaisu nav,

ļoti daudz kavernu, daudzās no tām sastopams kalcīts. Kalcīta kristāli kavernās ir drūpoši, vāji saistīti. Vietām kalcīts sastopams arī uz slāņa virsmas. Vērojamas izteiktas šķīšanas pazīmes, dolomītmilti uz kavernu sienām. Slāņa apakšējā daļā vērojama bioturbācija. Vietām sastopamas nelielas, vertikālas māla lēcas, biežumā no 2 līdz 3 mm.

3.1.2. Dolomīta atradne “Aiviekstes kreisais krasts”

Ģeoloģiskais griezum aprakstīts no apakšas uz augšu. Griezums (3.2. attēls) sastādīts atradnes dienvidu sienā atsegtajai dolomītu slāņkopai.



3.2. attēls. Dolomīta atradnes “Aiviekstes kreisais krasts” dolomītu derīgās slāņkopas ģeoloģiskais griezum (sastādījusi autore). Apzīmējumi: 1 – plaisas un slāņojuma virsmas; 2 – kavernas izšķīdušu gliemežu vietā; 3 – stromatoporas; 4 – dolomītmilti plaisās, kavernās un uz slāņu virsmām; m – māls; dm – dolomītmerģelis; d – dolomīts.

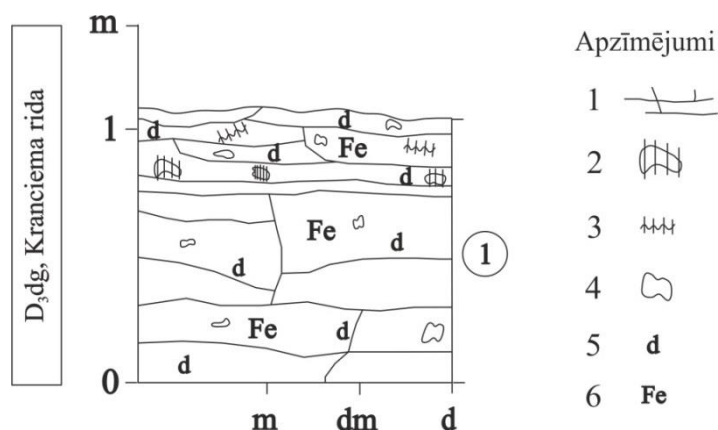
1. slānis. 0,0-2,5 m. Dolomīts, smalkkristālisks, nedaudz zemjains. Dolomīts ir daudzkrāsains, no dzeltenīgas līdz rozīgai un brūnganai krāsai. Plātņu biezums mainīgs,

no 7 līdz 30 cm. Mehāniskā izturība no vidējas līdz labai. Dažādos līmeņos slānī šķīšanas pēdas – izdrupušas zonas ar dolomītmiltiem. Griezuma sastādīšanas vietā kalcīta nav, bet citur šajā slānī kalcīts veido drūzas un plaisu aizpildījumus.

2. slānis. 2,5-4,2 m. Dolomīts monolīts, biežplātņains, atbilst V. Hodirevas (1997) nodalītajiem marmorveida dolomītiem. Krāsa dzeltenīga līdz sārta. Dolomīts blīvs, kavernu maz. Mehāniskā izturība laba. Šķīšanas pazīmju maz. Griezuma sastādīšanas vietā kalcīta nav, bet citur šajā slānī tas veido drūzas un plaisu aizpildījumus.
3. slānis. 4,2-6,0 m. Dolomīts, ļoti kaverno, brūnganpelēks. Plātņu biezums mainīgs, no 10 līdz 40 cm. Dolomīts stipri šķīdis pa horizontālām zonām (slāņu virsmām), šķīšanas vietās daudz dolomītmiltu. Gliemeži, stromatoporas bieži izvietoti horizontāli. Griezuma sastādīšanas vietā kalcīta nav, bet citur šajā slānī kalcīts veido drūzas un plaisu aizpildījumus.
4. slānis. 6,0-7,7 m. Dolomīts līdzīgs 3. slānī pārstāvētajam, tikai daudz monolītāks. Griezuma vietā slānis sastāv no trim aptuveni 50 cm biežām dolomīta plātnēm. Apakšējo plātni veido gliemeždolomīts. Kalcīta kristālu slānī nav.

3.1.3. Dolomīta atradne “Jaunsmilktiņas 1”

Ģeoloģiskais griezum aprakstīts no apakšas uz augšu. Griezums (3.3. attēls) sastādīts atradnes dienvidu sienā, pie ūdens novadgrāvja, dolomīta slāņkopas apakšējai daļai.



3.3. attēls. Dolomīta atradnes “Jaunsmilktiņas 1” dolomītu derīgās slāņkopas ģeoloģiskais griezum (sastādījusi autore). Apzīmējumi: 1 – plaisas un slāņojuma virsmas; 2 – kalcīts kavernās; 3 – kalcīts plaisās; 4 – tukšas kavernas; 5 – dolomītmilti plaisās, kavernās un uz slāņu virsmām; 6 – dzelzs oksīdi un hidroksīdi; m – māls; dm – dolomītmerģelis; d – dolomīts.

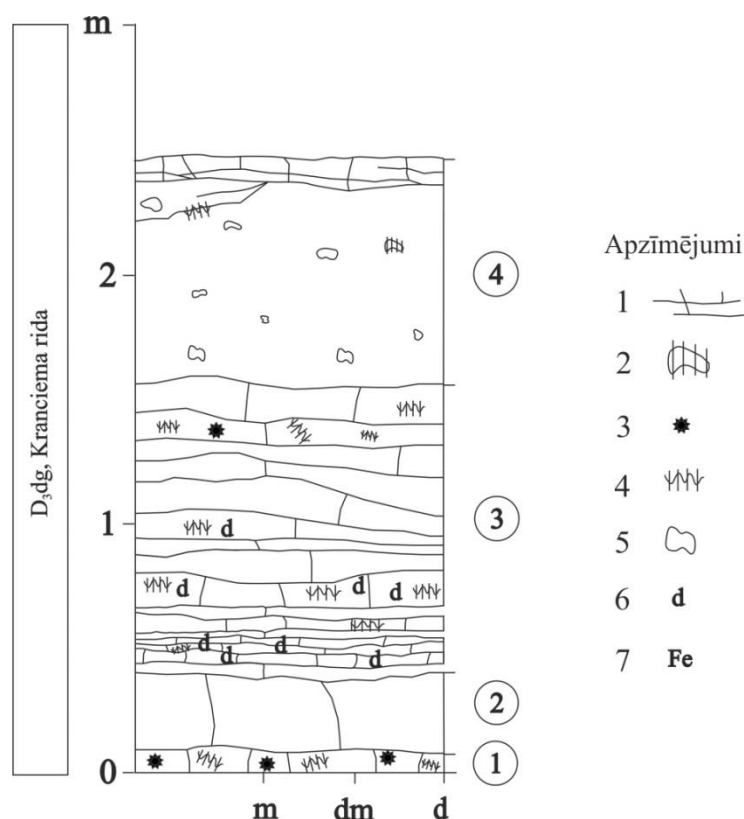
1. slānis. 0,0-1,1 m. Dolomīts, smalkkristālisks, gaiši pelēkbrūns, vietām ar krēmkrāsas plankumiem. Samērā daudz sarkanbrūnu un oranžīgu dzelzs savienojumu. Plātņu biezums mainīgs, no 4 līdz 10 cm. Sastopamas kavernas, vairāk virzienā uz leju. Dolomīta

mehāniskā izturība laba. Vērojamas izteiktas šķīšanas pazīmes, daudz dolomītmitu. Kalcīts sastopams visā slāņa biezumā – gan kavernās, kas pildītas ar dolomītmitiem un māliem, gan uz dolomīta slāņu virsmām.

3.1.4. Dolomīta atradne “Lauce”, iecirknis “Pelši”

Ģeoloģiskais griezum aprakstīts no apakšas uz augšu. Griezums (3.4. attēls) sastādīts atradnes austrumu sienā dolomīta slāņkopas vidusdaļai.

Griezums Nr. 1:



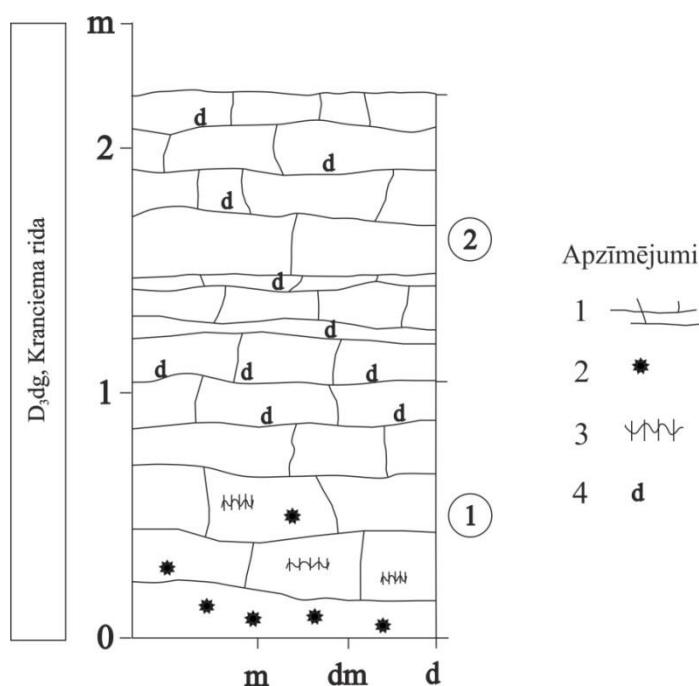
3.4. attēls. Dolomīta atradnes “Lauce”, iecirkņa “Pelši” 1. dolomītu derīgās slāņkopas ģeoloģiskais griezum (sastādījusi autore). Apzīmējumi: 1 – plaisas un slāņojuma virsmas; 2 – kalcīts kavernās; 3 – kalcīts saudzis ar dolomītu; 4 – kalcīts plaisās; 5 – tukšas kavernas; 6 – dolomītmiti plaisās, kavernās un uz slāņu virsmām; 7 – dzelzs oksīdi un hidroksīdi; m – māls; dm – dolomītmerģelis; d – dolomīts.

1. slānis. 0,0-0,1 m. Slāņa virsma veido augšējās kāples pamatni. Dolomīts, smalkkristālisks, pelēkbrūnā krāsā. Dolomīta mehāniskā izturība ļoti laba. Uz slāņa virsmas zilganpelēka māla slānītis ar biezumu aptuveni 5 mm. Uz slāņa virsmas ir sastopami lielu kalcīta kristālu sakopojumi. Novērojamas arī horizontālas plaisas, kuras aizpilda viendabīgi kalcīta kristāli, dolomītmiti un māli.

2. slānis. 0,1-0,4 m. Dolomīts, smalkkristālisks līdz vidējkristālisks. Krāsa gaiši pelēkbrūna, vietām sarkanbrūni dzelzs savienojumi. Slāni veido apmēram 30 cm bieza dolomīta plātne. Mehāniskā izturība vidēji laba. Kalcīta kristālu nav.
3. slānis. 0,4-1,6 m. Dolomīts, smalkkristālisks līdz vidējkristālisks. Krāsa brūnganpelēka, vietām sarkanbrūni dzelzs savienojumi. Mehāniskā izturība laba. Slāni veido mainīga biezuma dolomīta plātnes, no 4 līdz 15 cm. Daudz neregulāru māla starpslānīšu, biezumā no 0,5 līdz 7 cm. Rupjkristālisks kalcīts aizpilda horizontālas plaisas visā slānī.
4. slānis. 1,6-2,45 m. Dolomīts, smalkkristālisks, kavernozs. Krāsa brūnganpelēka. Slāni veido vienāda biezuma plātne, kas augšdaļā ir stipri plaisaina. Mehāniskā izturība ir ļoti laba. Dolomīts ir ar kavernām, to daudzums virzienā uz augšu samazinās. Kalcīts aizpilda horizontālas un vertikālas plaisas, kā arī kavernas.

Griezums Nr. 2:

Ģeoloģiskais griezum (3.5. attēls) aprakstīts no apakšas uz augšu. Griezums sastādīts atradnes rietumu sienā, tās dienvidu stūrī, dolomītu slāņkopas apakšējai daļai.



3.5. attēls. Dolomīta atradnes “Lauce”, zemes īpašuma “Pelši” 2. dolomītu derīgās slāņkopas ģeoloģiskais griezum (sastādījusi autore). Apzīmējumi: 1 – plaisas un slāņojuma virsmas; 2 – kalcīts saaudzis ar dolomītu; 3 – kalcīts plaisās; 4 – dolomītmilti plaisās, kavernās un uz slāņu virsmām; m – māls; dm – dolomītmerģelis; d – dolomīts.

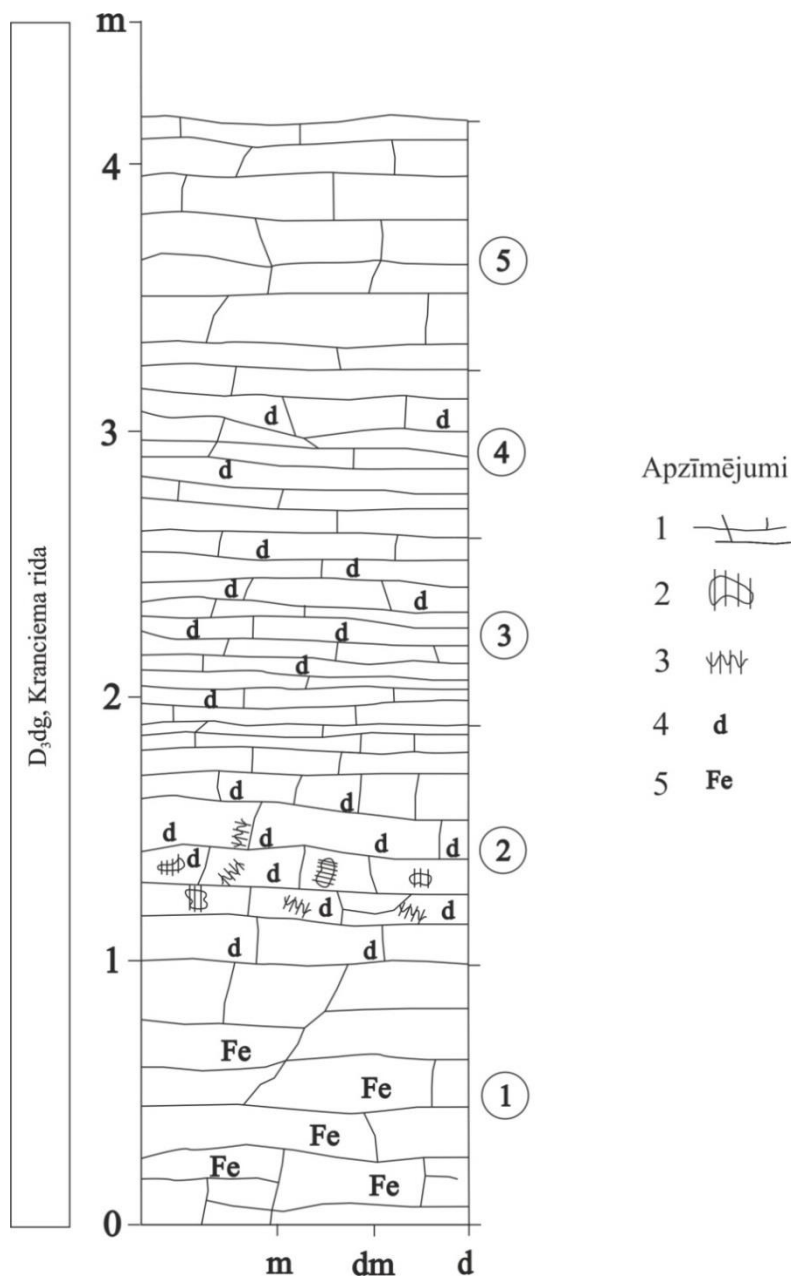
1. slānis. 0,0-1,05 m. Dolomīts, smalkkristālisks. Krāsa gaiši pelēka, vietām sarkanbrūnas dzelzs savienojumu joslas. Dolomīta mehāniskā izturība ļoti laba. Dzeltenīgs kalcīts veido

drūzas uz slāņa virsmas, savukārt balts vai bezkrāsains, caurspīdīgs kalcīts aizpilda horizontālas plaisas.

- slānis. 1,05-2,2 m. Dolomīts, smalkkristālisks. Krāsa gaiši pelēka. Vietām novērojamas šķīšanas pazīmes, dolomītmilti. Plātņu biezums mainīgs no 4 – 15 cm. Mehāniskā izturība laba. Kalcīta kristālu nav.

3.1.5. Dolomīta atradne “Sienāži”

Ģeoloģiskais griezum (3.6. attēls) aprakstīts no apakšas uz augšu. Griezums sastādīts atradnes dienvidu sienā atsegtajai dolomītu slāņkopai.



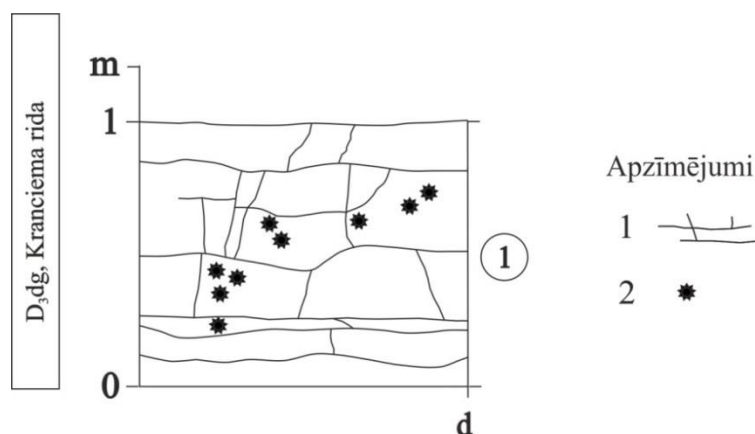
3.6. attēls. Dolomīta atradnes “Sienāži” dolomītu derīgās slāņkopas ģeoloģiskais griezum (sastādījusi autore). Apzīmējumi: 1 – plaisas un slāņojuma virsmas; 2 – kalcīts kavernās; 3 – kalcīts

plaisās; 4 – dolomītmilti plaisās, kavernās un uz slāņu virsmām; 5 – dzelzs oksīdi un hidroksīdi; m – māls; dm – dolomītmerģelis; d – dolomīts.

1. slānis. 0,0-1,0 m. Dolomīts, masīvs, dzeltenbrūns. Plātņu biezums mainīgs, no 12 līdz 40 cm. Daudz dzelzs savienojumu, īpaši pie gruntsūdens izplūšanas vietas slāņa apakšējā daļā. Kalcīta kristālu nav.
2. slānis. 1,0-1,9 m. Dolomīts, dzeltenpelēks. Vērojamas izteiktas šķīšanas pazīmes, daudz dolomītmiltu. Kalcīta kristāli veido drūzas un aizpilda plaisas. Visvairāk kalcīta kristālu tieši slāņa vidusdaļā.
3. slānis. 1,9-2,7 m. Dolomīts, dzeltenpelēks. Izteiktas šķīšanas pazīmes, daudz dolomītmiltu. Slāni veido mainīga biezuma dolomīta plātnes. Kalcīta kristālu nav.
4. slānis. 2,7-3,3 m. Dolomīts, dzeltenpelēks. Vērojamas šķīšanas pazīmes. Slāni veido mainīga biezuma plātnes, no dažiem centimetriem līdz aptuveni 20 cm. Kalcīta kristālu nav.
5. slānis. 3,3-4,2 m. Dolomīts, dzeltenpelēks, biežplātņains. Kalcīta kristālu nav.

3.1.6. Dolomīta atradne “Jaundutkas”

Ģeoloģiskais griezum (3.7. attēls) aprakstīts no apakšas uz augšu. Griezums sastādīts atradnes ziemeļaustrumu - austrumu sienā dolomītu slāņkopas apakšējai daļai.



3.7. attēls. Dolomīta atradnes “Jaundutkas” dolomītu derīgās slāņkopas ģeoloģiskais griezum (sastādījusi autore). Apzīmējumi: 1 – plaisas un slāņojuma virsmas; 2 – kalcīts saudzis ar dolomītu; m – māls; dm – dolomītmerģelis; d – dolomīts.

1. slānis. 0,0-1,0 m. Dolomīts smalkkristālisks, masīvs, biežplātņains, ar lielām plaisām. Veido izteiktas kāples. Mehāniskā izturība laba. Kalcīts atsevišķu kristālu veidā vertikāli uz dolomīta virsmas.

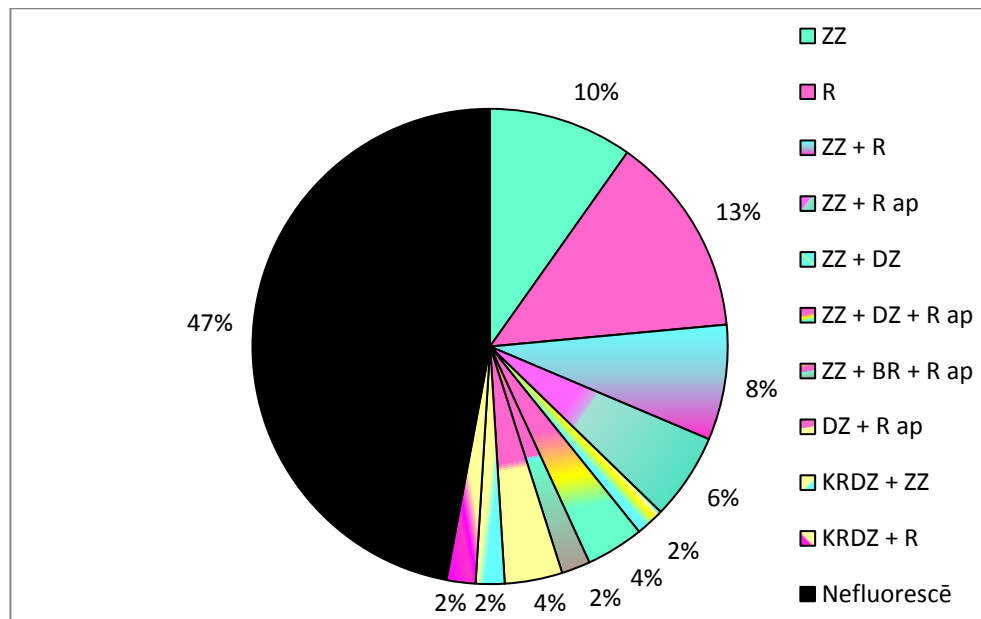
3.2. Kalcīta fluorescences izpausmes, to saistība ar fizikālajām īpašībām un paraugu ievākšanas vietu

Kalcīta fluorescences izpausmju raksturošanai vairumā gadījumu izmantoti fluorescences testēšanas rezultāti vidējos ultravioletajos staros, jo lielākā daļa paraugu fluorescē tieši šajos staros. Atsevišķos gadījumos, ja fluorescences izpausmes vidējos ultravioletajos (UV) staros netika pietiekami raksturotas, izmantoti arī testēšanas rezultāti garajos ultravioletajos staros.

Dolomīta atradnē "Rītupes" trīspadsmit ievāktajiem kalcīta kristālu paraugiem no karjera dienvidu sienas vērojama rozā krāsas fluorescences vidējos UV staros ar ļoti vāju līdz vidēju intensitāti. Fluorescence vērojama pilnīgi visiem ievāktajiem kalcīta kristālu paraugiem. Kalcīta kristālu izmēri ir no 0,5 līdz 4 mm. Kristāli pēc formas ir skalenoedri vai skalenoedri ar romboedriem virsotnē. Kristālu krāsa balta, bezkrāsaina, sarkanbrūna, kristāli ir caurspīdīgi. Nav novērojama fluorescences izpausmju saistība ar kristālu izmēriem, krāsu un formu.

Aiviekstes kreisā krasta dolomīta atradnē ievāktajiem piecdesmit diviem kalcīta kristālu paraugiem vērojamas dažādas fluorescences krāsas (3.8. attēls). Pirmajā karsta veidojumā ievākti astoņi kalcīta paraugi, no kuriem tikai viens fluorescē vidējos UV staros ļoti vājas intensitātes rozā krāsā. Kalcīta kristālu izmēri ir no 2 līdz 16 mm, forma – skalenoedri. Kristāli ir caurspīdīgi, krāsa fluorescējošajam paraugam balta līdz bezkrāsaina, pārējiem paraugiem bezkrāsaina vai pelēka.

Otrajā karsta veidojumā, kas atrodas karjera dienvidu sienā un tās tuvumā, ievākts viens kalcīta paraugs, kas garajos UV staros fluorescē vājā krēm dzeltenā un zilganzaļā krāsā, bet vidējos UV staros fluorescences nav novērojama. Pirmais paraugs no dienvidu sienas, kas ievākts 15 m no otrā karsta veidojuma garajos UV staros fluorescē vājā krēm dzeltenā un dzeltenbrūnā krāsā, bet vidējos UV staros vājā dzeltenā krāsā ar rozā fluorescenci kristālu pamatnē. Attālinoties no karsta veidojuma, sākot ar otro paraugu, fluorescences atšķiras – ir divi pilnīgi nefluorescējoši paraugi, pārējiem vērojama ļoti vāja līdz vāja zilganzaļa fluorescences garajos UV staros un zilganzaļa, rozā fluorescences vidējos UV staros. Fluorescences dzeltenā krāsā, kas bija vērojama paraugam no otrā karsta veidojuma un pirmajam paraugam no dienvidu sienas, tālāk slāņkopā nav vērojama. Otrajā karsta veidojumā un dienvidu sienā ievāktajiem paraugiem kalcīta kristālu izmērs ir no 1 līdz 24 mm, forma – skalenoedri un romboedri, kristāli ir caurspīdīgi, krāsa balta, dzeltenīga, bezkrāsaina.



3.8. attēls. Kalcīta fluorescences krāsas vidējos UV staros Aiviekstes kreisā krasta dolomīta atradnē (sagatavojusi autore). Krāsas diagrammā aptuveni pielīdzinātas vizuāli novērotajām fluorescences krāsām. Apzīmējumi: ZZ – zilganzaļa krāsa; R – rozā krāsa; DZ – dzeltena krāsa; BR – brūna krāsa; KRDZ – krēmdzeltena krāsa; R ap – rozā krāsa kalcīta kristālu pamatnē.

Trešajā karsta veidojumā ievākti astoņi kalcīta paraugi, no kuriem trīs nefluorescē, bet pārējiem garajos UV staros vērojama fluorescences vājā līdz vidējā zilganzaļā, dzeltenā un krēmdzeltenā krāsā. Līdzīga ir arī fluorescences vidējos UV staros, tikai vienam paraugam papildus vērojama vāja rozā krāsas fluorescences kalcīta kristālu pamatnē. Kristālu izmērs ir no 0,2 līdz 36 mm, forma – skaloedri un romboedri, kristāli caurspīdīgi, krāsa balta, pelēcīga, dzeltenīga, sarkanbrūna, bezkrāsaina.

Ceturtajā karsta veidojumā ievākti seši kalcīta paraugi, diviem no tiem nav vērojama fluorescences, bet pārējiem garajos UV staros fluorescē ļoti vājā līdz vājā zilganzaļā un dzeltenā krāsā, vidējos UV staros ļoti vājā līdz vidējā zilganzaļā un rozā krāsā, turklāt vienam kalcīta paraugam vāja rozā krāsas fluorescences vērojama arī kristālu pamatnē. Kristālu izmērs ir no 1 līdz 26 mm, forma – skaloedri, kā arī skaloedri ar romboedriem un trigonālām piramīdām virsotnē. Kristāli caurspīdīgi, krāsa, balta, pelēcīga, bezkrāsaina, dzeltenīga.

Karjera rietumu sienā dolomītu slāņkopā tika ievākti četrpadsmit paraugi, visiem vērojama fluorescences. Garajos UV staros raksturīga ļoti vāja līdz vājā zilganzaļā fluorescences, diviem paraugiem arī vāja zilganzaļā un dzeltena, krēmdzeltena fluorescences, kā arī vienam paraugam vāja zilganzaļā un brūna fluorescences. Vidējos UV staros papildus šīm fluorescences krāsām parādās arī vāji līdz vidēji izteikta rozā krāsa gan visā paraugā, gan tikai

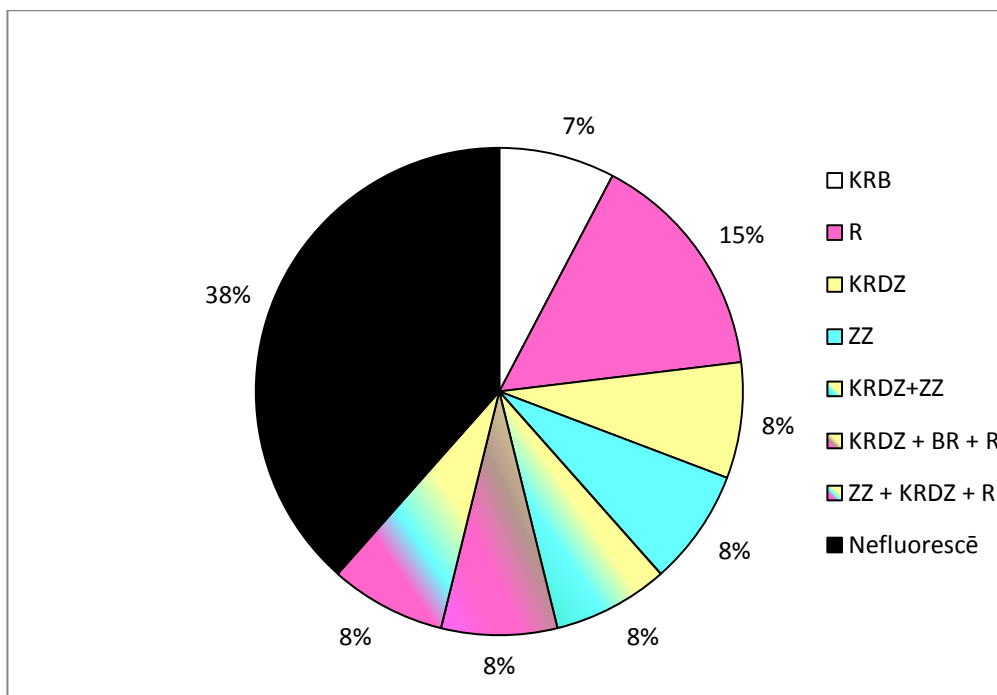
calcīta kristālu pamatnē. Calcīta kristālu izmērs ir no 1 līdz 39 mm, forma – skaloedri un romboedri, kristāli caurspīdīgi, krāsa balta, pelēcīga, dzeltenīga un bezkrāsaina.

Aiviekstes kreisā krasta dolomīta atradnē ievāktajiem calcīta kristālu paraugiem nav vērojama saistība starp fluorescences izpausmēm un kristālu izmēriem, kristālu krāsu un formu. Karsta veidojumos ievāktajiem paraugiem raksturīgās fluorescences krāsas ir zilganzaļa, dzeltena krāsa garajos UV staros, kā arī rozā krāsa vidējos UV staros. Vērojama tendence, ka karjera sienās ārpus karsta veidojumiem ievāktajiem paraugiem garajos UV staros galvenokārt raksturīga zilganzaļas krāsas fluorescences, taču karsta veidojumos ievāktajiem paraugiem raksturīga zilganzaļas un dzeltenas krāsas fluorescences. Īpaši labi tas vērojams dienvidu sienā ievāktajiem paraugiem – tie, kas iegūti tālāk no otrā karsta veidojuma, fluorescē zilganzaļā krāsā, taču pirmais paraugs, kas noņemts tuvu otrajam karsta veidojumam, fluorescē dzeltenā un dzeltenbrūnā krāsā. Arī rietumu sienā ievāktajiem paraugiem dominējošā fluorescences krāsa garajos UV staros ir zilganzaļa, izņemot atsevišķus paraugus, kuri fluorescē zilganzaļā un krēmdzeltenā, dzeltenā, brūnā krāsā. Vidējos UV staros paraugu krāsu dažādība ir lielāka un nav vērojama saistība starp fluorescenci un paraugu atrašanās vietu atradnē.

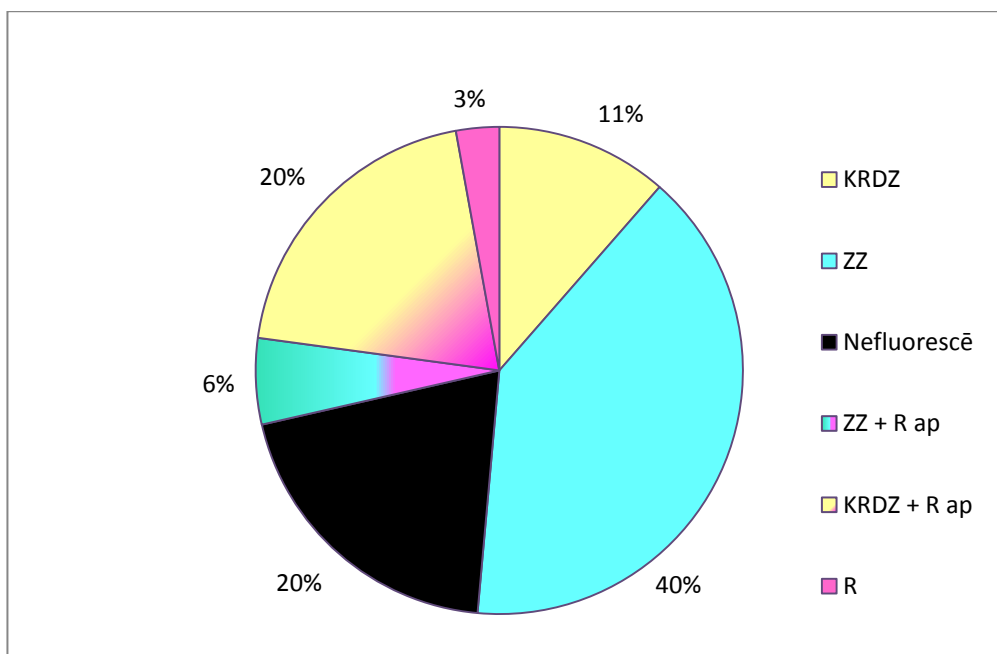
Dolomīta atradnē “Jaunsmilktiņas 1” ievāktie divpadsmit calcīta kristālu paraugi fluorescē dažādās krāsās (3.9. attēls). Vidējos UV staros nefluorescē pieci paraugi, pārējiem vērojama ļoti vājas līdz vājas intensitātes fluorescences krēmbaltā, krēmdzeltenā, brūnā, rozā un zilganzaļā krāsā. Kristālu izmērs no 1 līdz 18 mm, forma – skaloedri, aplauzti skaloedri un romboedri, kristāli caurspīdīgi, krāsa balta, bezkrāsaina, sarkanbrūna. Nav novērojama saistība starp fluorescences izpausmēm un calcīta kristālu izmēriem, formu un krāsu.

Dolomīta atradnē “Lauce”, iecirknī “Pelši” ievākti trīsdesmit pieci calcīta kristālu paraugi dažādās atradnes daļās, no kuriem septiņi paraugi nefluorescē, bet pārējie fluorescē dažādās krāsās (3.10. attēls).

Pirmā griezuma sastādīšanas vietā, vidējā kāplē, aptuveni 60 m no karsta veidojuma ievāktie calcīta paraugi vidējos UV staros fluorescē ļoti vājā līdz vājā zilganzaļā krāsā. Otrā griezuma sastādīšanas vietā, apakšējā kāplē, pretī karsta veidojumam un zem karsta veidojuma, 1. slāņa vidusdaļā ievāktie calcīta paraugi fluorescē vājā krēmdzeltenā krāsā, kā arī dažu paraugu augšējie, vēlāk augušie calcīta kristāli fluorescē vājā līdz vidējā zilganzaļā krāsā, apakšējie – vājā rozā krāsā. Otrā griezuma 1. slāņa apakšējā daļā iegūto calcīta paraugu augšējie, salīdzinoši jaunākie kristāli fluorescē vājā līdz vidējā krēmdzeltenā krāsā, bet apakšējie, salīdzinoši vecākie kristāli – vājā rozā krāsā. Atradnes ziemeļu sienā ievāktajiem paraugiem vērojama ļoti vāja līdz vāja zilganzaļa un rozā krāsas fluorescences.



3.9. attēls. Kalcīta fluorescences krāsas vidējos UV staros dolomīta atradnē “Jaunsmilktiņas 1” (sagatavojusi autore). Krāsas diagrammā aptuveni pielīdzinātas vizuāli novērotajām fluorescences krāsām. Apzīmējumi: KRB – krēmbalta krāsa; R – rozā krāsa; KRDZ – krēmdzeltena krāsa; ZZ – zilganzaļa krāsa; BR – brūna krāsa.



3.10. attēls. Kalcīta fluorescences krāsas vidējos UV staros dolomīta atradnē “Lauce”, iecirknī “Pelši” (sagatavojusi autore). Krāsas diagrammā aptuveni pielīdzinātas vizuāli novērotajām

fluorescences krāsām. Apzīmējumi: KRDZ – krēmdzeltena krāsa, ZZ - zilganzaļa krāsa, R – rozā krāsa, R ap – rozā krāsa kalcīta kristālu pamatnē.

Fluorescences izpausmju testēšanas rezultāti atradnē “Lauce”, iecirknī “Pelši” atklāj izpausmju mainību vertikālā griezumā. Fluorescences izpausmes mainās vertikāli ne tikai dolomīta sienas mērogā, bet arī atsevišķu kalcīta paraugu ietvaros (Venera, 2017), jo augšējo, salīdzinoši jaunāko kristālu fluorescence atšķiras no augšējo kristālu pamatnē un dolomīta plaisās paraugu apakšējā daļā esošo, salīdzinoši vecāko kristālu fluorescences.

Kristālu izmēri ir no 1 līdz 20 mm, kristāli vairumā gadījumu caurspīdīgi, krāsas dažādas – no baltas līdz brūnganai. Dolomītu slāņkopas vidusdaļā esošie kristāli atšķiras no apakšējā daļā esošajiem kristāliem pēc formas un krāsas – augstāk esošie kalcīta kristāli ir balti, pelēcīgi, arī dzeltenīgi romboedri, savukārt zemāk esošie kalcīta kristāli ir dzeltenīgi skalenoedri, ar baltiem kristāliem to pamatnē un dolomīta plaisās paraugu apakšējā daļā. Iespējams, pastāv saistība starp fluorescences izpausmēm un kristālu formu.

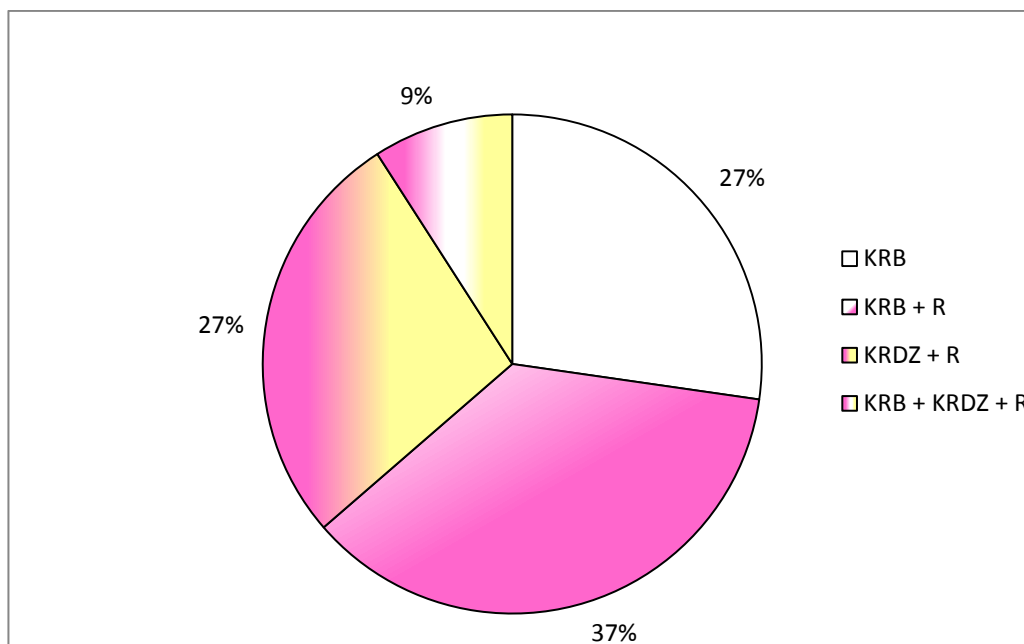
Dolomīta atradnē “Sienāži” kopā ievākti vienpadsmit kalcīta kristālu paraugi, kas vidējos UV staros fluorescē krēmdzeltenā, krēmbaltā un rozā krāsā (3.11. attēls).

Kalcīta paraugs no trešā karsta veidojuma vidējos UV staros fluorescē ļoti vājā krēmbaltā krāsā. Pirmais un otrais paraugs no dienvidu sienas, kas ievākti vistuvāk trešajam karsta veidojumam arī fluorescē ļoti vājā krēmbaltā krāsā. Trešais paraugs fluorescē vājā krēmbaltā un rozā krāsā, bet piektais un sestais paraugs fluorescē ļoti vājā līdz vidējā krēmdzeltenā un rozā krāsā. Vērojamas fluorescences izpausmju pakāpeniskas izmaiņas dienvidu sienā ievāktajiem paraugiem, attālinoties no karsta veidojuma. Otrajā karsta veidojumā no nobirām un slāņa karsta veidojuma pamatnē ievāktajiem paraugiem vērojama ļoti vājas līdz vidējas intensitātes krēmbalta, krēmdzeltena un rozā fluorescence. Kalcīta kristālu izmēri no 3 līdz 35 mm, forma – romboedri, skalenoedri. Kristāli caurspīdīgi, krāsa balta, dzeltena, brūngana. Saistība starp fluorescences izpausmēm un citām kristālu fizikālajām īpašībām nav vērojama.

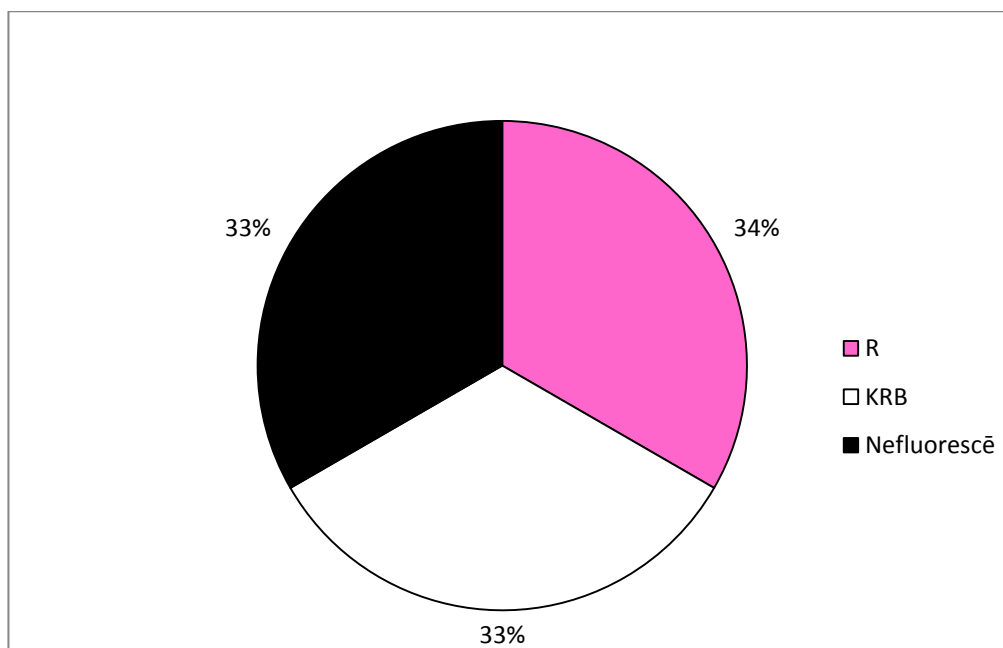
Dolomīta atradnē “Jaundutkas” neviens no trīs ievāktajiem kalcīta kristālu paraugiem nefluorescē. Kristālu izmēri ir no 2 līdz 6 mm, kristālu forma – trigonālas piramīdas ar pinakoīdiem pamatnē. Kristāli caurspīdīgi, krāsa balta un pelēka. Nav vērojama saistība starp fluorescenci un kristālu izmēriem, formu un krāsu.

Dolomīta atradnē “Dutkas” ievākti seši kalcīta kristālu paraugi no nobirām karsta palikšņa augšējā un apakšējā daļā. Paraugi vidējos UV staros fluorescē ļoti vājas intensitātes rozā un krēmbaltā krāsā (3.12. attēls). Kristālu izmērs ir no 1 līdz 8 mm, kristālu forma –

trigonālas piramīdas ar pinakoīdiem pamatnē. Kristāli caurspīdīgi, krāsa – balta, bezkrāsaina. Nav vērojama saistība starp fluorescenci un kristālu izmēriem, formu un krāsu.



3.11. attēls. **Kalcīta fluorescences krāsas vidējos UV staros dolomīta atradnē “Sienāži”** (sagatavojusi autore). Krāsas diagrammā aptuveni pielīdzinātas vizuāli novērotajām fluorescences krāsām. Apzīmējumi: KRB – krēmbalta krāsa; KRDZ – krēmdzeltena krāsa; R – rozā krāsa.



3.12. attēls. **Kalcīta fluorescences krāsas vidējos UV staros dolomīta atradnē “Dutkas”** (sagatavojusi autore). Krāsas diagrammā aptuveni pielīdzinātas vizuāli novērotajām fluorescences krāsām. Apzīmējumi: R – rozā krāsa; KRB – krēmbalta krāsa.

3.3. Kalcīts un tā attiecības ar citiem dolomīta komponentiem plānslīpējumos

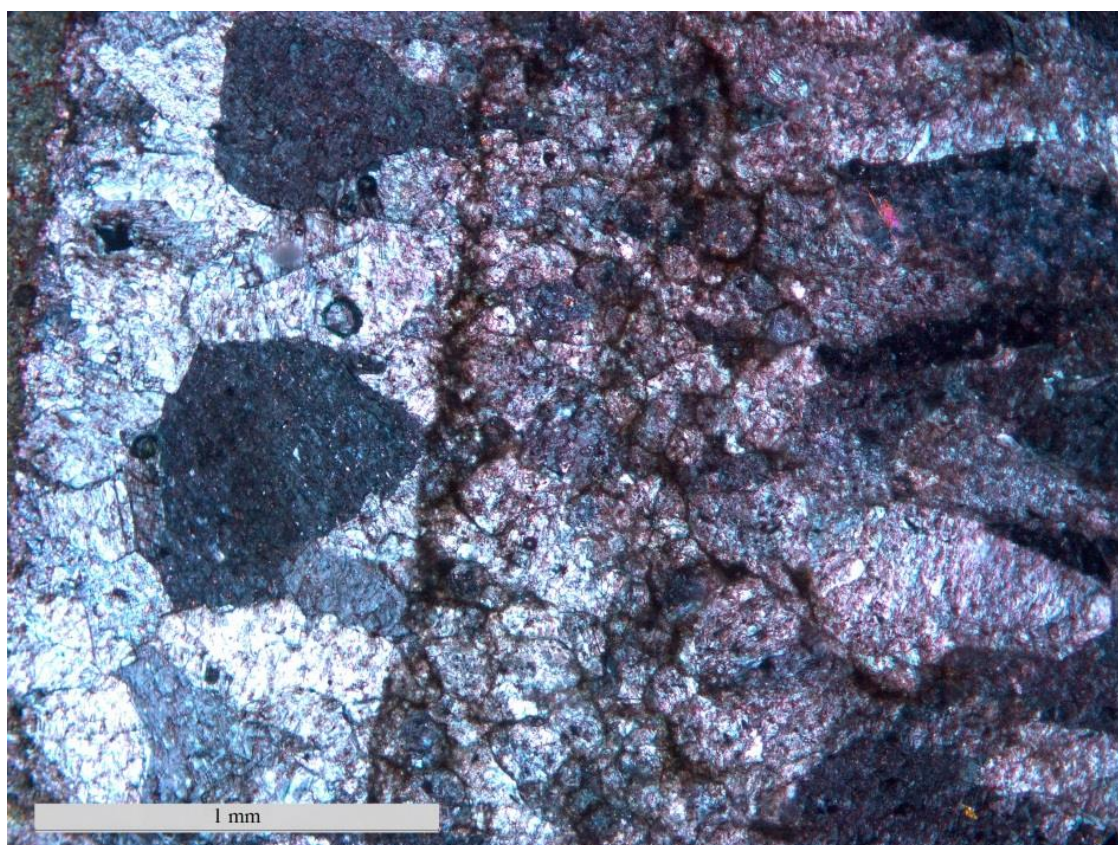
Kalcīta kristāliem plānslīpējumos vērojami daudzveidīgi izmēri, forma un veids, kādā tie kontaktē ar citiem dolomīta komponentiem. Kalcīta kristāli veido drūzas uz dolomīta plaisu un slāņu virsmas (3.13. attēls), aizpilda plaisas, poras un kavernas dolomītā, kā arī cementē citus nogulumus.



3.13. attēls. Plānslīpējuma fotomikrogrāfija: kalcīta kristāli (sarkani – rozā) izkristalizējušies uz dolomīta (pelēks) virsmas. Dolomīta atradne “Dutkas”, paraugs D – K – 6 no karsta veidojuma. Analizators ieslēgts (fotografējusi autore).

Analizējot plānslīpējumus, ir iespējams precīzi noteikt kalcīta kristālu izmērus, atšķirībā no makroparaugiem, kuros kalcīta kristāli vairumā gadījumu izskatās lielāki, nekā ir patiesībā. Tas skaidrojams ar to, ka bez palielinājuma kalcīta kristāls bieži izskatās kā viens vesels, taču plānslīpējumā var redzēt, ka to veido daudzi mazi kristāli. Tieši šī ir viena no biežāk novērotajām kalcīta īpatnībām plānslīpējumos. Lielākie kalcīta kristāli ar vidējo izmēru 5,9 mm ir vērojami tur, kur tiem bijusi brīva telpa kristalizācijai un citi iežu komponenti tos nav ierobežojuši – parasti drūzas ārējā daļā, tālāk no ietverošā ieža. Lielāko kalcīta kristālu izmērs ir individuāls katram paraugam un mainās no 0,8 līdz 18,8 mm.

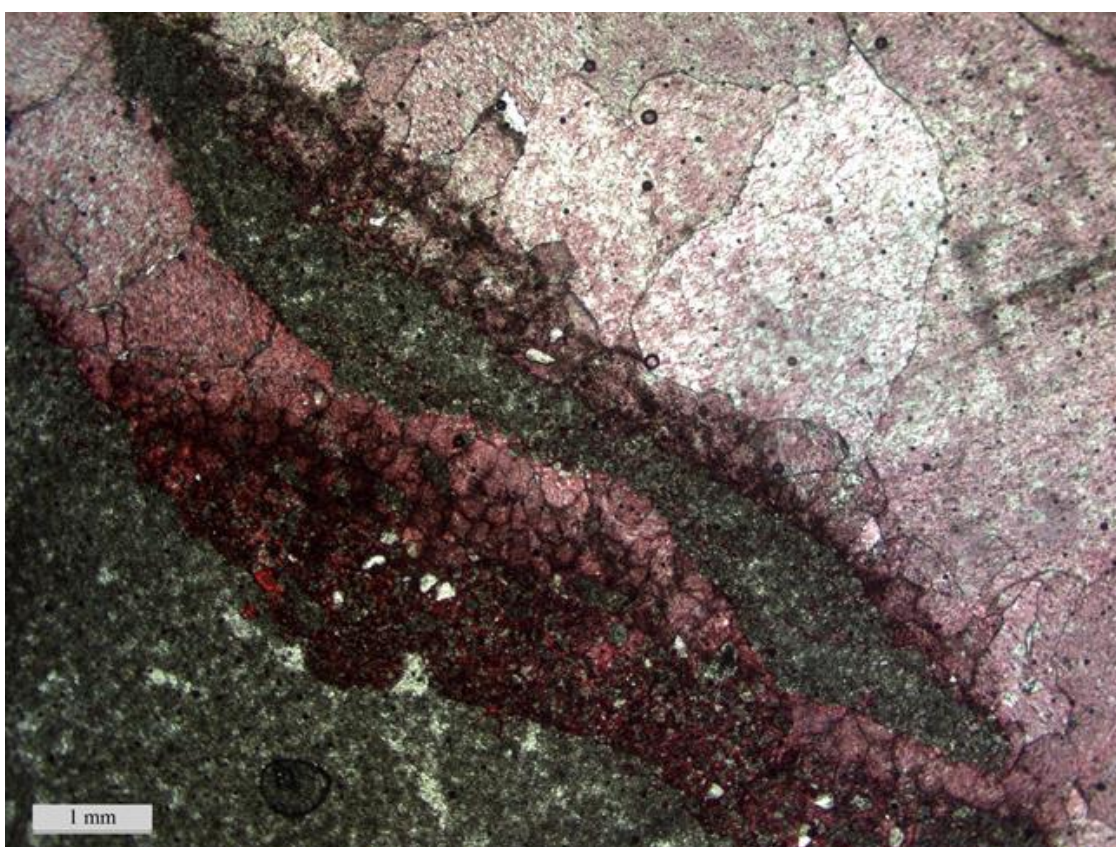
Kalcīta drūzās kristālu garenasis ir perpendikulārs, tuvu perpendikulārām, kā arī paralēlas attiecībā pret dolomītu, uz kura kristāli izauguši (3.13. attēls). Kalcīta drūzās, lielāko kristālu pamatnē, vairumā gadījumu raksturīgi kristāli ar mazākiem izmēriem, taču ir arī gadījumi, kad lielākie kalcīta kristāli ir izkristalizējušies tieši uz dolomīta plaisu un slāņu virsmas. Atsevišķos paraugos kalcīta kristāli veido vairākas zonas ar atšķirīgu izmēru kristāliem, līdz sasniedz dolomīta virsmu, kā, piemēram, paraugā no dolomīta atradnes “Lauce”, iecirkņa “Pelši” (3.14. attēls), kurā drūzas ārējo daļu veido lielāki, tīri kalcīta kristāli ar vidējo izmēru 1,9 mm, tālāk seko zona ar mazākiem kalcīta kristāliem ar izmēru no 0,08 līdz 0,24 mm, uz kuru kontaktvirsmām vērojams mālaina materiāla piejaukums. Aiz mazākajiem kristāliem seko zona ar vidēja izmēra (0,12-0,6 mm) tīriem kristāliem, kas veido kontaktzonu ar dolomītu. Kontakts ir neregulāras formas, vērojamas minimālas dolomīta šķīšanas pazīmes un vietām kalcīts kristalizēties dolomīta pamatmasā pa nelielām, galvenokārt vertikālām plaisiņām.



3.14. attēls. Plānslīpējuma fotomikrogrāfija: dažāda izmēra kalcīta kristālu (rozā – pelēki sudrabaini) zonas un to kontakts ar dolomītu (zaļganpelēks, augšējā kreisajā stūrī). Dolomīta atradne “Lauce”, iecirknis “Pelši”, paraugs P – A – 7, no nobirām zem karsta veidojuma. Analizators ieslēgts (fotografējusi autore).

Lielākajā daļā paraugu, kuriem raksturīgi mazāki kalcīta kristāli tā un dolomīta kontaktzonā, ir vairāk piemaisījumu - nelielu dolomīta iecirkņu, dolomītmiltu, dzelzs savienojumu, kvarca smilts graudu veidā, nekā kristāliem, kas atrodas tālāk no dolomīta virsmas.

Plaisas aizpilda dažādu izmēru un orientācijas kalcīta kristāli (3.15. attēls). Plaisas var aizpildīt daļa no lielāka kalcīta kristāla (2. pielikums 1. att.), atsevišķi lielāki kristāli, kas orientēti plaisas virzienā, garenī kristāli, kas kristalizējušies plaisas orientācijas virzienā, kā arī mazāki kristāli, kas kristalizējušies no vienas vai abām plaisas pusēm uz tās vidu. Īpatnēja kalcīta kristālu forma vērojama dolomīta atradnē “Dutkas” ievāktā parauga plaisas aizpildījumā, kur šķiedraini kalcīta kristāli veido rozetes formu (2. pielikums 2. att.).

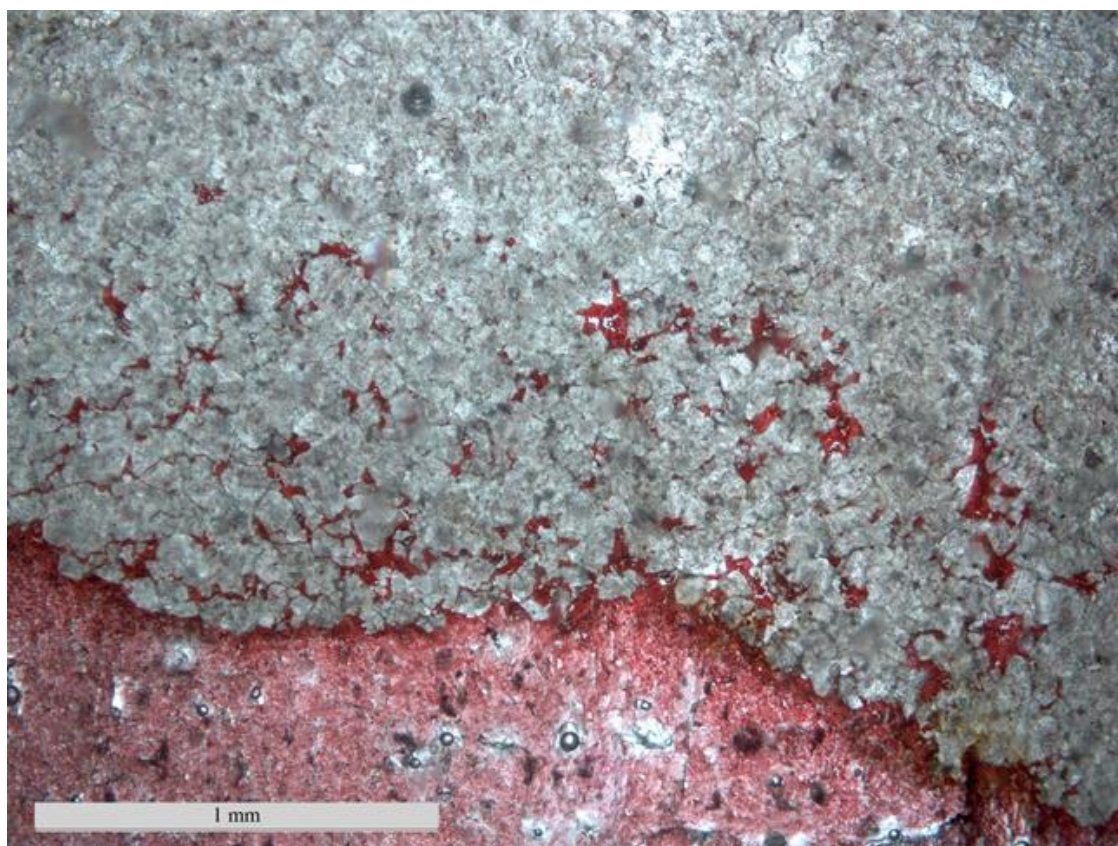


3.15. attēls. Plānslīpējuma fotomikrogrāfija: plaisas aizpildījums dolomītā (zaļganpelēks) ar dažāda izmēra kalcīta kristāliem (rozā – sarkans), plaisas apakšējā daļā kalcīts cementē dolomītmiltus. Attēla labajā malā lielāki kalcīta kristāli, zem tiem mazāki kristāli ar dolomītmiltu piejaukumu. Aiviekstes kreisā krasta dolomīta atradne, paraugs A – K2 – 1 no otrā karsta veidojuma. Analizators izslēgts (fotografējusi autore).

Dolomīta pamatmasu veido ksenomorfi, hipidiomorfi un idiomorfi dolomīta kristāli. Plānslīpējumos var novērot to, ka dolomīta kristālu iekšējo daļu veido tumšāks dolomīts, ar

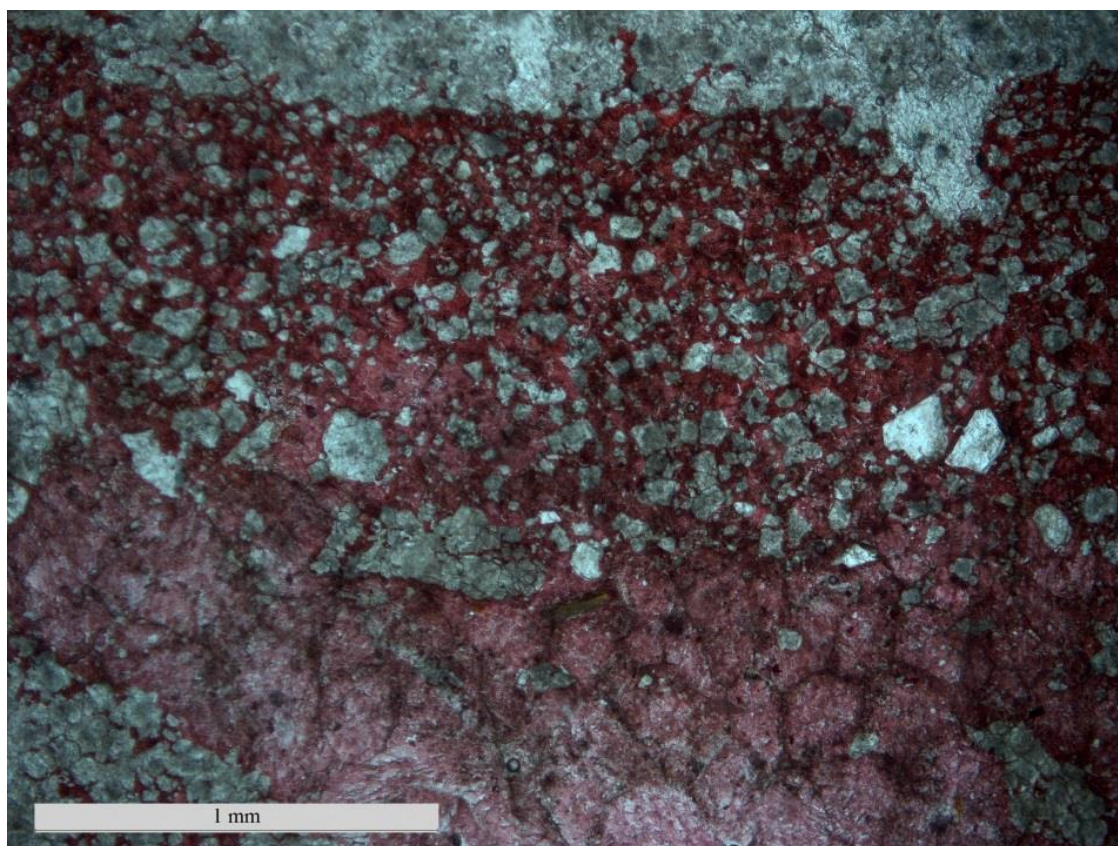
lielāku iekļāvumu daudzumu, savukārt ārējā daļā ir mazāks iekļāvumu daudzums. Kristālu daļu savstarpējās attiecības liecina, ka tīrākā kristālu ārējā daļa ir veidojusies pēc iekšējās daļas. Kalcīta kontakti ar dolomītu var būt ļoti daudzveidīgi, taču visos pētītajos plānslīpējumos kalcīta attiecības ar dolomīta pamatmasu, kā arī atsevišķu dolomīta iecirkņu un kristālu iekļaušana kalcītā, to savstarpējie kontakti liecina par to, ka kalcīts veidojies pēc pēdējās, jaunākās dolomīta ģenerācijas.

Kalcīts sastopams dolomīta porās, kavernās, un vietām tas cementē dolomīta pamatmasu. Kalcīta kristāli, kas veido drūzas uz dolomīta virsmas, parasti stiepjas līdz dolomīta – kalcīta kontaktzonai un tikai atsevišķos gadījumos kāds no lielākajiem kristāliem ir kristalizējies dolomīta pamatmasā, ietverot sevī dolomīta iecirkņus. Biežāk dolomīta poras, kavernas un dolomīta kristālu sakopojumus cementē cita veida kalcīts (3.16. attēls), kura kristāliem nav vērojama saistība ar kalcīta kristāliem virs kontaktzonas.



3.16. attēls. Plānslīpējuma fotomikrogrāfija: lielākie kalcīta kristāli (rozā) robežojas ar dolomīta–kalcīta kontaktzonu, bet dolomīta pamatmasas poras un plaisiņas aizpilda smalkkristālisks kalcīts (sarkans). Aiviekstes kreisā krasta dolomīta atradne, R siena, A – R – 5 paraugs no marmorveida dolomītu slāņa. Analizators izslēgts (fotografējusi autore).

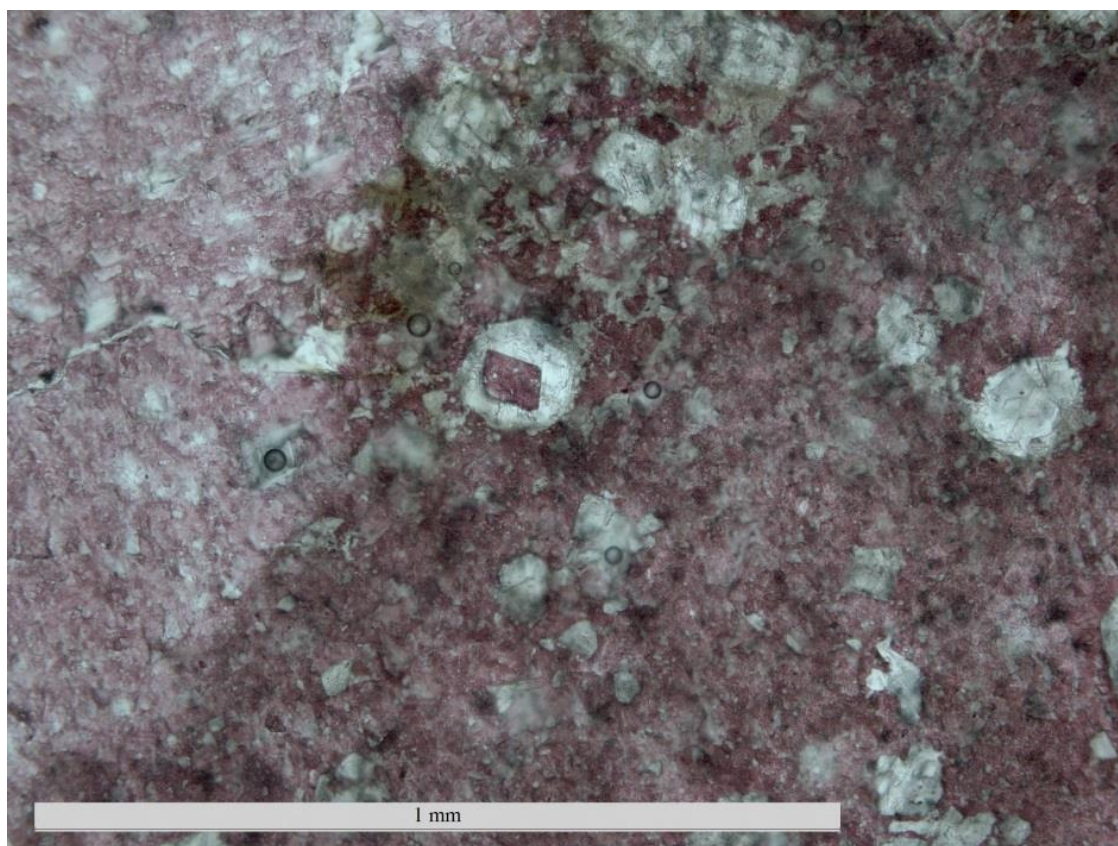
Kalcīta un dolomīta kontaktzonā vairākos gadījumos ir vērojama atsevišķu, savstarpēji nesaistītu dolomīta kristālu cementācija ar kalcītu. Tā kā atbilstošajiem makroparaugiem bija vērojami dolomītmilti uz kristālu virsmas, tad ir pamats uzskatīt, ka arī plānslīpējumos redzami atsevišķie ar kalcītu cementētie dolomīta kristāli ir dolomītmilti. Tie sastopami kalcīta – dolomīta kontaktzonā drūzas veidojošo kalcīta kristālu pamatnē, mazākajos kontaktzonas kristālos, plaisu aizpildošajos kristālos (3.17. attēls) platāku vai šaurāku zonu veidā, kā arī atsevišķos gadījumos iekļauti lielāko kalcīta kristālu ārējā, pret kavernu tukšo vidū vērstajā daļā. Kalcīta attiecības un kontakti ar dolomītmiltiem liecina par to, ka vispirms izveidojās dolomītmilti un tikai pēc tam notika kalcīta kristalizācija.



3.17. attēls. Plānslīpējuma fotomikrogrāfija: dolomītmilti, atsevišķi dolomīta iecirkņi (zaļganpelēki) un kvarca smilts graudi (gaiši pelēki), ko cementē plaisu aizpildošais kalcīts (sarkans). Aiviekstes kreisā krasta dolomīta atradne, paraugs A – K2 – 1 no otrā karsta veidojuma. Analizators izslēgts (fotografējusi autore).

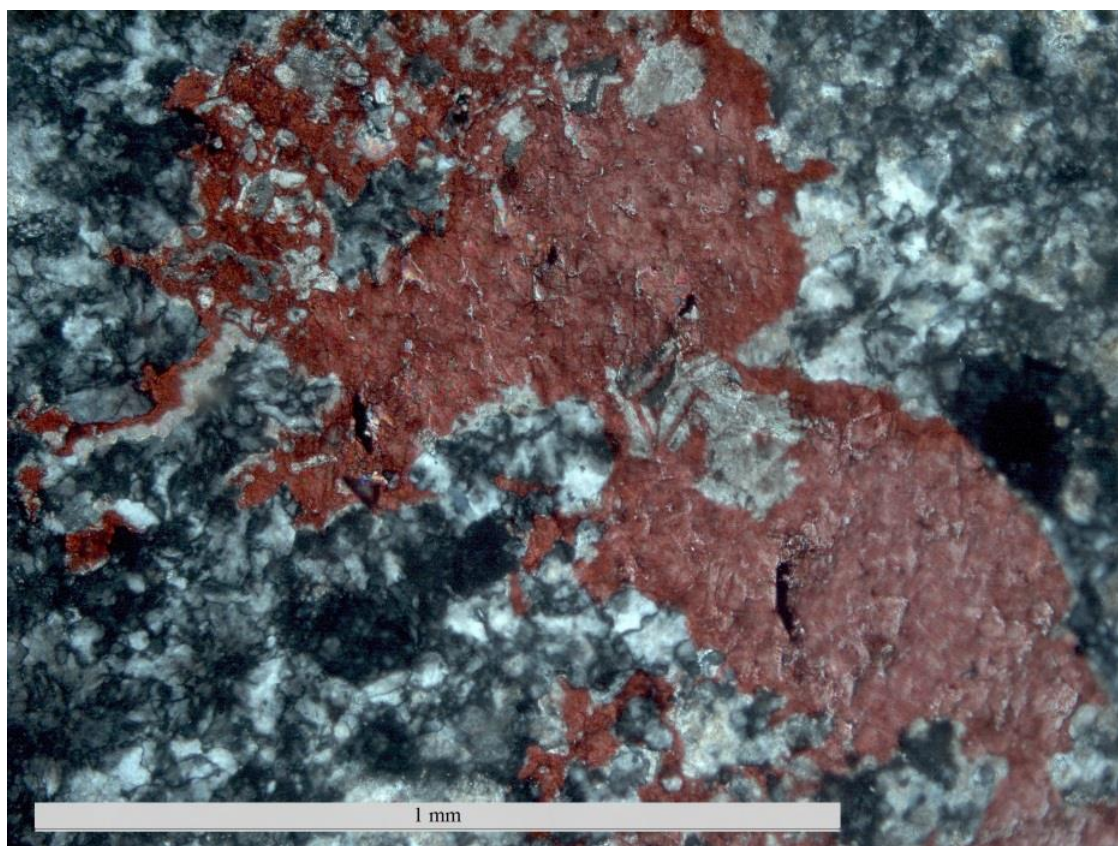
Sešos paraugos (A – D – 1; A – K3 – 6; A – K4 – 6; P – GR1 – 8; S – K – R – 1; S – K – R – 4) no “Aiviekstes kreisais krasts”, “Lauce”, iecirkņa “Pelši”, “Sienāži” dolomīta atradnēm tika novērota dolomīta šķīšana un aizvietošanās ar kalcītu jeb dedolomitizācija. Pētītajos plānslīpējumos tika novēroti dažī atsevišķi dedolomitizēti kristāli vai nelielas

dedolomitizācijas skartas zonas. Process norisinājies, kalcītam aizvietojot dolomītu gan no kristālu iekšpusēs (3.18. attēls), gan no ārējām sānu malām (2. pielikums 3. att.). Tā kā dolomīta kristālu iekšējā daļa ir ar lielāku iekļāvumu daudzumu, tā ir nenoturīgāka pret šķīšanas procesiem, tādēļ daudz biežāk ir novērojama iekšējā dedolomitizācija - kalcīts ir šķīdinājies un aizvietojis dolomīta kristālus no iekšienes. Šāds process – iekšējā dedolomitizācija – Latvijas devona dolomītos ir aprakstīts arī iepriekš (Stinkulis, 1998). Jāatzīmē, ka dedolomitizācija konstatēta tikai paraugos no atradnēm, kurās ir paleokarsta veidojumi – četri paraugi ar dedolomitizācijas pazīmēm ievākti tieši no paleokarsta veidojumiem, divi no dolomīta slāņkopas paleokarsta veidojumu tuvumā (15-60 m). Dedolomitizācija visbiežāk vērojama kalcīta – dolomīta kontaktzonā, vietās, kur dolomītu vairāk skāruši šķīšanas procesi (3.18. attēls; 2. pielikums 4. att.), kā arī dolomīta pamatmasā, dedolomitizācijai skarot tikai atsevišķus kristālus.



3.18. attēls. Plānslīpējuma fotomikrogrāfija: dolomīta kristāls (gaiši pelēks) ar kalcīta kodolu, kas veidojies, aizvietojot dolomītu no kristāla iekšpusēs (attēla centrā). Aiviekstes kreisā krasta dolomīta atradne, paraugs A – K4 – 6, no ceturtā karsta veidojuma. Analizators izslēgts (fotografējusi autore).

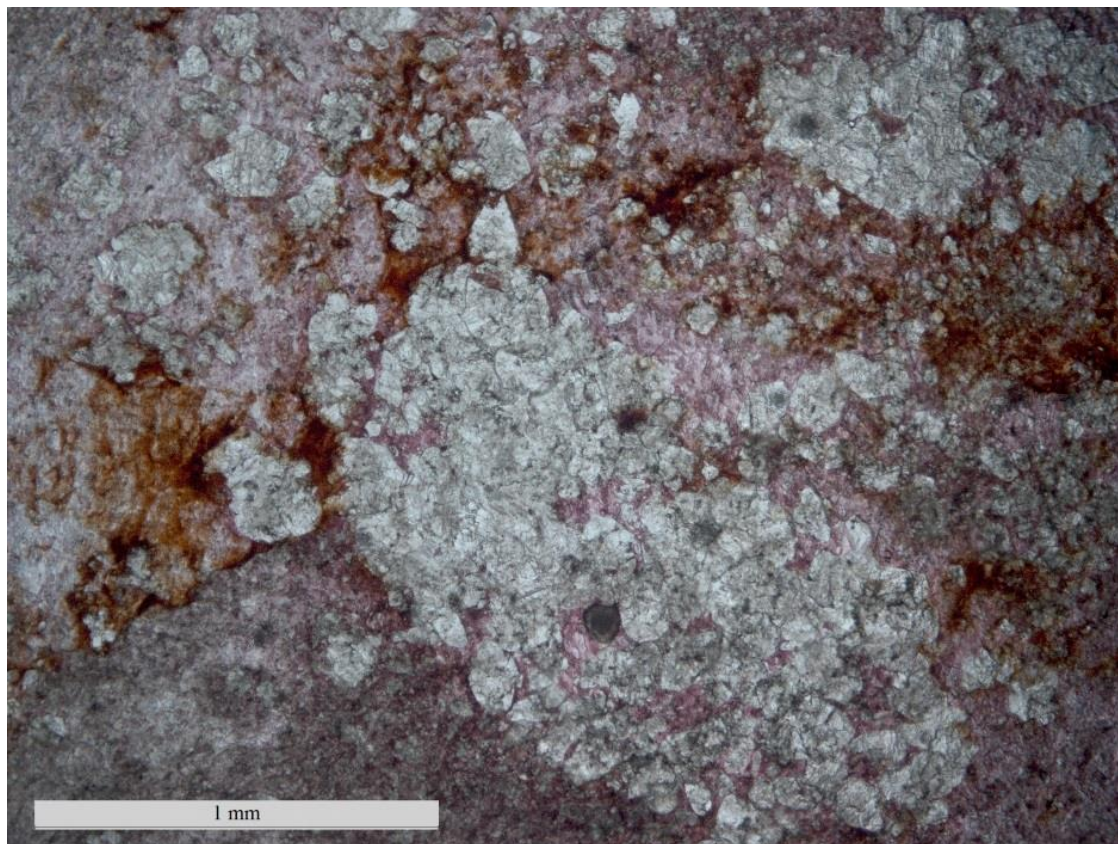
Vairākos pētītajos plānslīpējumos tika konstatēts arī krams un kvarcs gan lielāku sakopojumu, gan atsevišķu kvarca kristālu veidā, kurus kopā ar dolomītu cementē calcīts. Krama un kvarca ieslēgumi sastopami galvenokārt Aiviekstes kreisā krasta dolomīta atradnē (3.19. attēls), savukārt kvarca drupu graudu sakopojumi un atsevišķi kristāli sastopami arī citās dolomīta atradnēs - atradnē "Lauce", iecirknī "Pelši", atradnēs "Sienāži" un "Jaundutkas". Vietām kvarca graudi atrodas dolomīta pamatmasā un dolomīta – calcīta kontaktzonās kopā ar dolomītmiltiem. Tā kā calcīts cementē krama un kvarca sakopojumus un atsevišķus graudus, var secināt, ka calcīts veidojies pēc pēdējās krama un kvarca ģenerācijas.



3.19. attēls. Plānslīpējuma fotomikrogrāfija: calcīts (sarkans) cementē kramu (pelēks). Aiviekstes kreisā krasta dolomīta atradne, paraugs A – K4 – 5 no ceturtā karsta veidojuma. Analizators ieslēgts (fotografējusi autore).

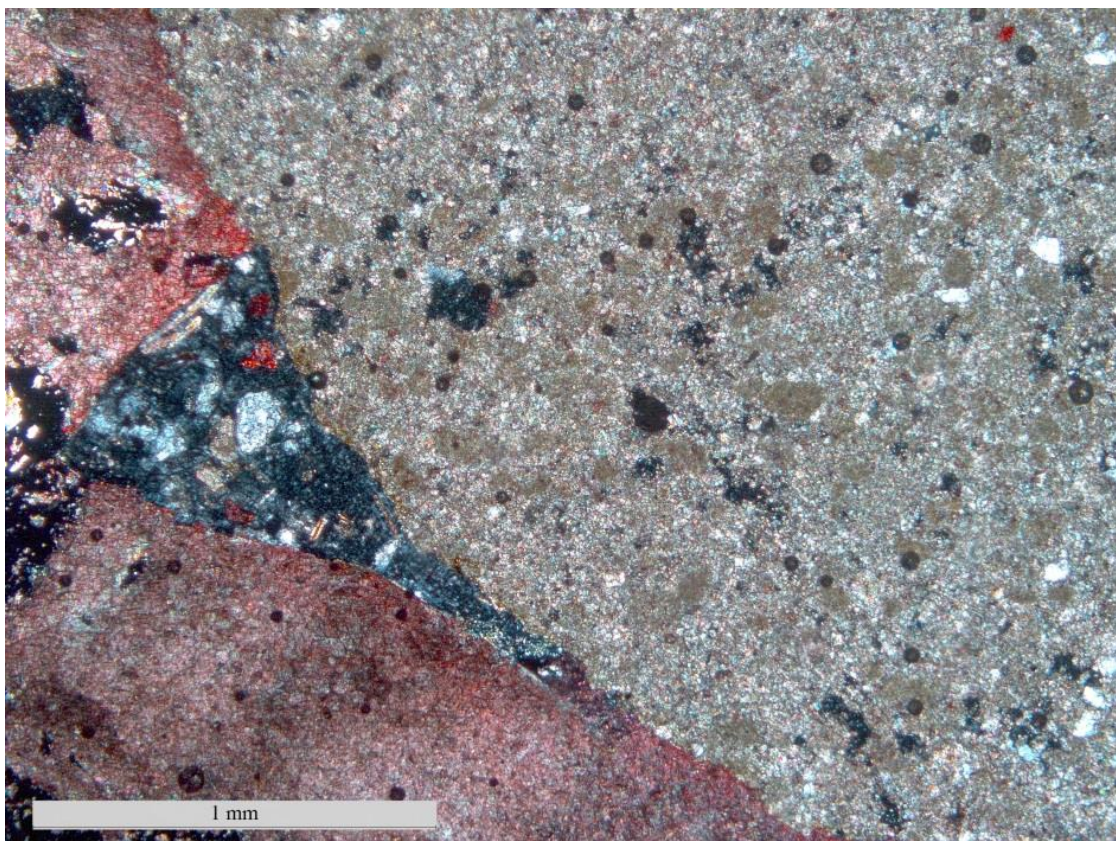
Dažos no pētītajiem plānslīpējumiem tika novēroti arī calcītā ietverti dzelzs savienojumi (3.20. attēls), kas pārsvarā koncentrējas ap dolomīta kristāliem. Vietām calcīta kristalizācijas gaitā dzelzs savienojumi nelielu sakopojumu veidā ir atdalījušies no dolomīta un iekļauti calcīta kristālos. Izvērtējot dolomīta, dzelzs un calcīta kontaktus, var secināt, ka

pirmais kristalizējies dolomīts, pēc tam nogulsņējušies dzelzs savienojumi un kā pēdējais kristalizējies kalcīts.



3.20. attēls. Plānslīpējuma fotomikrogrāfija: dolomīta (pelēks), dzelzs savienojumu (sarkanbrūns) un kalcīta (rozā) attiecības. Aiviekstes kreisā krasta dolomīta atradne, R siena, paraugs A – R – 8 no marmorveida dolomītu slāņa. Analizators izslēgts (fotografējusi autore).

Dolomīta atradnēs “Dutkas” un “Sienāži” divu ievākto paraugu plānslīpējumos konstatētas dolomītsmilšakmens atlūzas, ko cementē kalcīts (3.21. attēls; 2. pielikums 5. att.; 2. pielikums 6. att.). Paraugi ievākti no karsta veidojuma (atradnē “Dutkas”) vai arī tiešā karsta veidojuma tuvumā (atradnē “Sienāži”). Dolomītsmilšakmens atlūzu cementācija ar kalcītu un šo veidojumu kontakts liecina par to, ka vispirms bija izveidojušās dolomītsmilšakmens atlūzas, kuras vēlāk tika sacementētas ar kalcītu.



3.21. attēls. Plānslīpējuma fotomikrogrāfija: dolomītsmilšakmens atlūza (tumša ar krāsainiem graudiem), ko cementē calcīts (rozā – sarkans). Dolomīta atradne “Dutkas”, paraugs D - K – 6 no karsta veidojuma. Analizators ieslēgts (fotografējusi autore).

3.4. Mikroelementi calcītā

Ķīmiskā sastāva noteikšana veikta calcīta paraugiem, kas galvenokārt atlasīti pēc ievākšanas vietas atradnēs un fluorescences izpausmēm, izvēloties piecdesmit vienu paraugu, kuru analīze varētu pēc iespējas labāk raksturot calcīta ķīmisko sastāvu gan karsta veidojumos, gan ārpus tiem – dolomīta slāņkopās karjeru sienās. Turpmāk darbā netiek analizēts calcīta pamatkomponentu Ca un CO₃ daudzums, jo pētītie paraugi ir tīri calcīta kristāli un informācija par šo komponentu daudzumu nav noderīga calcīta izcelsmes interpretācijai.

Pētītajos calcīta paraugos raksturīgākie ir tādu mikroelementu kā Mg, Fe un Mn piemaisījumi. Magnija saturs calcīta paraugos ir mainīgs, no 0,1 līdz 3,8%, vidēji 0,42%. Vairumā paraugu magnija daudzums ir lielāks vai aptuveni vienāds ar dzelzs daudzumu, taču lielākajā daļā atradnē “Aiviekstes kreisais krasts” un “Jaunsmilktiņas 1” ievāktajos calcīta paraugos dzelzs daudzums ir lielāks nekā magnija daudzums. Palielinātu Mg koncentrāciju var izskaidrot ar calcīta kristālrežģī esošo magniju (Dickson, 1990), kā arī ar nelielu dolomīta

piejaukumu kalcīta paraugos, ko vizuāli ne vienmēr var identificēt. Šī iemesla dēļ iegūtos rezultātus par magnija saturu kalcītā nav iespējams korekti interpretēt.

Dzelzs daudzums paraugos mainās no 0,01 līdz 1,51%, vidēji 0,29%. Lielākais dzelzs daudzums ir paraugos no atradnēm “Aiviekstes kreisais krasts”, “Lauce”, iecirknis “Pelši” un “Jaunsmilktiņas 1”. Lielākajā daļā atradņu ievāktajos paraugos dzelzs daudzums ir lielāks par mangāna daudzumu, bet atradnēs “Sienāži” un “Rītupes” mangāna koncentrācija pārsniedz dzelzs daudzumu. Šajās divās atradnēs ir vismazākais dzelzs saturs - vidēji 0,06%. Mangāna daudzums paraugos ir no 0,01 līdz 0,32%, vidēji 0,07%. Lielākais mangāna vidējais daudzums ir konstatēts paraugos no atradnes “Sienāži” - 0,12%.

Kalcīta paraugos konstatēts arī ķīmiskais elements stroncijs, tā daudzums ir no 0,001% līdz 0,025%, vidēji 0,006%. Stroncija saturs visos analizētajos paraugos ir ļoti nelielā koncentrācijā, kas ir daudz mazāka par magnija, dzelzs un mangāna saturu.

Kalcīta paraugos nelielās koncentrācijās tika konstatēti arī citi ķīmiskie elementi. Fosfora (P) vidējais daudzums 0,005%, kālija (K) daudzums lielākajā daļā paraugu <0,006%, nātrija (Na) vidējais daudzums 0,003%, litija (Li) vidējais daudzums 0,003%, taču lielākajā daļā paraugu Li saturs netika noteikts, jo tā koncentrācija bija ievērojami lielāka un ICP-OES iekārta to neļāva fiksēt, tādēļ precīzu Li saturu varētu noteikt tikai ar atkārtotu ķīmisko analīzi, atšķaidot analīzei lietoto šķīdumu. Svina (Pb) daudzums lielākajā daļā paraugu ir <0,00004 %, taču dažos paraugos konstatēts lielāks svina saturs – vidēji 0,0009%. Vislielākais Pb daudzums (0,009%) ir vienā paraugā, kas iegūts atradnē “Dutkas” no karsta veidojuma. Analizētajos kalcīta paraugos konstatēti arī nelieli sekojošu mikroelementu piemaisījumi: Cu, Zn, Ni, Cr, As, Co, Mo, Se, Ti, Tl, V, Al, Sb, Cd.

Izmantojot kalcīta ķīmiskās analīzes rezultātus, tika veikta četru mikroelementu – Fe, Mn, Sr un Pb telpiskās izplatības analīze dolomīta atradnēs, lai pētītu vai pastāv kādas likumsakarības starp kalcīta izvietojumu atradnē un ķīmisko sastāvu. Lai to izdarītu, atradnēm tika izveidotas shēmas, kurās vizuāli attēlots minēto elementu saturs dažādās atradnes daļās (3. pielikums). Kalcīta paraugos, kas ievākti no atradnēm “Sienāži” un “Rītupes”, tika konstatēts vismazākais dzelzs saturs, taču tas nenorāda uz saistību ar karsta veidojumiem, jo atradnē “Sienāži” tika konstatēti trīs karsta veidojumi, bet “Rītupēs” netika konstatēts neviens karsta veidojums. Sienāži atrodas Vidzemes centrālajā daļā, bet Rītupes – Latgales austrumos, tātad samazināts dzelzs saturs kalcītā nav saistīts ar konkrētu teritoriju.

Atradnēs “Aiviekstes kreisais krasts”, “Lauce”, iecirknī “Pelši”, “Sienāži” ievāktajiem kalcīta paraugiem var novērot šādu tendenci - dzelzs daudzums ir mazāk mainīgs kalcīta paraugiem no karsta veidojumiem un to tiešā tuvumā, bet ārpus karsta veidojumiem ievāktajos kalcīta paraugos dzelzs daudzums uzrāda lielāku mainību. Vislabāk to var novērot

Aiviekstes kreisā krasta atradnē dzelzs saturs kalcītā no karsta veidojumiem ir 0,26-0,54%, bet kalcītā ārpus karsta veidojumiem 0,11-1,51%. Atradnē “Lauce” iecirknī “Pelši” dzelzs saturs kalcītā no karsta veidojuma un tā tuvumā (2-30 m) ir 0,19-0,31%, bet kalcītā tālāk (60 m) no karsta veidojuma 0,20-0,58%. Atradnē “Sienāži” dzelzs saturs kalcītā no karsta veidojumiem ir 0,02-0,03%, bet ārpus karsta veidojumiem 0,04-0,06%.

Vienas atradnes ietvaros dažviet var novērot šķietamas mikroelementu satura atšķirības starp kalcīta paraugiem, kas ievākti karsta veidojumos un ārpus tiem, tomēr atšķirības ir vērojamas tikai konkrētās atradnes ietvaros un pārējās atradnēs tādas nav novērojamas vai ir vērojama pretēja situācija. Piemēram, atradnē “Sienāži” kalcīta paraugos no karsta veidojumiem ir mazāks svina daudzums nekā paraugos no dienvidu sienas, taču Aiviekstes kreisā krasta atradnē vērojama pretēja situācija – svina saturs ir lielāks kalcīta paraugos no karsta veidojumiem un mazāks paraugos no karjera sienām.

Vairumā gadījumu kalcīta ķīmiskais sastāvs mainās neatkarīgi no tā, kurā atradnes daļā tika ievākti paraugi. Novērojamas arī atšķirības ķīmiskās analīzes rezultātos kalcīta paraugiem, kas ievākti vienā atradnē, tieši blakus viens otram.

3.5. Oglekļa stabilo izotopu attiecības kalcītā

Oglekļa stabilo izotopu (^{12}C un ^{13}C) attiecības noteiktas vienpadsmit kalcīta paraugiem, kas atlasīti pēc to atrašanās vietas pētītajās atradnēs (izņemot atradni “Jaundutkas” analīzei piemērotu paraugu trūkuma dēļ) – gan no karsta veidojumiem, gan ārpus tiem – dolomīta slāņkopās karjeru sienās, lai raksturotu kalcīta kristalizācijas apstākļus un to iespējamās izmaiņas, atkarībā no karsta veidojumiem.

Oglekļa stabilo izotopu attiecību ($\delta^{13}\text{C}$) vērtības kalcīta paraugiem ir negatīvas un tās mainās no -5,13‰ līdz -10,45‰, vidēji -6,95‰. Atradnēs “Rītupes” un “Jaunsmilktiņas 1”, kurās karsta veidojumi netika konstatēti, $\delta^{13}\text{C}$ vērtības ir attiecīgi -5,13‰ un -6,58‰. Pārējās atradnēs, kurās kalcīta paraugi tika ievākti gan no karsta veidojumiem, gan ārpus tiem, $\delta^{13}\text{C}$ vērtības mainās no -6,84‰ līdz -10,45‰. Karsta veidojumos ievāktajam kalcītam $\delta^{13}\text{C}$ ir no 7,13‰ līdz -10,45‰, vidēji -7,35‰, bet kalcītam ārpus karsta veidojumiem no -6,84‰ līdz -8,69‰, vidēji -7,82‰.

Pēc oglekļa stabilo izotopu attiecību vērtībām ir vērojama iespējama sakarība - atradnēs, kurās netika konstatēti karsta veidojumi, ir mazākas negatīvas $\delta^{13}\text{C}$ vērtības nekā atradnēs, kurās konstatēti karsta veidojumi.

Trīs atradnēs (“Aiviekstes kreisais krasts”, “Sienāži”, “Lauce” iecirknis “Pelši”), kurās paraugi ievākti gan no karsta veidojumiem un to tuvumā, gan ārpus tiem, vidējās $\delta^{13}\text{C}$ vērtības

ir nedaudz mazākas kalcītā no karsta veidojumiem (-7,27‰) nekā kalcītā no karjeru sienām (-8,01‰). Tomēr pagaidām šī sakarība nav pārliecinoša, jo to vislabāk apliecina tikai atradnē “Sienāži” iegūtie rezultāti, kur kalcītā no karsta veidojuma $\delta^{13}\text{C}$ ir -7,13‰, bet kalcītā no dienvidu sienas -8,69‰. Aiviekstes kreisā krasta atradnē kalcīta paraugam no otrā karsta veidojuma $\delta^{13}\text{C}$ ir -7,75‰, pirmajam paraugam no dienvidu sienas (15 m no otrā karsta veidojuma) -6,84‰, divpadsmitajam paraugam no D sienas (81 m no otrā karsta veidojuma) -8,06‰, līdz ar to nav vērojamas pakāpeniskas $\delta^{13}\text{C}$ vērtību izmaiņas negatīvā virzienā, attālinoties no karsta veidojuma. Atradnē “Lauce” iecirknī “Pelši” analizētie kalcīta paraugi ievākti 30 un 60 m attālumā no karsta veidojuma. Kalcīta paraugam, kas ievākts 30 m no karsta veidojuma, $\delta^{13}\text{C}$ vērtība ir -7,03‰, bet paraugam 60 m no karsta veidojuma -8,46‰, tādējādi arī ir vērojams $\delta^{13}\text{C}$ vērtību pieaugums, attālinoties no karsta veidojuma. Tomēr, lai apstiprinātu šo sakarību, ir nepieciešams veikt $\delta^{13}\text{C}$ analīzes un interpretāciju lielākam skaitam kalcīta paraugu.

Analizētajiem kalcīta paraugiem vidējā oglekļa stabilo izotopu attiecību vērtība ir -6,95‰. Tā kā izotopu attiecība ir negatīva, tas norāda, ka analizētajos kalcīta paraugos ir palielināts vieglākā izotopa (^{12}C) saturs, salīdzinot ar standartu.

4. DISKUSIJA

Kalcīts ir raksturīgs pēcsedimentācijas procesu veidojums devona dolomītos Latvijā. Bakalaura darbā pētītajās Daugavas svītas dolomīta atradnēs Latvijas centrālajā un austrumu daļā kalcīts ir plaši izplatīts un veido drūzas, žeodes, sakopojumus un plaisu aizpildījumus dažādās dolomīta slāņkopas daļās.

Tipiska parādība devona dolomītiem un ar tiem asociējošajiem klastiskajiem nogulumiežiem ir paleokarsta veidojumi (Stinkule, Stinkulis, 2015), kas tika konstatēti piecās no astoņām pētītajām dolomīta atradnēm. Karsta veidojumu aizpildījumu veido mālainie un smilšainie Katlešu un Ogres svītas nogulumi (Hodireva, 1997; Kaļva 2010) kopā ar dažāda izmēra dolomītu atlūzām, kuru poras, kavernas un plaisas bieži aizpilda kalcīta drūzas un sakopojumi.

Daži autori norādījuši, ka kalcīts veidojies no pazemes ūdeņiem kataģenēzes vai hiperģenēzes stadijā (Hodireva, 1997, Stinkulis, 1998), taču, lai būtu iespējama kalcīta kristalizācija no pazemes ūdeņiem, nepieciešams, lai tie būtu piesātināti attiecībā pret kalcija karbonātu. Iespējams, ka karbonāti lielā daudzumā varēja nonākt pazemes ūdeņos laikā, kad Latvijas teritorijā norisinājās paleokarsta procesi. Pēc V. Skuoda uzskata šie procesi ir norisinājušies neogēna periodā (Скуодис, 1974).

Lai pārbaudītu, vai kalcīta veidošanās ir saistīta ar paleokarsta procesiem, bakalaura darbā tika pielietotas dažādas metodes, kā rezultātā iegūti jauni dati par kalcīta veidošanās apstākļiem un aptuveno norises laiku.

4.1. Kalcīta fluorescences izpausmes

Ievāktajiem 133 kalcīta paraugiem tika veikta fluorescences izpausmju testēšana, lai pētītu kalcīta kristālu izmēru, krāsu, formu, ķīmiskā sastāva un ievākšanas vietas saistību ar kalcīta fluorescences izpausmēm.

Testēšanas rezultātā tika novērotas dažādas fluorescences krāsas un to intensitāte. Vērtējot kalcīta fluorescences izpausmes visās pētītajās atradnēs, saistība starp fluorescenci, kalcīta paraugu ievākšanas vietu, t. sk. to izvietojumu attiecībā pret paleokarsta veidojumiem, novērojama Aiviekstes kreisā krasta karjera otrajā karsta veidojumā un dienvidu sienā ievāktajos paraugos, dolomīta atradnē "Lauce", iecirknī "Pelši" ievāktajos paraugos, kā arī Sienāžu dolomīta karjera dienvidu sienā ievāktajos paraugos.

Aiviekstes kreisā krasta atradnē kalcīta dzeltena un zilganzaļa fluorescences krāsa garajos UV staros saistās ar karsta veidojumu, taču, attālinoties no karsta veidojuma

horizontālā virzienā, dzeltenas krāsas fluorescence izzūd, un paraugi fluorescē tikai zilganzaļā krāsā. Tomēr, izņemot šo piemēru, atradnē nevar novērot citas sakarības starp noteiktām fluorescences krāsām un paraugu ievākšanas vietu.

Atradnē “Lauce”, iecirknī “Pelši”, netālu (līdz 60 m) no karsta veidojuma ievāktajos paraugos vērojama vertikāla fluorescences izpausmju mainība, kur virzienā uz leju fluorescences krāsas vidējos UV staros mainās no zilganzaļas dolomītu slāņkopas vidusdaļā (1. griezuma sastādīšanas vietā), uz krēmdzeltenu un zilganzaļu, rozā slāņkopas apakšējā daļā, 2. griezuma 1. slāņa vidusdaļā līdz krēmdzeltenai un rozā krāsai 1. slāņa pamatnes daļā.

Atradnē “Sienāži” fluorescences izpausmes mainās horizontālā virzienā, attālinoties no trešā karsta veidojuma. Karsta veidojumā ievāktajam kalcīta paraugam vidējos UV staros vērojama krēmbalta fluorescence, dienvidu sienā ievāktajiem paraugiem pie karsta veidojuma arī vērojama krēmbalta fluorescence, taču, attālinoties no karsta veidojuma, krēmbalto fluorescences krāsu nomaina krēmdzeltena un rozā krāsa. Tā kā saistība starp kalcīta fluorescenci paleokarsta veidojumos un pārējo fluorescējošo paraugu izvietojumu attiecībā pret paleokarsta veidojumiem ir vērojama tikai atsevišķās atradņu vietās, var secināt, ka kopumā šāda veida saistība nepastāv.

Kalcīta fluorescences krāsas ir dažādas un ir vērojama to mainība neatkarīgi no tā, vai atradnē ir konstatēti paleokarsta veidojumi. Piemēram, Vidzemes centrālās daļas atradnēs “Dutkas” un “Sienāži” ir novērotas līdzīgas fluorescences izpausmes – paraugi fluorescē vai nu krēmbaltā, vai krēmdzeltenā, vai arī rozā, bez tam nevienam paraugam nav vērojama fluorescences izpausmju mainība parauga ietvaros, kad augšējo, salīdzinoši jaunāko kalcīta kristālu fluorescences krāsa atšķiras no apakšējo, salīdzinoši vecāko kristālu fluorescences. Savukārt, Latvijas austrumu daļas atradnēs papildus iepriekš novērotajām fluorescences krāsām ir raksturīga arī zilganzaļa fluorescence, kā arī fluorescences izpausmju mainība viena parauga ietvaros. Kalcīta fluorescences izpausmēm nav novērojama saistība ar paleokarsta veidojumiem, bet ir vērojamas reģionālas fluorescences izpausmju atšķirības, kas atkarīgas no atradņu izvietojuma Latvijas teritorijā.

Tā kā ievāktie kalcīta kristālu paraugi ir daudzveidīgi gan izmēru, gan krāsas un formas ziņā, tika vērtēta arī šo fizikālo īpašību saistība ar fluorescences izpausmēm, tomēr vairumā gadījumu netika konstatētas nekādas sakarības, izņemot to, ka atradnē “Lauce” iecirknī “Pelši” ievāktajiem paraugiem zilganzaļā fluorescence saistās ar romboedra formas kristāliem, bet krēmdzeltenā fluorescence – ar skaloedru formas kristāliem.

Kalcīta fluorescenci ierosina dažādu neorganisko un organisko vielu piemaisījumi, kā arī kristālrežģu defekti. Pēc literatūras datiem (Mazzoleni, 2012), pierādītie joni, kas ierosina

kalciņa fluorescenci, ir mangāns un svins (sarkana, oranža un rozā fluorescence), kā arī stroncijs (zilganzaļa fluorescence).

Viens no kalciņa ķīmiskās analīzes mērķiem bija noskaidrot iespējamās, un apstiprināt jau literatūrā aprakstītos fluorescences ierosinātājus, tomēr analīzes rezultāti (4.3. apakšnodaļa) neuzrādīja sakarības starp fluorescences krāsām un noteiktu ķīmisko elementu. Vienīgo sakarību izdevās novērot divās atradnēs (“Rītupes” un “Sienāži”), kurās kalciņa paraugos konstatēts vismazākais dzelzs saturs (vidēji 0,06%) – šajās atradnēs pilnīgi visi paraugi fluorescē. Trīsvērtīgais dzelzs jons Fe^{3+} fluorescenci var gan ierosināt, gan noslāpēt, savukārt divvērtīgais dzelzs jons Fe^{2+} fluorescenci noslāpē (Warren et al., 1995), tādējādi visu paraugu fluorescēšana šajās atradnēs ir izskaidrojama ar ļoti nelielu fluorescenci slāpējošo jonu piemaisījumu kalciņā.

Literatūrā (Mazzoleni, 2012) minēts, ka tīrs kalciņš bez ķīmiskajiem piemaisījumiem fluorescē krēmbaltā krāsā, tomēr analizētajos kalciņa paraugos šāda sakarība neapstiprinājās. Kalciņa paraugiem, kuri fluorescē krēmbaltā krāsā, netika konstatēts citāds ķīmiskais sastāvs – tas līdzinās pārējo paraugu ķīmiskajam sastāvam. Ņemot vērā, ka kalciņa paraugos tika konstatēti 25 ķīmiskie elementi dažādās koncentrācijās, nav pamata uzskatīt, ka kalciņš ir tīrs, bez piemaisījumiem. Tādējādi, kalciņa fluorescēšanu krēmbaltā krāsā, iespējams, ierosina kāds līdz šim vēl nenoskaidrots ierosinātājs.

Par kalciņa fluorescēšanu dzeltenā un krēmdzeltenā krāsā atbildīgie ierosinātāji pagaidām nav līdz galam noskaidroti, taču dzeltenu fluorescenci varētu ierosināt organisko vielu ieslēgumi, kristāltrežģu defekti un retzemju elementu jonu piemaisījumi (Warren et al., 1995).

4.2. Kalciņa attiecības ar citiem komponentiem plānslīpējumos

Kalciņa paraugu plānslīpējumu pētījumi sniedz nozīmīgus datus par kalciņa attiecībām ar citiem dolomīta komponentiem, kas savukārt ļauj spriest par kalciņa veidošanos.

Kalciņš veido drūzas uz dolomīta virsmas, aizpilda poras, kavernas un plaisas dolomītā, vietām cementē dolomīta pamatmasu un citus dolomīta komponentus. Drūzu pamatnē, kalciņa un dolomīta kontaktzonā, vairumā gadījumu ir novērojami salīdzinoši mazi kristāli, kuru izmērs palielinās virzienā uz kavernas tukšo vidu. Kontaktzonas mazākajos kalciņa kristālos parasti ir vairāk piemaisījumu – nelielu dolomīta iecirkņu, dolomītmiltu, dzelzs savienojumu, kvarca drupu graudu, nekā lielākajos kristālos drūzas ārējā daļā. Līdzīgas sakarības novēroja un aprakstīja arī S. Jaunžeikare savā maģistra darbā (Jaunžeikare, 2013).

Drūzas veidojošie kalcīta kristāli parasti stiepjas tikai līdz dolomīta – kalcīta kontaktzonai, bet dolomīta pamatmasas poras, kavernas un plaisiņas cementē cita veida kalcīts, kura kristāliem nav vērojama saistība ar kristāliem virs kontaktzonas, kas liecina par to, ka pamatmasu cementējošais kalcīts nav kristalizējies vienā laikā ar drūzu veidojošajiem kristāliem. Kalcīts, kas aizpilda un cementē dolomīta pamatmasu, ir veidojies agrāk, nekā kalcīts, kas veido drūzas uz dolomīta virsmas. Ar atšķirīgo kalcīta veidošanās laiku, iespējams, var izskaidrot arī atradnēs “Aiviekstes kreisais krasts” un “Lauce” iecirknī “Pelši” ievāktu kalcīta paraugu fluorescences atšķirības viena parauga mērogā. Īpaši labi tas vērojams “Pelšos”, dolomīta slāņkopas apakšējā daļā ievāktajos paraugos, kur arī makroparaugā var novērot izteiktas atšķirības starp kalcīta kristāliem – drūzas pamatnē esošie un dolomīta plaisas aizpildošie kristāli ir mazāka izmēra, balti un fluorescē rozā krāsā, bet augšējie, drūzas ārējā daļā esošie kristāli ir lielāki un dzelteni, tie fluorescē krēm dzeltenā krāsā.

Kalcīta un dolomīta kontaktzonā vairāku paraugu plānslīpējumos vērojams, ka kalcīts cementē atsevišķus, savstarpēji nesaistītus dolomīta kristālus. Tā kā šiem paraugiem makroparaugos tika novēroti dolomītmiti uz kristālu virsmas, tad var secināt, ka plānslīpējumos redzami atsevišķie dolomīta kristāli arī ir dolomītmiti.

Sešos plānslīpējumos tika novēroti atsevišķi dedolomitizēti kristāli vai nelielas dedolomitizācijas skartas zonas. Vairumā gadījumu novērojama iekšējā dedolomitizācija (notikusi, kalcītam šķīdinot un aizvietojot dolomīta kristālus no iekšienes), kas Latvijas devona dolomītos konstatēta un aprakstīta arī iepriekš (Stinkulis, 1998). Dedolomitizācijas procesi aprakstīti arī vēlākajos pētījumos Doles salas atsegumā (Missa, 2011) un Daugavas svītas dolomīta atradnēs, no kurām Aiviekstes kreisā krasta dolomīta atradnē ir vērojama īpaši izteiksmīga un intensīva dedolomitizācija (Jaunžeikare, 2013).

Jāatzīmē, ka no visiem pētītajiem plānslīpējumiem, dedolomitizācija tika konstatēta tikai paraugos no atradnēm, kurās kalcīts ievākts paleokarsta veidojumos vai to tuvumā - 15-60 m attālumā. Pētījumā par Pļaviņu svītas dolomītu pēcsedimentācijas izmaiņām dedolomitizācijas norises (Kleesment et al., 2013) tiek skaidrotas ar ūdeņu, kas ir saistīti ar karsta procesiem un bagāti ar sulfātjoniem, infiltrāciju dolomītos, kā rezultātā norisinājušies dedolomitizācijas procesi un kalcīta kristalizēšanās. Sulfātjonu daudzums ūdenī ir palielinājies, šķīstot augšējā devona Salaspils svītas ģipšainajiem iežiem (Kleesment et al., 2013).

Tādējādi, iespējams, arī Daugavas svītas dolomītos novērojamie dedolomitizācijas procesi varētu būt saistīti ar karsta procesos iesaistītiem sulfātūdeņiem, tomēr šis apgalvojums ir hipotētisks un būtu jāpārbauda ar papildus pētījumiem.

Pētītajos paraugos tika konstatēts arī krams un kvarcs, to sakopojumi, kā arī dzelzs savienojumi, ko kopā ar dolomītu cementē kalcīts. Kalcīta kontakti ar dolomītu, krama un kvarca sakopojumiem, liecina par to, ka kalcīts veidojies pēc pēdējās dolomīta, krama un kvarca ģenerācijas. Iepriekšējos pētījumos S. Jaunžeikare arī secināja, ka kalcīts ir izkristalizējies pēc krama un dolomīta izveidošanās (Jaunžeikare, 2013). Dzelzs savienojumi vairumā gadījumu koncentrējas ap dolomīta kristāliem, taču vietām nelielu sakopojumu veidā tie ir atdalījušies no dolomīta un iekļauti kalcīta kristālos. Dzelzs ir viens no raksturīgākajiem piemaisījumiem kalcītā (Cornelis, Cornelius, 1993). Dolomīta, dzelzs savienojumu un kalcīta kontaktu īpatnības liecina par to, ka pirmais kristalizējies dolomīts, tad, pēc pēdējās dolomīta ģenerācijas, nogulsņējušies dzelzs savienojumi un kā pēdējais kristalizējies kalcīts, iekļaujot kristālos vai cementējot dolomītu un dzelzs savienojumus.

Atradrnēs “Dutkas” un “Sienāži” karsta veidojumā un tā tuvumā ievākto divu kalcīta paraugu plānslīpējumos tika konstatētas dolomītsmilšakmens atlūzas, ko cementē kalcīts, un šo veidojumu kontakts norāda uz to, ka vispirms bija izveidojušās dolomītsmilšakmens atlūzas, tad tās iekļuvušas karsta iegruvumos, un tikai pēc tam kristalizējies tās cementējošais kalcīts. Tādējādi plānslīpējumu pētījumi norāda uz kalcīta veidošanos pēc karsta nogruvumu norises un dolomītmiltu veidošanās procesiem.

4.3. Kalcīta mikroelementu satura interpretācija

Kalcīta ķīmiskā sastāva noskaidrošanai ir liela nozīme kalcīta veidošanās apstākļu pētījumos un interpretācijā.

Literatūrā (Cornelis, Cornelius, 1993) kā raksturīgākie piemaisījumi kalcītā minēti Mg, Fe, Mn, Zn, Sr un citi mikroelementi. No tiem kalcītā visvairāk var būt dzelzs un mangāna – līdz 8%, savukārt stroncija daudzums var būt līdz 2% (Segliņš, 2007).

Analizētajos kalcīta paraugos mikroelementi ar lielāko koncentrāciju arī ir magnijs, dzelzs un mangāns. Nozīmīgākie ķīmiskie elementi, pēc kuru aptuvenā daudzuma un attiecībām var raksturot, kādas izcelsmes ūdens piedalījies kalcīta kristalizācijas procesā, ir magnijs, stroncijs, dzelzs un mangāns (Dickson, 1990; 4.1. tabula).

Pētīto kalcīta paraugu ķīmiskā sastāva rezultāti tika pārrēķināti no masas procentiem uz daudzumu miljonās daļās (ppm), lai varētu salīdzināt iegūtos rezultātus ar literatūras datiem. Vidējais magnija saturs kalcīta paraugos ir 4200 ppm, stroncija daudzums 60 ppm, dzelzs saturs 2900 ppm un mangāna daudzums 700 ppm. Vidējā Fe/Sr daudzumu attiecība ir 46,9, vidējā Mn/Sr daudzumu attiecība ir 12,66, vidējā Fe/Mn daudzumu attiecība ir 4,45.

Mg, Sr, Fe un Mn aptuvenais saturs un šo elementu savstarpējās attiecības dažādas izcelsmes kalcītos (sastādījis Ģ. Stinkulis, izmantojot Dickson, 1990; Jaunžeikare, 2013).

Kalcīta avots	Ķīmiskais elements, ppm						
	Mg	Sr	Fe	Mn	Fe/Sr	Mn/Sr	Fe/Mn
Jūras ūdens	40000	1000	10	0,3	0,01	0,0003	33
Atmosfēras ūdens	3000	300	4000	2000	13	7	2
Slāņkopu ūdens	2000	2000	30000	500	15	0,25	60

Magnija daudzums interpretācijā netika ņemts vērā, jo tas var būt palielināts gan kalcīta sastāvā esošā magnija dēļ, gan arī nelielu dolomīta piejaukumu kalcītam dēļ, tomēr magnija vidējais daudzums aptuveni atbilst atmosfēras ūdeņiem. Vidējais stroncija daudzums ir piecas reizes mazāks nekā vajadzētu būt atmosfēras ūdeņos, taču tas varētu atbilst atmosfēras ūdeņiem, jo jūras ūdenī un slāņkopu ūdenī (ar to domātas dziļi iegrimušas slāņkopas, kur valda paaugstināts spiediens un temperatūra) Sr saturam jābūt vēl 3-6 reizes lielākam nekā atmosfēras ūdeņos, tādējādi mazais stroncija daudzums liecina par to, ka kalcīts noteikti nav kristalizējis marīnos apstākļos (Dickson, 1990). Dzelzs saturs aptuveni atbilst atmosfēras ūdeņiem, savukārt mangāna saturs vairāk atbilst slāņkopu ūdeņiem. Pēc Fe/Sr attiecības īsti nevar spriest par ūdeņu izcelsmi, jo tā neatbilst nevienam ūdens tipam. Vidējā Mn/Sr, tāpat kā Fe/Mn attiecība aptuveni atbilst atmosfēras ūdeņiem. Kalcīta paraugu ķīmiskās analīzes rezultāti kopumā norāda uz kalcīta kristalizāciju no atmosfēras ūdeņiem. Līdzīgi kalcīta ķīmiskās analīzes rezultāti, kas norāda uz kalcīta kristalizāciju no atmosfēras ūdeņiem, tika aprakstīti arī S. Jaunžeikares maģistra darbā (Jaunžeikare, 2013).

S. Jaunžeikare savos pētījumos bija novērojusi arī sakarību, ka uz mazāku ķīmisko piejaukumu daudzumu norāda kristālu caurspīdīgums (Jaunžeikare, 2013). Savukārt, pētītajiem kalcīta kristālu paraugiem no septiņām dolomīta atradnēm, šāda sakarība nebija novērojama, jo kalcīta ķīmiskais sastāvs ir mainīgs, un caurspīdīgajiem kristāliem, tāpat kā necaurspīdīgajiem, var būt gan liels, gan mazs piejaukumu daudzums.

Tika pētītas arī iespējamās sakarības starp kalcīta izvietojumu atradnēs saistībā ar paleokarsta veidojumiem un piejaukumu daudzumu kalcītā. No kalcītā esošajiem mikroelementiem telpiskās izplatības analīzei tika izvēlēti tie komponenti, kuru saturs kalcītā norāda uz kalcīta kristalizācijas procesus ietekmējošiem ūdeņiem (Fe, Mn, Sr), kā arī tie elementi, kas ir pierādīti kalcīta fluorescences ierosinātāji – Sr (ierosina zilganzaļas krāsas fluorescenci), Mn un Pb (kopā ierosina oranžas, sarkanas vai rozā krāsas fluorescenci). Veicot

rūpīgu kalcīta mikroelementu sastāva telpiskās izplatības analīzi, netika novērotas likumsakarības, kas liecinātu par noteiktu ķīmisko sastāvu, kas būtu raksturīgs kalcītam karsta veidojumos vai ārpus tiem, kā arī netika konstatētas izmaiņu tendences kalcīta ķīmiskajā sastāvā, pakāpeniski attālinoties vai tuvojoties karsta veidojumiem.

Atmosfēras ūdeņu ķīmiskais sastāvs, atšķirībā no jūras ūdens, ir ļoti mainīgs. Ar lielo ķīmiskā sastāva mainību un atmosfēras ūdens nepietiekamo sajaukšanos (Dickson, 1990) varētu būt skaidrojams mainīgais mikroelementu saturs, kas ir atšķirīgs nelielās teritorijās un vietām pat tieši blakus ievāktos kalcīta paraugos.

4.4. Kalcīta veidošanās apstākļi un aptuvenais veidošanās laikposms

Pētītā kalcīta ķīmiskā sastāva interpretācija un oglekļa stabilo izotopu (^{12}C un ^{13}C) attiecību analīze norāda uz kalcīta veidošanās apstākļiem, bet par aptuveno kalcīta veidošanās laikposmu secinājumus ļauj izdarīt plānslīpējumos novērotās sakarības.

Kalcītā esošo mikroelementu - dzelzs, mangāna un stroncija saturs un attiecības norāda uz kalcīta kristalizāciju no atmosfēras ūdeņiem, tomēr precīzāki dati par kalcīta veidošanās apstākļiem ir iegūstami, interpretējot oglekļa stabilo izotopu attiecību analīzes rezultātus.

Visiem kalcīta paraugiem oglekļa stabilo izotopu attiecību ($\delta^{13}\text{C}$) vērtības ir negatīvas un mainās no $-5,13\%$ līdz $-10,45\%$, vidējā vērtība ir $-6,95\%$. Kalcīta paraugiem, kas ievākti atradnēs, kurās netika konstatēti karsta veidojumi, $\delta^{13}\text{C}$ vidējā vērtība ir vismazākā $-5,86\%$, bet atradnēs, kurās tika konstatēti karsta veidojumi, vidējā vērtība ir $-7,95\%$.

Negatīvas $\delta^{13}\text{C}$ vērtības parasti liecina par atmosfēras izcelsmes saldūdens ietekmi (Tucker, 1990; Sharp, 2005) un tās var būt svārstīgas, atkarībā no oglekļa, kas saistīts ar organisko vielu, un atmosfēras CO_2 ietekmi uz ūdeņiem, no kuriem kristalizēties kalcija karbonāts. Ar organisko vielu saistīta oglekļa lielāks daudzums atspoguļojas kā lielākas negatīvās vērtības (Tucker, 1988). Uz atmosfēras CO_2 kā oglekļa piegādes avotu norāda $\delta^{13}\text{C} = -7\%$, taču ir iespējamas arī nelielas variācijas (Dickson, 1990).

Pētījumā (Zhaoqi et al., 2017) par atmosfēras ūdeņu ietekmē veidojušos kalcīta cementu, tika iegūta vidējā $\delta^{13}\text{C}$ vērtība $= -5,1\%$, kas interpretēta kā atbilstoša kalcītam, kas kristalizēties no atmosfēras ūdeņiem, kuri ir bagātināti ar augsnes gāzveida CO_2 vai organisko vielu, kas nonākusi ūdenī pēc tās sadalīšanās.

Pētītajiem kalcīta paraugiem vidējā $\delta^{13}\text{C}$ vērtība ir $-6,95\%$, kas labi atbilst kalcītiem, kuri veidojas no atmosfēras ūdeņiem sauszemes apstākļos (Dickson, 1990). Nelielās atšķirības starp $\delta^{13}\text{C}$ vērtībām dažādās atradnēs varētu norādīt uz nebūtiskām oglekļa avota variācijām. Atradnēs "Rītupes" un "Jaunsmilktiņas 1", kurās $\delta^{13}\text{C}$ vidējā vērtība ir $-5,86\%$, iespējams, ir

lielāka atmosfēras CO₂ ietekme, taču pārējās atradnēs, kurās vidējā vērtība ir -7,95‰, iespējams, nedaudz oglekļa bija saistīti ar augu valsts izcelsmes organisko vielu.

Tika novērota arī iespējama saistība starp paraugu ievākšanas vietu un oglekļa izotopu attiecību vērtībām. Atradnēs, kurās netika konstatēti karsta veidojumi, kalcīta paraugu $\delta^{13}\text{C}$ vidējā vērtība ir par 1,41‰ mazāka nekā pārējās atradnēs ievāktajos paraugos no karsta veidojumiem, un par 2,15‰ mazāka nekā pārējās atradnēs iegūtajos paraugos no karjeru sienām. Tomēr, lai apstiprinātu šo sakarību, ir nepieciešams analizēt lielāku skaitu paraugu.

Kalcīta aptuvenā veidošanās laika interpretācijā ir izmantojamas plānslīpējumos novērotās kalcīta un citu komponentu attiecības. Konstatēto dolomītsmilšakmens atlūzu cementācija ar kalcītu un to kontaktu īpatnības liecina, ka kalcīts veidojies pēc dolomītsmilšakmens atlūzām un to ieogrūšanas karsta kriteņēs. Literatūrā (Варфоломеева, 1965; Скуодис, 1973) aprakstīts, ka paleokarsta procesu rezultātā notika iežu šķīšana, iebrukšana, atlūzu, šķembu un dolomītmiltu veidošanās. Citi autori (Hodireva 1997; Kaļva 2010) ir noskaidrojuši, ka karsta kriteņu aizpildījumu veido Katlešu un Ogres svītas smilšainie un mālainie nogulumi. Karsta veidojumu aizpildījumā Kranciema dolomīta atradnē konstatēti arī dolomītsmilšakmeņi, kas līdzinās Ogres svītas dolomītsmilšakmeņiem (Kaļva, 2010). Ogres svītas dolomītsmilšakmeņi atrodas arī pēlīto atradņu "Sienāži" un "Dutkas" tuvumā, tādēļ ir pamats uzskatīt, ka konstatētās dolomītsmilšakmeņu atlūzas paraugos, kas ievākti no karsta veidojumiem šajās atradnēs, pēc ģeoloģiskā vecuma pieder Ogres svītai. Kalcīta kontakti ar Ogres svītas dolomītsmilšakmens atlūzām norāda uz kalcīta kristalizāciju pēc paleokarsta ieogrūvumu izveidošanās, kad vairs nenotika aktīvie paleokarsta procesi, tādējādi apstiprinot V. Skuoda darbos izteikto viedokli, ka tukšumu un plaisu kalcitizācija notiek karsta veidojumu pēdējā attīstības stadijā (Скуодис, 1978). V. Skuodis (1978) norāda, ka šajā stadijā notiek arī tukšumu un plaisu aizpildīšanās ar dolomītmiltiem. Pēlītajos plānslīpējumos tika novērota dolomītmiltu cementācija ar kalcītu, kas norāda uz kalcīta kristalizāciju pēc dolomītmiltu izveidošanās. Ņemot vērā, ka makroparaugos uz kalcīta kristālu virsmas tika konstatēti dolomītmilti, iespējams, ka to veidošanās notikusi vairākās stadijās – pirms un pēc kalcīta kristalizācijas.

Kalcīta fluorescences izpausmju testēšana uzrādīja nelielas saistības atsevišķās atradnēs starp kalcīta fluorescenci un paraugu ievākšanas vietu atradnēs, t.sk. paleokarsta veidojumos, taču kalcīta ķīmiskās analīzes rezultātos nebija vērojamas sakarības starp ķīmisko sastāvu un paraugu izvietojumu karsta veidojumos vai ārpus tiem - karjeru sienās. Nepārliciecinās saistības starp kalcīta fizikālajām īpašībām, ķīmisko sastāvu un paleokarsta veidojumiem arī netieši apstiprina to, ka kalcīts ir veidojies nevis karsta ieogrūvumu izveides laikā, bet gan pēc to izveidošanās.

V. Skuodis uzskata, ka paleokarsta procesi norisinājušies neogēna periodā (Скуодис, 1974). Neogēna periodā notika Fenoskandijas vairoga, kā arī citu teritoriju celšanās tektonisko procesu ietekmē un vienlaicīgi arī vispārēja jūras ūdens līmeņa krišanās, ko izraisīja ledāju apjoma pieaugums polos, it īpaši Antarktīdā. Neogēna perioda sākumā tagadējā Baltijas jūras baseina dienvidu daļā izveidojās lielā Eridanos upju sistēma, kuras sateces baseinu apgabali atradās Fenoskandijā, Baltijas valstu teritorijā un Krievijas pašā rietumu daļā (Gibbard, Lewin, 2016). Teritorijas celšanās un ūdens līmeņa pazemināšanās rezultātā izveidojās dziļa erozijas bāze, pazemes ūdeņu plūsmas kļuva aktīvākas, kas savukārt varēja veicināt intensīvu karsta procesu attīstību.

Pēc paleokarsta iegruvumu rašanās tajos bija daudz sadrupināta iežu materiāla, kas varēja kalpot par kalcīta cilmavotu – sadrupinātajam materiālam šķīstot, ūdenī nonāca kalcija karbonāts un atbilstošos apstākļos notika kalcīta kristalizācija. Lai varētu notikt kalcīta kristalizācija no pazemes ūdeņiem, nepieciešams, lai ūdenī būtu pietiekams kalcija karbonāta daudzums un samazinātos izšķīdušā CO₂ daudzums, kas nobīdītu reakcijas līdzsvaru CaCO₃ izgulsnēšanās virzienā (Chang, 1998). Fakts, ka kalcītu vietām pārklāj dolomītmilti, norāda, ka karsta process nebija pilnīgi aprimis arī pēc šī minerāla izveides, tādēļ kalcitizācija ir uzskatāma par karsta veidojumu attīstības noteiktu stadiju, kā to jau aprakstījis V. Skuodis (Скуодис, 1978).

Ņemot vērā, ka pēc paleokarsta iegruvumu izveidošanās bija kalcīta kristalizācijai labvēlīgi apstākļi un bakalaura darbā iegūtie dati liecina par to, ka kalcīta kristalizācija notika pēc paleokarsta iegruvumu rašanās, taču pirms karsta procesa noslēguma stadijas, ir pamats uzskatīt, ka arī kalcīts varētu būt veidojies neogēna periodā.

5. SECINĀJUMI

Apkopojot un analizējot bakalaura darba izstrādes laikā iegūtos rezultātus, tika izdarīti vairāki būtiski secinājumi:

- Kalcīts devona Daugavas svītas dolomītos ir veidojies vairākās stadijās. Kalcīts, kas aizpilda un cementē dolomīta pamatmasu, ir veidojies relatīvi agrāk nekā kalcīts, kas veido drūzas uz dolomīta plaisu un slāņu virsmas.
- Kalcīts ir veidojies pēc pēdējās dolomīta kristālu augšanas stadijas, pēc krama un kvarca kristalizācijas, dzelzs savienojumu un dolomītmiltu veidošanās. Daļa dzelzs savienojumu un dolomītmiltu ir uzkrājušies arī pēc kalcīta kristalizācijas.
- Kalcīts ir kristalizējies no atmosfēras ūdeņiem sauszemes apstākļos, uz ko norāda oglekļa stabilo izotopu attiecību ($\delta^{13}\text{C}$) vērtības, kā arī kalcītā esošo mikroelementu dzelzs, mangāna un stroncija saturs un attiecības.
- Starp devona Daugavas svītas dolomītos sastopamā kalcīta fluorescences izpausmēm un kalcīta kristālu izmēriem, krāsu, formu, kā arī mikroelementu saturu kalcītā nepastāv pārliecinošas sakarības.
- Kalcīts ir sastopams gan dolomītu slāņkopā, gan to šķērsojošajos paleokarsta iegruvumos, kas norāda uz kalcija karbonātu saturošo šķīdumu migrāciju gan caur iegruvumiem, gan karsta neskartajiem dolomītiem. Kalcīts ir veidojies pēc paleokarsta iegruvumu veidošanās un Ogres svītas dolomītsmilšakmeņu iebrukšanas kritenēs, par ko liecina dolomītsmilšakmens atlūzu cementācija ar kalcītu un to kontaktu īpatnības.
- Par kalcīta kristalizēšanos pēc paleokarsta iegruvumu izveidošanās netieši liecina arī nepārliecinošās vai nepastāvošās saistības starp kalcīta kristālu izmēriem, krāsu, formu, fluorescences izpausmēm, ķīmisko sastāvu un kalcīta paraugu ievākšanas vietu karsta veidojumos vai ārpus tiem.
- Tā kā paleokarsta procesi visdrīzāk norisinājušies neogēna periodā un kalcīta kristalizācija karsta veidojumos un augšējā devona dolomītu slāņkopā notika pēc paleokarsta iegruvumu rašanās, taču pirms karsta procesu noslēguma stadijas, arī kalcīts varētu būt veidojies neogēna periodā.

PATEICĪBAS

Autore izsaka īpaši lielu pateicību bakalaura darba vadītājam, asociētajam profesoram Ģirtam Stinkulim par palīdzību, konsultācijām, vērtīgajiem ieteikumiem, atbalstu un lielo atsaucību visā bakalaura darba izstrādes gaitā.

Liels paldies LU Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultātes Ģeoloģijas nodaļas pētniekam Konrādam Popovam par padomiem un palīdzību plānslīpējumu izgatavošanas procesā.

Paldies LU Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultātes Vides zinātnes nodaļas dabaszinātņu laborantam Konstantīnam Viliguram par ICP-OES analīzes veikšanu un sākotnējo rezultātu noformēšanu, kā arī dabaszinātņu laborantam Laurim Arbidanam par palīdzību kalcīta paraugu sagatavošanā ICP-OES analīzei.

Paldies LU Ķīmijas fakultātes Analītiskās ķīmijas katedras pētniecei Laumai Bušai par oglekļa stabilo izotopu attiecību masspektrometrijas analīzes veikšanu, sākotnējo rezultātu noformēšanu un palīdzību kalcīta paraugu sagatavošanā analīzei.

Autore izsaka sevišķu pateicību Aldim Verneram par noderīgajiem ieteikumiem, padomiem, atbalstu bakalaura darba izstrādes gaitā, līdzdalību lauka darbos un fluorescences pētījumos.

IZMANTOTĀ LITERATŪRA

Publicētā literatūra

Bulakh, A., Wenk, R., H. 2004. *Minerals: their constitution and origin*. Cambridge, Cambridge University Press.

Brangulis, A. J., Kuršs, V., Misāns, J., Stinkulis, Ģ. 1998. *Latvijas ģeoloģija*. Rīga, VĢD.

Carter, J. F., Barwick, V. J. (Eds.). 2011. *Good practice guide for isotope ratio mass spectrometry*. First Edition. FIRMS.

Chang, L. L. Y. 1998. *Calcite*. In: *Rock – forming minerals*. Vol. 5B Non – silicates. Sulphates, Carbonates, Phosphates and Halides. Second edition. Published by The Geological Society. Oxford, UK.

Cornelis, K., Cornelius, S. H. 1993. *Manual of Mineralogy*. After James D., D. 21st edition. John Wiley&Sons. Canada.

Dobrev, J., Markovic, P. 2012. *Calcite: Formation, Properties, and Application*. New York, Nova Science Publishers.

Dickson, T. 1990. Carbonate mineralogy and chemistry. In Tucker, M. E., Wright, P.V. *Carbonate Sedimentology*. Blackwell Science, 284-313.

Gibbard, L. P., Lewin, J. 2016. Filling the North Sea Basin: Cenozoic sediment sources and river styles. *Geologica Belgica* 19 (3/4), 1-17.

House, W. A. 1984. The kinetics of calcite precipitation and related processes. *Ann. Rept. Freshwat. Biol. Assoc.*, 52-75.

Kaļva, K. 2010. Paleokarsta veidojumi devona Daugavas svītas dolomītos Latvijā. *Latvijas Universitātes raksti*. 752. sējums. *Zemes un Vides zinātnes*. Rīga, Latvijas Universitāte, 28-34.

Kendall, C., Caldwell, A. E. 1998. *Fundamentals of Isotope Geochemistry*, In: C. Kendall and J.J. McDonnell (Eds.), *Isotope Tracers in Catchment Hydrology*. Elsevier Science, Amsterdam, 51-86.

Kleesment, A., Urtson, K., Kiipli, T., Martma, T., Põldvere, A., Kallaste, T., Shogenova, A., Shogenov, K. 2013. Temporal evolution, petrography and composition of dolostones in the Upper Devonian Plavinas Regional Stage, southern Estonia and northern Latvia. *Estonian Journal of Earth Sciences* (62), 139-159.

Kondratjeva, S., Hodireva, V. 2000. *Latvijas dolomīti*. Rīga, VĢD.

Lukševičs, E., Stinkulis, Ģ., Mūrnieks, A., Popovs, K. 2012. Geological evolution of the Baltic Artesian Basin. *Highlights of groundwater research in the Baltic Artesian Basin*. Edited by Dēliņa, A. et al. University of Latvia, 7-52.

Mazzoleni, G. 2012. *Luminescence in mineral kingdom*. Sandit s.r.l. Italy.

- Nichols, G. 2009. *Sedimentology and Stratigraphy*. Second Edition. Wiley – Blackwell Publishing.
- Segliņš, V. 2007. *Minerāli un ieži. 1.daļa – Minerāli*. Rīga, izdevniecība RaKa.
- Sharp, Z. 2005. *Principles of Stable Isotope Geochemistry*. Prentice Hall. New Jersey.
- Sorokins, V. 1994. Daugavas svīta. *Enciklopēdija - Latvijas daba*. 1. sējums. Rīga, Latvijas enciklopēdija, 220-222.
- Stinkule, A., Stinkulis, Ģ. 2015. *Latvijas devona dolomīti*. Daugavpils, Daugavpils Universitātes Akadēmiskais apgāds “Saule”.
- Venera, L., Hodireva, V. 2014. Kalcīta fluorescences izpausmes Latvijas augšdevona dolomīta slāņos. *Latvijas Univeristātes 72. Zinātniskā konference. Ģeogrāfija. Ģeoloģija. Vides zinātne: Referātu tēzes*. Rīga, Latvijas Universitāte, 229-232.
- Venera, L. 2017. Kalcīta fluorescences izpausmes Lauces dolomīta atradnē. *Latvijas Univeristātes 75. Zinātniskā konference. Ģeogrāfija. Ģeoloģija. Vides zinātne: Referātu tēzes*. Rīga, Latvijas Universitāte, 160-161.
- Tucker, M. 1988. *Techniques in Sedimentology*. Blackwell Science, John Wiley and Sons. Oxford, United Kingdom.
- Warren, T. S., Bostwick, R.C., Gleason, S., Werbeek, E. R. 1995. *Ultraviolet Light and Fluorescent Minerals: Understanding, Collecting and Displaying Fluorescent Minerals*. Ultra-Violet Products, Inc., San Gabriel, CA.
- Zhaoqui, L., Goldstein, H. R., Franseen, K. E. 2017. Meteoric calcite cementation: diagenetic response to relative fall in sea-level and effect on porosity and permeability, Las Negras area, southeastern Spain. *Sedimentary Geology* (348), 1-18.
- Варфоломеева, О. М. 1965. *Карбонатный карст Латвийской ССР на примере долины р. Даугава*, изд. Зинатне, Рига.
- Сорокин, В. С. 1981. Катлешская свита. В кн: *Девон и карбон Прибалтики*. Рига, Зинатне, 263-273.
- Скуодис, В. П. 1973. Морфология палеозоогенных провалов в верхнедевонских отложениях р. Даугава. *Проблемы региональной геологии Прибалтики и Белорусии*. Зинатне, Рига. 139-148.
- Скуодис, В. П. 1974. Неогеновые образование в Латвии. *Geografija ir Geologija XI*. Mintis, Vilnius. In: Skuodis, V. 2009. *Geologija – dalis gyvenimo*. Gaires, Vilnius, 96-104.
- Скуодис, В. П. 1978. Возникновение и развитие древних погребенных провалов, распространенных в верхнедевонских отложениях Средней Прибалтики. *Geografija ir geologija X*. Mintis, Vilnius. In: Skuodis, V. 2009. *Geologija – dalis gyvenimo*. Gaires, Vilnius, 81-89.

Kartogrāfiskie materiāli

LiDAR DEM ģeojuma mozaīka. Izgatavota no LĢIA LiDAR datiem, izšķirtspēja 1 m. LĢIA. LU ĢZZF WMS. Sk. 22.02.2017. Pieejams <http://kartes.geo.lu.lv/karte>

ORTOFOTO 5. *LĢIA Latvijas 5. etapa ortofoto karšu mozaīka mērogā 1:10 000*. LU ĢZZF WMS. Sk. 22.02.2017. Pieejams <http://kartes.geo.lu.lv/karte>

Elektroniskie resursi

Hannan, J. 2013. *Thermo Scientific iCAP 7000 Series ICP-OES: Innovative ICP-OES Optical Design*. Cambridge, UK. Sk. 01.03.2017. Pieejams: <https://www.researchgate.net/file.PostFileLoader.html?id=586ec7a693553bc2664f3194&asKey=AS%3A447295973007362%401483655078469>
Atsauce tekstā (Hannan, 2013).

Hitachi High – Technologies Corporation [Bez dat.]. *Description of ICP Optical Emission Spectrometry (ICP-OES)*. Sk. 01.03.2017. Pieejams: <http://www.hitachi-hightech.com/global/products/science/tech/ana/icp/descriptions/icp-oes.html>
Atsauce tekstā (Hitachi..., bez dat.).

Lighting solutions diGio. 2014. *Full Spectrum Light: What is it?* Sk. 20.01.2017. Pieejams <http://www.digiolighting.com/full-spectrum-lighting/>
Atsauce tekstā (Full spectrum light, 2014).

Nepublicētā literatūra

Buls, T., Juškevičs, V. 2007. *Pārskats par dolomīta atradnes "Lauce" iecirkņa "Pelši" ģeoloģisko izpēti Aizkraukles rajona Sērenes pagastā*. LVĢMC Valsts ģeoloģijas fonds. Inv. Nr. 18611.

Hodireva, V. 1997. *Latvijas devona dolomītu litoloģiski rūpnieciskie tipi*. Rīga: Promocijas darbs. Latvijas Universitāte.

Jaunžeikare, S. 2010. *Devona Daugavas svītas dolomītu pēcsedimentācijas izmaiņas Rīgas apkārtnē*. Bakalaura darbs. Rīga.

Jaunžeikare, S. 2013. *Sekundārais kalcīts Franās stāva dolomītos Latvijā*. Maģistra darbs. Rīga.

Kaļva, K. 2009. *Paleokarsta veidojumi devona Daugavas svītas dolomītos Latvijā*. Maģistra darbs. Rīga.

Missa, K. 2011. *Devona dolomīti Doles salas atsegumā: sastāvs, uzbūve un veidošanās apstākļi*. Bakalaura darbs. Rīga.

Mizovska, G., Petersons, T. 2007. *Pārskats par Rīgas rajona Ropažu novada dolomīta atradnes "Dutkas" ģeoloģiskās izpētes darbiem*. Rīga. LVĢMC Valsts ģeoloģijas fonds. Inv. Nr. 18551.

Rīteru Dolomīts, 2014. *Izraksts no Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centra Derīgo izraķteņu krāĳuma akceptēšanas komisijas sēdes protokola Nr. 24. 1. pielikums smilts-grants, smilts un dolomīta atradnes “Jaunsmilktiņas 1” pasei. Rīga.*

SIA “Zemes Puse”, 2014. *Derīgo izraķteņu ieguves projekts. Dolomīta atradne “Sienāži”, Nekustamais īpašums “Sienāži”. Rīga. LVĢMC Valsts ģeoloģijas fonds. Inv. Nr. 23548.*

Stinkulis, Ģ. 1998. *Latvijas devona klastisko – karbonātiežu un kaļķakmeņu – dolomītu pārejas zonu sedimentoloģija un mineraloģija. Promocijas darbs. Rīga.*

Venera, L. 2015. *Kalcīts augšdevona Pļaviņu svītas dolomītos Dārziema atradnē. Kursa darbs. Rīga.*

Vides pārraudzības valsts birojs. 2007. *Atzinums Nr.11 par dolomīta ieguves derīgo izraķteņu atradnē “Lauce” zemes īpašumā “Atradzes” ietekmes uz vidi novērtējuma noslēguma ziņojumu. Sk. 18.01.2017.*

Vides pārraudzības valsts birojs. 2009a. *Atzinums Nr. 7 par dolomīta ieguves derīgo izraķteņu atradnē “Pērtņieki” Rēzeknes rajona Sakstagala pagastā ietekmes uz vidi novērtējuma noslēguma ziņojumu.*

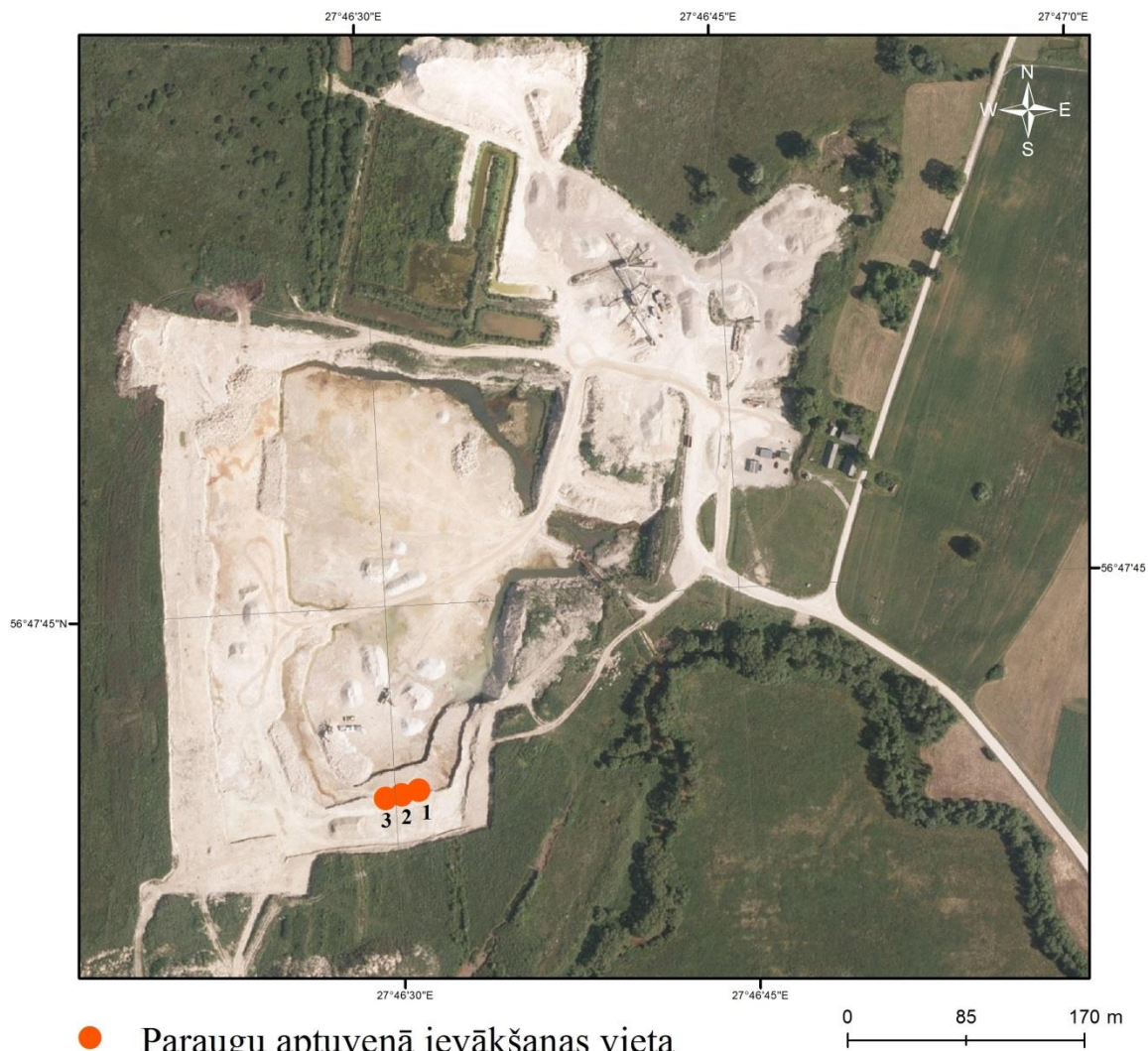
Vides pārraudzības valsts birojs. 2009b. *Atzinums par dolomīta ieguves derīgo izraķteņu atradnē “Salenieki” Kārsavas novada Malnavas pagastā ietekmes uz vidi novērtējuma darba ziņojumu. Sk. 17.01.2017.*

Vides pārraudzības valsts birojs. 2010. *Atzinums par smilts un dolomīta ieguves derīgo izraķteņu atradnē “Jaundutkas” ietekmes uz vidi novērtējuma darba ziņojumu.*

PIELIKUMI

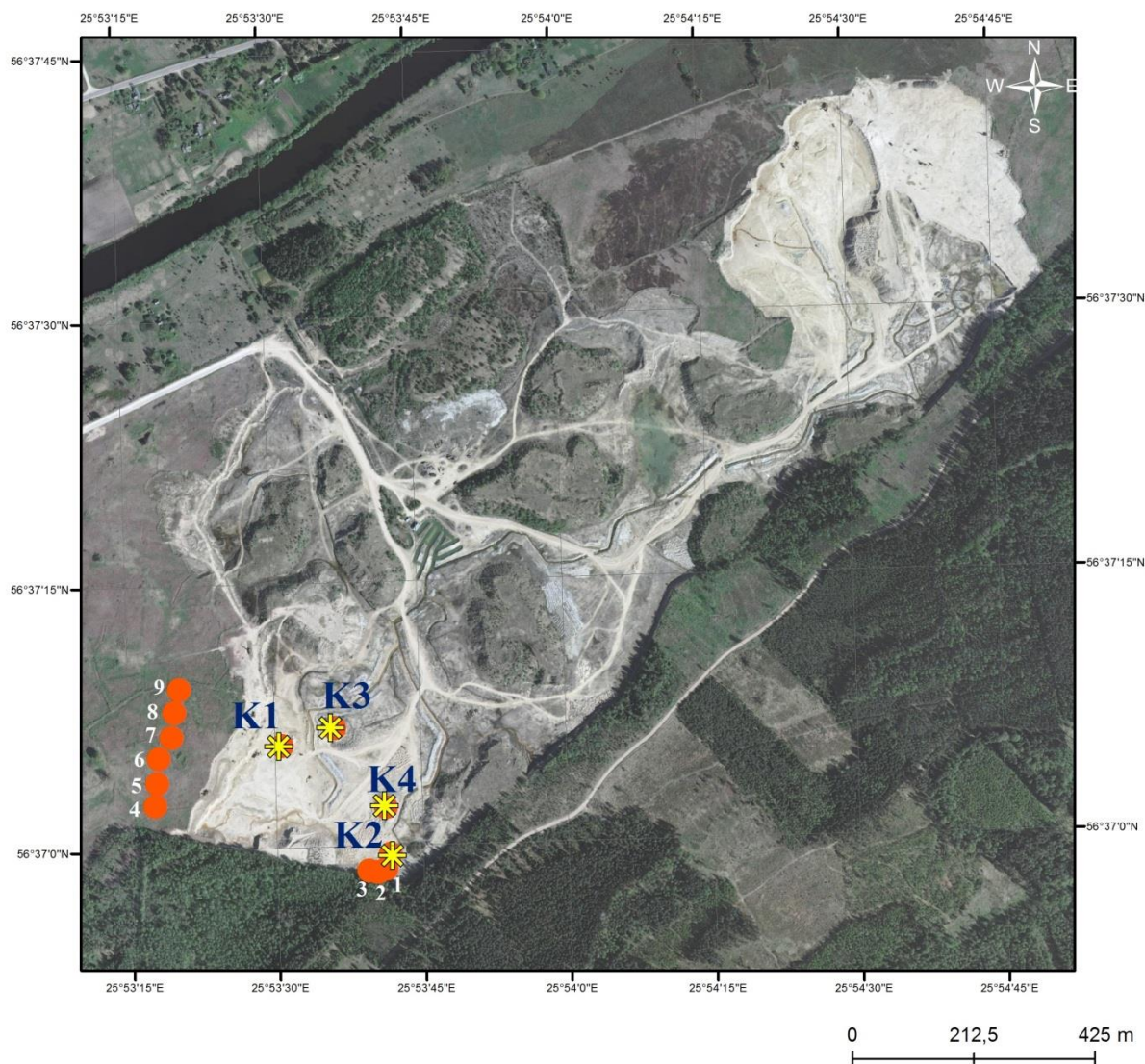
1. pielikums.

Calcīta paraugu ievākšanas un karsta veidojumu atrašanās vietas pētītajās dolomīta atradnēs



● Paraugu aptuvenā ievākšanas vieta

1. attēls. Paraugu ievākšanas vietu izvietojums dolomīta atradnē “Rītupes” (sastādījusi autore, izmantojot 5. etapa ortofoto karti, LU ĢZZF WMS). Koordinātas: 1. punkts 27°46'30.524" E, 56°47'40.694" N; 2. punkts 27°46'29.798" E, 56°47'40.614" N; 3.punkts 27°46'29.097" E, 56°47'40.549" N.



☀ Karsta veidojumi ● Paraugu aptuvenā ievākšanas vieta

2. attēls. Paraugu ievākšanas vietu un karsta veidojumu izvietojums Aiviekstes kreisā krasta dolomīta atradnē (sastādījusi autore, izmantojot 5. etapa ortofoto karti, LU ĢZZF WMS).
Koordinātas: 1. karsta veidojums (K1) 25°53'30.514" E, 56°37'5.777" N; 2. karsta veidojums (K2) 25°53'41.386" E, 56°36'59.495" N; 3. karsta veidojums (K3) 25°53'35.962" E, 56°37'6.718" N; 4. karsta veidojums (K4) 25°53'41.041" E, 56°37'2.147" N; 1. punkts 25°53'40.92" E, 56°36'58.666" N; 2. punkts 25°53'40.053" E, 56°36'58.486" N; 3. punkts 25°53'39.127" E, 56°36'58.588" N; 4. punkts 25°53'17.344" E, 56°37'2.544" N; 5. punkts 25°53'17.525" E, 56°37'3.836" N; 6. punkts 25°53'17.769" E, 56°37'5.233" N; 7. punkts 25°53'19.148" E, 56°37'6.411" N; 8. punkts 25°53'19.516" E, 56°37'7.805" N; 9. punkts 25°53'20.048" E, 56°37'9.132" N.

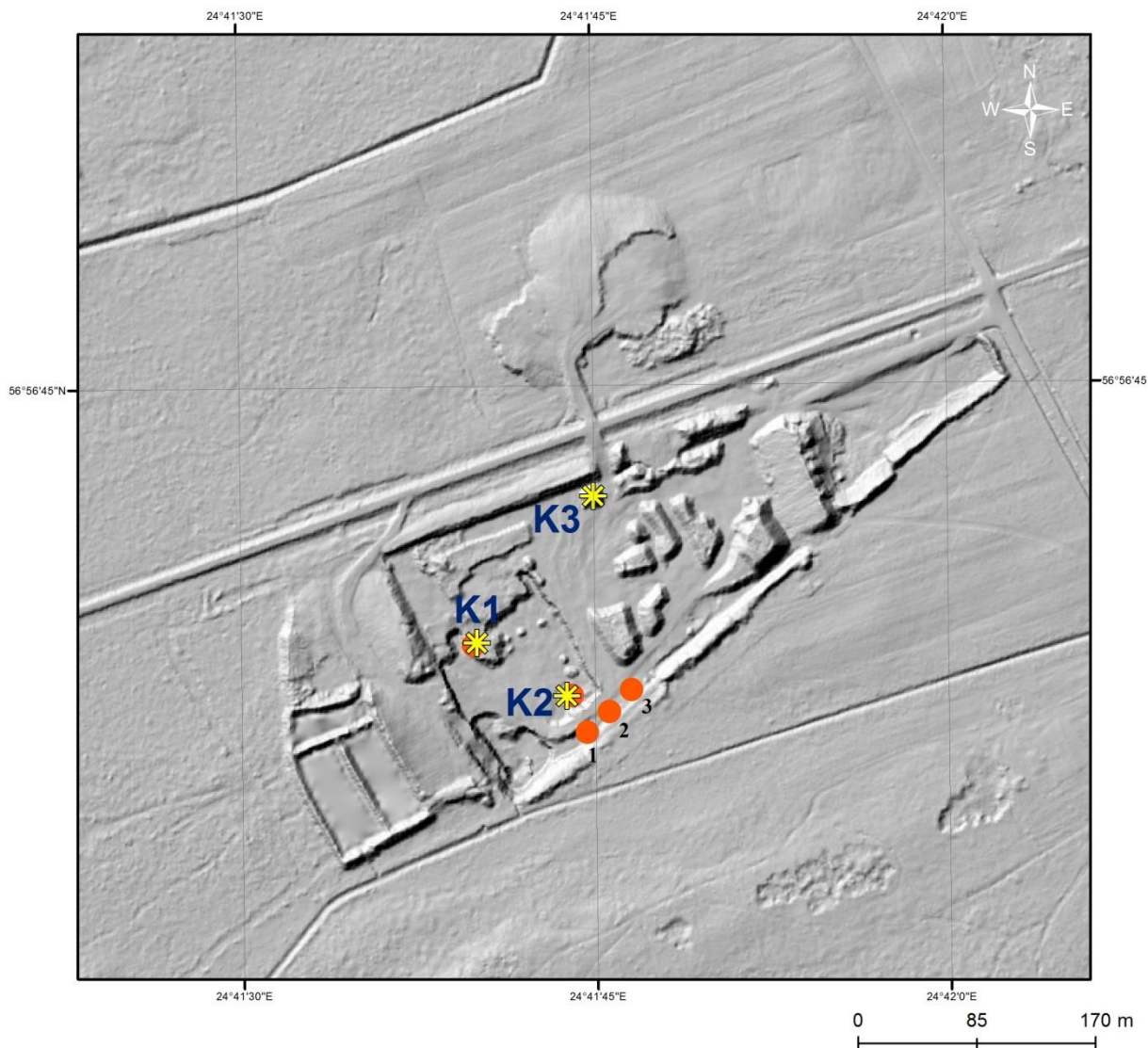


3. attēls. Paraugu ievākšanas vietu izvietojums dolomīta atradnē “Jaunsmilktiņas 1” (sastādījusi autore, izmantojot 5. etapa ortofoto karti, LU ĢZZF WMS). Koordinātas: 1. punkts 25°32'7.258" E, 56°35'16.469" N; 2.punkts 25°32'6.68" E, 56°35'17.377" N; 3. punkts 25°32'6.187" E, 56°35'17.927" N.



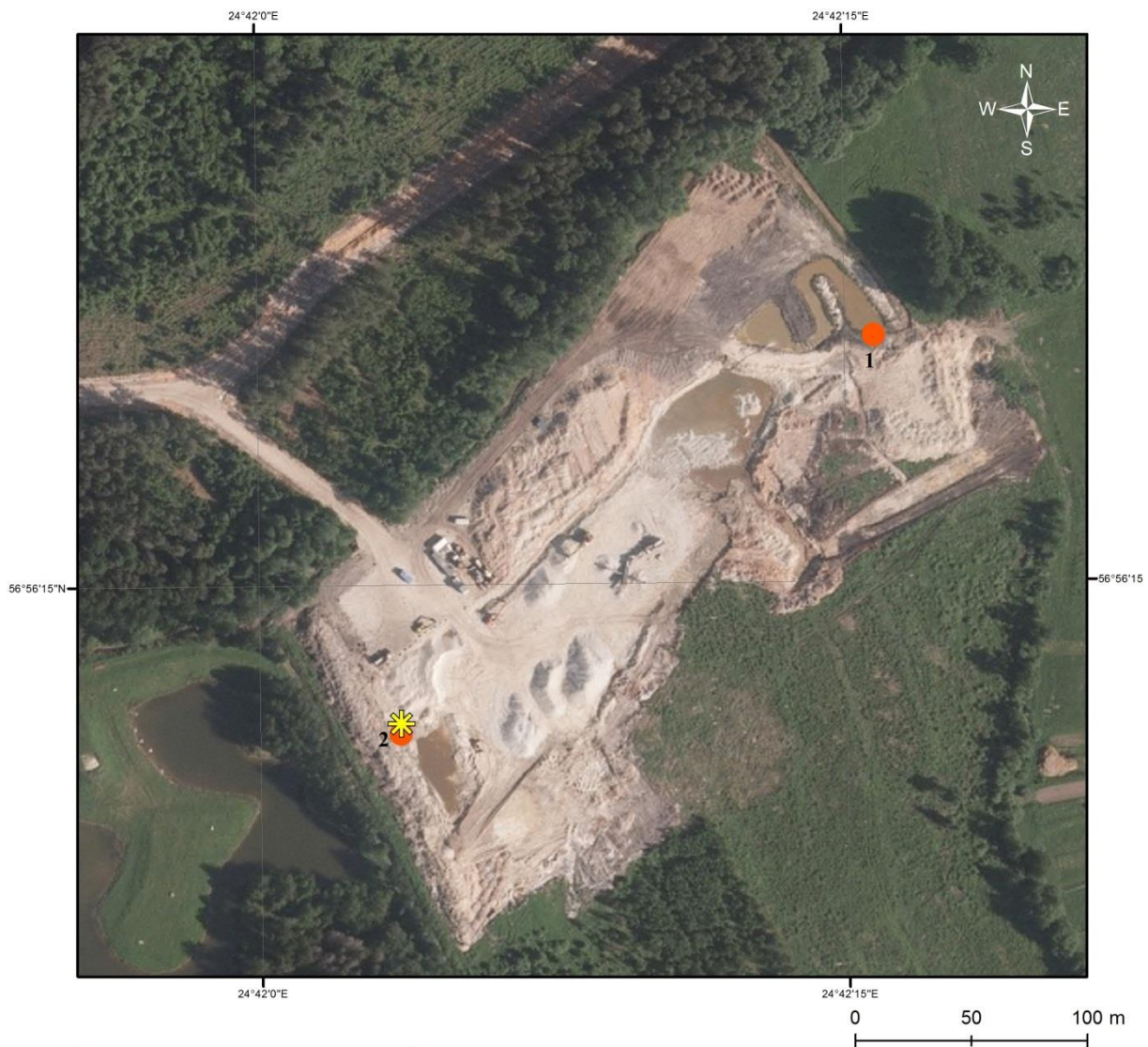
☀ Karsta veidojumi ● Paraugu aptuvenā ievākšanas vieta

4. attēls. Paraugu ievākšanas vietu un karsta veidojumu izvietojums Lauces dolomīta atradnē, iecirknī “Pelši” (sastādījusi autore, izmantojot 5. etapa ortofoto karti, LU ĢZZF WMS). Koordinātas: 1. punkts 25°14'5.547" E, 56°32'56.033" N; 2. punkts un karsta veidojuma centrālā daļa 25°14'2.834" E, 56°32'53.602" N; 3. punkts 25°14'2.736" E, 56°32'52.811" N; 4. punkts 25°14'1.57" E, 56°32'52.82" N; 5. punkts 25°14'0.328" E, 56°32'52.789" N; 6. punkts 25°14'0.069" E, 56°32'53.115" N; 7. punkts 25°13'59.818" E, 56°32'53.797" N; 8. punkts 25°14'4.487" E, 56°33'1.968" N.



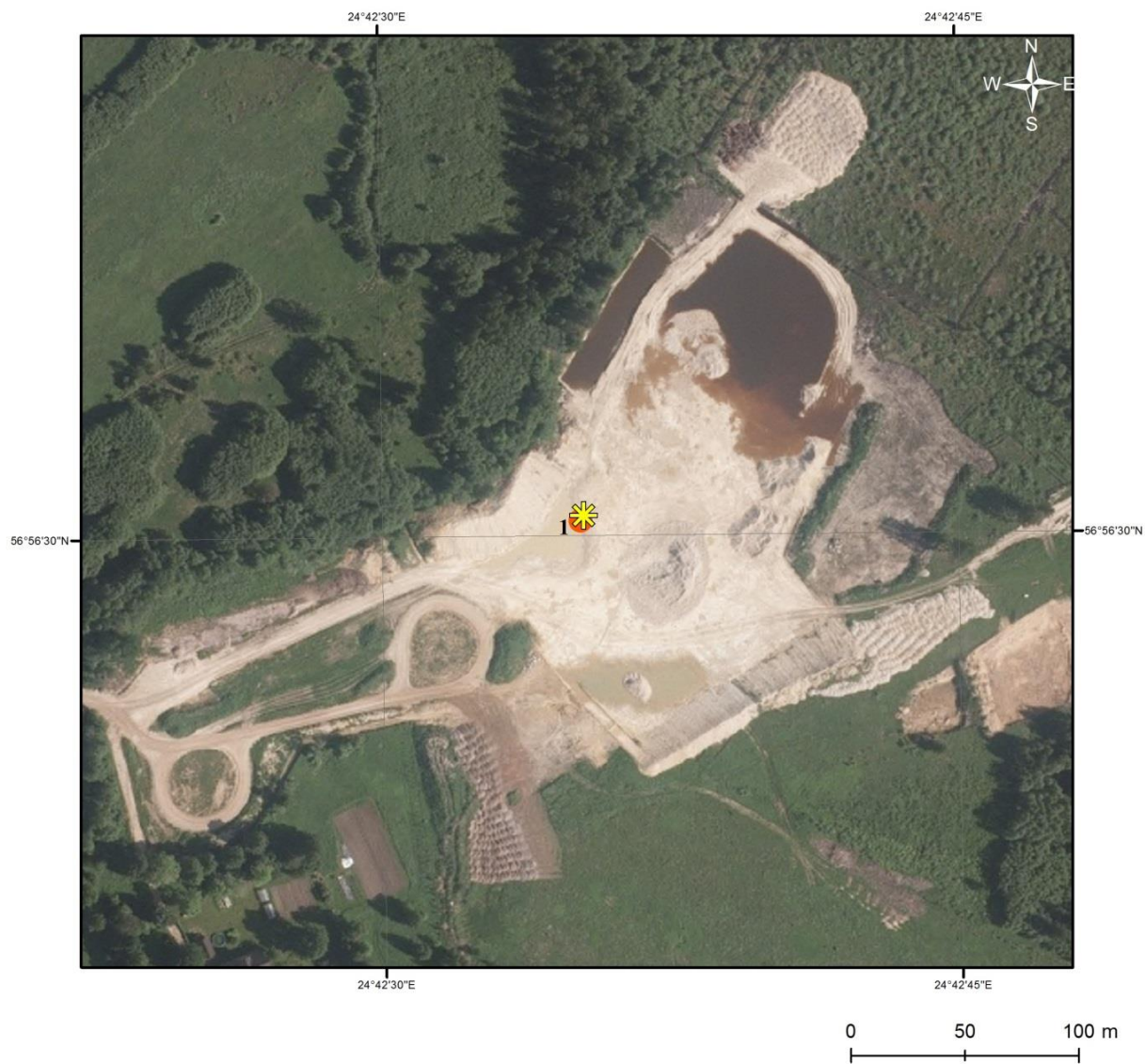
☀ Karsta veidojumi ● Paraugu aptuvenā ievākšanas vieta

5. attēls. Paraugu ievākšanas vietu un karsta veidojumu izvietojums dolomīta atradnē "Sienāži" (sastādījusi autore, izmantojot LiDAR DEM ģeojuma mozaīku, LU ĢZZF WMS). Koordinātas: 1. karsta veidojums (K1) 24°41'39.92" E, 56°56'39.057" N; 2. karsta veidojums (K2) 24°41'43.717" E, 56°56'37.803" N; 3. karsta veidojums (K3) 24°41'44.865" E, 56°56'42.441" N; 1. punkts 24°41'44.58" E, 56°56'36.941" N; 2. punkts 24°41'45.528" E, 56°56'37.421" N; 3. punkts 24°41'46.477" E, 56°56'37.923" N.



☀ Karsta veidojumi ● Paraugu aptuvenā ievākšanas vieta

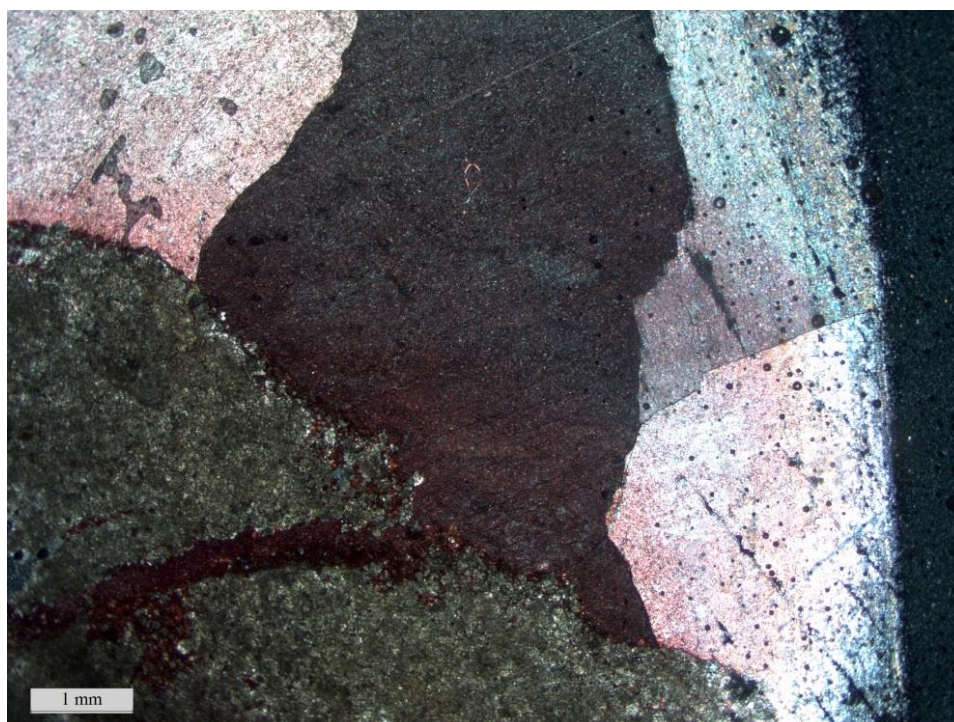
6. attēls. Paraugu ievākšanas vietu un karsta veidojumu izvietojums dolomīta atradnē “Jaundutkas” (sastādījusi autore, izmantojot 5. etapa ortofoto karti, LU ĢZZF WMS). Koordinātas: 1. punkts 24°42'15.697" E, 56°56'18.435" N; karsta veidojums un 2. punkts 24°42'3.471" E, 56°56'13.091" N.



☀ Karsta veidojumi ● Paraugu aptuvenā ievākšanas vieta

7. attēls. Paraugu ievākšanas vietu un karsta veidojumu izvietojums dolomīta atradnē “Dutkas” (sastādījusi autore, izmantojot 5. etapa ortofoto karti, LU ĢZZF WMS). Koordinātas: karsta veidojums un 1. punkts 24°42'34.978" E, 56°56'30.159" N.

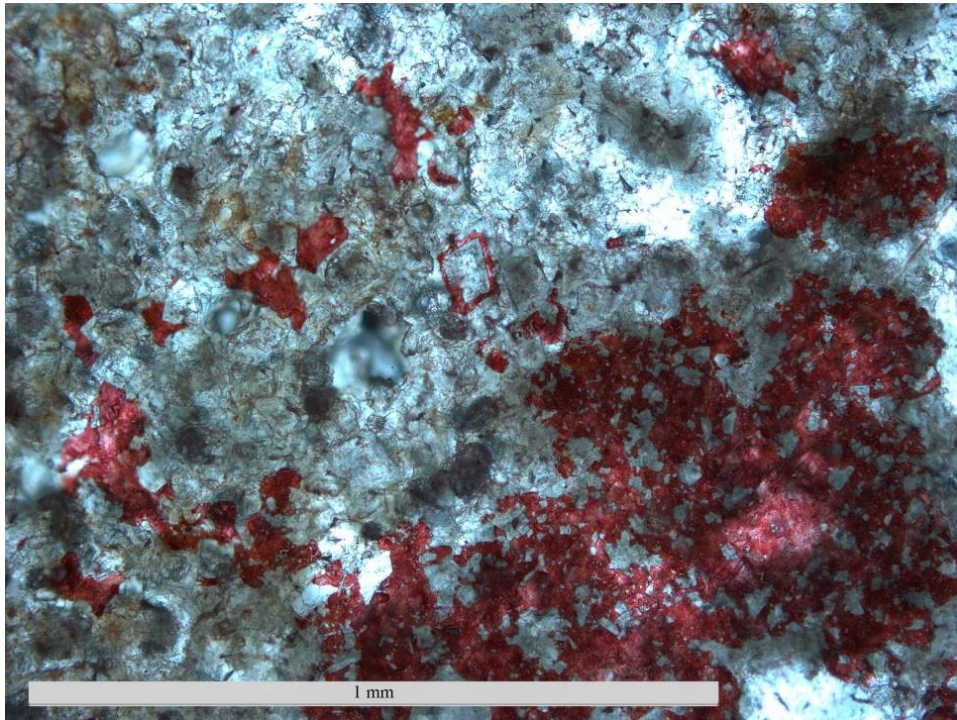
Kalcīts un tā attiecības ar citiem nogulumiem plānslīpējumos



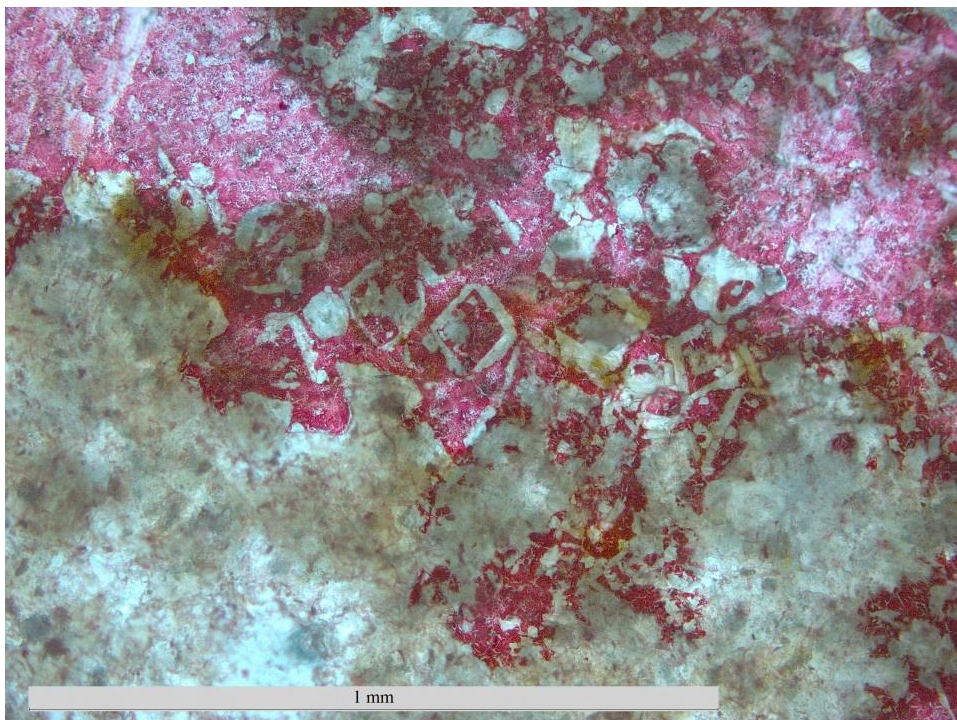
1. attēls. Plānslīpējuma fotomikrogrāfija: dolomīta (zaļganpelēks) plaisu aizpilda daļa no lielāka kalcīta kristāla (sarkanviolets). Dolomīta atradne “Lauce”, iecirknis “Pelši”, 2. griezuma 1. slānis, paraugs P – A – 2 zem karsta veidojuma. Analizators ieslēgts (fotografējusi autore).



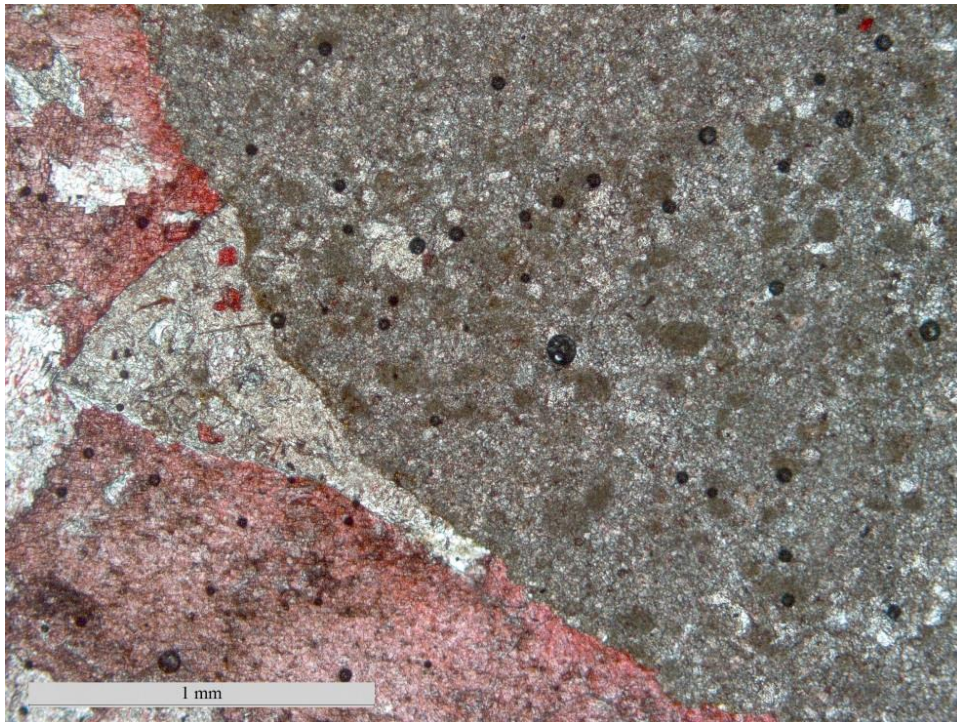
2. attēls. Plānslīpējuma fotomikrogrāfija: šķiedrains rozetes veida kalcīts (rozā – sarkanviolets), kas aizpilda plaisu dolomītā (zaļganpelēks). Dolomīta atradne “Dutkas”, paraugs D – K – 6 no karsta veidojuma. Analizators ieslēgts (fotografējusi autore).



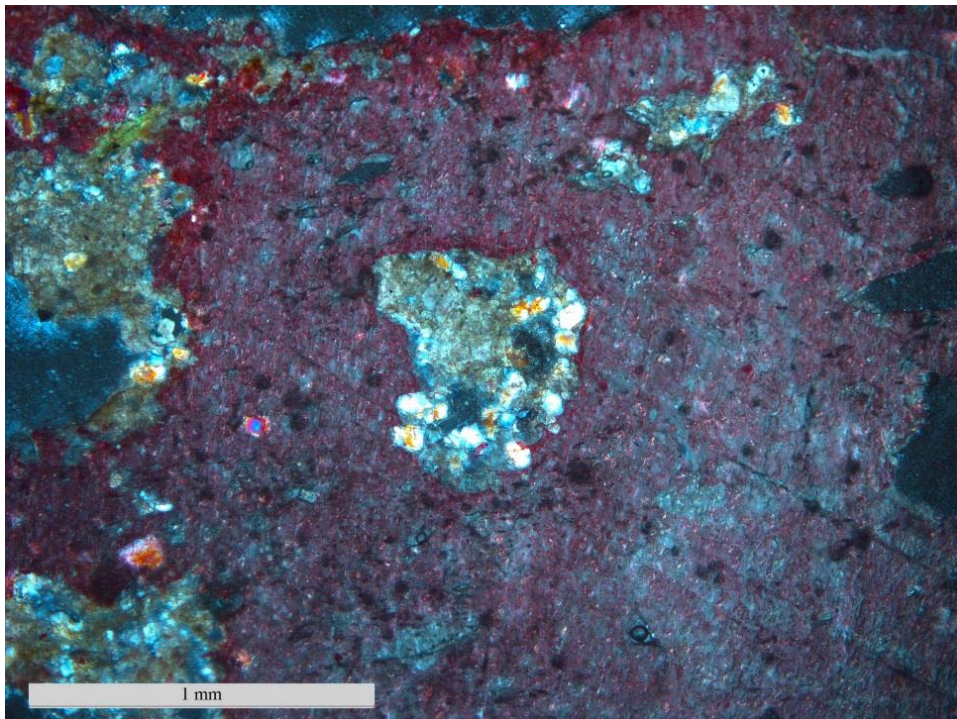
3. attēls. Plānslīpējuma fotomikrogrāfija: attēla centrā redzama dolomīta kristāla (pelēks) aizvietošanās ar kalcītu (sarkans) no kristāla malām. Dolomīta atradne “Sienāži”, paraugs S – K – R – 4 no pirmā karsta veidojuma R daļā. Analizators ieslēgts (fotografējusi autore).



4. attēls. Plānslīpējuma fotomikrogrāfija: dedolomitizētu (kalcitizētu) dolomīta kristālu zona (attēla centrā). Dolomīts pelēkbrūns, kalcīts sarkans. Aiviekstes kreisā krasta dolomīta atradne, paraugs A – K3 – 6 no trešā karsta veidojuma. Analizators izslēgts (fotografējusi autore).

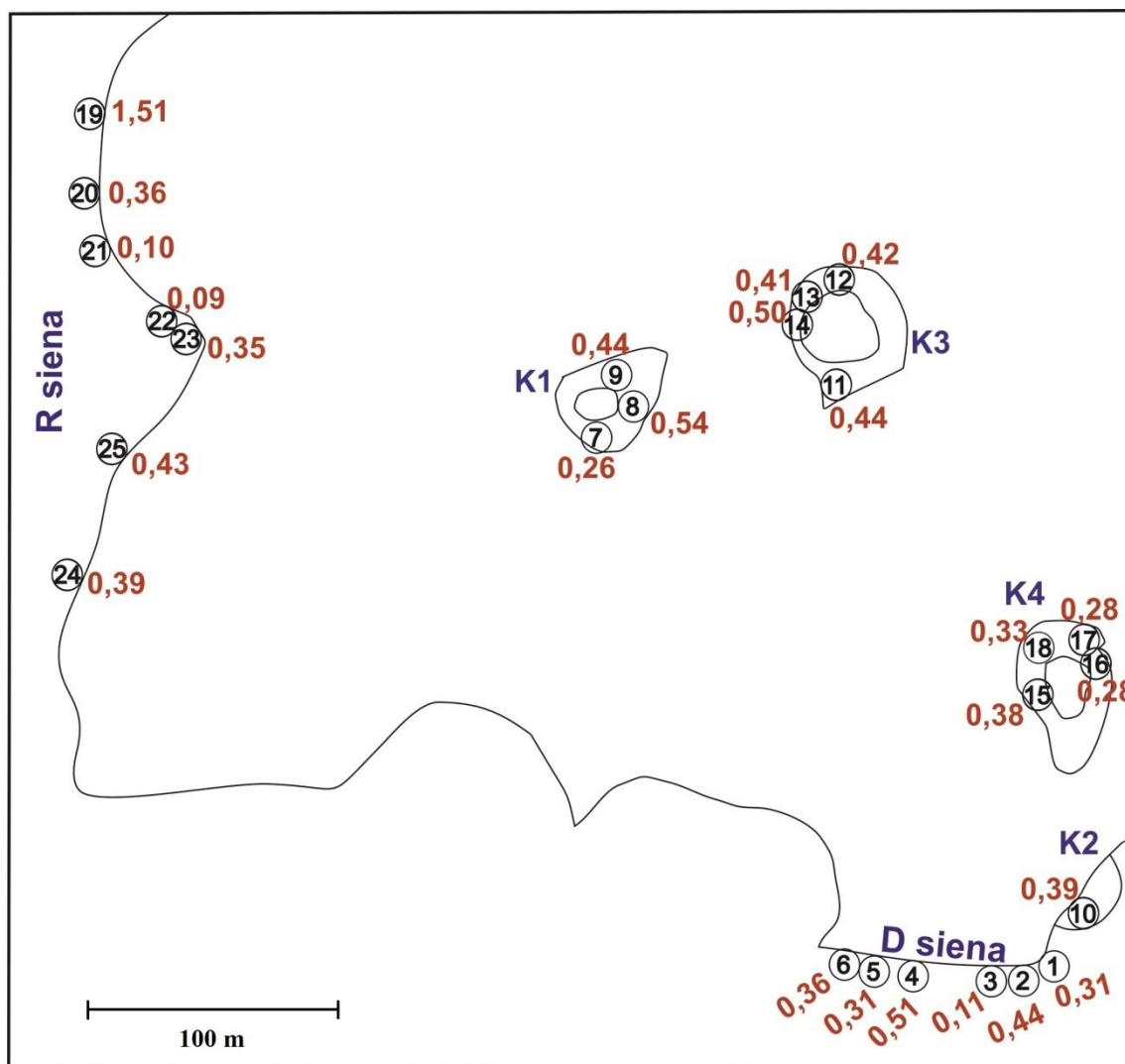


5. attēls. Plānslīpējuma fotomikrogrāfija: dolomītsmilšakmens atlūza (gaiši pelēkbrūna, šķautņaina), ko cementē calcīts (rozā – sarkans). Dolomīta atradne “Dutkas”, paraugs D - K – 6 no karsta veidojuma. Analizators izslēgts (fotografējusi autore).



6. attēls. Plānslīpējuma fotomikrogrāfija: dolomītsmilšakmens atlūza (attēla centrā), kas iekļauta lielā calcīta kristālā (sarkans). Dolomīta atradne “Sienāži”, paraugs S – D – 1 no dienvidu sienas, pie otrā karsta veidojuma. Analizators ieslēgts (fotografējusi autore).

Dzelzs (Fe) izplatības shēma kalcītā Aiviekstes kreisā krasta dolomīta atradnē (sastādījusi autore)



Apzīmējumi:

0,09-1,51 Fe daudzums kalcītā (masas %)

① - ②⑤ Parauga kārtas skaitlis

K1 - K4 Karsta veidojumi

K1 – 1. karsta veidojums; K2 – 2. karsta veidojums; K3 – 3. karsta veidojums; K4 – 4. karsta veidojums; 1 – paraugs A-D-1; 2 – paraugs A-D-3; 3 – paraugs A-D-4; 4 – paraugs A-D-10; 5 – paraugs A-D-12; 6 – paraugs A-D-13; 7 – paraugs A-K1-2; 8 – paraugs A-K1-5; 9 – paraugs A-K1-8; 10 – paraugs A-K2-1; 11 – paraugs A-K3-4; 12 – paraugs A-K3-6; 13 – paraugs A-K3-7(1); 14 – paraugs A-K3-7(2); 15 – paraugs A-K4-1; 16 – paraugs A-K4-3(1); 17 – paraugs A-K4-3(2); 18 – paraugs A-K4-6; 19 – paraugs A-R-1; 20 – paraugs A-R-2; 21 – paraugs A-R-3; 22 – paraugs A-R-5; 23 – paraugs A-R-6; 24 – paraugs A-R-8; 25 – paraugs A-R-14.

*Datu apkopojums par augšējā devona Daugavas svītas dolomītu atradnēs ievāktajiem
kalcīta kristālu paraugiem (sastādījusi autore)*

Atradne	Parauga kods	Fluorescence			Kristālu forma	Kristālu krāsa	Kristālu izmērs
		LW	MW	SW			
Aiviekste	A - D - 1	KRDZ V + DZBR V	DZ V + R V ap	KRDZ V + DZBR V	skalenoedri	dzeltena, bezkrāsaina	8 - 22 mm
Aiviekste	A - D - 2	ZZ LV	ZZ LV	N	skalenoedri	bezkrāsaina	4 - 10 mm
Aiviekste	A - D - 3	ZZ V	ZZ V + R LV	N	skalenoedri (aplauzti)	bezkrāsaina	7 - 14 mm
Aiviekste	A - D - 4	N	R LV	N	romboedri, skaleonedri	balta, bezkrāsaina	1 - 13 mm
Aiviekste	A - D - 5	ZZ V	N	N	romboedri, skalenoedri	balta, bezkrāsaina	3 - 11 mm
Aiviekste	A - D - 6	ZZ LV	N	N	skalenoedri	bezkrāsaina	4 - 24 mm
Aiviekste	A - D - 7	N	N	N	skalenoedri	bezkrāsaina	2 - 9 mm
Aiviekste	A - D - 8	ZZ LV	ZZ LV	N	skalenoedri	balta, dzeltenīga, bezkrāsaina	2 - 8 mm
Aiviekste	A - D - 9	ZZ V	N	N	skalenoedri	bezkrāsaina	3 - 19 mm
Aiviekste	A - D - 10	ZZ LV	ZZ LV + R V ap	ZZ LV	skalenoedri (aplauzti)	balta, bezkrāsaini gali	3 - 12 mm
Aiviekste	A - D - 11	ZZ LV	ZZ LV	N	skalenoedri	bezkrāsaina, dzeltenīga,	1 - 22 mm
Aiviekste	A - D - 12	N	N	N	skalenoedri	bezkrāsaina	3 - 5mm
Aiviekste	A - D - 13	N	R LV	N	skalenoedri	bezkrāsaina	6 - 20 mm
Aiviekste	A - K1 - 1	N	N	N	skalenoedri	balta	2 - 8 mm

Aiviekste	A - K1 - 2	N	R LV	N	skalenoedri	balta, bezkrāsaina	2 - 16 mm
Aiviekste	A - K1 - 3	N	N	N	N	N	N
Aiviekste	A - K1 - 4	N	N	N	skalenoedri	pelēcīga	2 - 10 mm
Aiviekste	A - K1 - 5	N	N	N	skalenoedri (aplauzti)	bezkrāsaina	3 - 10 mm
Aiviekste	A - K1 - 6	N	N	N	skalenoedri	bezkrāsaina	2 - 6 mm
Aiviekste	A - K1 - 7	N	N	N	skalenoedri	bezkrāsaina	1 - 8 mm
Aiviekste	A - K1 - 8	N	N	N	skalenoedri	bezkrāsaina	3 - 8 mm
Aiviekste	A - K2 - 1	KRDZ V + ZZ V	N	N	skalenoedri	bezkrāsaina	2 - 21 mm
Aiviekste	A - K3 - 1	DZ LV + ZZ LV	N	N	skalenoedri	dzeltenīga, sarkanbrūna	1 - 10 mm
Aiviekste	A - K3 - 2	N	R V	N	romboedri, skalenoedri	balta, dzeltenīga	3 - 12 mm
Aiviekste	A - K3 - 3	N	N	N	skalenoedri	sarkanbrūna	11 - 36 mm
Aiviekste	A - K3 - 4	N	N	N	skalenoedri	sarkanbrūna, dzeltenīga	1 - 17 mm
Aiviekste	A - K3 - 5	KRDZ VI + ZZ VI	KRDZ VI + ZZ VI	KRDZ LV	skalenoedri	dzeltenīga	2 - 9 mm
Aiviekste	A - K3 - 6	ZZ V + DZ V	ZZ V + DZ V + R V ap	N	skalenoedri, skalenoedri/ virsotnē trigonālas piramīdas	sarkanbrūna, bezkrāsaina	6 - 12 mm
Aiviekste	A - K3 - 7	ZZ VI + DZ VI	ZZ VI + DZ VI	ZZ LV + DZ LV	skalenoedri	dzeltenīga	6 - 16 mm
Aiviekste	A - K3 - 7	ZZ VI	ZZ VI	N	skalenoedri	dzeltenīga	6 - 21 mm
Aiviekste	A - K3 - 8	N	N	N	romboedri (nevar noteikt precīzi)	pelēcīga	0,2 - 1 mm
Aiviekste	A - K3 - 8	N	N	N	romboedri (nevar noteikt precīzi)	pelēcīga	0,2 - 1 mm

Aiviekste	A - K4 - 1	N	N	N	skalenoedri, trigonālas piramīdas virsotnē	pelēcīga	1 - 10 mm
Aiviekste	A - K4 - 2	ZZ V	ZZ V + R V	N	skalenoedri	balta, pelēcīga	5 - 18 mm
Aiviekste	A - K4 - 3	N	R LV	N	skalenoedri, trigonālas piramīdas	balta, dzeltenīga	2 - 6 mm
Aiviekste	A - K4 - 3	ZZ LV	ZZ LV + R V	N	skalenoedri, trigonālas piramīdas	bezkrāsaina	3 - 15 mm
Aiviekste	A - K4 - 4	ZZ LV + DZ LV	N	N	skaleonedri, skaleonedrs/ romboedrs	dzeltenīga	1 - 26 mm
Aiviekste	A - K4 - 5	N	N	N	skalenoedri	balta, pelēcīga	3 - 6 mm
Aiviekste	A - K4 - 6	ZZ V	ZZ V + R V ap	N	skalenoedri, romboedri	balta, pelēcīga	2 - 14 mm
Aiviekste	A - R - 1	KRDZ V + ZZ V	KRDZ VI + R VI ap	KRDZ LV	skalenoedri	dzeltenīga	3 - 18 mm
Aiviekste	A - R - 2	ZZ V	N	N	skalenoedri; skalenoedri/ virsotnē trigonālas piramīdas	bezkrāsaina	3 - 8 mm
Aiviekste	A - R - 3	N	R V	N	romboedri	balta, dažiem bezkrāsaina	2 - 4 mm
Aiviekste	A - R - 4	ZZ V	N	N	skalenoedri	dzeltenīga	3 - 8 mm
Aiviekste	A - R - 5	N	R VI	N	romboedri	balta, dažiem bezkrāsaina	4 - 8 mm
Aiviekste	A - R - 6	ZZ V	DZ V + R V ap	N	skalenoedri	dzeltenīga	1 - 2 mm, 10 - 22 mm
Aiviekste	A - R - 8	ZZ V + DZ V	ZZ V + DZ V + R V ap	N	skalenoedri, virsotnē trigonāla piramīda	balta, dzeltenīga	5 - 12 mm
Aiviekste	A - R - 9	ZZ V	N	N	skalenoedri, virsotnē trigonāla piramīda	dzeltenīga	6 - 25 mm

Aiviekste	A - R - 10	ZZ LV	ZZ LV + R V ap	N	skalenoedri, romboedri	balta	2 - 14 mm
Aiviekste	A - R - 11	ZZ V	ZZ V	N	skalenoedri, virsotnē trigonāla piramīda	pelēcīga	3 - 18 mm
Aiviekste	A - R - 12	ZZ LV	ZZ LV	N	skalenoedri, virsotnē trigonāla piramīda	bezkrāsaina	3 - 12 mm
Aiviekste	A - R - 13	ZZ VI	ZZ VI + R V	N	skalenoedri	bezkrāsaina	5 - 9 mm
Aiviekste	A - R - 14	ZZ V + BR V	ZZ V + BR V + R V ap	N	skalenoedri	balta, dzeltenīga	2 - 39 mm
Dutkas	D - K - 1	ZZ V	N	N	bazālais pinakoīds ar trigonālu piramīdu	balta un pelēcīga	2 - 4 mm
Dutkas	D - K - 2	N	R LV	R LV	bazālais pinakoīds ar trigonālu piramīdu	pinakoīds, trigonālā piramīda caurspīdīga, apkārt balts kalcīts	2 - 6 mm
Dutkas	D - K - 3	KRB LV	KRB LV	KRB LV	bazālais pinakoīds ar trigonālu piramīdu	pinakoīds, trigonālā piramīda caurspīdīga, apkārt balts kalcīts	5 - 8 mm
Dutkas	D - K - 4	KRB LV	KRB LV	KRB LV	bazālais pinakoīds ar trigonālu piramīdu	pinakoīds, trigonālā piramīda caurspīdīga, apkārt balts kalcīts	2 - 6 mm
Dutkas	D - K - 5	N	N	N	nevar noteikt	pelēka	1 - 3 mm
Dutkas	D - K - 6	KRB LV	R LV	KRB LV	bazālais pinakoīds ar trigonālu piramīdu	pinakoīds, trigonālā piramīda caurspīdīga, apkārt balts kalcīts	3 - 5 mm

Jaunsmilktiņas 1	J - 1	N	N	N	nevar noteikt	balta, bezkrāsaina	2 - 4 mm
Jaunsmilktiņas 1	J - 2	ZZ LV	R V	N	nevar noteikt	balta, bezkrāsaina	1 - 7 mm
Jaunsmilktiņas 1	J - 3	KRDZ + ZZ LV	KRDZ + ZZ LV	N	skalenoedri (aplauzti)	balta, bezkrāsaina	1 - 5 mm
Jaunsmilktiņas 1	J - 4	ZZ LV	R V	N	skalenoedri	balta, bezkrāsaina	3 - 12 mm
Jaunsmilktiņas 1	J - 5	ZZ LV	ZZ LV	N	nevar noteikt	balta, bezkrāsaina	1 - 5 mm
Jaunsmilktiņas 1	J - 6	N	N	N	skalenoedri (aplauzti), romboedri	balta, bezkrāsaina	2 - 4 mm
Jaunsmilktiņas 1	J - 7	ZZ LV	N	N	skalenoedri (aplauzti)	balta, bezkrāsaina	2 - 8 mm
Jaunsmilktiņas 1	J - D - 1	KRDZ + BR V	KRDZ + BR V + R LV	N	skaleonedri	bezkrāsaina, sarkanbrūna	2 - 12 mm
Jaunsmilktiņas 1	J - D - 2	KRDZ LV	KRDZ LV	N	skalenoedri	bezkrāsaina	2 - 6 mm
Jaunsmilktiņas 1	J - D - 3	ZZ LV	N	N	skalenoedri	bezkrāsaina	1 - 4 mm
Jaunsmilktiņas 1	J - D - 4	KRB LV	KRB LV	N	skalenoedri	bezkrāsaina	2 - 4 mm
Jaunsmilktiņas 1	J - D - 5	ZZ + KRDZ LV	ZZ + KRDZ LV + R LV	N	skalenoedri	bezkrāsaina	3 - 12 mm
Jaunsmilktiņas 1	J - D - 6	N	N	N	skalenoedri	bezkrāsaina, sarkanbrūna	3 - 18 mm
Jaundutkas	JD - R - 1	N	N	N	bazālais pinakoīds ar trigonālu piramīdu	pinakoīds, trigonālā piramīda caurspīdīga, apkārt balts kalcīts	3 - 6 mm
Jaundutkas	JD - ZA - A - 1	N	N	N	bazālais pinakoīds ar trigonālu piramīdu	pelēka	2 - 5 mm

Jaundutkas	JD - ZA - A - 2	N	N	N	bazālais pinakoīds ar trigonālu piramīdu	pelēka	3 - 5 mm
Lauce, Pelši	P - 1	ZZ V	ZZ V	N	skalenoedri	pelēcīga	2 - 10 mm
Lauce, Pelši	P - A - 1	N	N	N	skalenoedri	pelēcīga	6 - 18 mm
Lauce, Pelši	P - A - 2	ZZ V	ZZ V	N	romboedri	pelēcīga, dzeltenīga	2 - 14 mm
Lauce, Pelši	P - A - 3	KRDZ V	KRDZ V	N	skalenoedri	brūngana	1 - 5 mm
Lauce, Pelši	P - A - 4	KRDZ V	KRDZ V + R V ap	KRDZ LV	skalenoedri	dzeltena	3 - 11 mm
Lauce, Pelši	P - A - 5	KRDZ V	KRDZ V + R V ap	N	skalenoedri (redzamas virsošnes)	apakšējiem kristāliem - balta, augšējiem - dzeltena	2 - 10 mm
Lauce, Pelši	P - A - 6	N	N	N	skalenoedri (deformēti)	balta	3 - 13 mm
Lauce, Pelši	P - A - 7	KRDZ V	KRDZ V + R V ap	N	skalenoedri	apakšējiem kristāliem - balta, augšējiem - dzeltena	2 - 6 mm
Lauce, Pelši	P - A - 8	ZZ V	ZZ LV	N	romboedri	balta, dzeltenīga	2 - 4 mm
Lauce, Pelši	P - A - 9	N	N	N	romboedri	pelēcīga, dzeltenīga	1 - 4 mm
Lauce, Pelši	P - A - 10	N	N	N	romboedri	balta	2 - 4 mm
Lauce, Pelši	P - A - 11	ZZ LV	ZZ LV	N	romboedri	dzeltenīga	1 - 7 mm
Lauce, Pelši	P - GR1 - 1	ZZ LV	ZZ LV	N	romboedri	pelēcīga	1 - 4 mm
Lauce, Pelši	P - GR1 - 2	N	N	N	romboedri	dzeltenīga, pelēcīga	2 - 6 mm
Lauce, Pelši	P - GR1 - 3	ZZ LV	ZZ LV	N	romboedri	pelēcīga, dzeltenīga	1 - 7 mm

Lauce, Pelši	P - GR1 - 4	N	N	N	romboedri	pelēcīga	8 - 12 mm
Lauce, Pelši	P - GR1 - 5	ZZ V	ZZ V	N	romboedri	pelēcīga	1 - 3 mm
Lauce, Pelši	P - GR1 - 6	N	N	N	romboedri	pelēcīga	2 - 5 mm
Lauce, Pelši	P - GR1 - 7	ZZ LV	ZZ LV	N	romboedri	dzeltenīga, pelēcīga, bezkrāsaina	2 - 4 mm
Lauce, Pelši	P - GR1 - 8	ZZ V	ZZ V	N	romboedri	balta, dzeltenīga	1 - 3 mm
Lauce, Pelši	P - GR1 - 9	ZZ LV	ZZ LV	N	romboedri	balta	2 - 4 mm
Lauce, Pelši	P - GR1 - 10	ZZ LV	ZZ LV	N	skalenoedri	balta, dzeltenīga	2 - 8 mm
Lauce, Pelši	P - GR1 - 11	ZZ LV	ZZ LV	N	romboedri	balta	2 - 4 mm
Lauce, Pelši	P - R - 1	KRDZ V	KRDZ V + R V ap	N	skalenoedri	augšējiem kristāliem - dzeltena, apakšējiem - bezkrāsaina	2 - 6 mm
Lauce, Pelši	P - R - 2	ZZ V	ZZ V + R V ap	N	skalenoedri	dzeltenīga, bezkrāsaina	3 - 20 mm
Lauce, Pelši	P - R - 3	KRDZ V	KRDZ V + R V ap	N	skalenoedri	apakšējiem kristāliem - balta, augšējiem - dzeltena	3 - 10 mm
Lauce, Pelši	P - R - 4	KRDZ V	KRDZ V	N	skalenoedri	dzeltenīga, caurspīdīga	2 - 6 mm
Lauce, Pelši	P - R - 5	KRDZ VI	KRDZ VI + R V ap	KRDZ LV	skalenoedri	apakšējiem kristāliem - balta, augšējiem - dzeltena	2 - 8 mm
Lauce, Pelši	P - R - 6	KRDZ V	KRDZ V	N	skalenoedri	dzeltenīga	2 - 8 mm
Lauce, Pelši	P - R - 7	KRDZ V	KRDZ V	N	skalenoedri	dzeltenīga	2 - 8 mm

Lauce, Pelši	P - R - 8	KRDZ V	KRDZ V + R V ap	N	skalenoedri	apakšējiem kristāliem balta, augšējiem dzeltenīga	3 - 8 mm
Lauce, Pelši	P - R - 9	ZZ VI	ZZ VI + R V ap	N	skalenoedri	apakšējiem kristāliem bezkrāsaina, augšējiem dzeltenīga	2 - 18 mm
Lauce, Pelši	P - Z - 1	ZZ V	ZZ V	N	romboedri	pelēcīga	3 - 15 mm
Lauce, Pelši	P - Z - 2	N	R LV	N	romboedri	bezkrāsaina	1 - 2 mm
Lauce, Pelši	P - Z - 3	ZZ LV	ZZ LV	N	skalenoedri (deformēti)	bezkrāsaina	4 - 10 mm
Rītupes	R - D - 1	N	R V	N	skalenoedri/ virsoņē romboedri	balta, bezkrāsaina	0,2 - 3 mm
Rītupes	R - D - 2	N	R LV	N	skalenoedri/ virsoņē romboedri	balta, sarkanbrūna, bezkrāsaina	0,5 - 4 mm
Rītupes	R - D - 3	N	R V	N	skalenoedri/ virsoņē romboedri	balta, bezkrāsaina, caurspīdīga	0,5 - 5 mm
Rītupes	R - D - 4	N	R V	N	skalenoedri/ virsoņē romboedri	balta, bezkrāsaina	0,5 - 5 mm
Rītupes	R - D - 5	N	R V	N	skalenoedri	balta, bezkrāsaina	0,2 - 3 mm
Rītupes	R - D - 6	N	R VI	N	skalenoedri/ virsoņē romboedri	bezkrāsaina	1 - 4 mm
Rītupes	R - D - 7	N	R V	N	skalenoedri/ virsoņē romboedri	balta, bezkrāsaina	1 - 5 mm
Rītupes	R - D - 8	N	R V	N	skalenoedri, virsoņē trigonāla piramīda	balta, bezkrāsaina	1 - 3 mm

Rītupes	R - D - 9	N	R V	N	skaleonedri/ virsoņņē romboedri	balta, bezkrāsaina	0,5 - 3 mm
Rītupes	R - D - 10	N	R V	N	skalenoedri	balta, bezkrāsaina	1 - 4 mm
Rītupes	R - D - 11	N	R V	N	skalenoedri/ virsoņņē romboedri	balta, bezkrāsaina	0,5 - 2 mm
Rītupes	R - D - 12	N	R V	N	skalenoedri	bezkrāsaina, pelēcīga	1 - 5 mm
Rītupes	R - D - 13	N	R VI	N	skalenoedri/ virsoņņē trigonāla piramīda	bezkrāsaina, sarkanbrūna	0,5 - 4 mm
Sienāži	S - D - 1	KRB VI + KRDZ VI	KRB LV	KRB LV	romboedri, skaleonedri	balta, dzeltena	3 - 13 mm
Sienāži	S - D - 2	KRB V	KRB V	KRB V	nevar noteikt	balta, dzeltena	20 - 35 mm
Sienāži	S - D - 3	nav datu	nav datu	nav datu	N	N	N
Sienāži	S - D - 4	KRDZ VI	KRB V + R V	KRDZ V + R LV	romboedri, skaleonedri	balta, dzeltenīga	12 - 24 mm
Sienāži	S - D - 5	KRDZ VI	KRDZ VI + R VI	KRDZ VI + R VI	romboedri, romboedrs/ skalenoedrs	balta, dzeltenīga	6 - 25 mm
Sienāži	S - D - 6	KRDZ VI	KRDZ LV + R LV	KRDZ LV	romboedrs	balta	4 - 7 mm
Sienāži	S - D - 7	KRDZ ST	KRDZ VI + R VI	KRDZ V + R LV	romboedrs	balta, dzeltena	13 - 23 mm
Sienāži	S - K - D - 1	KRB V	KRB LV	N	koncentriski, nevar noteikt	balta, brūngana	3 - 9 mm
Sienāži	S - K - R - 1	KRB VI + KRDZ VI	KRB VI + KRDZ VI + R VI	KRB V + R V	romboedri, skaleonedri	balta	4 - 20 mm
Sienāži	S - K - R - 2	KRB V	KRB V + R	KRB LV +	romboedrs	dzeltenīga	3 - 15 mm

			V	RLV			
Sienāži	S - K - R - 3	KRB V	KRB VI + R VI	KRB V + R V	romboedrs	balta, brūngana	9 - 16 mm
Sienāži	S - K - R - 4	KRDZ V	KRB V + R VI	KRB V + R V	romboedrs	balta	8 - 22 mm

Apzīmējumi 4. pielikumam

Ap – apakšējie kalcīta kristāli
Fluorescences intensitāte:
ST - stipra
VI - vidēja
V - vāja
LV - ļoti vāja
N - fluorescences nav
Krāsas:
S - sarkana
R - rozā
B - balta
KR DZ - krēmdzeltena
KR B - krēmbalta
DZ - dzeltena
DZ BR - dzeltenbrūna
BR - brūna
UV stari:
SW - īsie UV
MW - vidējie UV
LW - garie UV