

LATVIJAS UNIVERSITĀTE  
ĢEOGRĀFIJAS UN ZEMES ZINĀTŅU FAKULTĀTE  
ĢEOLOĢIJAS NODAĻA  
PAMATIEŽU ĢEOLOĢIJAS KATEDRA

**AUGŠĒJĀ DEVONA KATLEŠU SVĪTAS DOLOKRĒTU PAVEIDI UN VERTIKĀLĀ  
ZONALITĀTE KUPRAVAS MĀLA ATRADNĒ**

Bakalaura darbs

Autors: Marianna Meire - Kārkle  
Stud. apl.: mm12110  
Zinātniskais vadītājs: Ģirts Stinkulis  
Asoc. prof., Dr. ģeol.

Rīga 2016

# SATURS

	lpp.
ANOTĀCIJA.....	4
ANNOTATION.....	5
IEVADS.....	6
1. KATLEŠU SVĪTAS NOGULUMU IZPLATĪBA UN SASTĀVS LATVIJĀ.....	8
2. KALKRĒTU UN DOLOKRĒTU VEIDOŠANĀS APSTĀKĻI UN STADIJAS.....	13
<b>2.1. Kalkrēti</b> .....	13
<b>2.3. Rizolītu sistēmas</b> .....	16
<b>2.4. Pedogēno kalkrētu un dolokrētu horizontu uzbūve un veidošanās apstākļi</b> .....	17
3. LATVIJAS DEVONA NOGULUMOS SASTOPAMO DOLOKRĒTU LĪDZŠINĒJO PĒTĪJUMU REZULTĀTI.....	20
<b>3.1. Apakšējais devons</b> .....	20
<b>3.2. Vidējais devons</b> .....	20
<b>3.3. Augšējais devons</b> .....	21
4. MATERIĀLI UN METODES.....	24
5. REZULTĀTI UN TO INTERPRETĀCIJA.....	27
<b>5.1. Kupravas karjera dienvidu sienas atseguma uzbūve</b> .....	27
<b>5.2. Dolokrētu un klastisko nogulumu atseguma gravā uzbūve</b> .....	29
<b>5.3. Ģeoloģisko griezumu uzbūve pēc makroparaugu un plānslīpējumu rezultātiem</b> .....	30
<b>5.4. Subaerālo apstākļu pazīmes pētītajos griezumos</b> .....	52
<b>5.5. Dolokrētu vertikālā zonalitāte un griezumu korelācija</b> .....	53
6. DISKUSIJA.....	55
7. SECINĀJUMI.....	57
PATEICĪBA.....	58
IZMANTOTĀ LITERATŪRA.....	59

## ANOTĀCIJA

Bakalaura darbs ir par augšējā devona Katlešu svītas dolokrētu paveidiem Kupravas māla atradnē un to vertikālo zonalitāti. Dokumentēti četri ģeoloģiskie griezumī, veikti detalizēti 33 pieslīpējumu un 23 plānslīpējumu pētījumi. Noskaidrots, ka šiem dolokrētiem ir raksturīga vertikālā zonalitāte - tajos var novērot divus, vietām nepilnīgus dolokrētu profilus, kuru attīstību, domājams, var skaidrot ar ūdens līmeņa svārstībām Katlešu laikposmā. Ir nodalīti mālaini kavernozi un poraini, brekčijveida, šūnveida, masīvi un citi dolokrētu horizonti. Pētītajos dolokrētos atrastās augu sakņu struktūras (rizokrēcijas), šūnveida tekstūras, kā arī žūšanas plaisas norāda uz to, ka tie ir pedogēnie dolokrēti.

Atslēgas vārdi: karbonātiskās augsnes, rizokrēcijas, plānslīpējumi, pieslīpējumi, masīvie dolokrēti, brekčijveida dolokrēti.

## ANNOTATION

Bachelor's thesis deals with types and vertical zonation of dolocretes of the Devonian Katleši Formation in the Kuprava clay deposit. There are studied four geological sections, carried out detailed study of 33 cut and polished specimens and 23 thin-sections. Vertical zonation of these dolocretes has been clarified: two, in parts incomplete dolocrete profiles are present and their development could be explained by sea-level fluctuations during the Katleši time. There are divided clayey-vuggy and clayey-porous, brecciated, honeycomb, massive and other dolocrete horizons. Plant root structures (rhizcretions), cellular structures, and desiccation cracks found in studied dolocretes indicate, that they are pedogenic dolocretes.

Keywords: carbonate soils, rhizcretions, thin-sections, polished specimens, massive dolocretes, brecciated dolocretes.

## IEVADS

Bakalaura darbā ir izstrādāts pētījums, kurā veikta iestrāde jau autores kursa darbā (Meire-Kārkle, 2015). Autores kursa darba ietvaros Kupravas māla karjerā sastopamajos Katlešu svītas dolokrētos, kas veido augšējā devona Franas stāva Katlešu svītas Kupravas ridas klastisko nogulumu griezuma augšējo daļu karjera dienvidu daļā, tika apskatītas subaerālās atsegšanās pazīmes iežu pieslīpējumos un plānslīpējumos, kā arī pievērsta uzmanība dolokrētu vertikālajai zonalitātei. Minētajā pētījumā netika konstatēta dolokrētu vertikālā zonalitāte, kā arī tika secināts, ka paraugu ir par maz, lai to novērtētu.

Katlešu svītas Kupravas māla karjera dolokrētos iepriekšējos pētījumos par karbonātu garozām (Petrikas, 2009) nav bijusi pievērsta detalizēta uzmanība dolokrētu iespējamajai vertikālajai zonalitātei vai tā nav tikusi konstatēta (Meire-Kārkle, 2015), kas arī nosaka tēmas aktualitāti.

Dolokrētu veidojumu vertikālās zonalitātes identificēšana ļauj precīzāk noskaidrot šo karbonātisko garozu veidošanās apstākļus un tos ietekmējošos faktorus. Par to liecina daudzi seno dolokrētu un kalkrētu pētījumi pasaulē un nesen aizstāvētā D. Pipiras disertācija par devona dolokrētiem Latvijā (Pipira, 2015). Pēdējā darbā ir apskatīti arī Katlešu svītas dolokrēti, taču D. Pipira tos savā promocijas darbā nav pētījusi detalizēti, kā pati autore to arī atzīmē (Pipira, 2015). Arī šis aspekts ir būtisks bakalaura darba aktualitātei.

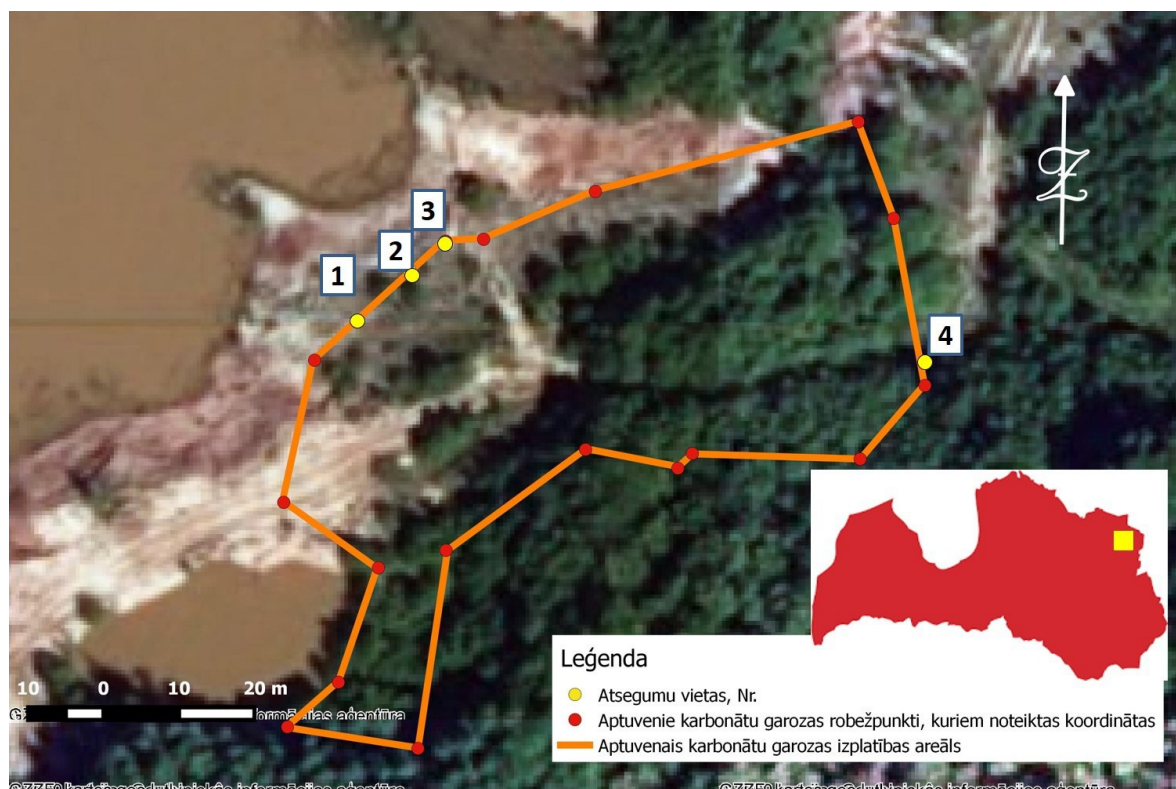
Pamatojoties uz augšminētajiem apsvērumiem, tika nolemts pētījumu par Katlešu svītas dolokrētiem Kupravas atradnē padziļināt, turpinot to kā bakalaura darbu, ievācot vairāk paraugu visa interesējošā dolokrētu atseguma augstumā un interpretēt dolokrētu veidošanās apstākļus. Dolokrēti darbā raksturoti 4 griezumos (1. attēls).

**Bakalaura darba mērķis** ir nodalīt un raksturot Kupravas ridas dolokrētu subaerālās atsegšanās pazīmes un šo dolokrētu uzbūves vertikālo zonalitāti.

Lai sasniegtu mērķi, tika izvirzīti sekojoši **uzdevumi**:

- veikt ģeoloģiskās literatūras analīzi par dolokrētiem, to subaerālās atsegšanās pazīmēm un vertikālo zonalitāti;
- apkopot iepriekšējo pētījumu rezultātus par subaerālās atsegšanās pazīmēm Latvijā;
- noņemt paraugus pa vertikāli visos apskatāmajos ģeoloģiskajos griezumos;
- veikt pieslīpējumu, plānslīpējumu izgatavošanu, to fotografēšanu un aprakstu;
- identificēt subaerālās atsegšanās pazīmes paraugos un veikt to interpretāciju pa vertikāli ģeoloģiskajos griezumos;

- noskaidrot dolokrētu iespējamās veidošanās apstākļus.



*1. attēls. Karbonātu garozas izplatības areāls (koordinātu dati pēc A. Petrikas, 2009) un pētīto atsegumu (griezumu) atrašanās vietas Kupravas atradnes dienvidu daļā (atzīmētas 3. etapa ortofoto, autores veidots).*

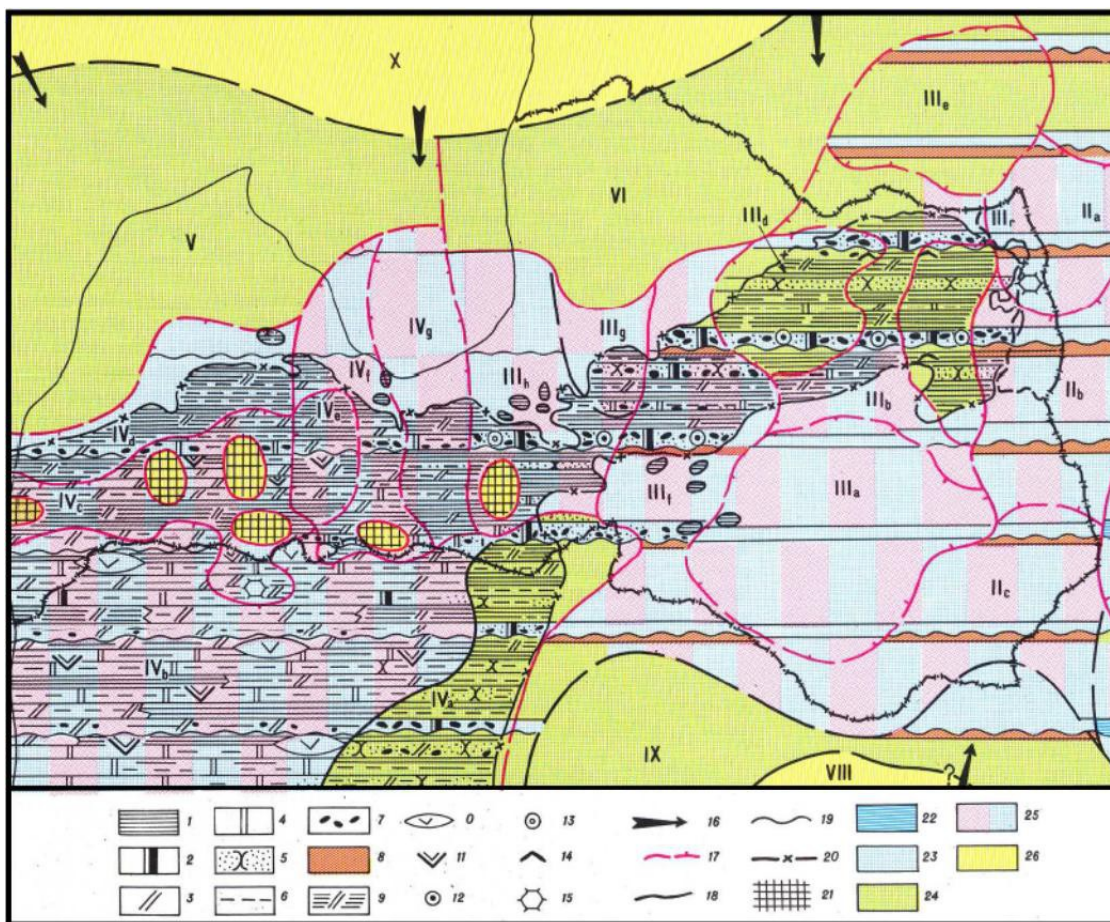
Darba apjoms ir 61 lpp., tajā skaitā 35 attēli un 1 tabula. Darbs sastāv no anotācijas latviešu un angļu valodā, ievada, 6 nodaļām, secinājumiem, pateicībām un izmantotās literatūras. Darba sagatavošanā izmantoti 42 publicētie, 8 nepublicētie un 1 interneta resurss.

# 1. KATLEŠU SVĪTAS NOGULUMU IZPLATĪBA UN SASTĀVS LATVIJĀ

Katlešu svīta ir augšdevona ( $D_3ktl$ ) Franas stāva stratigrāfiskā vienība. Svītas nogulumu sastopami Latvijas austrumu, centrālajā un dienvidrietumu daļā (1.1. attēls), kur tie atsedzas Daugavas, Ogres, Pededzes, Abavas, Ventas, Tebras un Gaujas krastos.

1.1. attēls. Katlešu svītas nogulumu izplatības un fāciju karte (Sorokins, 1998):

1 - māli; 2 - metasomatiskais dolomīts; 3 - dolomītmerģelis; 4 - plātņains dolomīts; 5 - smilšakmeņi; 6 -



aleirolīti; 7 - konglomerāti; 8 - dēdēšanas garoza (satur hematītu un citus dzelzi saturošus minerālus, kaolinītu); 9 - dolomītisks māls; 10 - ģipsis; 11 - sekundārs ģipsis; 12 - oolīti; 13 - onkolīti; 14 - bruņuzivju atliekas; 15 - žūšanas plaisas; 16 - terigēnā materiāla pieplūdes virzieni; 17 - lūzumi; 18 - litoloģiski faciālo zonu robežas; 19 - diskordanta saguluma robežas; 20 - Sņežas reģionālā stāva nogulumu izplatības robežas mūsdienās; 21 - lokālo pacēlumu velves, kur Sņežas reģionālā stāva nogulumu izplatības robežas mūsdienās; 22 - normāls jūras ūdens sāļums; 23 - samazināts jūras ūdens sāļums; 24 - stipri mainīgs jūras ūdens sāļums; 25 - aluviālie līdzenumi, ko periodiski appludinājusi jūra; 26 - sauszeme.

Katlešu svīta nevienmērīgi izplatīta atsevišķu lokālu laukumu veidā, tā ieguļ uz izskalošanās un karsta procesu skartās Daugavas svītas. Svītas fragmentāro izplatību skaidro ar denudācijas procesiem, kas risinājušies starp vidējo un vēlo Franaskā laukumu (Сорокин, 1978). Latvijas austrumu, centrālajā un ziemeļrietumu daļā svītas pamatnē ir izsekojams konglomerāts vai izskalojuma brekcija. Vienīgi dienvidrietumu daļā Katlešu un Daugavas svītas pāreja ir pakāpeniska (Brangulis u.c., 1998).

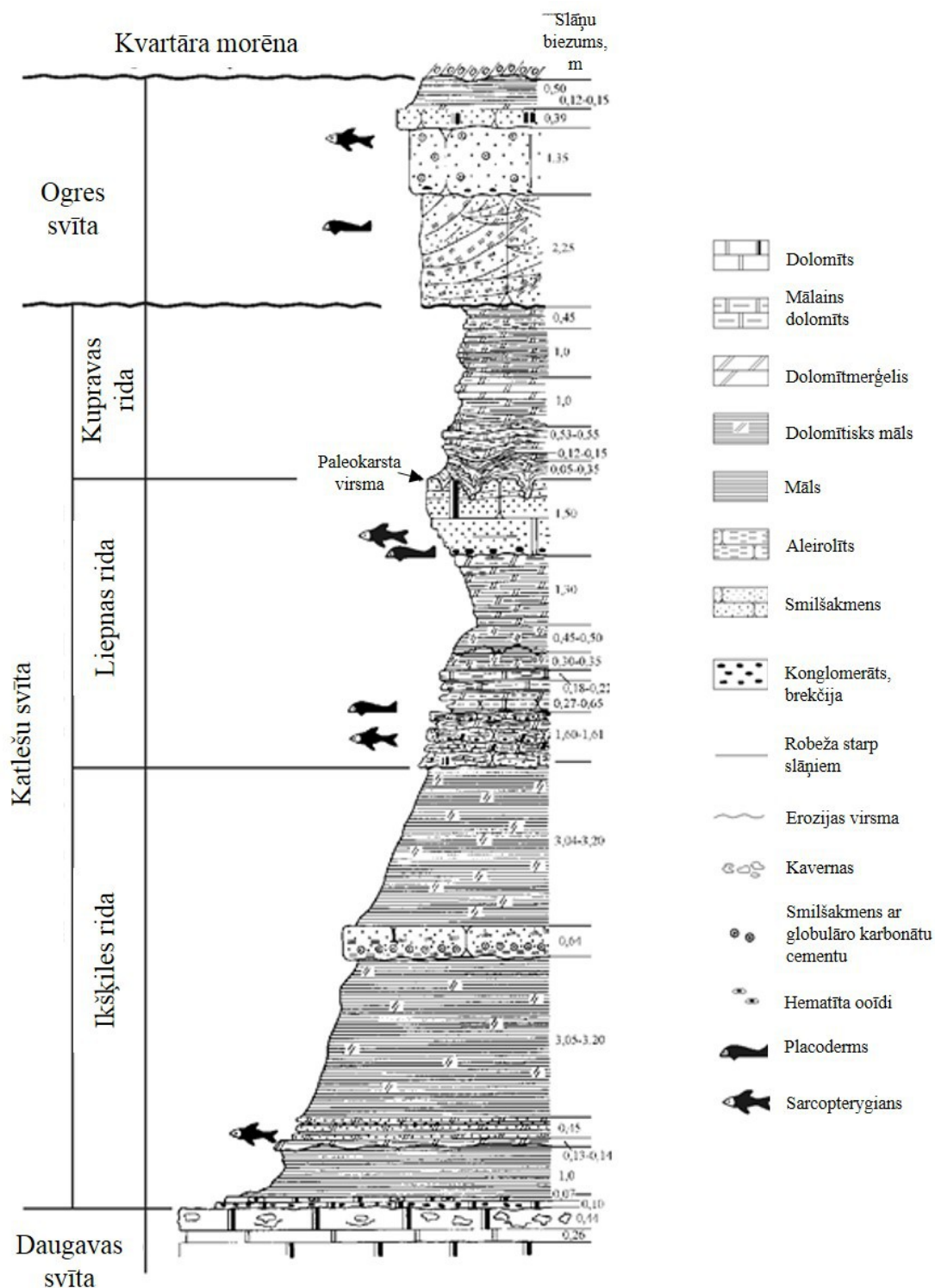
Katlešu svītas nogulumu (1.2. attēls) lielākoties sastāv no dolomītmerģeļiem un māliem. Minētajos nogulumos ir smilšakmeņu un aleirolītu starpslāņi, kā arī dolomīta lēcas. Svītas apakšējo daļu tās izplatības teritorijā veido raibi māli un mālaini dolomītmerģeļi. Smilšakmeņi un mālaini aleirolīti sastopami centrālajā daļā, tos uz dienvidiem nomaina dolomīti un dolomītmerģeļi. Svītas augšējā daļā dominē sarkani māli ar relatīvi plāniem aleirolītu, dolomītmerģeļu un mālainu dolomītu starpslāņiem (Brangulis u.c., 1998).

Pēc litoloģiskām pazīmēm Katlešu svītā izdala Ikšķiles, Liepnas un Kupravas ridas. Ikšķiles rida iekļauj vienu, savukārt Liepnas rida divus regresīvus ciklus. Katra cikla apakšējo daļu veido relatīvi plāni (1-2 m) smilšakmeņu vai dolomīta slāņi, savukārt ciklu augšējā daļā ir līdz 3 metriem biezi karbonātiski mālu vai dolomītmerģeļu slāņi (Сорокин, 1978, 1981).

Ikšķiles ridas apakšējā daļā ieguļ izskalojuma brekcija, kaļķakmeņu oļi. Viļakas valnī šo izskalojumu vietā sastopams dolomīts ar uzduļķojuma tekstūru. Izskalota ir Daugavas svītas Kranciema ridas augšējā daļa. Izskalojuma brekcija nav sastopama Veļikajas (Pleskavas apgabalā) un Gaujas baseinā, kur Ikšķiles rida pārsedz karsta procesu būtiski skarto un ar dzelzs savienojumiem bagātos Daugavas svītas Kranciema ridas karbonātiežus (Сорокин, 1978, 1981). Ikšķiles rida sastāv no māliem un dolomītmerģeļiem ar smilšainu dolomītu un smilšakmeņu starpslāņiem. Šī slāņkopa ir 2-9,8 m bieza (Pīpera, 2015).

Liepnas ridu veido smilšakmeņi un dažādkrāsaini mālaini aleirolīti. Latvijas dienvidu daļā šos nogulumus nomaina dolomīti un dolomītmerģeļi. Slāņkopa ir 5-12 m bieza (Сорокин, 1978, 1981).

Kupravas ridā, kas veido Katlešu svītas augšējo daļu, sastopami māli ar aleirolītu un smilšakmeņu starpkārtām. Šīs ridas nogulumu ir sastopami ierobežotos laukumos. Kupravas rida Lielvārdes apkārtnē ieguļ uz nelīdzenās, karstētās un dzelžotās Liepnas ridas virsmas. Liepnas ridas augšdaļu tur veido dolomītmerģeļi un smilšaini dolomīti. Arī Kupravas ridu pārsedzošajai Ogres svītai pamatnē ir reģionāla izskalojuma virsma (Сорокин, 1978).

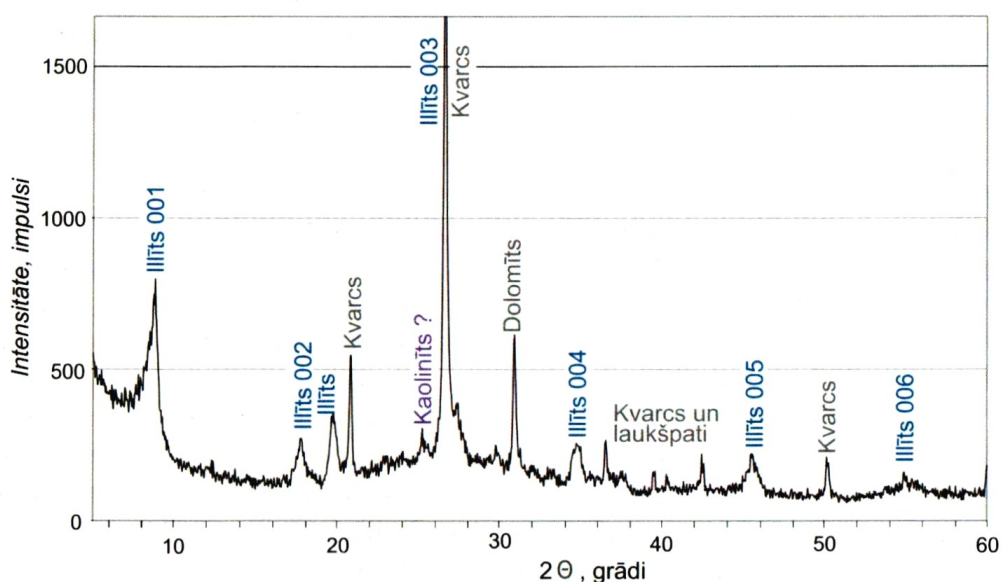


1.2. attēls. Katlešu svītas nogulumu ģeoloģiskais griezumā labajā Daugavas krastā Lielvārdē (Delle, 1929; Sorokins, 1968: citēts – Stinkulis, 1999).

Katlešu svītas fāciju zonalitāte ir vāji pētīta. Nogulumi kļūst mālaināki un smilšaināki svītas izplatības laukuma ziemeļu daļā. Dolomīta un dolomītmerģeļa slāņi izplatīti centrālajā Latvijā, savukārt dienvidrietumos sastopami ģipša starpslāņi (Сорокин, 1981).

Katlešu svītas izplatības laukuma rietumu daļā svītas biezums palielinās no 3 līdz 35 m dienvidrietumu virzienā. Svīta ir 3–24 m bieza Latvijas centrālajā un austrumu daļā, vislielāko biezumu sasniedzot Latvijas ziemeļaustrumos, kur tā ir 40–56 m bieza (Brangulis u.c., 1998).

Praktiski visnozīmīgākā ir Katlešu svītas Kupravas ridas apakšējā mālainā daļa, kas sasniedz līdz 45 m biezumu. Katlešu svītas māli tikuši pētīti dažāda profila darbos. Tie raksturoti ap 50 rentgendifraktogrammās (1.3. attēls) no kartēšanas urbuma Sofikalns 2 (Balvu novadā) serdēm, kas attiecas uz Kupravas atradnes teritoriju. Katlešu svītas mālu difraktogrammas ir salīdzinoši vienvēidīgas ar nelielu skaitu atstarojumu (Stinkule, 2014).



1.3. attēls. Katlešu svītas mālu rentgendifraktoģramma, Kupravas atradne (Stinkule, 2014).

Aptuveni pusei paraugu konstatēti illīta bazālie atstarojumi, otrajai pusei kopā ar illītu konstatēti ievērojami vājāki kaolinīta vai hlorīta refleksi, kuri nepārsniedz 5% daudzumu. Illītam atbilstošais bazālais starpleņķu attālums ir lielāks par 0,2-0,4 Å, salīdzinot ar pieņemtajiem illīta 10 Å. Refleksa asimetrija ar lēzenāko mazo leņķu spārnu norāda par uzbriestoša illīta un jauktslāņu illīta-smektīta klātbūtni. Pirmās un otrās kārtas bazālie atstarojumi liecina par augstu struktūras degradācijas pakāpi. Raksturīga iezīme Katlešu svītas māliem ir to lielais par 0,001 mm smalkāko daļiņu īpatsvars mālainajā frakcijā (<0,005 mm) (Stinkule, 2014).

Kupravas raibie, vāji karbonātiskie māli veidojās seklā jūrā Katlešu sedimentācijas beigu posmā vēlajā devonā. Drupu materiāla sanesu plūsmas, pēc slīpslāņojuma orientācijas smilšainajos slāņos, nāca no ziemeļu puses (Stinkule, 2014).

Dažkārt mālos sastopami dzelzs oksīdu kunkuļi, dzīslīņas vai ovāli oolīti ar diametru līdz 3 mm, melnas mangāna oksīdu konkrēcijas diametrā līdz 1,5 cm, kā arī karbonātu konkrēcijas, kas izvietojušās mālu slāņu augšdaļā un sakņu izveidotās plaisiņās. Minētie veidojumi ir kustīgo komponentu migrācijas ietekmē radušies sekundārie minerālagregāti. Sekundārā karbonātu migrācija veidojusi stipri cementētu smilšakmeņu masīvu starp abiem mālu slāņiem. Cementu veido kalcīts (Stinkule, 2014). Nav izslēgts, ka augšminētie literatūrā atzīmētie karbonāti sakņu izveidotās plaisiņās ir veidojušies jau devona periodā un atbilst šajā bakalaura darbā novērotajiem veidojumiem – rizokrētiem.

Katlešu svītas māli pēc ķīmiskā sastāva no Latvijas māliem ir ar visaugstāko  $K_2O$  saturu, ap 4%, ko nosaka ar kāliju bagātākais māla minerāls illīts. Ķīmisko analīžu dati liecina, ka dolomīts veido Katlešu svītas mālu izkļiedēto karbonātu komponentu. Izņēmums ir smilšainie ūdenscaurlaidīgie slāņi. Tajos koncentrējas cietie, karbonātiskie ieslēgumi, kas sastāv gan no dolomīta, gan kalcīta. Dzelzs oksīdu saturs ir 2-10%. Visvairāk  $Fe_2O_3$  sastopams sarkanajos mālos, veidojot pusi no kopīgā dzelzs daudzuma māla minerālu kristāliskajā režģī, kā arī dzelzs un brīvo hidroksīdu veidā, kas veido atlikušo daļu. Minimālais  $Fe_2O_3$  saturs ir raksturīgs smilšainākiem un karbonātiskiem slāņiem (Stinkule, 2014).

Laterālās fāciju izmaiņas un slāņkopas cikliskums ar regresīvu raksturu liecina par Katlešu svītas veidošanos vidējās Franās jūras regresijas posmā. Slāņkopas cikliskumā vērojamas arī fosīliju kopuma vertikālās izmaiņas (Сорокин, 1978). Par sedimentācijas vidi, kas bijusi sekla šelfa un piekrastes zona, liecina Katlešu svītas nogulumu uzbūve un sastāvs Kupravas atradnē (Ионин, 1992).

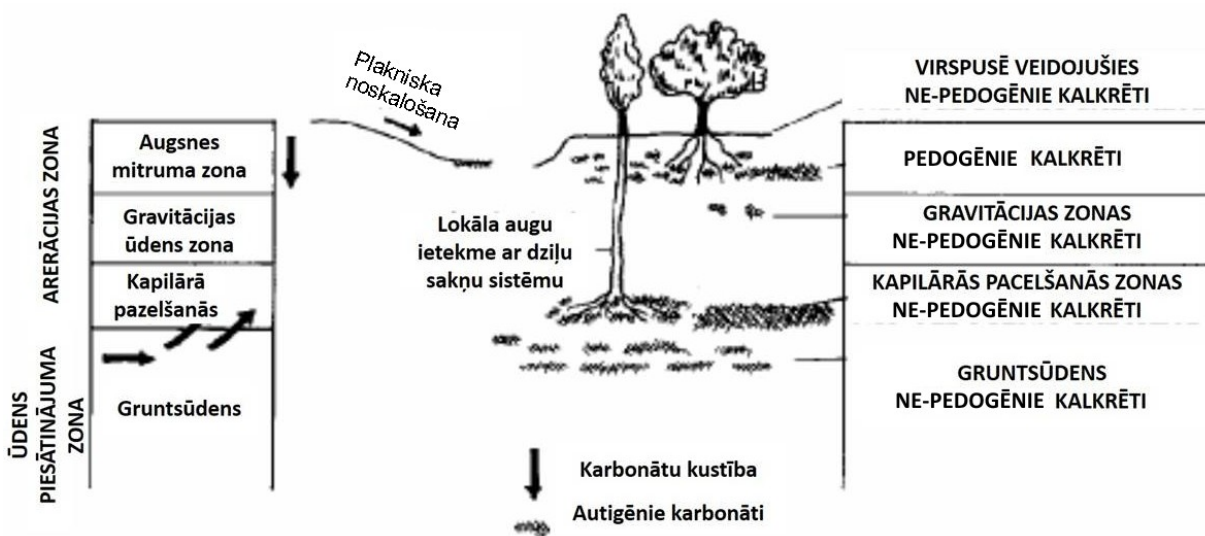
## 2. KALKRĒTU UN DOLOKRĒTU VEIDOŠANĀS APSTĀKĻI UN STADIJAS

Sauszemes karbonātu veidojumi, kas veidojušies no devona līdz holocēnam, lielākoties saglabājušies augsnēs (Wright, 2007). Tie tiek izmantoti paleoklimata un paleovides rekonstrukcijām (Andrews, 2006), kā arī, lai raksturotu nogulsnēšanās un klimata apstākļus, kas valdījuši to veidošanās laikā (Alonso-Zarza, 2003). Karbonātu garozu (kalkrētu un dolokrētu) klātbūtne liecina par subaerālās atsegšanās pazīmēm (Wright, Tucker, 2009).

### 2.1. Kalkrēti

Termins kalkrēts (calcrete) jeb kaliče (chalice) apzīmē tuvu zemes virsmai veidojušos karbonātu garozu, kas lielākoties sastāv no kalcija karbonāta. To veidošanās lielā mērā ir saistīta ar arīda un semiarīda klimatiskajiem apstākļiem (Fu et al., 2004), kuriem raksturīgas periodiskas lietusgāzes, kas mijas ar sausuma periodiem. Mitra klimata apstākļi veicina kalcija jonu atbrīvošanu no to ietverošajiem iežiem un karbonātiskajiem minerāliem, savukārt sauss klimats nodrošina  $\text{CaCO}_3$  izgulsnēšanos augstās iztvaikošanas dēļ (Wright, Tucker, 2009).

Nodala divus kalkrētu ģenētiskos tipus pēc hidroloģiskā režīma: augsnes jeb pedogēnos kalkrētus un gruntsūdens kalkrētus. Starp pedogēnajiem un gruntsūdens kalkrētiem iespējami pārejas tipi – gravitācijas zonas un kapilārās pacelšanās zonas kalkrēti (2.1. attēls) (Chen, 2002).



*2.1. attēls. Kalkrētu klasifikācija pēc hidroloģiskā režīma* (tulkojusi autore; pārveidojis Chen, 2002: pēc Carlisle, 1980 un Wright and Tucker, 1991).

Pedogēnās izcelsmes kalkrēti veidojas, virs gruntsūdens līmeņa areācijās zonā izgulsnējoties sekundārajiem karbonātu minerāliem vertikālās ūdens filtrācijas kustību rezultātā (Alonso-Zarza, 2003), to veidošanās iespējama dažādās reljefa formās (Chen, 2002). Kalkrētu porās parasti sastopams gaiss vai ūdens. Pedogēnajiem kalkrētiem raksturīgs mazs kristālu izmērs, kas skaidrojams ar to kristalizēšanos no nokrišņu ūdeņiem (Wright, 1990).

Pedogēnie kalkrēti ir daudz biežāk sastopami par gruntsūdens kalkrētiem. Tipiski tie veidojas labi attīstījušos augšņu profilos zem irdenajiem, jau noerodētajiem horizontiem (Candy, Black, 2009). Pedogēno kalkrētu atsevišķa slāņa maksimālais biezums sasniedz 2 m, retāk 5 m, turpretī gruntsūdens kalkrētiem var būt pat vairāk par 10 metriem. Pēc morfoloģiskajām pazīmēm augsnes kalkrētiem raksturīgas kunkuļainas, pizolītu, krītveida kalkrētu formas, kas gruntsūdens dolokrētos trūkst vai sastopamas tikai to pašā augšējā daļā (Chen, 2002).

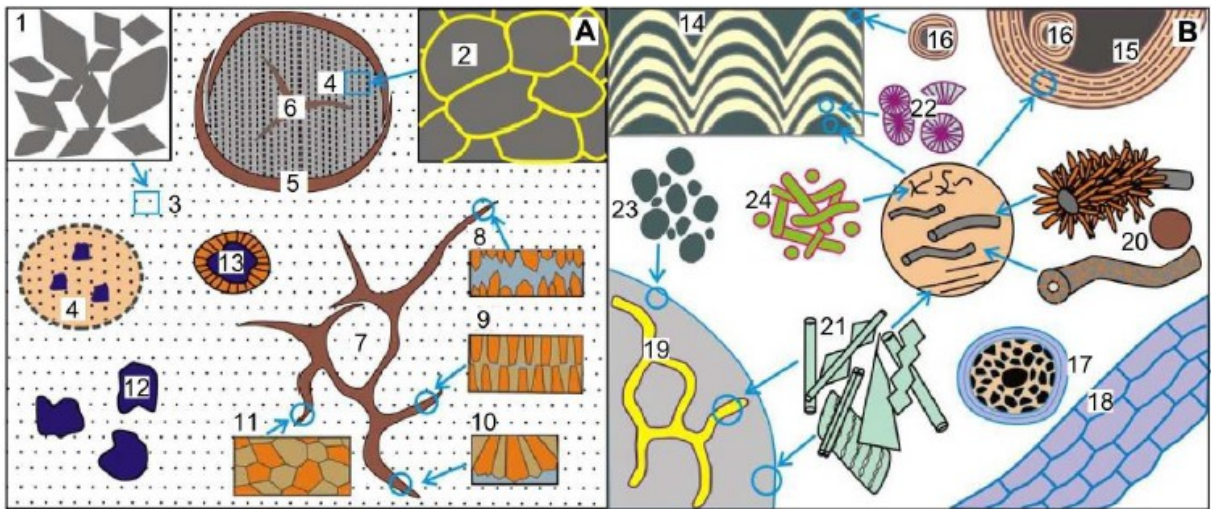
Gruntsūdens kalkrētu veidošanos nosaka relatīvi zems gruntsūdens līmenis, kas izraisa karbonātu izgulsnēšanos ap augu saknēm kapilārās pacelšanās un pazemes ūdeņu piesātinājuma zonā, kurā ūdens plūsmas pārvietojas laterālā virzienā (Alonso-Zarza, 2003). Tie sastopami ap drenāžas apgabaliem un sāls ezeru tuvumā. Mūsdienu gruntsūdens kalkrēti veidojas ūdens līmeņa apgabalos, savukārt senāk veidojušies gruntsūdens kalkrēti atspoguļo seno gruntsūdens līmeni. Silikatizācija ir izplatīta gruntsūdens kalkrētiem. Šis process var norisināties intensīvi, ja silikāti veido slāņmiju ar gruntsūdens kalkrētiem vai laterāli šķērso tos (Chen, 2002).

Gruntsūdens kalkrētiem, salīdzinot ar pedogēnas izcelsmes karbonātu garozām, raksturīgi lielāki kristālu izmēri. Tas skaidrojams ar to, ka gruntsūdens zonā poras ir piesātinātas ar ūdeni, kā rezultātā samazinās kristālu veidošanās ātrums un paildzinās to veidošanās (Wright, 1990).

### **Alfa un beta tekstūras**

Kalkrētu ģenēze var norisināties biogēnos un abiogēnos procesos. Biogēno procesu veidotās tekstūras dēvē par beta ( $\beta$ ) kalkrētiem, savukārt abiogēno – alfa ( $\alpha$ ) kalkrētiem (2.2. attēls).

*2.2. attēls. Alfa (A) un beta (B) kalkrētu tekstūru raksturīgās pazīmes* (Pipira, 2015: pēc Zhou, Chafez, 2009). Apzīmējumi: 1 – idiomorfās līdz hipidiomorfās formas romboedriski kristāli mikrītiskā līdz ļoti smalkkristāliskā pamatmasā; 2 – līdzīga izmēra kristāli ar taisnām vai neregulārām, savstarpēji



saskanīgām robežām mikrītiskā līdz ļoti smalkkristāliskā pamatmasā; 3 – mikrītiskas līdz ļoti smalkkristāliskas pamatmasas masīva tekstūra; 4 – mikrītiskas līdz ļoti smalkkristāliskas pamatmasas brekcijveida tekstūra; 5 – riņķveida žūšanas plaisas; 6 – radiālas žūšanas plaisas; 7 – saliktas (riņķveida un radiālas) žūšanas plaisas; 8 – romboedrisks žūšanas plaisu aizpildošs cements; 9 – “žogveida” žūšanas plaisu aizpildošs cements; 10 - vēdekļveida žūšanas plaisu aizpildošs cements; 11 - vienlaidus žūšanas plaisu aizpildošs cements; 12 – nevienmērīgi izplatīti “peldoši” graudi ar erodētu virsmu; 13 – vainagveida graudu apmales; 14 – stromatolītiem līdzīgas sīkjoslētās jeb laminārās tekstūras; 15 – laminārās tekstūras pizoīdu apmalēs; 16 – pizoīdi vai ooīdi; 17 – augu tekstūras šķērsriezumā; 18 – augu tekstūras garengriezumā; 19 – alveolāro nodalījumu tekstūras; 20 – kalcificētas šķiedras un kalcisfēras; 21 – adatveida kalcīts; 22 – sferolīti; 23 – peloīdi; 24 – mikronūjiņas un nanosfēras (Pipira, 2015: pēc Zhou, Chafez, 2009).

### Alfa kalkrēti

Alfa kalkrētu pamatmasu veido mikrītiski līdz smalkkristāliski karbonāti, kuros atrodas deformēti litoklasti ar to plaisāšanas vai saspiešanas pazīmēm. Smalkkristāliskā matrice liecina par strauju materiāla izgulsnēšanos (Wright, 1990). Alfa kalkrētiem raksturīgas arī žūšanas plaisas un brekcijas. Pēdējās veidojušās intensīvas plaisāšanas rezultātā *in situ*, par ko norāda litoklastu savstarpējā saderība (Chow, Wendte, 2011). Žūšanas plaisu un brekciju attīstību subaerālās atsegšanās laikā nosaka mainīgie mitruma un temperatūras apstākļi, kuru rezultātā ieži saraujas un izplešas (Fu et al., 2004). Žūšanas plaisas dažkārt ir aizpildītas ar kalcītu. Kalkrētu pamatmasā sastopamo karbonātu kunkuļu jeb konkrēciju apveids var liecināt par veidošanās apstākļiem. Neregulāras konkrēcijas norāda par to veidošanos no atmosfēras ūdeņiem, savukārt regulāras norāda uz konkrēciju atrašanos vertikālo sakņu sistēmu ietekmes zonā (Wright, 1990).

Pizoīdu klātbūtne tiek saistīta gan ar biogēnu, gan abiogēnu izcelsmi. Pizoīdi ir apaļi veidojumi ar koncentrisku uzbūvi, kuru diametrs bieži ir lielāks par 2 mm. Veidojumiem

pastāv zināma līdzība ar ooīdiem, tikai ooīdi, kuri diametrā ir no 0,1-1 mm (Wright, Tucker, 2009), veidojušies nevis subaerālos apstākļos, bet ir ciānbaktēriju darbības ietekmē ūdens vidē “apauguši” drupu graudi (Tucker, Wright, 1990). Atšķirībā no oolītiem, pizoīdu forma ir neregulārāka, kuru nosaka kodolā esoša grauda apveids, kā arī aptverošo kārtiņu augšanas īpatnības (Fu et al., 2004). Atsevišķi pizoīdu sakopojumi veido iežus, kurus sauc par pizolītiem. Tie augšņu un pedogēno kalkrētu profilos var veidot atdalītus pizolītu horizontus (Alonso-Zarza, 2003). Pizoīdu grupas, kuras aptver viens apvalks, liecina par subaerāliem apstākļiem un areācijas zonu (Fu et al., 2004).

### **Beta kalkrēti**

Beta kalkrēti visbiežāk veidojušies uz karbonātiskiem cilmiežiem, tiem raksturīgas bioloģiskās aktivitātes pazīmes (Wright, 1990). Pārlicinoši par augsnes ietekmi liecina augu sakņu relikti – rizolīti, kas ir vertikālas vai subvertikālas caurulītes ar diametru no dažiem mm līdz dažiem cm, turklāt to garums var sniegties no centimetriem līdz decimetriem. Rizolīti jeb rizokrēcijas garengriezumā veido iegarenas tekstūras, bet šķērs griezumā – koncentriskas gredzenveida tekstūras (Wright, Tucker, 2009).

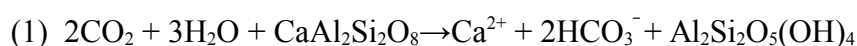
### **Dolokrēti**

Dolokrēti pēc uzbūves un sastāva ir līdzīgi kalkrētiem, kas ir tuvu virszemei arīda vai semiarīda klimata apstākļos veidojušās karbonātu garozas (Alonso-Zarza, 2003), tikai tajos minerāls dolomīts veido vairāk nekā 90% no ieža kopējā minerālā sastāva un  $MgCO_3$  – vairāk par 40% no ķīmiskajiem savienojumiem (Chen et al., 2002).

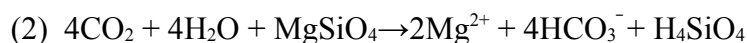
## **2.3. Rizolītu sistēmas**

Sauszemes karbonātu veidošanās tiek saistīta ar vaskulāro augu sakņu sistēmu ietekmi uz silikātu minerālu dēdēšanu. Tiek pieļauta doma, ka vaskulārie augi veicināja silikātu minerālu dēdēšanu, kuras procesā atbrīvojās nozīmīgs daudzums kalcija jonu, nodrošinot karbonātu izgulsnēšanos, sākot no silūra (Berner et al., 2003).

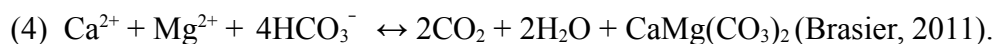
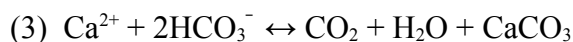
Vaskulārajiem augiem ar rizomiem silūrā un dziļākām sakņu sistēmām devonā (Algeo, Scheckler, 1998) bija noteicošā loma silikātu dēdēšanā, kuras rezultātā tika ietekmēts gruntsūdeņu sastāvs, sākot no silūra perioda un vēlāk. Tas ir iespējams, jo iedarbojoties ķīmiskajai dēdēšanai uz kalcija silikātiem (augu sakņu iedarbība dēdēšanas intensitāti palielina), rodas brīvais kalcijns un bikarbonātu joni (Berner, 1992), piemēram, vienād. (1):



Līdzīgi dēdēšana notiek no magnija silikātiem – rodas bikarbonātu joni un brīvais magnija jons (vienād. (2)):



Silikātu dēdēšanas procesa rezultātā, ko veicina sauszemes augu ekosistēmas, izgulsnējas karbonātu minerāli (vienād. (3) un (4)):



Ja vaskulārie augi izraisīja nozīmīgu silikātu dēdēšanu pēc silūra, ģeoloģiskajā vēsturē jāparādās sekojošām iezīmēm, kas salīdzināmas ar iepriekšējiem periodiem: nomērāma pieaugoša karbonātu izgulsnēšanās (vienād. (3) un (4)), mālu daudzuma palielināšanās (vienād. (1) un (3)) un pazeminājies CO<sub>2</sub> līmenis (vienād. (1) – (4)) (Berner, 1992).

Sakņu tekstūras pēc morfoģenētiskajiem tipiem iedala: 1) morfotipā, kurā tekstūras lielākoties ir horizontālas un 2) morfotipā, kas ietver gan horizontālās, gan vertikālās formas. Abiem morfotipiem raksturīga struktūru sašaurināšanās, pieaugot saknes garumam, kā arī zarošanās. Atzari var būt lineāri vai sinusoidāli (Hillier et al., 2008).

## 2.4. Pedogēno kalkrētu un dolokrētu horizontu uzbūve un veidošanās apstākļi

Pedogēnie kalkrēti veido nodalāmus horizontus kalkrētu profilā (Wright, Tucker, 2009). Pedogēno kalkrētu klasifikācija, kas pamatota uz kalkrētu profilu attīstības teorētiskajiem modeļiem, ir ģenētiska un tā pamatojas uz kalkrētu attīstības pakāpi/briedumu, nevis uz hidroloģisko režīmu (Chen, 2002). Balstoties uz lielu skaita pētījumu, Estebans un Klappa (1983) raksturoja idealizēto kalkrētu profilu (2.3. attēls B), kurš sastāv no sekojošiem horizontiem (Alonso-Zarza, 2010):

1) **cilmieža horizonts** var būt dažāda sastāva, tekstūras un cementācijas pakāpes. Cilmieža caurlaidība un kalcija karbonāta daudzums ietekmē kalkrētu attīstības pakāpi. Nav vērojamas nekādas kalkrētu iezīmes, atšķirībā no augstāk esošajiem horizontiem.

2) **pārejas horizontā** mehānisko, fizikālķīmisko un bioloģisko *in situ* dēdēšanas procesu rezultātā rodas daļēji kalcizitēti nogulumi (Alonso-Zarza, 2003).

3) **krītveida horizonts** sastāv no mikrīta un/vai no smalkkristāliskas matricēs, kas ietver erodētus litoklastus. Šī horizonta tekstūras un struktūras tiecas uz homogenitāti, tomēr sastopamas arī karbonātu konkrēcijas, kas telpiski saistītas ar saknēm.

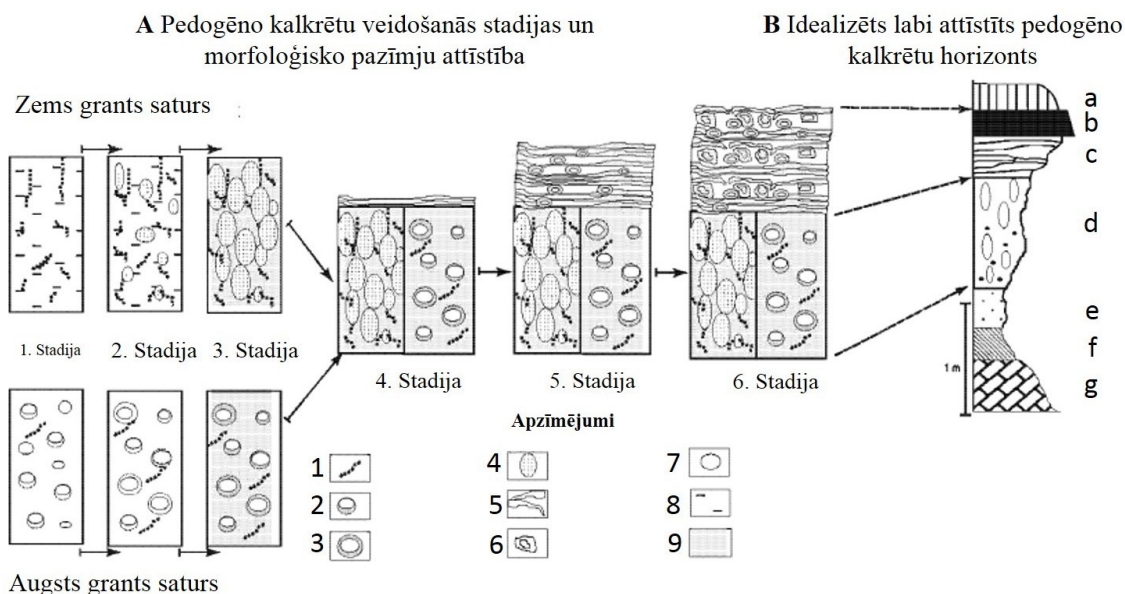
4) **brekčijveida jeb kunkuļainais horizonts** veidojies no pulverveidīgiem līdz sacietējušiem kalcija karbonāta kunkuļiem, kas iekļauti matricē, kurai raksturīgs mazāks karbonātu daudzums. Morfoloģiski karbonātu konkrēcijas variē no vertikālām, horizontālām, neregulārām līdz pat zarotām formām. Gadījumā, kad konkrēcijas ir vertikāli izstieptas, horizontu mēdz dēvēt par “prizmatisko horizontu”. Konkrēcijas sastāv no mikrītā esošiem erodētiem graudiem, kas ir cilmieža relikti. Sastopami arī litoklasti, kuru kodols ir erodēts, bet to ietver koncentriskā karbonātu apmalīte. Karbonātu izgulsnēšanās norisinās zonāli, asociējot ar augu saknēm un mikroorganismiem. Augsnes bioloģiskie komponenti kalcificējas, veidojot rizokrēcijas, kalcificētas šķiedras un konkrēcijas jeb kunkuļus. Vertikālā ūdens kustība un sakņu sistēma palīdz veidoties vertikāli orientētām karbonātu konkrēcijām. Sākotnēji karbonātu kunkuļi ir izkliedēti, bet laika gaitā tie apvienojas un veido brekčijveida jeb kunkuļaino horizontu (2.3. attēls, 1.-3. stadija pēc Machette, 1985).

5) **plātņainais jeb laminārais horizonts** parasti uzguļ brekčijveida horizontam, savukārt virs tā atrodas masīvais horizonts. Gadījumā, kad masīvais horizonts iztrūkst, plātņainais horizonts veido kalkrētu profila virsējo daļu. Laminārajam horizontam raksturīga viļņota, sīkslāņota tekstūra, gar slāņu plaknēm novērojama plaisainība, daudz alveolāro-septālo tekstūru, rizokrēcijas un adatveida kalcīts. Plānās kārtiņas (laminas) sastāv no dažādām mikrotekstūrām, kas ietver mikrītiskas kārtiņas, mikrītiskas kārtiņas ar cauruļveida porām, kārtiņas ar lielu daudzumu alveolāro-septālo tekstūrām, kā arī kārtiņas, kuras iekļauj mikrītu un erodētos litoklastus. Apvienojoties, karbonātu kunkuļi izveido blīvu horizontu, tādēļ sakņu sistēmas nespēj tajā iespiesties. Blīvais horizonts aiztur ūdeni, tas paliek virs kunkuļainā horizonta, apgādājot saknes vairāk ar ūdeni, līdz ar to, nodrošinot to laterālu izplešanos (2.3. attēls, 4. un 5. stadija pēc Machette, 1985).

6) **cietais jeb masīvais (*hardpan*) horizonts** labi attīstītos kalkrētu profilos parasti ir noslēdzošais augšējais horizonts. Tas ir labi sacietējis, ar zemu porainību. Makroskopiski horizontā novērojamās tekstūras ir masīvas, plākšņainas vai kunkuļainas. Horizonts parasti veidojas no mikrītā esošajiem erozijas skartajiem litoklastiem, reti – no graudiem ar karbonātu apmalītēm. Var būt sastopami mikrītiski lamināri slāņīši. Bieži masīvie horizonti lielākoties ir plaisaini un brekčizējušies, sekojoši tiek izdalīts brekčiju horizonts (2.3. attēls, 5. un 6. stadija pēc Machette, 1985). Horizontam raksturīga krasi nodalīta augšējā robeža, savukārt apakšējā robeža ir pakāpeniska (Wright, Tucker, 2009).

7) **pizolītu horizontu** veido smilts un grants izmēra litoklasti, kurus apliec sīkslāņots (laminārs) mikrīts, tie ir izplatīti kalkrētos, kas veidojušies uz rupjgraudaina cilmieža. Mikrītiskās kārtiņas var ietvert visu drupu graudu vai tikai tā apakšējo malu. Kārtiņas

(laminas) veido blīvs mikrīts, mikrīts ar alveolu-septu tekstūrām un/vai ļoti smalkkristālisks kalcīts. Pizolītu horizonti parasti veido kalkrētu profilu augšējo daļu.



**2.3. attēls. Pedogēno kalkrētu veidošanās stadijas** (pārveidojusi Alonso-Zarza, 2003; tulkojusi autore: (A) pēc Machette, 1985 un (B) Shematiski idealizētā augsnes profila (Esteban and Klappa, 1983)).

Apzīmējumi: 1 - mikrītiska šķiedra; 2 - apmales graudu apakšējā daļā; 3 - koncentriskas apmales ap visu graudu; 4 - karbonātu konkrēcijas; 5 - sīkjoslota tekstūra; 6 - koncentriskas apmales ap kalkrētu fragmentiem; 7 - grants saturs >50% cilmiezī; 8 - grants saturs <20% cilmiezī; 9 - karbonātiska pamatmasa; a - aktīvā augsnes zona; b - masīvais horizonts; c - plātņainais horizonts; d - brekčijveida jeb kunkuļainais horizonts; e - krītveida horizonts; f - pārejas horizonts; g – cilmiezis.

### 3. LATVIJAS DEVONA NOGULUMOS SASTOPAMO DOLOKRĒTU LĪDZŠINĒJO PĒTĪJUMU REZULTĀTI

Pēdējos gados Latvijā sastopamo dolokrētu pētījumi kļuvuši populāri (Stinkulis, 2004; Stinkulis, 2006; Stinkulis, Spruženiece, 2011; Jurševska, 2015; Pipira, 2015; u.c.), šie karbonātiskie veidojumi ir konstatēti gan apakšējā, gan vidējā un augšējā devonā, kas liecina par to plašo izplatību Latvijā (Stinkulis, 2008). Karbonātu garozu (š.g. dolokrētu) pētījumi ir nozīmīgi, jo to klātbūtne liecina par subaerālās atsegšanās apstākļiem dažādos devona perioda laikposmos (Pipira, Stinkulis, 2014) un sniedz informāciju par sedimentācijas baseina attīstību devonā. Veiksmīgas slāņkopu ar dolomīta ieslēgumiem korelācijas gadījumā var secināt par liela mēroga jūras regresijām un būtiskiem sedimentācijas pārtraukumiem, piemēram, starp Amatas un Pļaviņu laikposmiem (Stinkulis, 2006). Latvijas devona klastiskajos nogulumos raksturīgi karbonātu ieslēgumi – cements, dzīslas un to dzīslaini un šūnveidīgi agregāti. (Stinkulis, 2006). Tālāk minētie dolokrētu pētījumi Latvijā ietver visas trīs devona epohas un vairākus laikposmus tajās.

#### 3.1. Apakšējais devons

##### **Gargždu sērija**

Apakšējā devonā Gargždu sērijas subaerālās atsegšanās pazīmes pētījis U. Kļaviņš (Kļaviņš, 2009). Pētītie paraugi ņemti no Katlakalna urbumu seržu glabātuves urbuma “Atašiene-9”. Virkne pazīmju ļauj spriest, ka Gargždu sērijā sastopamie karbonātiskie veidojumi ir dolokrēti: drupu graudi ar šķīšanas pazīmēm, atkārtoti pārkristalizēti vai cementēti dolomīta veidojumi; dolomīta dzīslas, kas cauraugušas māla saveltņus; subvertikālas plaisas dolomītā; karbonātiski litoklasti dzīslās.

#### 3.2. Vidējais devons

##### **Arukilas svīta**

Arukilas svītas dolokrētiem raksturīgas mikrītiskas dolomīta dzīslas māla saveltņos, kā arī pārgulsnētas karbonātiskas konkrēcijas, kuru pamatmasā sastopamas mikrītiska dolomīta

dzīslas (Kļaviņš, 2009), kuru kristālu lielums norāda par ātru kristalizēšanos, kas raksturīga areācijas zonai (Wright, 1990).

## **Burtnieku svīta**

Burtnieku svītas mālainā slāņkopā Veczemju klintīs sastopamas dolokrētu konkrēcijas ar subvertikālu V-veida formu. Virzienā uz slāņkopas augšu konkrēciju izplatības biežums palielinās un tās aizvien vairāk saskaras gan vertikālā, gan horizontālā virzienā (Pipira, Stinkulis, 2014). Iepriekšminētās konkrēciju pazīmes raksturīgas vaskulāro sakņu sistēmu reliktiem (Tabor *et al.* 2011). Šīm konkrēcijām novērota arī riņķveida plaisāšana, liecinot par augšņu procesos izveidojušos karbonātu garozu (Theriault, Desrochers, 1993).

U. Kļaviņa (Kļaviņš, 2009) pētītajā atsegumā pie Ežurgu mājām sastopamas plātņveida smilšakmens konkrēcijas ar karbonātu cementu, kuru izmērs sasniedz 15 cm biezumu un līdz 2 m garumu. Plātņveida konkrēcijām raksturīga joslaina tekstūra to virsējā daļā. Pēc U. Kļaviņa domām (2009), šīs konkrēcijas ir gruntsūdens dolokrēti, kas veidojušās ūdens laterālo plūsmu rezultātā.

### **3.3. Augšējais devons**

#### **Amatas svīta**

Amatas svītas augšējā daļā palielinās dolomītisko ieslēgumu daudzums, veidojot monolītas garozas. Karbonātu sakopojumu koncentrēšanās ne vienmēr ir saistīta ar noteiktām devona stratigrāfiskām robežām, tie mēdz veidot noteiktus intervālus to iekšējā uzbūvē (Stinkulis, 2006).

D. Pipira un Ģ. Stinkulis (Pipira, Stinkulis, 2014) veikuši dolomītisko garozu izcelsmes pētījumus Amatas svītas klastiskajos nogulumos. Pētījumi veikti Vizulu iezī Amatas svītas nogulumos pie Amatas upes, atsegumos gravās uz austrumiem no Siguldas un atsegumos pie Riežupes upes. Tika veikta atsegumos sastopamo dolokrētu minerālā sastāva, struktūras un mikrotekstūras izpēte. Amatas svītā tika dokumentēti sekojošas dolomītisko garozu tipu pazīmes: masīvs, kunkuļains, dzīslains, šūnveida, *in situ* brekčijas dolokrēts, kā arī mikrokarsta pazīmes.

D. Pipira (Pipira, 2015) pētītajā Amatas svītas griezuma apakšējā daļā Vizulu iezī dokumentējusi smilšakmeņus cementējošus dolomīta veidojumus, kas ir plātnītes un lēcveida ķermeņi. Minēto veidojumu orientācija pārsvarā ir subhorizontāla vai slīpslāņojuma virzienā. Atseguma apakšējā daļā dolomīta cements veido arī dzīslveida struktūras, kas ir saistītas ar žūšanas plaisām. Apakšējos smilšakmens slāņos cementācijas pakāpe ir vājāka nekā griezuma vidusdaļā, kur smilšakmens ir masīvs un ar augstu mehānisko izturību. Vizulu iezī konstatēti

dolokrētu paveidi, kas norāda par to veidošanos tuvu virszemei. Tie ir brekčijveida, plātņveida un masīvie dolokrēti. Svarīgi atzīmēt, ka brekčijveida dolokrētus nomaina plātņveida un masīvie dolokrēti, kas atbilst idealizētajam pedogēno dolokrētu veidošanās profilam (aprakstīts D. Pipiras darba (2015) 2.4. nodaļā un attēlots 2.4. attēlā pēc Machette, 1985). D. Pipira savā promocijas darbā (Pipira, 2015), izmantojot gan dolomīta veidojumu uzbūves pētījumus, gan skābekļa un oglekļa stabilo izotopu metodes, ir atklājusi divus subaerālās atsegšanās līmeņus Amatas svītas augšējā daļā.

Ar Amatas svītas dolokrētu izpēti saistās vidusdevona Gaujas svītas un augšdevona Amatas svītas robežas noteikšana, kas Baltijas valstīs ir problemātiska. Mugurkaulnieku un miosporu analīžu dati skaidri pierāda Gaujas svītas atbilstību Živetas stāvam, kā arī Pļaviņu svītas atbilstību Franas stāvam (Lukševičs, 1996; Mark-Kurik *et al.*, 1999). Par Amatas svītas atrašanās vietu ģeoloģiskajā griezumā notiek diskusija. Pētījumā dokumentētie Amatas svītas dolokrēti norāda par diezgan ilgstošām un atkārtotām subaerālās atsegšanās epizodēm, kas varētu būt arguments robežas novilkšanai starp vidusdevonu un augšdevonu (Pipira, Stinkulis, 2014).

### **Katlešu svīta**

Katlešu un Ogres svītā ir sastopami karbonātiežu slāņi, tomēr lielāko vairumu veido klastiskais materiāls. Karbonātisko nogulumu attiecības ar smilšainajiem un mālainajiem nogulumiem palīdz analizēt karbonātu veidošanās secību (Stinkulis, Petrikas, 2011).

Dolokrēti veido Katlešu svītas augšējo daļu, pārsedzot mālainos nogulumus. Katlešu svītas nogulumu ir visai dažādi – no mālaini aleirītiskiem līdz smilšainiem ar dolomīta cementu. Nogulumiem, līdzīgi kā Amatas svītas Vizuļu iezī, raksturīga dzīslaina tekstūra, kas attīstījusies žūšanas plaisu dēļ. Šāda veida masīvu dolokrētu horizontu attīstība var liecināt, ka tie ir gruntsūdens dolokrēti, kas veidojušies ūdens piesātinājuma zonā (Pipira, Stinkulis, 2014). Nogulumos esošās plaisas un poras aizpildījis sekundārais kalcīts vēlākos pēcsedimentācijas procesos (Meire-Kārkle, 2015).

A. Petrikas (Petrikas, 2011) veiktajā pētījumā noskaidrots, ka Kupravas ridas nogulumos sastopams smalk- līdz vidējkristāliska dolomīta lēcveida ķermeņi, kura smilts un aleirīta piejaukumi veido 5-10% no materiāla sastāva, nevis tas ir smilšakmens ar karbonātu piejaukumu, kā tika uzskatīts agrāk (Kuršs, Stinkule, 1997). Masīvā dolomīta garozas biežums ir līdz 1 m ar izplatības laukumu ap 3000 m<sup>2</sup>.

Kupravas ridas dolokrētos raksturīgas sekojošas iezīmes: neregulāra uzbūve, reti ieapaļi iecirkņi – nepārliecinoši pizolīti (Petrikas, 2011), graudus apliecošās plaisas, karbonātu

kunkuļi, subvertikālas plaisas pildītas ar sekundāro kalcītu, rizolīti, žūšanas plaisas. Subvertikālās un iegarenās plaisas, kas daļēji pildītas ar mālu, norāda par ūdens pārvietošanos vertikālā virzienā, liecinot par aerācijas zonas klātbūtni (Meire-Kārkle, 2015). Iepriekšējie pētījumi norāda, ka Kupravas ridas dolokrētiem raksturīga daudzveidīga uzbūve un tie ir perspektīvi turpmākiem detalizētiem to veidošanās apstākļu pētījumiem.

### **Šķerveļa svīta**

Šķerveļa svītas Nīkrāces ridas nogulumu detalizēti pētījumi veikti Lētīžas grīvas atsegumā. Par karbonātu garozu veidošanos un pēcsedimentācijas izmaiņām, kas notikušas arīda klimata apstākļos devona baseina regresijas laikā, liecina pizolīti ar tiltveida cementu, nokarenā šūnveida kavernu forma, šūnveida uzbūve, neregulārais dolomīta slāņojums, māla minerāls paligorskīts, krama piejaukums, pizolīti ar gradācijas slāņojumu, lamināro garoziņu neregulārā augšējā un regulārā apakšējā daļa (Stinkulis u.c., 2007). Minētās pazīmes ir plaši sastopamas, liecinot par dolokrētu veidošanos subaerālos apstākļos arīdā klimatā. Nogulumu tekstūras atbilst alfa kalkrētiem (Tucker, Wright, 1990; 2.1. attēls), kuru raksturīgajā mikrītiskajā masā sastopami lieli dolomitizēti kalcīta romboedri (Stinkulis u.c., 2007). Šķerveļa svītas dolokrētos konstatētas arī sīkjosloto dolokrētu pazīmes (Pipira, Stinkulis, 2014). Šādi dolokrēti sastāv no daudzām sīkām dolomīta josliņām, kas ir dažu milimetru biezas, tos uzskata par tipiskiem augšņu veidojumiem (Wright, Tucker, 2009). Pastāv iespējamība, ka Nīkrāces rida, kas ir Šķerveļa svītas augšējā daļa, ir vienota karbonātu garoza (Stinkulis, 2006). Detalizēti Šķerveļa svītas dolokrētu pētījumi, izmantojot litoloģiskus kritērijus, mikroelementu ģeoķīmijas, stabilo izotopu analīzes un skenējošās elektronu mikroskopijas metodes, ir veikti D. Pipiras promocijas darbā. Viņa ir nodalījusi 4 dolokrētu attīstības stadijas, katrā no kurām ir notikušas klimata izmaiņas no humīdāka uz arīdāku, kas ietekmēja dolokrētu paveidu izplatību, iežu struktūras un tekstūras, kā arī stabilo izotopu signālus un citus ģeoķīmiskos parametrus (Pipira, 2015).

## 4. MATERIĀLI UN METODES

Bakalaura darba izstrādes gaitā tika realizētas sekojošas pētniecības stadijas: literatūras analīze, lauka darbi, laboratorijas darbi un kamerālie darbi.

**Literatūras apskata stadijā** tika lasīta un apkopota ģeoloģiskā literatūra par Katlešu svītu Latvijā un informācija par iepriekš veiktajiem dolokrētu pētījumiem Latvijā. Lai atrastu informāciju par karbonātu garozu, to veidošanos un vertikālās zonalitātes pētījumiem, tika izmantota datu bāze *Science Direct*, kas pieejama LU mājas lapā.

**Lauka darbu** stadijā 2015. gada oktobrī tika apmeklēts Kupravas māla karjers Viļakas novadā. Kopā tika sastādīti četri griezumi – trīs Kupravas karjera dienvidu sienas atsegumā, ceturtais - dolokrētu un klastisko nogulumu atsegumā gravā. Griezumi izvēlēti tā, lai no tiem pa vertikāli būtu iespējams noņemt vismaz 5 paraugus vertikālās zonalitātes pētījumiem. Kopumā tika noņemti 30 paraugi tālākai pieslīpējumu un plānslīpējumu izgatavošanai, atzīmējot paraugu noņemšanas vietas un to orientāciju. Paraugi tika numurēti ar 2 cipariem un vienu mazo burtu (ja paraugam ir divas daļas), piemēram, 1.1. vai 1.3. a., pirmais cipars – atseguma nr., otrais cipars – parauga nr., burts norāda parauga augšu (a) vai apakšu (b). Atsegumi tika nofotografēti, kā arī fiksētas to atrašanās vietas koordinātas ar Garmin Dakota 20 GPS uztvērēju (5.1. tabula).

5.1. tabula.

### Ģeoloģisko griezumu GPS koordinātas (Latvija92 LKS)

	x	y
<b>1. griezums</b>	708297.9	345003.2
<b>2. griezums</b>	708307.7	345005.8
<b>3. griezums</b>	708309.3	345012.7
<b>4. griezums</b>	708375.7	344993.9

LU ĢZZF Iežu pētījumu laboratorijā tika veikti nepieciešamie **laboratorijas darbi** iežu iekšējās uzbūves raksturošanai. Laboratorijas darbi iekļauj plānslīpējumu izgatavošanas un to fotografēšanas procesu.

Ievāktie paraugi, ievērojot to orientāciju, vispirms tika pārzāģēti uz pusēm ar zāģi *Metkon Geocut*, iegūstot maksimāli lielu plakni, lai efektīvāk raksturotu makroparaugos redzamās tekstūras, tad skenēti ar ierīci HP Scanjet 4570c. Plānslīpējumiem paraugi tika sazāģēti ar zāģēšanas iekārtu *Metkon Micracut* taisnstūra paralēlskaldņos aptuveni 4 cm platumā, 6 cm garumā un 5 cm biezumā. Šādi parametri ir optimāli. Plānāka iežu plāksnīte varētu salūzt.

Iežu paraugus kavernoziātes un plaisainības dēļ nepieciešams impregnēt, lai novērstu to drupšanu plānslīpējumu izgatavošanas procesā. Impregnēšanas šķīdums sastāv no epoksīda sveķiem un cietinātāja. Epoksīda sveķu un cietinātāja masas attiecības ir 10:1. Impregnēšanas šķīdums iežu neviendabības un mālainā materiāla piejaukuma dēļ tika atšķaidīts ar 30-40% acetona, paraugu maksimālais cietēšanas laiks ir divas nedēļas.

Pēc impregnēšanas paraugam nepieciešams noslīpēt vienu pusi, lai tā būtu gluda un to varētu pielīmēt pie priekšmetstikliņa. Slīpēšana tika veikta, lietojot automātisko slīpēšanas ripu *Logitech PM5*, kā arī manuāli slīpējot ar roku – uz stikla plāksnītes, kurai uzbērts smalks korunda pulveris. Pirms paraugu slīpēšanas slīpripu nepieciešams kalibrēt, lai tās izliekums un ieliekums būtu vienāds ar nulli. Tālākā procesā izmantots abrazīvais materiāls, kas ir 600 gritu silīcija karbīda pulveris, kas tiek sajaukts ar ūdeni masas daļās 1:10. Abrazīvais materiāls visu slīpēšanas laiku tiek pievadīts uz slīpripas, kuras ātrums slīpēšanas laikā ir 70 apgriezieni minūtē. Slīpēšanas ilgums parasti ir no 15 līdz 30 minūtēm.

Noslīpētie paraugi jeb pieslīpējumi tika ieskenēti tālākai mezomēroga analīzei, lai pētītu nogulumieža tekstūru, jo bieži pieslīpējumu virsmā redzamās tekstūras plānslīpējuma izstrādes procesā pazūd. Pieslīpējumi būtiski palīdz analizēt plānslīpējumus. Skenēšana tika veikta ar skeneri HP Scanjet 4570c.

Tālākā darba izstrādes gaitā nepieciešams izvēlēties priekšmetstikliņus. Priekšmetstikliņu izmēri ir 30x45 mm vai 45x60 mm lieli. Būtiski, lai stikliņu biezumi būtu aptuveni vienādi, tādējādi novēršot kāda parauga sadrupšanu vai nepilnīgu noslīpēšanu. Izvēlēto priekšmetstikliņu viena puse tika noslīpēta uz automātiskās slīpēšanas ripas *Logitech PM5*, lai atvieglotu paraugu pielīmēšanu pie stikliņa. Tālākā procesā tika izgatavots līmes šķīdums, kas sastāv no 25 daļām epoksīda sveķiem un 3 daļām cietinātāja. Šķīdumu sajaucot, tas jāmaisā tik ilgi, kamēr pazūd gaisa burbuļi. Būtiski ir līmējamo virsmu notīrīt acetona šķīdumā, lai atvieglotu salīpšanu. Sagatavotā līme uzmanīgi jāuzklāj uz parauga un jāpielīmē priekšmetstikliņš. Svarīgi ir uzmanīt, lai starp priekšmetstikliņu un iežu plāksnīti nebūtu gaisa burbuļi, kas traucē plānslīpējuma izpēti mikroskopā. Salīmētos paraugus nepieciešams vienu diennakti turēt zem sloga.

Tālākā plānslīpējumu gatavošanas procesā ar zāģi paraugiem nozāģē iežu plāksnītes līdz aptuveni 2-3 mm biezumam. Pēc tam uz slīpēšanas iekārtas sagatavotos paraugus slīpē, līdz iegūst vajadzīgo plānslīpējuma biezumu – aptuveni 0,03 mm.

Iežu karbonātiskuma dēļ plānslīpējuma paraugi tika krāsoti ar alizarīna-S šķīdumu sālskābē, kas sastāv no 20 ml H<sub>2</sub>O, 1 ml 0,5% HCl un 0,04 g alizarīna-S. Lai nokrāsotu paraugu, uz tā jāuzpilina dažas pīles vielas, to uzklājot uz parauga virsmas un pēc ~20 s uzmanīgi jānoskalo zem tekoša ūdens strūkļas. Alizarīna-S šķīdums kalcīta kristālus iekrāso

rozā līdz sarkanai krāsai, tādēļ tos iespējams atšķirt no dolomīta kristāliem, kas paliek neiekrāsoti. Plānslīpējumi tika pētīti un fotografēti ar polarizācijas mikroskopa *Leica DM 4500P*, kas savienots ar digitālo kameru *Leica DFC 495*.

Plānslīpējumu apraksta veikšanā drupiežu izmēri noteikti, lietojot Adena-Ventvorsa (Udden-Wentworth) klasifikāciju (Tucker, 1991), savukārt karbonātiežu kristālu izmēri noteikti, pamatojoties uz Latvijā pieņemto klasifikāciju (Gailīte u.c., 1996).

Šī bakalaura darba izstrādei, autore izgatavoja un dokumentēja 33 dolokrētu pieslīpējumus un 23 plānslīpējumus.

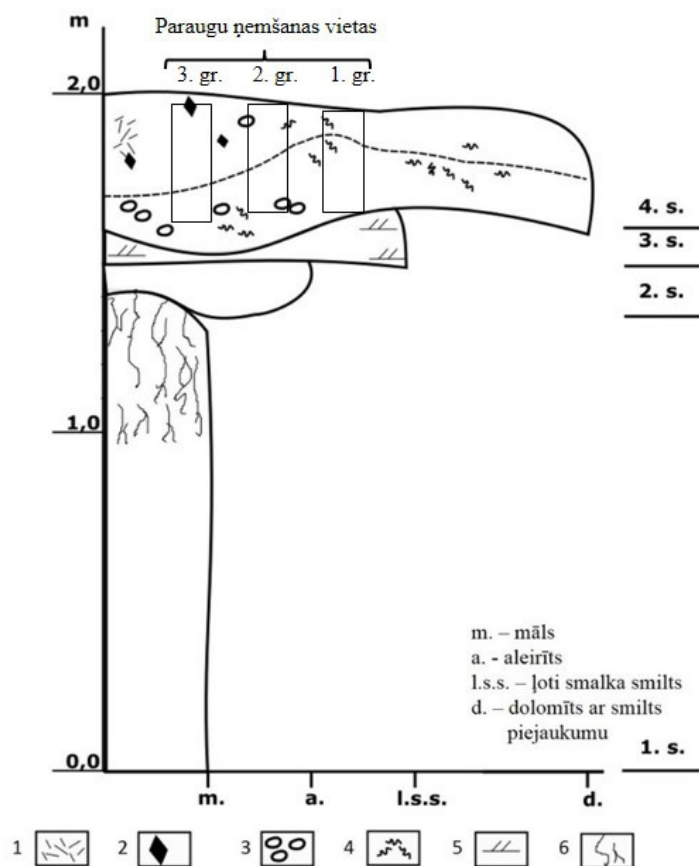
**Kamerālie darbi** ietver lauka un laboratorijas darbos iegūtās informācijas apstrādi un vizualizēšanu. Lauka darbos uzzīmētie griezumī tika zīmēti programmā *Inkscape*. Attēlu apstrādes programma *GIMP* tika lietota attēlu noformēšanai. Kartes veidošanai, kas raksturo pētījuma vietas novietojumu, tika lietota datorprogramma *Quantum GIS*.

## 5. REZULTĀTI UN TO INTERPRETĀCIJA

Nodaļā sniegts četru sastādīto ģeoloģisko griezumu apraksts un interpretācija pēc makroparaugu tekstūru un plānslīpējumu rezultātiem. Pētītajos griezumos atzīmētas subaerālo apstākļu pazīmes, kā arī analizēta griezumu vertikālā zonalitāte un nodalīto zonu iespējamā korelācija. Noslēgumā interpretēti iespējamie dolokrētu veidošanās apstākļi.

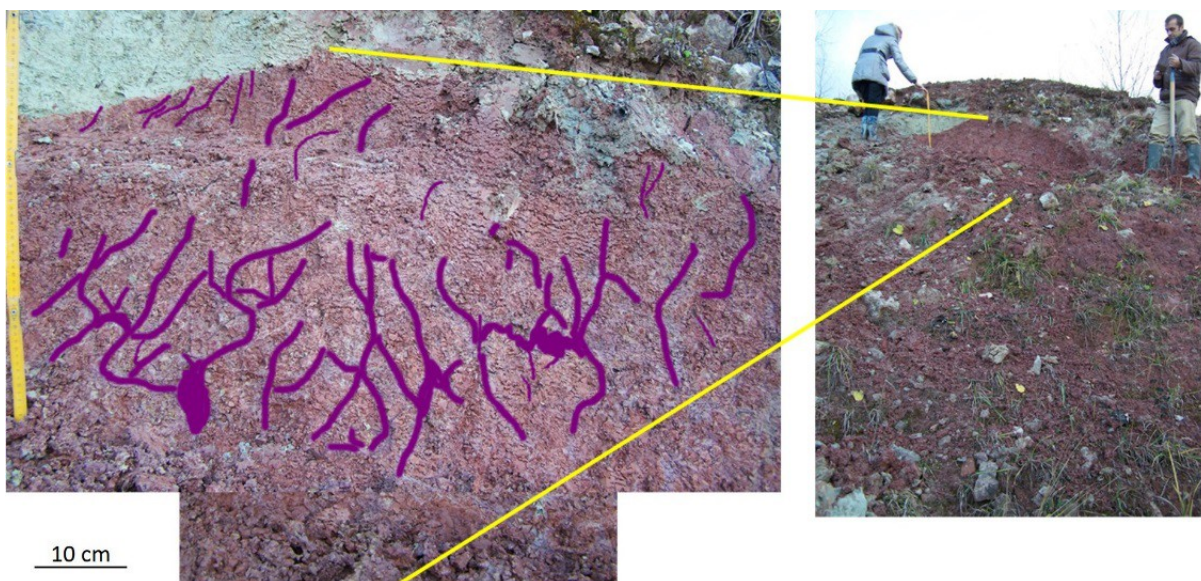
### 5.1. Kupravas karjera dienvidu sienas atseguma uzbūve

Kupravas karjera dienvidu sienas griezuma (5.1. attēls) apakšējo daļu veido mālaini nogulumumi, vidusdaļu klastiskie nogulumumi – aleirīts un ļoti smalka smilts, bet augšējo daļu – masīvs dolomīts – dolokrēts (Petrikas, 2009; Meire-Kārkle, 2015). Atsegumā nodalīti četri slāņi, kas zemāk raksturoti virzienā no lejas uz augšu.



5.1. attēls. Kupravas karjera dienvidu sienas atseguma ģeoloģiskais griezums ar atzīmētām paraugu ņemšanas vietām (pārveidojusi autore: pēc Meire-Kārkle, 2015). Apzīmējumi: 1 – zarotas kavernas; 2 – kavernas ar sekundāro kalcītu; 3 – tukšas kavernas; 4 – kavernas ar māla aizpildījumu; 5 – straumju ripsnojums; 6 – dzīslu tekstūras.

1. slānis: 0,0-1,4 m. Māls ar izteiktu sarkanīgu nokrāsu. Slāni caurvij 2–5 cm platas zarotas dzīslas violetā krāsā, kā arī līdz 3 mm dzīslas gaiši pelēcīgā krāsā (5.2. attēls). Dzīslainie veidojumi atgādina sakņu struktūras, kas savienotas savā starpā un zarojas. No lielāka izmēra dzīslām atdalās mazāka izmēra dzīslas.



5.2. attēls. Dzīslu tekstūras mālainajos nogulumos (pārveidojusi autore: pēc Meire-Kārkle, 2015).

D. Pipiras foto.

2. slānis: 1,4-1,5 m. Aleirīts gaiši pelēks ar māla un smilts piejaukumu. Atsevišķos laukumos sastopami karbonātu ieslēgumi.

3. slānis: 1,5-1,6 m. Smilts gaiši pelēka, ļoti smalkgraudaina. Novērojamas straumju ripsnojuma slāņojuma pazīmes. Māla un vizlas materiāls uz sīkajiem ripsnojuma slāņiem tiem piešķir zaļganīgu nokrāsu.

4. slānis: 1,6-2,0 m. Dolomīts masīvs, neviendabīgas uzbūves. Šo griezuma augšējo slāni veido līdz pusmetram biezi dolomīta bloki - dolokrēti (5.3. attēls) ar ļoti smalkgraudainas smilts piejaukumu.

Dolokrētu slāņa augšējā daļa pretēji apakšējai ir samērā regulāra, bet krāsa – no baltas līdz gaiši pelēkai. Neregulāri izplatītas līdz 5 cm lielas tukšas kavernas, kā arī kavernas ar sekundārā calcīta vai māla aizpildījumu. Sastopamas arī 2-3 mm lielas zarotas kavernas. Blīvajā dolomīta pamatmasā sastopami mazāk blīvi dolomīta laukumi ar māla piejaukumu, kā arī dolomīta cementā ietverti zaļganpelēki, stipri mālaini iecirkņi.

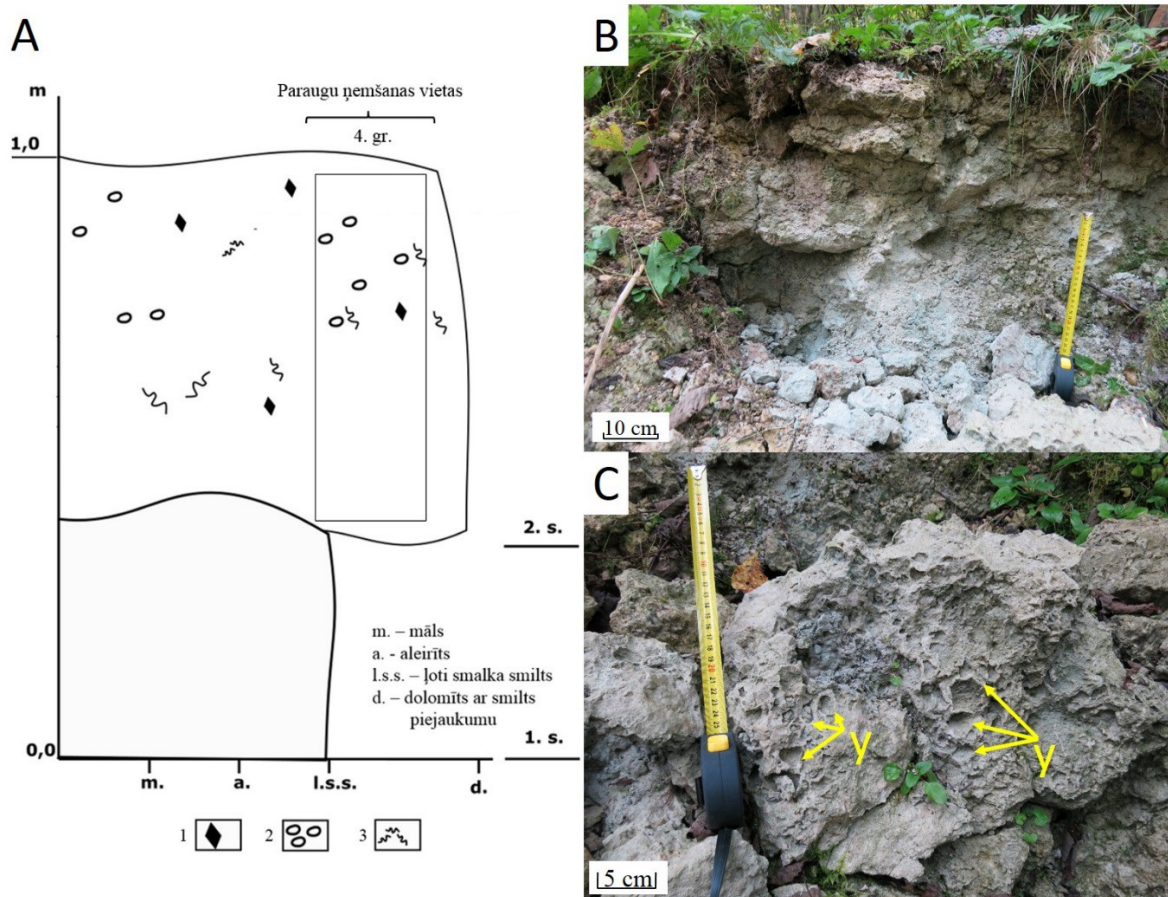


5.3. attēls. Masīvs dolokrētu slānis Kupravas karjera dienvidu sienas atseguma augšējā daļā – 4. slānī. Ģ. Stinkuļa foto.

## 5.2. Dolokrētu un klastisko nogulumu atseguma gravā uzbūve

Otra dolokrētu un klastisko nogulumu atseguma (5.4. A attēls) apakšējo daļu veido smilšaini nogulumi, augšējā daļa sastāv no dolokrēta. Atsegumā nodalīti divi slāņi, kas zemāk raksturoti virzienā no lejas uz augšu.

1. slānis: 0,0-0,4 m: smilts ļoti smalkgraudaina, ar ievērojamu māla un aleirīta saturu.
2. slānis: 0,4-1,0 m. Dolomīts neviendabīgs. Šis slānis tiek interpretēts kā dolokrēts (5.4. B attēls), 60 cm biezs. Veidojuma uzbūve neviendabīga – blīvs dolomīts mijas ar mazāk blīvu mālainu dolomītu. Vietām sastopami mālaina aleirīta ieslēgumi. Dolokrēta apakšējā daļā vērojamas šūnveida tekstūras (5.4. C attēls). Šūnu pildījumu veido mālains materiāls, savukārt apmales veidotas no dolomīta cementa. Iezis ir kavernozs. Kavernas ir tukšas, pildītas ar sekundāro kalcītu vai mālu.



5.4. attēls. (A) Dolokrētu un klastisko nogulumu ģeoloģiskais griezumā gravā ar atzīmētām paraugu ņemšanas vietām (pārveidojusi autore: pēc Meire-Kārkle, 2015); (B) dolokrēta atsegums gravā; (C) šūnveida tekstūras. Ģ. Stinkuļa foto. Apzīmējumi: 1 – kavernas ar sekundāro kalcītu; 2 – tukšas kavernas; 3 – kavernas ar māla aizpildījumu; y – atsevišķas šūnas.

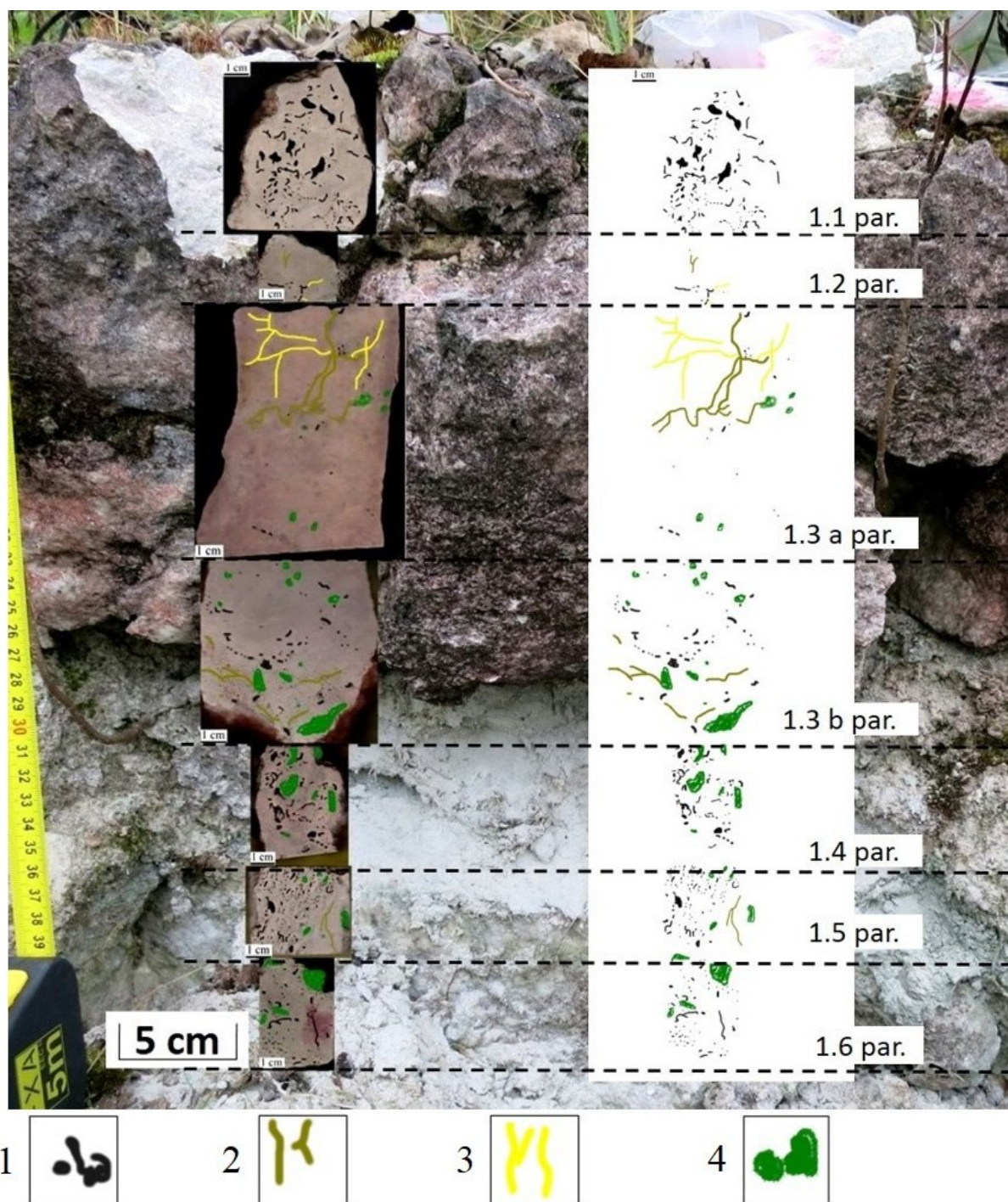
### 5.3. Ģeoloģisko griezumu uzbūve pēc makroparaugu un plānslīpējumu rezultātiem

Nodaļā detalizēti apskatīti četri pētītie griezumi, tos analizējot pēc makroparaugu tekstūru un plānslīpējumu pētījumiem. Trīs griezumi sastādīti Kupravas karjera dienvidu sienas atsegumā (5.5., 5.8., 5.13. attēls), savukārt, pēdējais sastādīts dolokrētu un klastisko nogulumu atsegumā gravā (5.17. attēls). Griezumu atrašanās vietas pēc GPS koordinātām uzrādītas 5.1. tabulā.

Dolokrētu griezumos attēlotas sekojošas makroparaugu tekstūras: tukšas kavernas; mālainie laukumi; mālainas dzīslas; plankumaina tekstūra; gaišas dzīslas; karbonātu kunkuļi un sekundārā kalcīta dzīslas.

## 1. griezumš

Kopumā griezumā var nodalīt vairākas zonas: **mālaino kavernošo** (1.6. – 1.4. paraugs), **pārejas starp mālaino kavernošo un masīvo** (1.3. b paraugs), **masīvo** (1.3. a – 1.2. paraugs) un **kavernošo** (1.1. paraugs).



5.5. attēls. Pirmais griezumš ar iezīmētām makroparaugu tekstūrām (autoreš veidots).

Apzīmējumi: 1 – tukšas kavernas; 2 – mālainas dzīslas; 3 – gaišas dzīslas; 4 – mālainie laukumi.

Griezuma apakšējā daļa ir izteikti mālaināka. Mālaine iecirkņi (10%) asociē ar kavernozajiem laukumiem (15%), kas vietām paliek stipri poraini. Mālaino laukumu izmēri pārsvarā ir no 0,3 līdz 2 cm.

Griezuma vidusdaļā dolomīts ir masīvs ar gaišākām dolomīta dzīslām, kā arī ar mālainām dzīslām. Mālaine laukumi aizņem salīdzinoši nedaudz ~1%.

Mālainais materiāls griezuma augšējā daļā nav konstatēts, turklāt tur strauji pieaug kavernozaite (1.1. paraugā). Atšķirībā no apakšējās daļas, kavernozaie laukumi nav izvietoti asociācijā ar mālainajiem iecirkņiem.

Dzīslaine veidojumi lielākoties ieņem subvertikālu pozīciju. Mālainās dzīslas salīdzinot, ar gaišajām ir biežākas: 0,5–2 mm. Tādā pašā līmenī tiecas orientēties arī kavernas. Ap mālainajiem laukumiem nereti izvietojušās daļēji apliecošas plaisas (1.4. paraugā).

#### **1.6. paraugs**

Makroparauga pamatmasu veido pelēcīgi gaišs dolomīts, kas ieža vidusdaļā ir blīvāks nekā virzienā uz parauga malu. Iezi šķērso ap 2 cm gara un 0,06 cm plata subvertikāla kaverna. Vērojami atsevišķi mālaine zaļganpelēki laukumi. Iezis kavernoza. Kavernu izmēri variē no 0,6 līdz 1 mm. Kavernas aizņem 5% ieža platības.

#### **1.5. paraugs**

Iezis ir neviendabīgs. Viena parauga mala ir blīva, bet otrajā pa diagonāli sargrupējušās līdz 3 mm lielas kavernas. Kavernas aizņem 15% ieža. Atsevišķi izplatīti mālaine laukumi. Vienā parauga malā redzama subvertikāla 2 cm gara mālaine dzīsla.

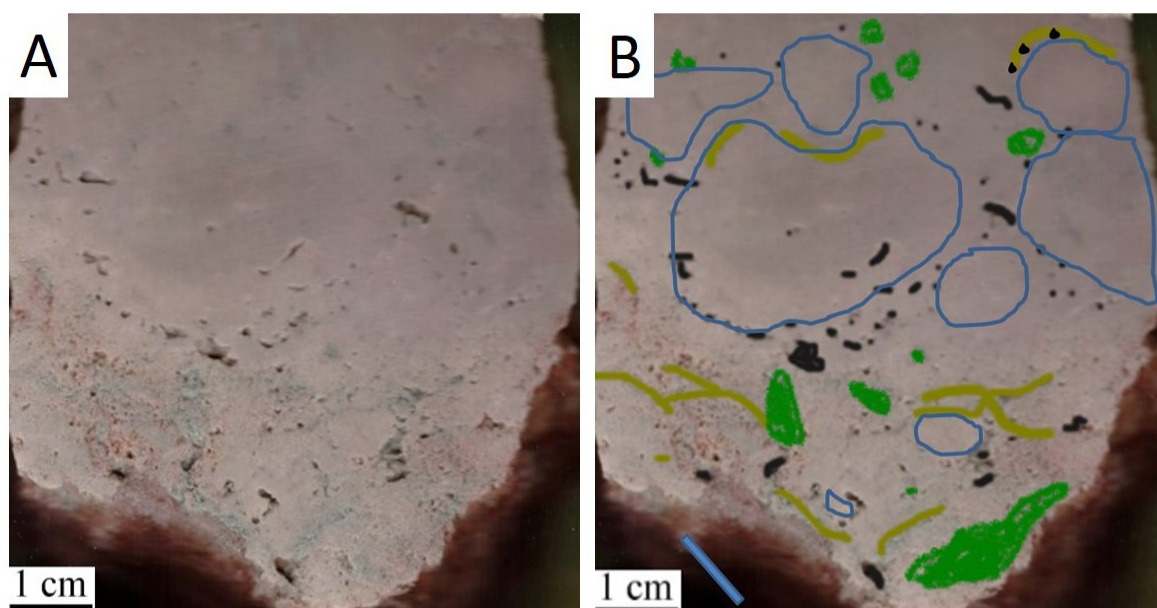
#### **1.4. paraugs**

Iezis ir stipri kavernoza, lielākās kavernas sasniedz 5 mm izmērus. Iezi caurvij subvertikālas 0,5–0,7 mm platas blīvāka dolomīta joslas, kas atdala stipri kavernozaos un mālaines laukumus. Vietām mālaines laukumus no pārējās dolomīta masas atdala plaisas. Dolomīta kristāli mālā variē no 0,4–0,1 mm izmēra. Kavernas aizņem 10% ieža.

#### **1.3. b paraugs**

Ieža pamatmasu veido blīvs dolomīts. Parauga apakšējā daļa mālaine un kavernoza ar lielākoties subhorizontālām mālainām dzīslām. Pusapaļš kavernu tīkls, mālaines dzīslas un mālaine laukumi nodala blīvos 1–4 cm lielos ieapaļos dolomīta veidojumus (5.6. attēls) no mālainajiem kavernozajiem. Parauga augšējā daļa salīdzinoši ir viendabīga, bez kavernām.

Virzienā uz augšu pieaug ieža masīvums, kā arī palielinās cieto karbonātisko veidojumu izmērs. Mālainā materiāla daudzums virzienā uz augšu samazinās.



5.6. attēls. Makroparags bez apzīmējumiem (A), ar apzīmējumiem (B). 1.3. b paraugs (autore veidots). Apzīmējumi: zilās līnijas – blīva dolomīta iedabīgi laukumi, kurus nodala kavernas un mālainie laukumi, dzīslas; pārējie apzīmējumi 5.3.1. attēlā.

### 1.3. a paraugs

Iezis ir salīdzinoši viendabīgs, masīvs. Salīdzinot ar iepriekšējiem paraugiem, mālainā materiāla saturs būtiski samazinās. Parauga augšējā daļā ir līdz 6 cm garas un 1–3 mm platas zarotas mālainās dzīslas un līdz 4 cm garas un līdz 0,5 mm platas zarotas gaišās dzīslas. Dzīslas ir subvertikālas. Kavernu tikpat kā nav.

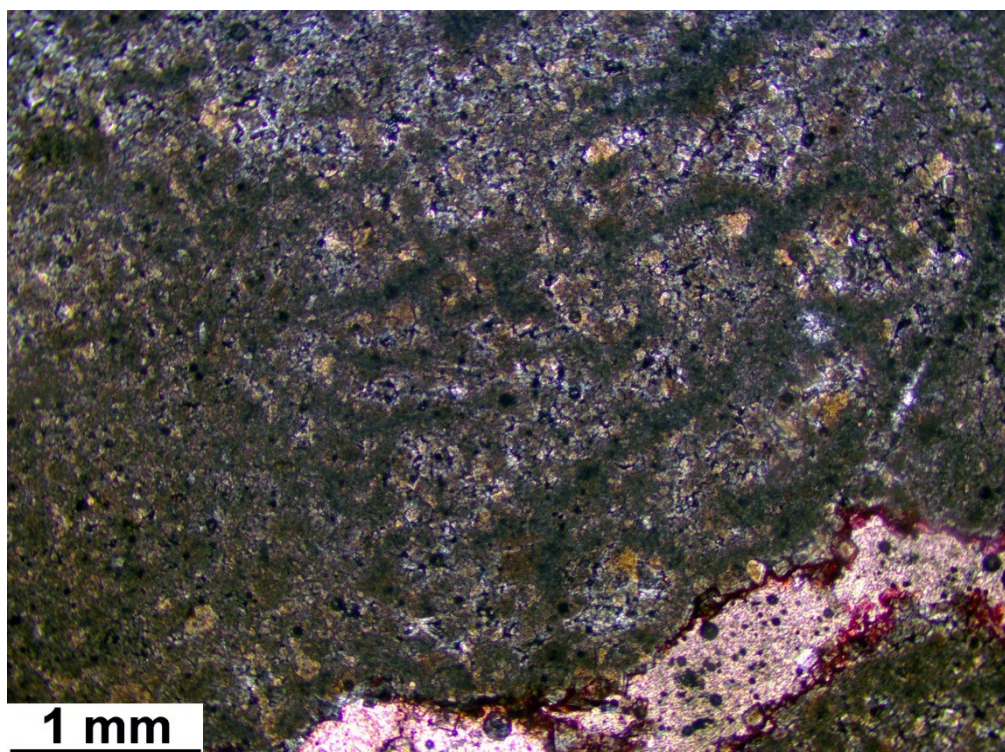
Plānslīpējumā redzams, ka ieža pamatmasu 90% veido smalkkristālais līdz vidējkristālam dolomīts. Ir sastopami 2–3 mm lieli mikrītiski karbonātu kunkuļi, kuros sastopami atsevišķi vidējkristāla izmēra dolomīta kristāli. Paraugu šķērso subvertikāla kalcīta dzīsla. Kalcīta kristālu izmēri līdz 1,5 mm.

### 1.2. paraugs

Makroskopiski var novērot, ka ieža pamatmasu veido 95% blīvs dolomīts. Kavernas izvietojus parauga apakšējā daļā galvenokārt subhorizontāli un aizņem aptuveni 1% no kopējā parauga šķērsriezuma laukuma. Parauga augšējā daļā konstatēta subvertikāla, 1 cm gara mālaina dzīsla.

Plānslīpējuma fotogrāfijā (5.7. attēls) redzams, ka iezis ir nevienmērīgs. To veido 95% smalkkristālais līdz vidējkristālam dolomīts, kā arī 5% kalcīts, kas veido subhorizontālu

dzīslu attēla apakšējā daļā. Atsevišķu kalcīta kristālu izmērs sasniedz 1,5 mm. Drupu graudu daudzums ir neliels – 1-2%. Parauga centrālo daļu veido šūnveida dolomīts. Šūnas ietverošās dolomīta apmales ir mikrītiskas.



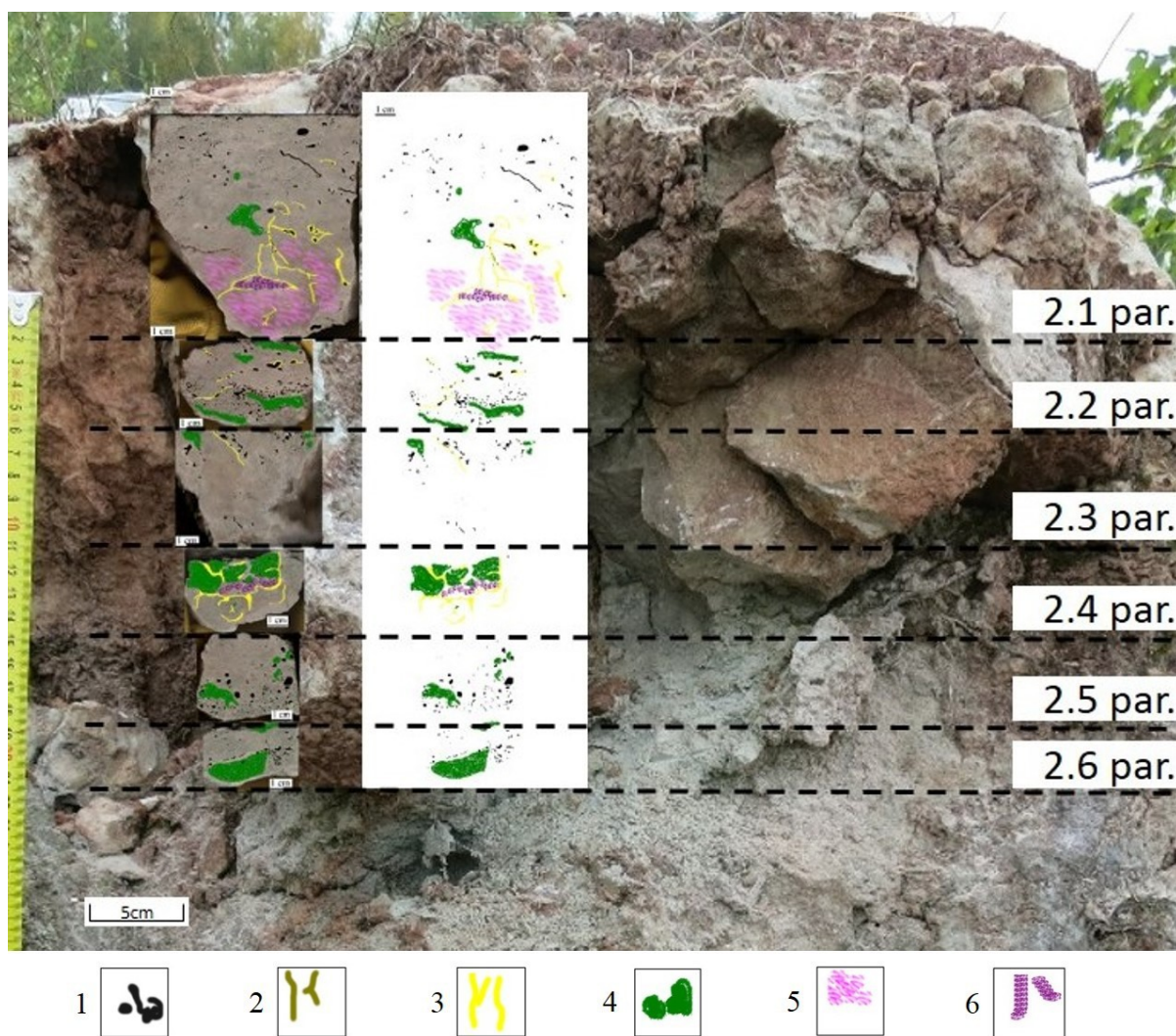
5.7. attēls. Plānslīpējuma mikrofotogrāfija: šūnveida tekstūra dolomītā ar nelielu drupu graudu piejaukumu. Apakšējā daļā subhorizontāla plaisa (rozā), ko daļēji aizpilda kalcīts (sarkanais). Nikoli krastoti. 1.2. paraugs (autores foto).

### 1.1. paraugs

Ieža pamatmasu veido vidējkristālisks līdz rupjkristālisks dolomīts. Vidējkristālisks dolomīts veido blīvākos laukumus, savukārt, rupjkristālisks dolomīts veidojies pie kavernu malām. Iezis stipri kavernozs, tukšumi aizņem ~20%. Kavernas var iedalīt divās zonās. Pirmajā zonā kavernu izmēri variē no 3–5 mm, savukārt, otrajā zonā – 1–2 mm. Vietām tukšumos izvietojušies kalcīta kristāli. Vērojot paraugu palielinājumā, var secināt, ka plaisas veido sarežģītus zarojumus savā starpā. Tās var būt kombinētās plaisas. Mālainie laukumi netika konstatēti, nav atrastas arī mālainās un gaišās dzīslas.

## 2. griezumš

Griezumā izdalītas sekojošās zonas: **mālainā kavernoza/porainā** (2.6.–2.5. paraugs), **šūnveida** (2.4. paraugs), **masīvā** (2.3. paraugs), **mālainā kavernoza** (2.2. paraugs) un **jauktā** (2.1. paraugs).



5.8. attēls. **Otrais griezumā ar iezīmētām makroparaugu tekstūrām** (autore veidots). Apzīmējumi: 1 – tukšas kavernas; 2 – mālainas dzīslas; 3 – gaišas dzīslas; 4 – mālainie laukumi; 5 – plankumaina tekstūra; 6 – sekundārā kalcīta dzīslas.

Griezumā apakšējā daļā blīvs dolomīts mijas ar mālaino poraino mazāk blīvo dolomītu. Dažviet mālainos laukumus no blīvā dolomīta nodala lielākas (līdz 5 mm) kavernas.

Griezumā vidējā daļā atpazītas šūnveida dolomīta pazīmes – līdz 2 mm lielus mālainus laukumus ietver 1-2 mm platas gaišas dolomīta cementa dzīslas. Šūnas (mālainie laukumi) ir diezgan regulāras. Tālāk uz augšu seko salīdzinoši blīva dolomīta zona ar mazu mālainā materiāla daudzumu (1%). Griezumā vidusdaļā kavernu ir maz (~3%).

Mālainā kavernoziā zona nomaina masīvo. Tālāk seko jauktā zona, kurai raksturīga blīva dolomīta plankumaina tekstūra, kuru caurvij lielākoties subvertikāli orientētas 1–2 mm platas dolomīta dzīslīņas. Virzienā uz augšu palielinās kavernu skaits.

Ieža komponentu horizontālas izplatības tendences vērojamas griezuma apakšējā daļā (2.6.–2.4. paraugam) un augšējā daļā (2.2. paraugs). Neizteiktas vertikālas komponentu izplatības tendences var novērot 2.1. paraugā.

## 2.6. paraugs

Ieža pamatmasu veido dolomīts. Ieža apakšējā daļa poraina un stipri mālaina. Vidusdaļu šķērso 2 cm gara, 2 mm plata subhorizontāla gaišāka dolomīta josla, kas nodala izteikti mālaino poraino daļu (apakšējā daļā) no blīvākās (augšpusē). Kavernas aizņem 5% parauga, to izmērs ir līdz 3 mm.

## 2.5. paraugs

Ieža pamatmasu veido dolomīts. Kopumā iezis neviendabīgs, diezgan mālains. Kavernas aizņem ~10%, to lielums sasniedz 5 mm. Kavernās ar māla aizpildījumu var novērot šūnveida tekstūras (5.9. attēls) – šūnveida tīklu veidojošas apļveida dolomīta cementa dzīslīņas ~1 mm platumā.

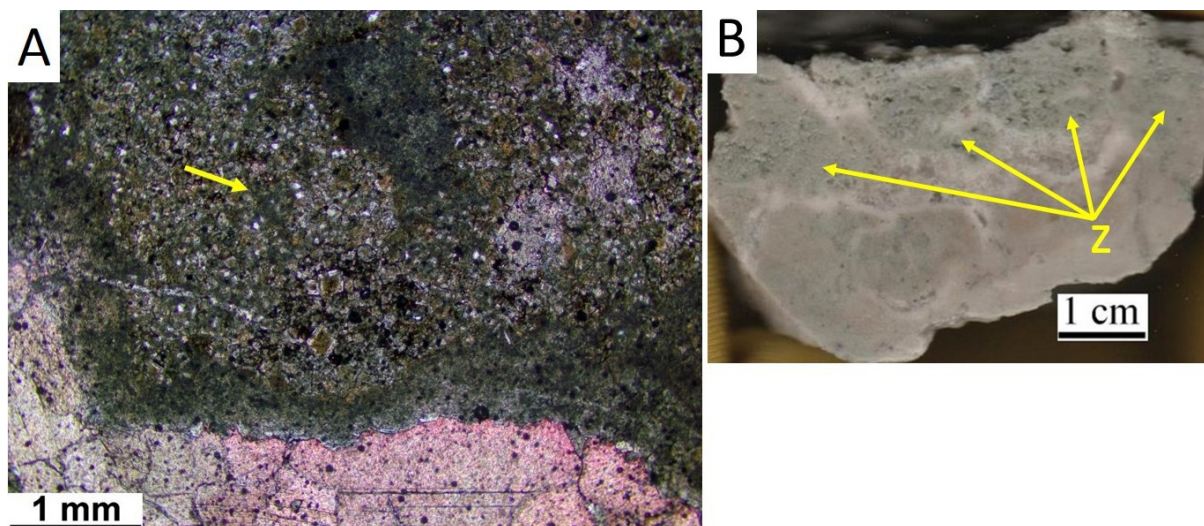


5.9. attēls. Šūnveida tekstūra. 1.5. paraugs (autores veidots). Apzīmējumi: z – šūnveida tekstūras piemēri.

## 2.4. paraugs

Paraugs neviendabīgs – apakšējo daļu veido dolomīts. Makroparauga augšējā daļā vērojama šūnveida tekstūra (5.10. b attēls) – mālaina dolomīta laukumus ietver gaišas dolomīta cementa josliņas 1 – 2 mm platumā. Parauga vidusdaļā atrodas ar sekundāro kalcītu pildīta 4 cm gara un 0,6 cm plata kaverna. Kopumā kavernu ir maz.

Plānslīpējumā redzams, ka iezi veido smalkkristālisks līdz vidējkristālisks dolomīts ar nelielu drupu graudu piejaukumu. Plānslīpējuma attēls apstiprina makroparaugā noteiktās šūnveida tekstūras (5.10. a attēls).

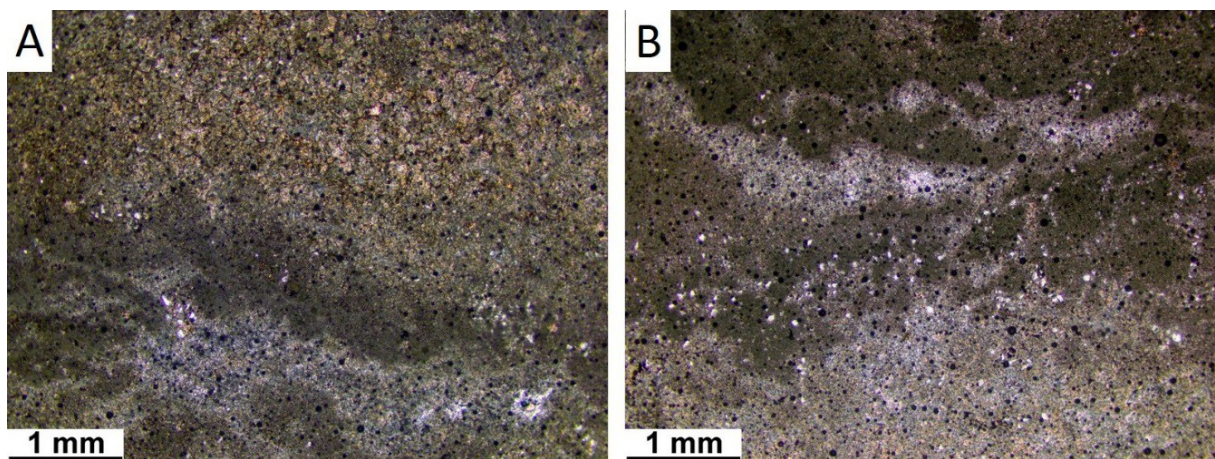


5.10. attēls. Dolomīts ar šūnveida tekstūru: A – plānslīpējuma mikrototogrāfija, kurā redzama subhorizontāla kalcīta dzīsla, ap ko izkristalizējusies mikrītiska garoziņa. Attēla vidusdaļā vērojama šūnveida uzbūve (bultiņa). Nikoli krustoti; B - dolomīta cementa ietvertas mālainas šūnas (dzeltenās bultas) makroparaugā. 2.4. paraugs (autores foto).

### 2.3. paraugs

Ieža pamatmasu veido dolomīts. Iezi veido vairāki 1–3 cm lieli blīvāka dolomīta laukumi, kurus augšējā daļā nodala kavernas, savukārt, parauga apakš- un vidusdaļā mazāk blīva dolomīta dzīslas. Kavernas un nedaudz mālainais materiāls izvietojies parauga augšējā daļā.

Plānslīpējumā redzams, ka iezis ir neviendabīgs, to veido ļoti smalkkristālisks līdz smalkkristālisks dolomīts (5.11. a attēls). Blīvo ļoti smalkkristālisks dolomītu caurvij mazāk blīva dolomīta dzīsla (5.11. b attēls). Drupu materiāls – ļoti smalka smilts - veido 5% ieža platības. Var novērot, ka drupu graudi aptver blīvos karbonātu bumbuļus (attēla vidū). Kalcīts netika konstatēts.

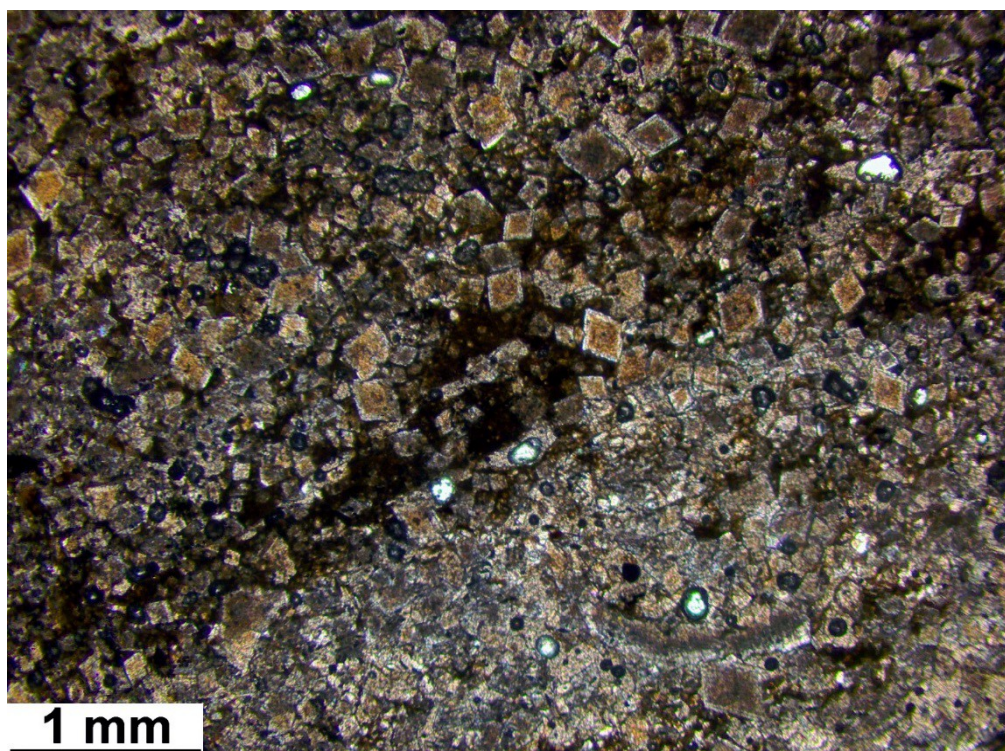


5.11. attēls. Plānslīpējumu mikrofotogrāfijas: (A) Parauga augšējo daļu veido smalkkristālisks dolomīts, savukārt, apakšējo blīvāko daļu veido ļoti smalkkristālisks dolomīts; (B) blīvāko dolomītu caurvij subhorizontāli orientētas dolomīta dzīslas. Nikoli krustoti. 2.3. paraugs, šķērsriezums (autores foto).

## 2.2. paraugs

Ieža pamatmasu veido dolomīts. Iezis ir neviendabīgs, tā apakšējā daļa ir izteikti un satur mālu, augšdaļā mālainā materiāla ir mazāk. Vidusdaļa sastāv no blīvāka dolomīta. Iezis ir stipri kavernozs, kavernas aizņem ~20%. Mālainais materiāls veido 30% ieža.

Plānslīpējumā redzami idiomorfī dolomīta kristāli mālā (5.12. attēls).



5.12. attēls. Plānslīpējuma mikrofotogrāfija: diomorfi, zonāli dolomīta kristāli mālā ar dzelzs savienojumu piejaukumu (brūnais). Nikoli krustoti. 2.2. paraugs (autores foto).

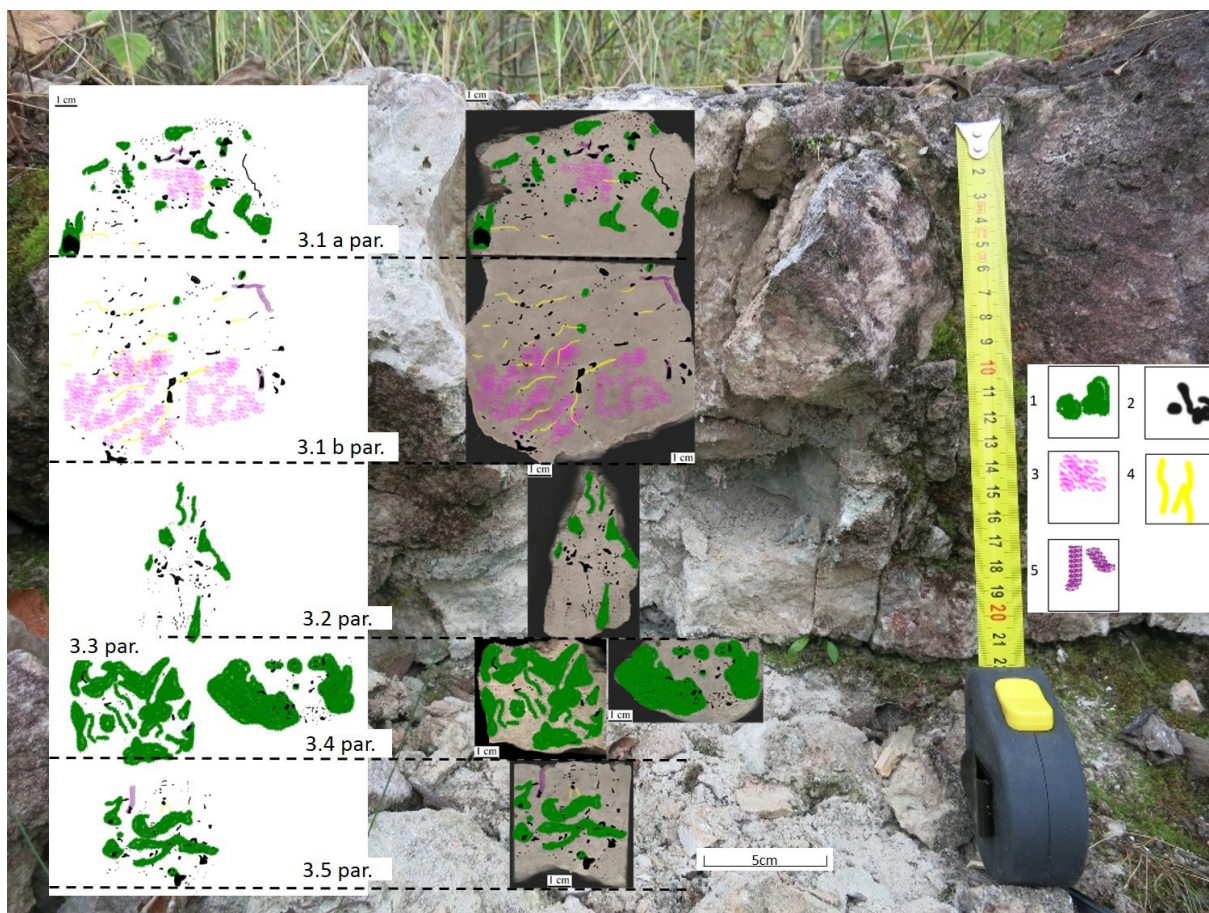
Šo kristālu izmēri variē no rupjkristāliskiem līdz sevišķi rupjkristāliskiem. Pa diagonāli novietota līdz 0,7 mm plata māla dzīsla.

## 2.1. paraugs

Parauga pamatmasu veido dolomīts. Apakšējā daļa blīvāka, augšējā vietām poraina, mazāk blīva. Vidū atrodas ap 1 cm liels porains mālains laukums. Parauga apakšējai daļai raksturīga plankumaina tekstūra, kuru vietām caurauž ~1 mm platas gaišas dolomīta dzīslas. Plankumainās tekstūras laukums veido līdz 5,5 cm lielu ieapaļu formu, kurai pa vidu stiepjas 2,5 cm gara un 1 cm plata sekundārā kalcīta dzīsla.

## 3. griezumš

Griezumā var nodalīt trīs zonas: **mālainā porainā** (3.5.–3.2. paraugs), **masīvā plankumainā** (3.1. b paraugs) un **mālainā porainā** (3.1. a paraugs).



5.13. attēls. Trešais griezumš ar iezīmētām makroparaugu tekstūrām (autorei veidots). Apzīmējumi: 1 – mālainie laukumi; 2 – tukšas kavernas; 3 – plankumaina tekstūra; 4 – gaišas dzīslas; 5 - sekundārā kalcīta dzīslas.

Griezuma apakšējā daļa stipri mālaina (3.5.–3.3. paraugs). Virzienā uz augšu mālainā materiāla daudzums samazinās (3.2. paraugs). Griezuma augšējā daļa salīdzinoši blīvāka, ar plankumainu tekstūru. Blīvos laukumus nodala gaišas 1-2 mm platas dolomīta dzīslas, kas mijas ar līdz 5 mm garām kavernām. Tālāk seko mālainā porainā zona.

Horizontālas komponentu sadalījuma tendences vērojamas griezuma apakšējā daļā (3.5.–3.3. paraugs), tad uz augšu seko izteiktas vertikālas tendences. Griezuma augšējā daļā – komponentu izkliedei ir jaukts raksturs.

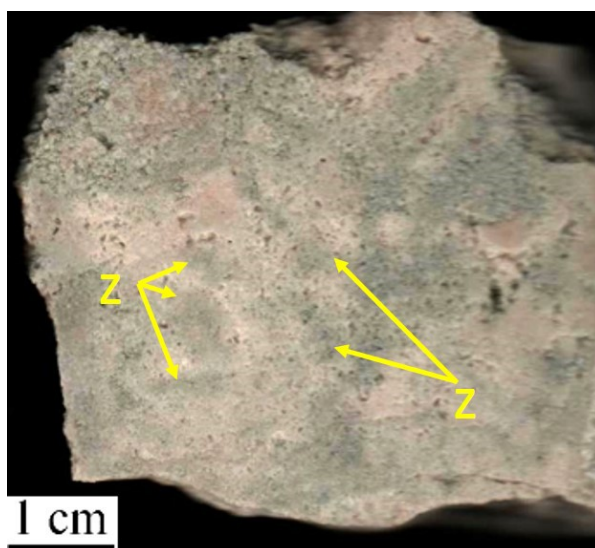
### 3.5. paraugs

Ieža pamatmasu veido dolomīts. Iezis ir neviendabīgs – kavernozs, porains. Vidusdaļā atrodas mālaini laukumi. Parauga augšējā daļā kavernas ir ar subvertikālas orientācijas tendencēm. Vienā parauga pusē atrodas subvertikāla kaverna, kurā kristalizēties sekundārais kalcīts. Mālainos laukumus ieskauj blīvāks dolomīts.

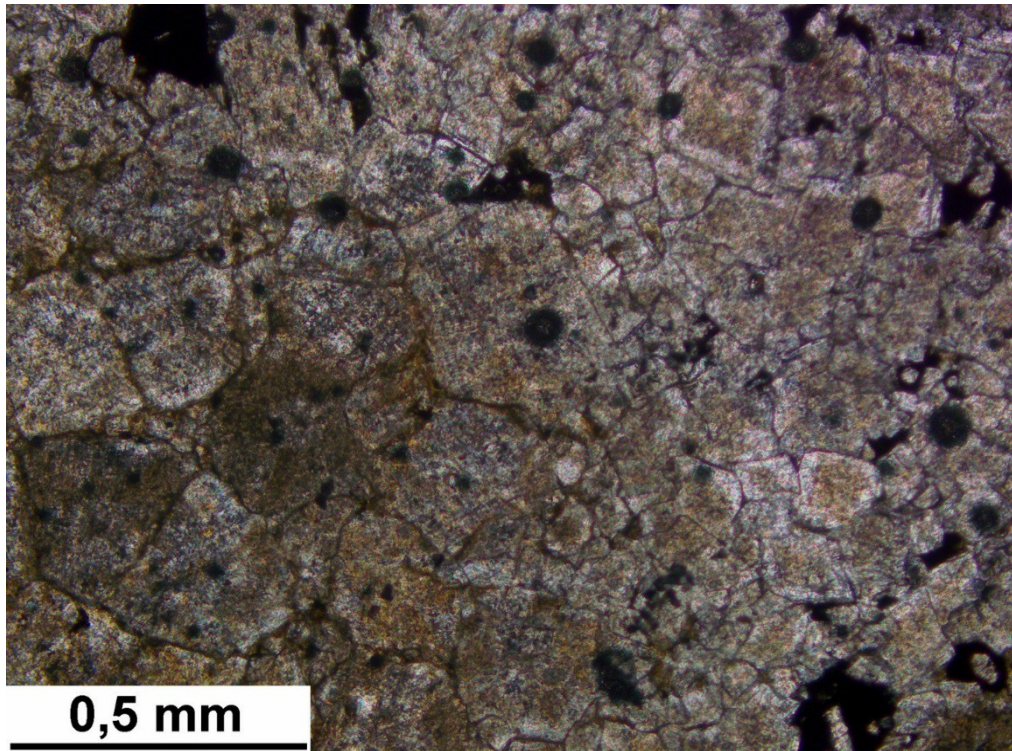
### 3.4. un 3.3. paraugs

Ieži ir ļoti mālaini. Ārējās parauga malas porainākas nekā vidusdaļa (3.4. paraugā). Paraugā 3.3. mālainos laukumus caurauž no 2 mm līdz 1 cm platas, gaišas dolomīta joslas. Var novērot neizteiktu šūnveida tekstūru (5.14. attēls). Abiem paraugiem porainā materiāla ir vairāk nekā blīvā.

Mikroskopā abos paraugos novērojami pareizas formas zonāli dolomīta kristāli, kas kristalizējušies mālā. Plānslīpējuma (5.15. attēls) kreisajā pusē atrodas rupjkristālisks dolomīts, labajā pusē – smalkkristālisks līdz vidējkristālisks dolomīts. Parauga 3.4. plānslīpējumā konstatēti ~5% drupu graudi. Rupjkristālisks dolomīts un ļoti smalkas smilts, kā arī rupja aleirīta drupu graudi atrodas māla matricē.



5.14. attēls. Mālainas šūnas dolomītā (atzīmētas ar bultām). 3.3. paraugs (autores veidots).



5.15. attēls. Plānslīpējuma mikrofotogrāfija: rupjkristālisks dolomīts parauga kreisajā pusē, labajā pusē dolomīts smalkkristālisks līdz vidējkristālisks. Nikoli krustoti. 3.3. paraugs (autores foto).

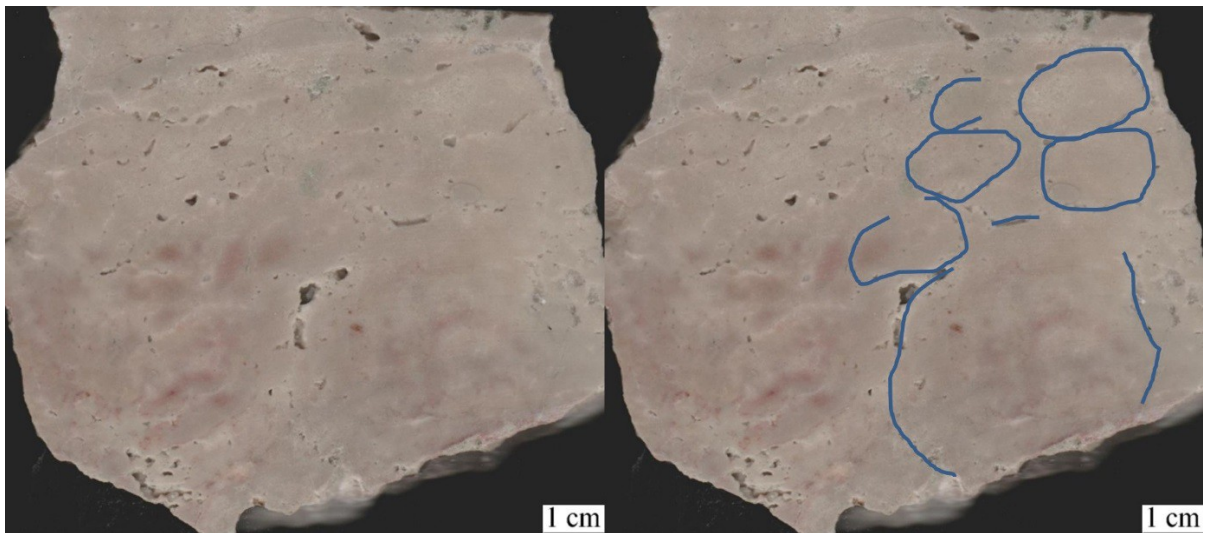
### 3.2. paraugs

Ieža pamatmasu veido dolomīts. Paraugs neviendabīgs. Līdzīgi kā iepriekšējiem 3.4. un 3.3. paraugiem, vidusdaļā ir nedaudz blīvāks dolomīts nekā malās. Mālaino laukumu daudzums samazinās, salīdzinot ar iepriekšējiem paraugiem. Iezis kavernozs, porains, šie tukšumi kopumā aizņem 10% no parauga šķērsriezuma laukuma.

Plānslīpējumā vērojams, ka dolomīta kristāli variē no smalkkristāliskiem līdz rupjkristāliskiem. Māls aizņem 10% ieža platības. Konstatēti 5% ļoti smalkas smilts drupu graudi.

### 3.1. b paraugs

Ieža pamatmasu veido dolomīts. Atšķirībā no iepriekšējiem paraugiem, nav mālaino laukumu. Blīvākus ieapaļus dolomīta laukumus nodala kavernas un gaišas, mazāk blīvas dolomīta dzīslas (5.16. attēls). Parauga apakšējā daļā blīvie dolomīta apļveida veidojumi veido plankumainu tekstūru.



5.16. attēls. Blīvāka dolomīta laukumi (apzīmēti ar zilām līnijām), kurus nodala kavernas un mazāk blīvas dolomīta dzīslas. Attēls pa kreisi bez apzīmējumiem, pa labi – ar tiem (autore veidots).

### 3.1. a paraugs

Parauga pamatmasu veido dolomīts. Virzienā uz augšu pieaug mālainā materiāla daudzums. Ieža vidusdaļā vērojams ap 1,5 cm liels blīva dolomīta laukums ar plankumainu tekstūru. Virzienā uz parauga malām pieaug porainība.

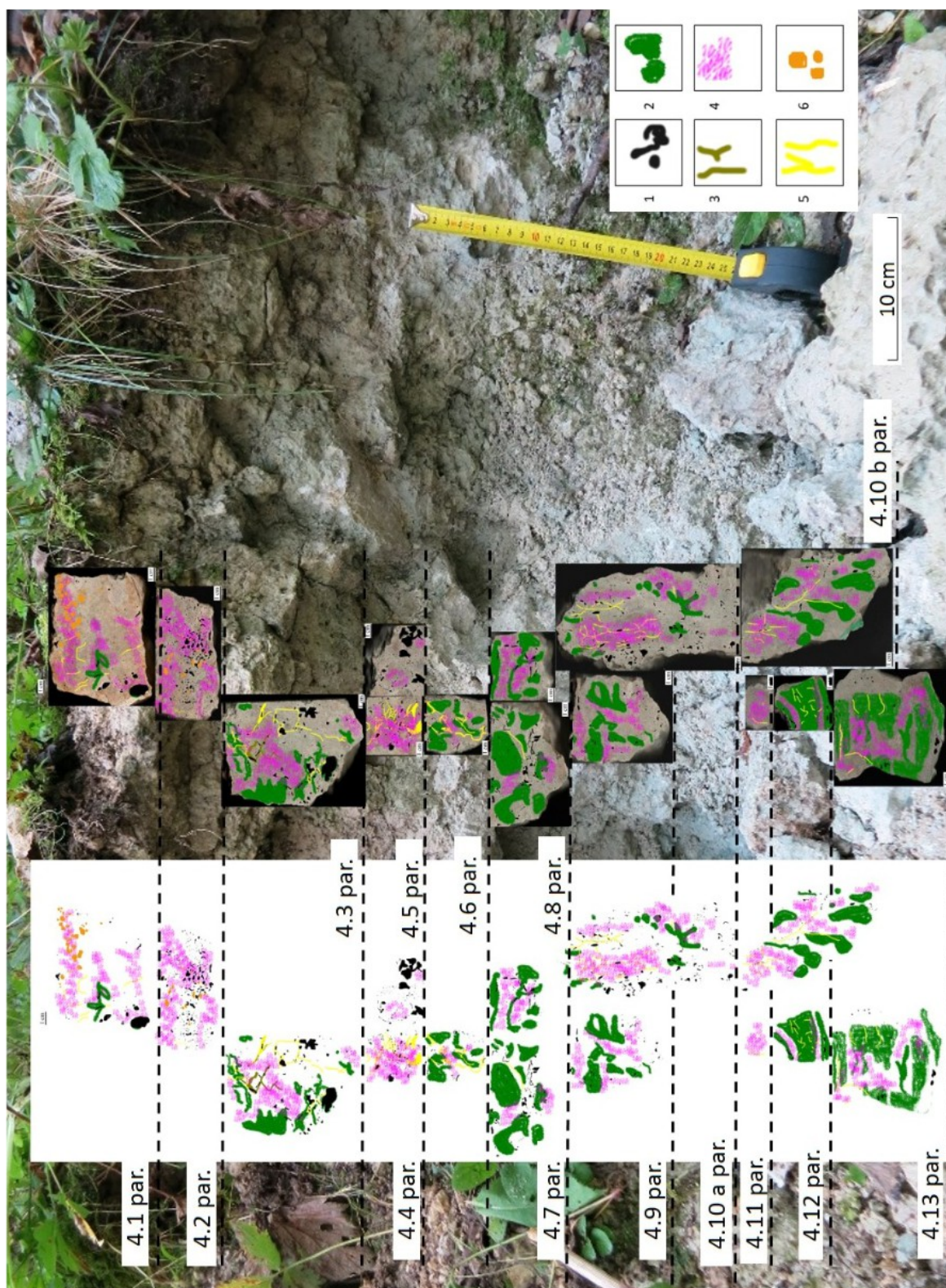
## 4. griezum

Griezums tika iedalīts zonās: **mālainā blīvā** (4.13., 4.12. un 4.10. b (neskaitot augšējo daļu) paraugs); **masīvā** (4.11., 4.10. b augšējā daļa un 4.10. a paraugs); **brekčiju** (4.9.–4.2. paraugs) un **masīvā** (4.1. paraugs).

Griezuma apakšējā daļā mālainie laukumi mijas ar nedaudz blīvākiem rozīga dolomīta iecirkņiem. Mālainie laukumi nav poraini. Drupu materiāla saturs ~10%. Kavernu ir maz, ap 2%.

Blīvajai zonai raksturīgas subvertikālas 1–2 mm platas gaišas dzīslas. Plānslīpējumā (5.19. a, b paraugs) šīs dzīslas sadalās smalkākās un sašaurinās virzienā uz leju. Blīvajā zonā virzienā uz augšu samazinās māla daudzums, savukārt, palielinās kavernu daudzums.

Virzienā uz augšu (4.9.–4.6. paraugs) palielinās mālaino laukumu daudzums, tie ir poraini, var novērot izteiktas brekčijas pazīmes. Raksturīgi blīvi karbonātu kunkuļi mazāk blīvā dolomīta matricē ar ļoti smalkas smilts piejaukumu.



5.17. attēls. Ceturtais griezumums ar iezīmētām makroparaugu tekstūrām (autore veidots).

Griezuma augšējā daļā (4.1. paraugs) dolomīts paliek ievērojami blīvāks, bet brekčijas pazīmes kļūst neizteiksmīgas. Parauga pašā augšējā daļā novietoti karbonātu kunkuļi, kas redzami makroskopiski.

#### **4.13. paraugs**

Ieža pamatmasu veido dolomīts. Iezis ir neviendabīgs – mālaina dolomīta laukumi mijas ar rozīgu dolomītu, kas nav mālains. Kavernu ir maz ~3%. Parauga labajā pusē ir 2 cm plats un 6,5 cm garš laukums ar blīvāku dolomītu, nekā pārējā paraugā. No šī laukuma iziet ~1–2 mm platas dzīslas, stiepjoties parauga mālainajā daļā. Atšķirībā no iepriekšējiem paraugiem, mālainie laukumi nav poraini, tomēr tie ir mazāk blīvi.

#### **4.12. paraugs**

Makroparaugs līdzīgs iepriekšējam, tikai mālainie laukumi atrodas parauga vidusdaļā. Ieža apakšējā un augšējā daļā rozīgais dolomīts veido līdz 5 mm platas subhorizontālas joslas. Mālainos laukumus caurvij 1–2 mm platas gaišas dolomīta josliņas, domājams, ka minētie ieža elementi ir šūnveida tekstūras aizmetņi.

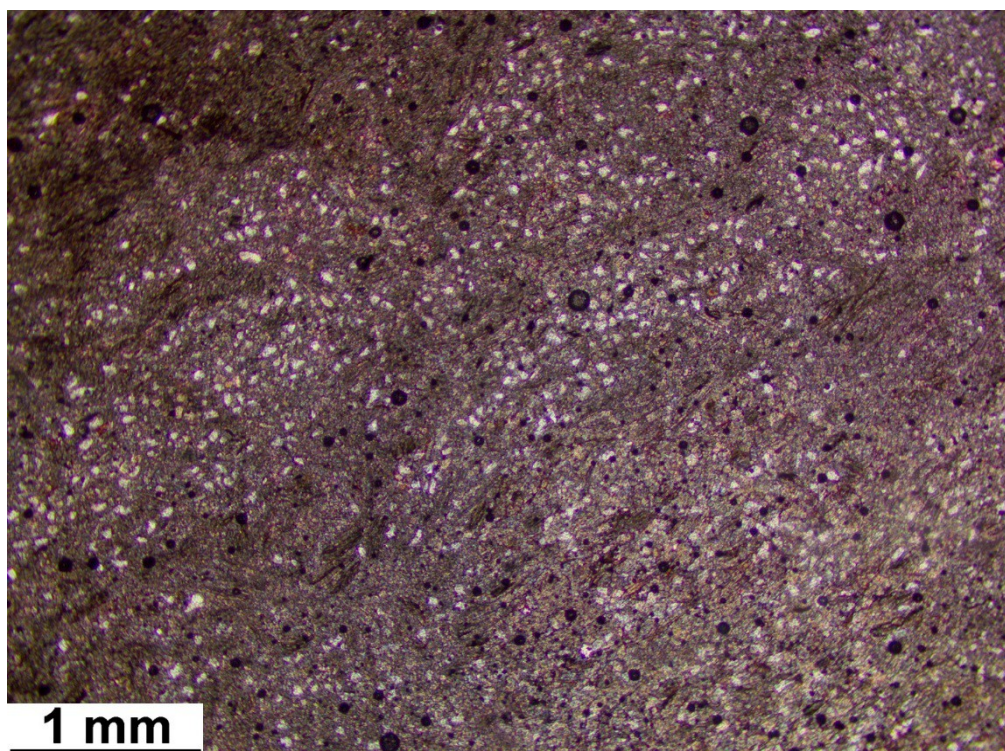
#### **4.11. paraugs**

Iezis mazāk mālains, ar izteiktu rozīgā dolomīta pārsvaru. Parauga malas daļās dolomīts blīvāks, nekā centrālajā daļā.

Plānslīpējuma (5.18. attēls) redzamas ~2 mm platas pa diagonāli novietotas nedaudz ieliektas dolomīta josliņas. Starp tām izvietojies dolomīts ar drupu materiālu – ļoti smalku smilti. No parauga labā apakšējā stūra līdz gandrīz vidusdaļai dolomītā izvietojušās vizlas plēksnītes (brūnās garenās), kas orientētas tādā pašā virzienā kā iepriekšminētās dolomīta josliņas.

#### **4.10. b paraugs**

Parauga pamatmasu veido dolomīts. Sastopami arī mālaina dolomīta laukumi starp blīvāka dolomīta apgabaliem, kuri, līdzīgi iepriekšējiem paraugiem, ir sarkanīgi rozā krāsā. Iezī novērojamas no 1–3 mm biezas subvertikālas dzīslas ar mazāku blīvumu nekā apkārtējā masa. Kavernas maz – ap 3%.

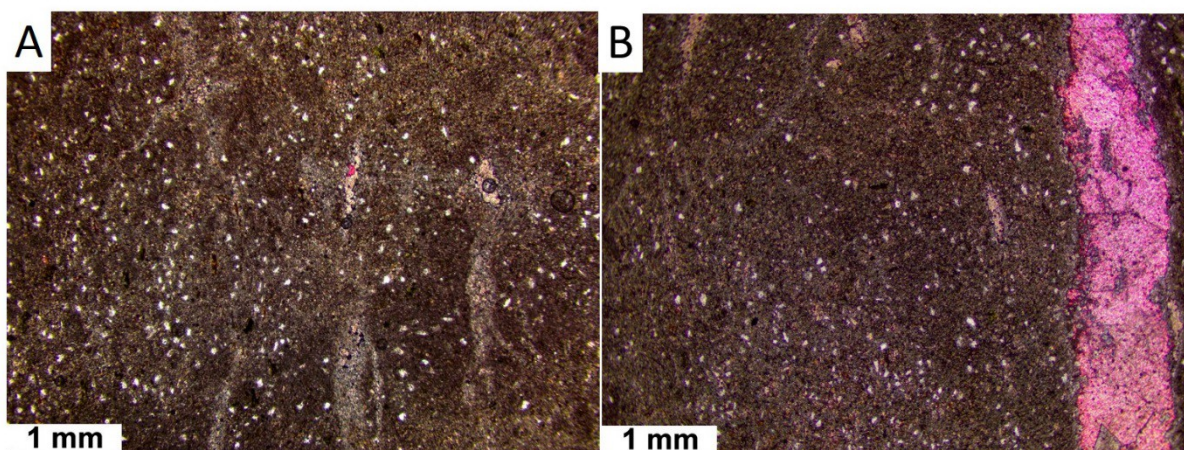


5.18. attēls. Plānslīpējuma mikrofotogrāfija: dolomīts ar ļoti smalkas smilts un vizlas piejaukumu. (4.11. paraugs) (autores foto).

#### 4.10. a paraugs

Līdzīgi 4.10 b paraugam, tikai mālainā materiāla daudzums būtiski samazinās, turklāt pieaug kavernu daudzums – 5%. Raksturīgas subvertikāli orientētas gaišas dolomīta dzīslas, kuras reizēm turpina tukšumi. Sarkanīgi rozā iegarenie dolomīta laukumi ir līdz 1 cm plati un 3 cm gari. Iepriekš minētās dzīslas atdala šos veidojumus.

Plānslīpējumā izteikti redzamas subvertikālas tekstūras, kas virzienā uz leju mēdz sadalīties smalkākās un sašaurināties (5.19. attēls a, b). Šo tekstūru orientācija un forma, kā arī sašaurinājumi uz leju norāda, ka tās ir sakņu tekstūras (Hillier et al., 2008). Smalkkristāliskā dolomīta pamatmasā ir izklidēti ļoti smalkas smilts graudi.

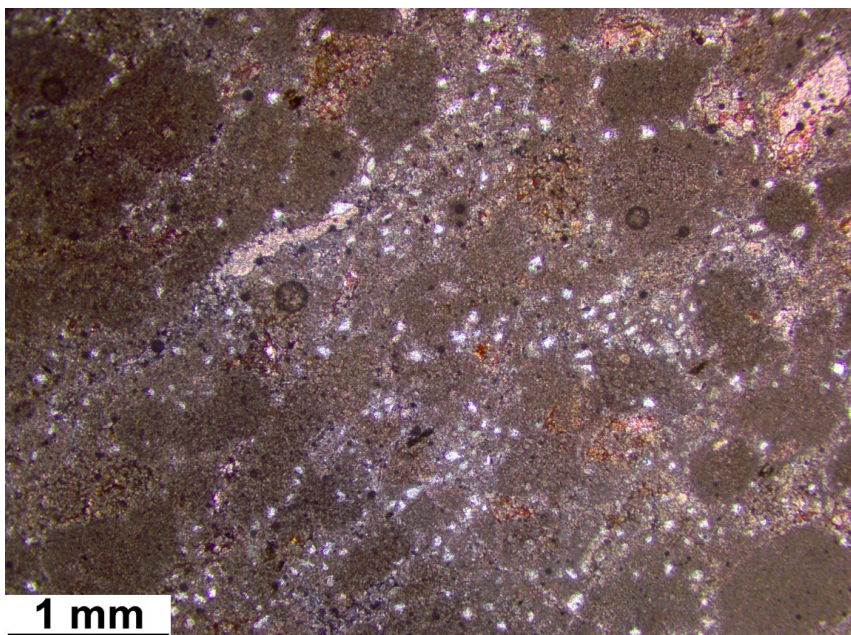


5.19. attēls. Plānslīpējuma mikrofotogrāfijas: A – neliela izmēra sakņu tekstūras dolomīta matricē ar drupu graudiem: B - subvertikāla kalcīta dzīsla un sakņu tekstūras. Nikoli krustoti.  
4.10. paraugs (autores foto).

#### 4.9. paraugs

Iezis ir neviendabīgs, raksturīgi poraini mālainie laukumi. Līdz 0,7 mm lielu kavernu daudzums ir 5%. Vietām iezī izklīdēti blīvāka dolomīta sarkanīgi rozā laukumi. Paraugu pa vidu šķērso līdz 1 cm plata un 5 cm gara blīvāka dzeltena dolomīta josla.

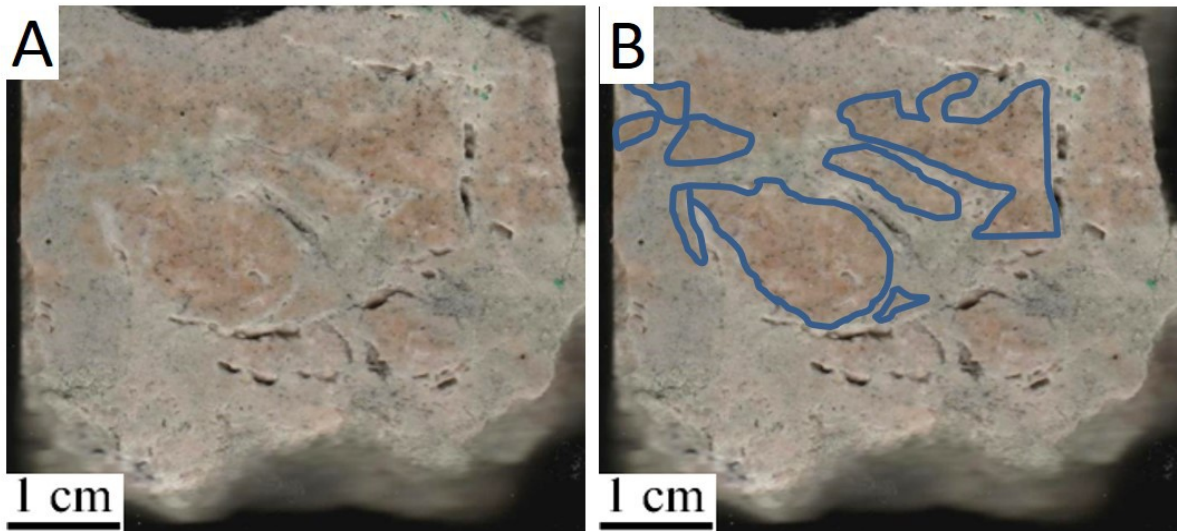
Plānslīpējumā redzams, ka dolomīts ir smalkkristālisks ar 15% ļoti smalkas smilts drupu graudiem. Atsevišķos blīvāka dolomīta laukumos vērojams brekčijizēšanās process. Raksturīgi līdz 0,9 mm lieli regulāri, ieapaļi tīra dolomīta kunkuļi, kuri izvietoti pa diagonāli (1.20. attēls). Tos aptver ļoti smalkas smilts drupu graudu materiāls.



5.20. attēls. Plānslīpējuma mikrofotogrāfija: blīvi, ieapaļi dolomīta kunkuļi dolomīta un smilts matricē. Nikoli krustoti.  
4.9. paraugs (autores foto).

#### 4.8. paraugs

Ieža pamatmasu veido dolomīts. Mālainie gaišie laukumi mijas ar sarkanīgi rozā blīvāka dolomīta laukumiem. Blīvākajā dolomītā vērojamas brekčijizēšanās pazīmes – gaišas dolomīta joslas (dažkārt arī kavernas) to šķeļ, veidodamas krasas robežas (5.21. attēls).



5.21. attēls. Makroparaugs ar atsevišķiem brekčiju fragmentiem bez apzīmējumiem (A) un ar apzīmējumiem (B). zilā līnija norāda sarkanīgi rozā dolomīta iecirkņu robežas (B). 4.8. paraugs (autores veidots).

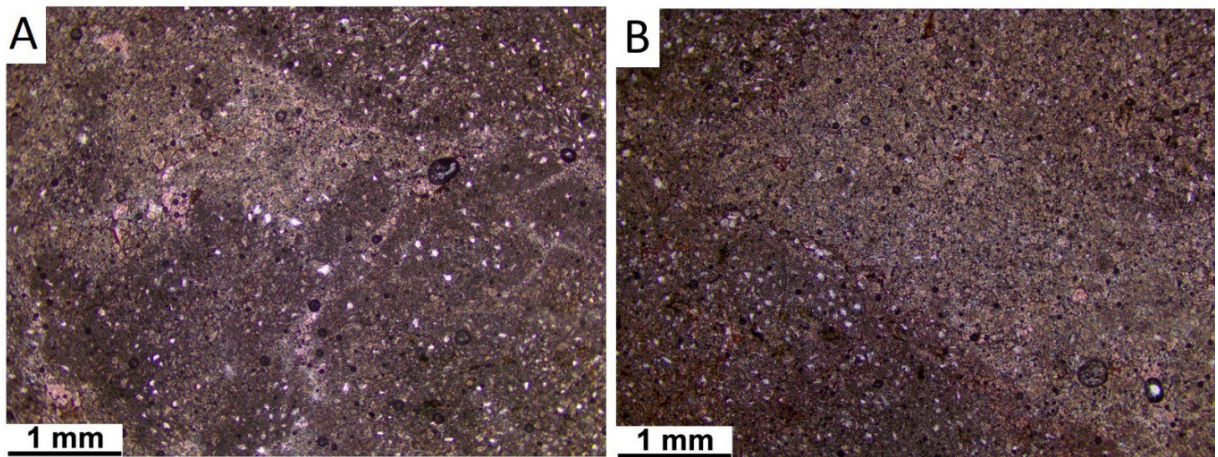
#### 4.7. paraugs

Ieža pamatmasu veido dolomīts. Mālainie, porainie laukumi veido pārsvaru pār blīvajiem. Iezis stipri dēdējis. Kavernas aizņem ~5% ieža šķērsriezuma laukuma.

Plānslīpījumā redzams, ka dolomīta kristāli ir smalkkristāliski līdz vidējkristāliski. Kopumā drupu graudi aizņem ~10% ieža platības. Subhorizontāli vērsta vidējkristāliskā dolomīta dzīsla (5.22. a attēls), domājams, veidojusies vēlāk, sašķeļot/brekčizējot tumšākās krāsas dolomītu.

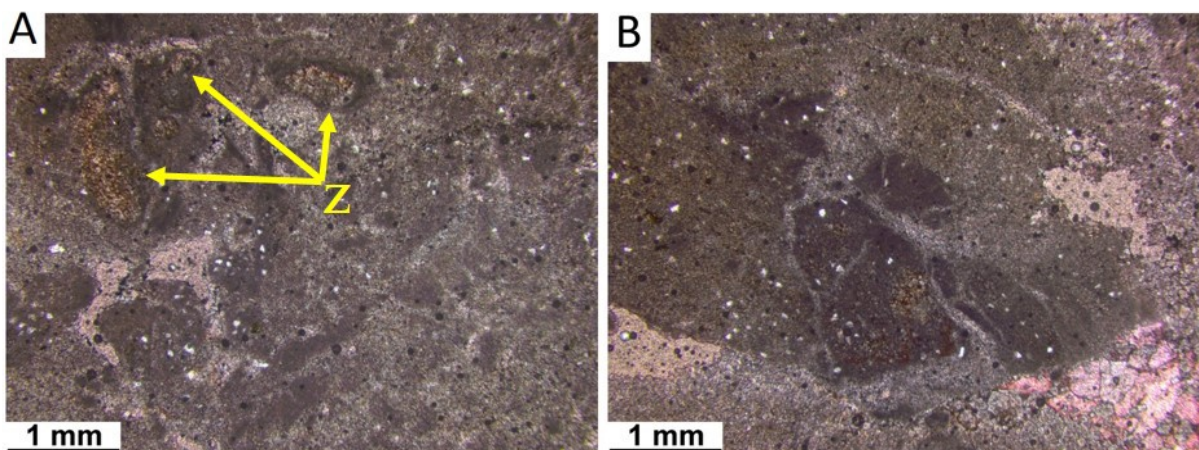
#### 4.6. paraugs

Ieža pamatmasu veido dolomīts. Ieža vidusdaļu šķērso dzeltenīga ~2 mm plata blīva dolomīta dzīsla. Ieža uzbūve neviendabīga – starp mālainajiem un kavernozažiem laukumiem izkliedēti atsevišķi dzeltenīgas krāsas blīvāka dolomīta laukumi. Cauri paraugam stiepjas subvertikālas līdz 2 mm platas gaišas dolomīta dzīslas.



5.22. attēls. Plānslīpējuma mikrofotogrāfijas: A - vidējkristāliska subhorizontāla dolomīta josla, kas sašaurinās un parauga labajā pusē veido brekčijveida fragmentus; B - vidējkristāliska dolomīta laukums (labajā pusē) kontaktā ar smalkkristālisku dolomītu. Nikoli krustoti. 4.7. paraugs (autores foto).

Mikroskopiski parauga pamatmasa ir smalkkristālisks dolomīts. Ļoti smalkas smilts drupu graudi veido ~5%. Sastopami mālaina dolomīta iegarenas formas šūnveida laukumi, kurus ieskauj ļoti smalkkristāliska dolomīta apmalīte. Šūnās sastopams vidējkristālisks dolomīts (5.23. a attēls). Plānslīpējumā vērojama dolomīta dzīsla, kas veido brekčiju, sadalot par apkārtējo masu blīvākos karbonātu veidojumus (5. 23. b attēls).



5.23. attēls. Plānslīpējuma mikrofotogrāfijas: A - iegareni mālaina dolomīta šūnveida laukumi, kurus ieskauj ļoti smalkkristāliska dolomīta apmalīte (z); B - dzīslas attēla vidusdaļā, kuras sadala atsevišķos fragmentos blīvākos karbonātu sakopojumus. Nikoli krustoti. 4.6. paraugs (autores foto).

#### 4.5. paraugs

Mazāk blīvais gaišais dolomīts ietver blīvākos oranžīgos laukumus, kurus no apkārtējās ieža masas nereti nodala kavernu tīkls. Atsevišķu kavernu lielums sasniedz 1 cm. Tukšumi aizņem 10% ieža.

Plānslīpējumā redzams, ka smalkkristālisks dolomīts satur 10% ļoti smalkas smilts drupu graudu piejaukumu. Līdz 1 mm lielus tīra dolomīta kunkuļus ietver drupu materiāls, kā arī vērojama atsevišķu blīvo karbonātisko veidojumu brekčijizēšanās. Kalcīts veido 3% parauga.

#### 4.4. paraugs

Iezī oranžīgais blīvais dolomīts stipri fragmentēts. To no apkārtējā materiāla nodala ~1 mm lielas kavernas un gaišās dolomīta dzīslas.

Plānslīpējuma pētījumi parāda, ka iezis sastāv no smalkkristāliska dolomīta ar ~10% ļoti smalkas smilts drupu graudiem. Plānslīpējumā konstatēta subvertikāli orientēta josla ar šūnām, kuras apliec mikrītiska dolomīta apmalītes (5.24. a attēls). Paraugā redzamas subvertikālas dzīslveida/sakņveida struktūras, kuras virzienā uz leju sašaurinās un sazarojas, izraisot blīvo karbonātisko ieža fragmentu nodalīšanos brekčijā (5.24. b attēls), kā arī izteikts *in situ* brekčijas veidošanās piemērs (5.24. c attēls).

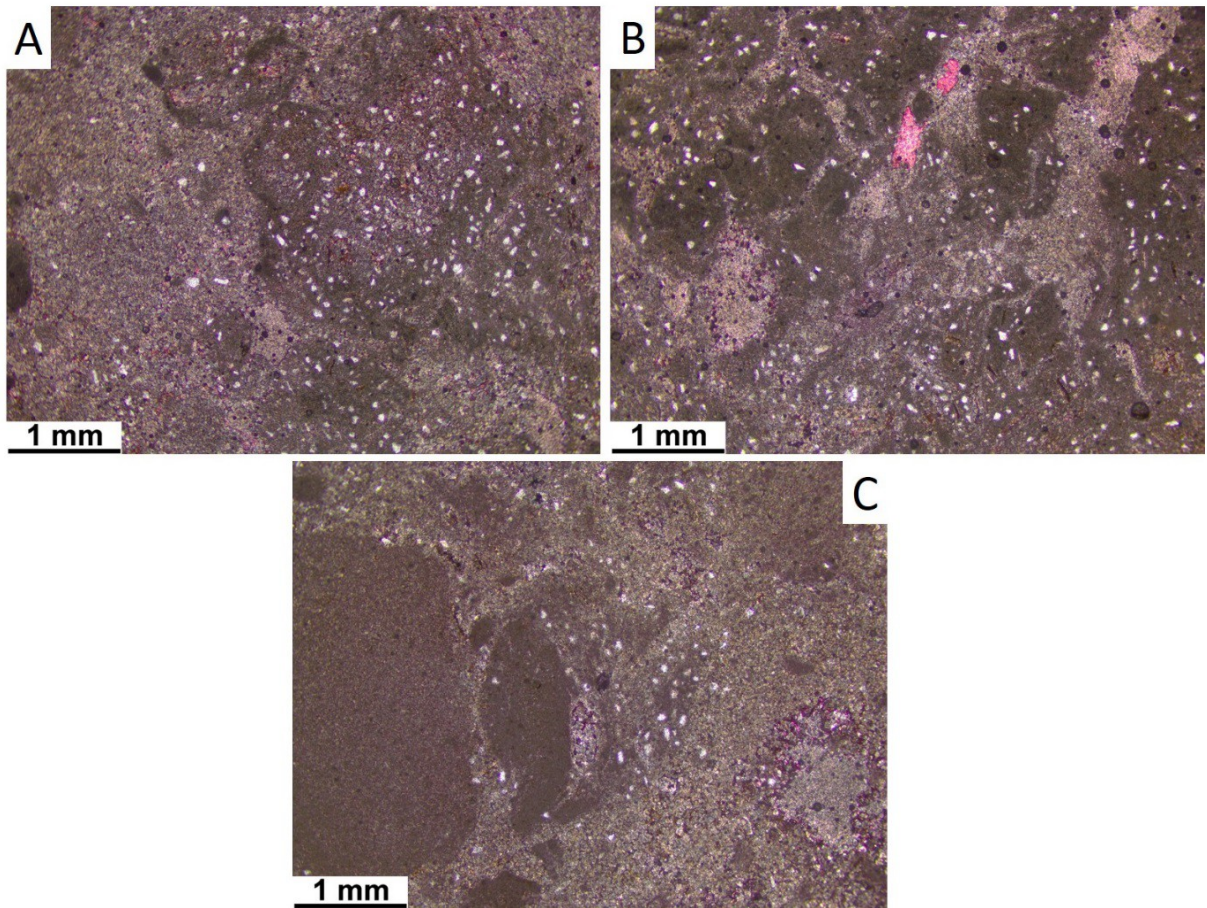
#### 4.3. paraugs

Iezis apakšējā daļā blīvāks, augšējā mālaināks. Novērojama blīvākā dolomīta fragmentācija līdzīgi kā iepriekšējā paraugā. Iezi caurvij subvertikāli orientētas blīvāka dolomīta 1–2 mm platas dzīslīņas.

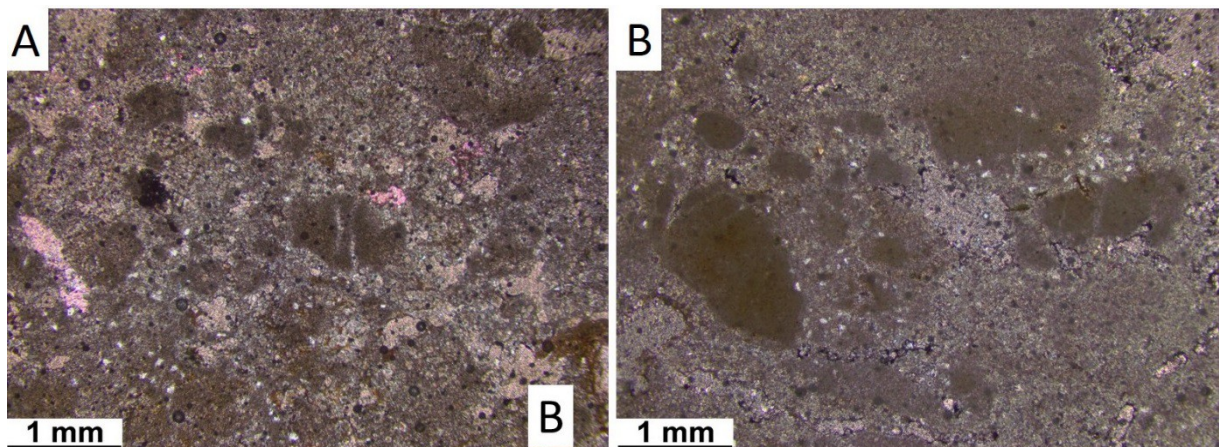
#### 4.2. paraugs

Parauga augšējo daļu veido blīvākais oranžīgais dolomīts, kura fragmentācijas pakāpe virzienā uz augšu samazinās. Iezis kavernozs, tukšumi aizņem 10%.

Plānslīpējumā redzams, ka dolomīts ir smalkkristālisks ar nevienmērīgi izkliedētiem līdz 1,5 mm lieliem karbonātu kunkuļiem, kuros novērojamas brekčijas veidošanās aizsākuma pazīmes. Drupu graudi veido 5%, kalcīts 2% ieža platības.



5.24. attēls. Plānslīpējuma mikrofotogrāfijas: A - Subvertikāli izvietota josla ar šūnām, kuras aptver mikrītiska apmalīte; B - sakņveida struktūras, kas izraisījušas karbonātisko kunkuļu brekčijizēšanos; (C) *in situ* brekčijas veidošanās piemērs. Nikoli krastoti. 4.4. paraugs (autores foto).

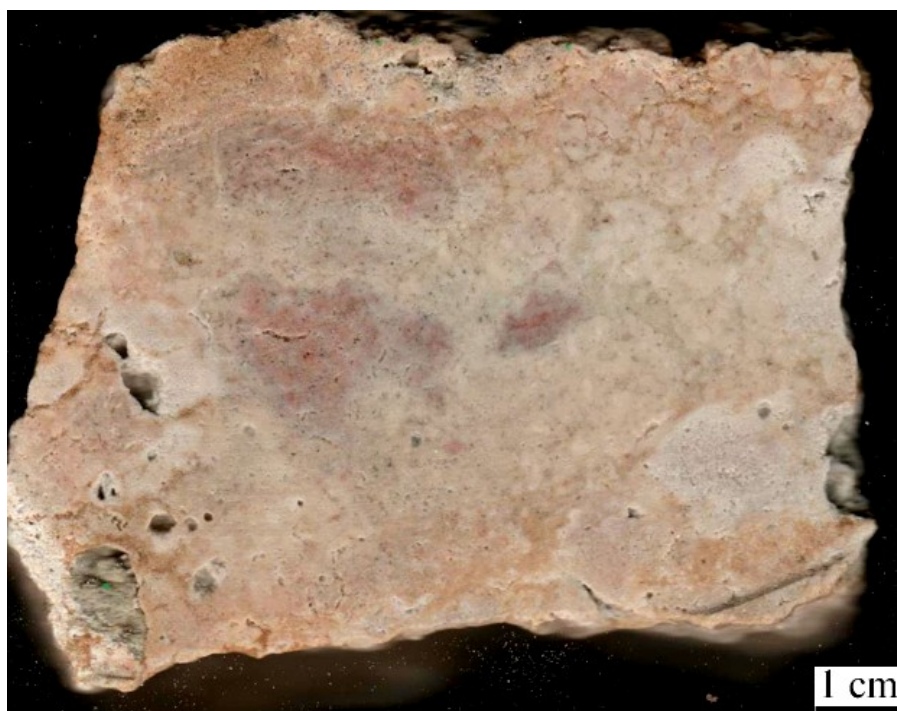


5.25. attēls. Plānslīpējumu mikrofotogrāfijas: A un B - izteiktas brekčijas veidošanās, nodaloties blīvajiem karbonātu kunkuļiem (brūnie); Nikoli krastoti. 4.2. paraugs (autores foto).

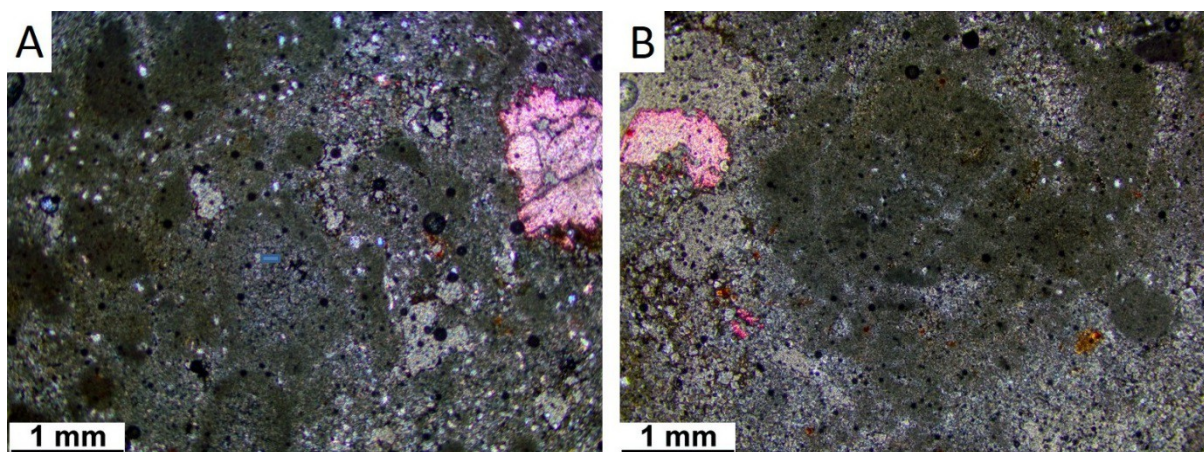
#### 4.1. paraugs

Parauga (5.26. attēls) pamatmasu veido salīdzinoši blīvs dolomīts ar plankumainu tekstūru. Ieža augšējā daļā, labajā pusē vērojami karbonātiskie kunkuļi, kuru izmēri virzienā uz augšu samazinās. Kavernas aizņem ~3% parauga.

Plānslīpējumā var redzēt, ka iezis ir smalkkristālisks. Plānslīpējumā redzamas dolomīta šūnas (5.27. a attēls), ko apliec mikrītiskas apmalītes. Šūnās, līdzīgi pārējam iezim, dolomīts ir smalkkristālisks. 5.27.b attēlā paraugā vērojami brekčijošānās procesi.



5.26. attēls. Makroparaugs ar plankumainu tekstūru un karbonātu kunkuļu joslu (parauga augšējā daļā, labajā pusē). 4.1. paraugs (autores veidots).



5.27. attēls. Plānslīpējuma mikrofotogrāfijas: A - šūnas, kurām apkārt ir mikrītiskas apmalītes; B - blīva karbonātu veidojuma fragmentācija. Nikoli krastoti; 4.1. paraugs (autores foto).

## 5.4. Subaerālo apstākļu pazīmes pētītajos griezumos

### Brekčijas

Izteiktas brekčiju veidošanās pazīmes novērotas tikai 4. griezumā, kur dolokrētiem ir vislielākais biežums. Paraugos 4.8.–4.2. šīs pazīmes ir pārliecinošas. Brekčijas veidošanās saistīta ar žūšanas plaisu izveidi, drupu vai mālainā materiāla ieskalošanos, tad atkārtotu kristalizāciju, kuras procesā plaisas tiek paplašinātas un var attīstīties brekčija (Theriault, Desrochers, 1993). Ceturtajā griezumā dolokrētiem kopumā ir augsta fragmentācijas pakāpe.

### Rizoīdi

Subvertikālas dzīslas ar atzarojumiem, kuriem ir tendence sašaurināties, tika konstatētas 4. atseguma (5.19. a, b attēls) 4.10. a parauga plānslīpējumā. Šīs ir vienīgās plānslīpējumā atrastās labi izteiktās sakņu pazīmes. Dzīslainas sakņu struktūras lauka pētījumu gaitā ir labi saskatāmas mālā (5.2. attēls) Kupravas karjera dienvidu sienas atseguma (5.1. attēls) pirmajā slānī. Lielākās sakņu struktūras sasniedz 2–5 cm platumu, un no kurām atzarojas līdz 3 mm platas gaiši pelēcīgas mazākas sakņu struktūras.

### Šūnveida tekstūras

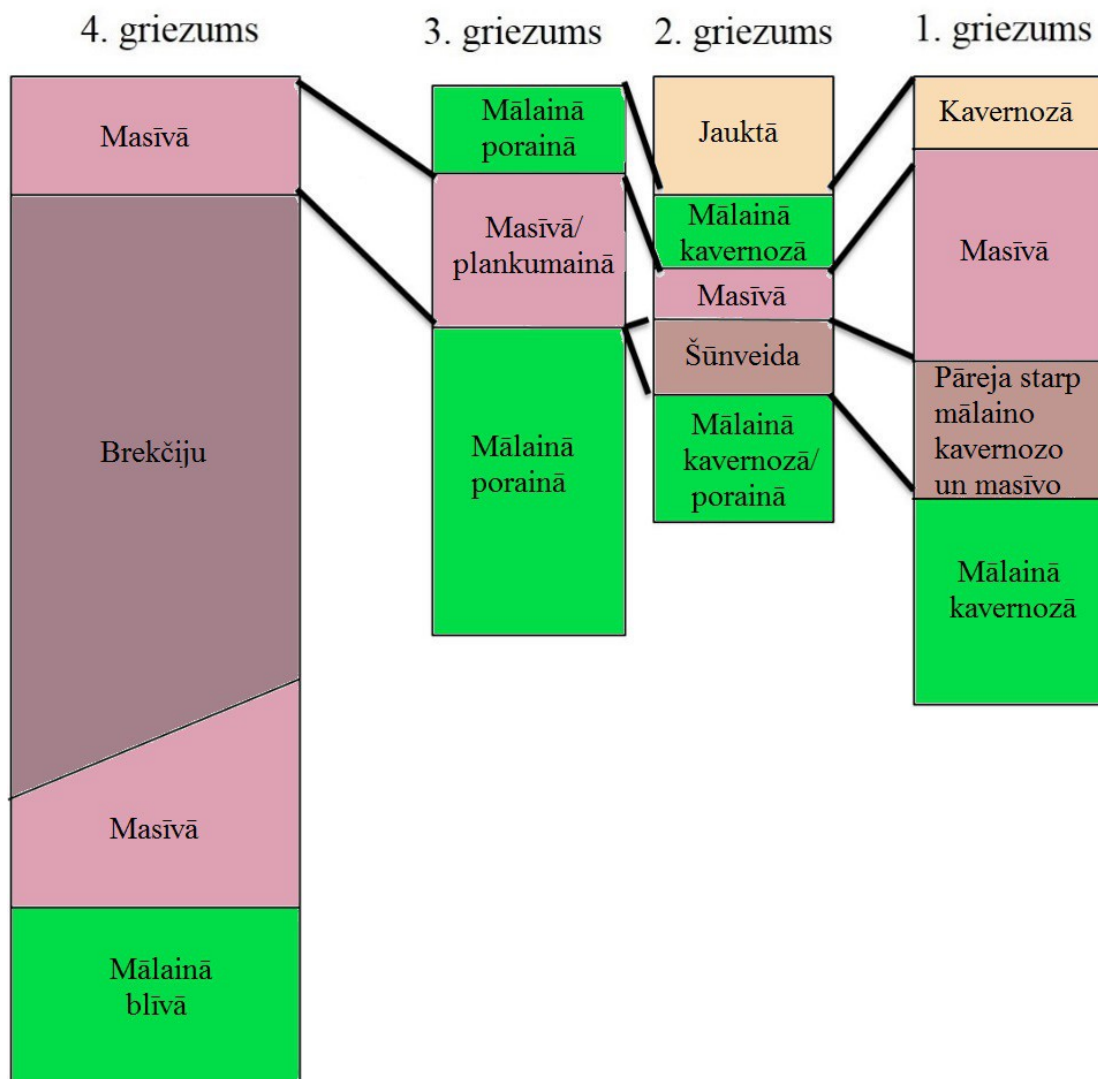
Kupravas atsegumā sastopamās šūnveida tekstūras veido otrā griezuma vidusdaļu (2.4. paraugs). Līdz 2 mm lielas mālainas šūnas ietver 1-2 mm platas gaiša dolomīta cementa dzīslas. Šūnas ir diezgan regulāras. Bez tam plānslīpējumos šūnveida tekstūras tika konstatētas 1. griezumā 1.2. paraugā un 4. griezumā 4.6. paraugā – tur mālaina dolomīta šūnas aptver ļoti smalkkristāliska dolomīta apmalīte. Kopumā šūnveida tekstūras konstatētas pirmajā, otrajā un ceturtajā griezumā.

### Dzīslveida tekstūra

Izteikta dzīslveida tekstūras novērota 4. griezumā (5.17. attēls) 4.10. b-4.10. a un 4.6-4.3. paraugam. Dzīslas ar platumu 1-3 mm lielākoties ir orientētas subvertikāli. Subvertikālas dzīslas ir sastopamas arī 1. griezumā 1.3. a – 1.2. paraugā (5.5. attēlā).

## 5.5. Dolokrētu vertikālā zonalitāte un griezumu korelācija

Šajā apakšnodaļā piedāvāts pēfīto griezumu korelācijas variants (5.28. attēls). Iepriekšējā apakšnodaļā dolokrētu griezumi sadalīti zonās pēc makroparaugu un plānslīpējumu pētījumiem. Griezumu korelācija sagādā problēmas, jo tikai vienu zonu – masīvo – izdevās atpazīt visos griezumos. Labāk savstarpēji ir korelējami ievērojami tuvāk esošie griezumi 1.–3., savukārt 4. griezuma korelēšana ar iepriekšējiem trim sagādā grūtības. Ceturtajā griezumā dolokrēta biezums ir lielāks nekā pirmajos trīs.



5.28. attēls. Griezumu 1.–4. korelācija, pamatojoties uz 5.4. nodaļā nodalītajām zonām.

**Griezumu vertikālais mērogs ir savstarpēji proporcionāls** (autore veidots).

Pirmajā līdz trešajā griezumā var labi korelēt mālaino kavernoza, mālaino poraino un mālaino kavernoza/poraino zonu griezumu apakšējā daļā. Šeit var pamanīt sekojošu sakarību – virzienā no pirmā griezuma uz pārējiem, mālainajās kavernoza zonās kavernas pakāpeniski samazinās līdz poru izmēram, bet māla daudzums tik un tā saglabājas liels,

visbeidzot, ceturtajā griezumā var novērot, ka griezuma apakšējo daļu veido mālaina blīvā zona, kas gan nav korelējama ar pārējiem griezumiem.

Masīva zona ir nodalāma visos griezumos griezumos. Virs masīvās zonas, virzienā no 1. griezuma uz pārējiem atkal var saskatīt līdzību sakarību, kā novērots pagulošajā mālainajā kavernozejā un porainajā zonā – kavernu un poru lielums samazinās. Pirmajā griezumā nodalīta kavernoza zona bez māla, otrajā mālainā kavernoza un trešajā – mālainā porainā.

Neizdevās korelēt brekčiju horizontu, jo tas sastopams tikai 4. griezumā, arī 2. griezumā sastopamo šūnveida zona ir vienīgā.

Visos griezumos novērotas līdzīgas tendences – sākot no apakšas, mālaino zonu nomaina masīvā. Virzienā uz augšu starp 1.–3. un 4. griezumu pastāv atšķirības. Ceturtajā griezumā masīvo zonu nomaina brekčiju zona, kuru atkal pārsedz masīvā zona, savukārt, 1.–3. griezumā virs masīvās zonas uzguļ no kavernoza līdz mālainam porainam materiālam.

Pēc literatūras (Esteban, Klappa, 1983), idealizētā kalkrētu profilā brekčiju horizontu virzienā uz augšu nomaina laminārais, tad masīvais horizonts. Ceturtajā griezumā izteikti vērojams brekčijveida horizonts, kas veidojies starp divām masīvajām zonām. No pirmā līdz trešajam griezumam vērojami atsevišķu cietu dolomītu sakopojumi mālaini kavernoza/porainā zonā, kas, domājams, uzskatāmi par brekčijām. Tie uz augšu pamazām pāriet uz masīvo zonu. Mālaino kavernoza un poraino zonu var interpretēt kā pārejas zonu no mālainā materiāla uz karbonātisko.

## 6. DISKUSIJA

Ģeoloģisko griezumu analīze, pieslīpņu un plānslīpējumu pētījumi liecina par to, ka pētītajiem Katlešu svītas Kupravas ridas dolokrētiem ir raksturīga vertikālā zonalitāte. Pārsvārā tajos var novērot vienu dolokrēta profilu un otru nepilnīgu profilu, bet 4. griezumā ir vērojami arī divi dolokrētu profili. Vairāk par diviem dolokrētu profiliem nevienā no pētītajiem griezumiem netika novērots. Tomēr jāuzsver, ka dolokrētiem pagulošajos mālos ir vērojamas izteiksmīgas augu sakņu sistēmas (5.2. attēls), kas, iespējams, liecina par vēl vienu subaerālās atsegšanās vai baseina ūdens līmeņa svārstību notikumu.

Dolokrētu profilos nevar nodalīt visas ģeoloģiskajā literatūrā (Esteban, Klappa, 1983; Alonso-Zarza, 2010) norādītos horizontus, taču visur ir vērojams cilmieža/dolokrēta pārejas horizonts (mālainā kavernoza, mālainā porainā zona), kā arī masīvā zona, ko literatūrā atzīmē kā vienu no augšējiem kalkrētu horizontiem (Alonso-Zarza, 2003; Fu et al., 2004). 4. griezumā ir nodalīta arī salīdzinoši liela biezuma brekciju zona, bet 2. griezumā – šūnveida dolokrēta zona. Pētītajos dolokrētos nav vērojama plātņveida un pizoīdu horizonts, kas ir bieži sastopami attiecīgi zem un virs masīvā horizonta (Esteban, Klappa, 1983; Alonso-Zarza, 2010):

Divu dolokrētu profilu attīstību, domājams, var skaidrot ar ūdens līmeņa svārstībām Katlešu laikposmā, līdzīgi kā to apraksta literatūrā (Fu et al., 2004). Apskatot globālo ūdens līmeņa svārstību līkni (Haq, Schutter, 2008), var novērot, ka Franas laikmetam bija raksturīgs pakāpenisks ūdens līmeņa kritums, ko pavadīja cikliskas ūdens līmeņa svārstības ar ampiltūdu <25 m vai 25-75 m. Pēc esošajiem datiem nav iespējams precīzi korelēt pētīto dolokrētu ar šīm ūdens līmeņa svārstībām, taču, zinot, ka Baltijas devona baseins bija sekla epikontinentāla jūra (Brangulis u.c., 1998), pat nelielas ūdens līmeņa svārstības varēja ietekmēt nogulumu subaerālo atsegšanos. Kā norāda vidējā devona Burtnieku svītas dolokrētu piemērs Veczemju klintīs (Pipira, 2015), visai izteikts dolokrēts var veidoties pat deltas kanāla aizpildīšanās rezultātā.

Devona periodā būtiski attīstījās gan augi, gan to sakņu sistēmas. Eifela-Živetas laikmetos sakņu iekļūšanas dziļums augsnēs nepārsniedza 20 cm, tad Franas-Famenas laikmetā arheopterīdu koku saknes varēja iekļūst augsnēs līdz 80-100 cm dziļumam (Algeo et al., 2001). Tomēr attiecībā uz devona periodu literatūrā nav norādīti vēl lielāki augu sakņu iekļūšanas dziļumi, līdz ar to var uzskatīt, ka Katlešu svītas dolokrētos novērotie rizolīti liecina par tuvumu Zemes virspusei, tātad atbilst augsnei, nevis dziļākiem līmeņiem.

Pētītajos dolokrētos ir daudz pazīmju, kas norāda uz to, ka tie ir pedogēnie dolokrēti:

- augšminētās augu sakņu struktūras (rizokrēcijas);
- šūnveida tekstūras. Kā atzīmēts ģeoloģiskajā literatūrā (Pfeiffer et al., 2011), vietās, kur kalkrētu cilmieži ir klastiskie nogulumi, šūnveida dolokrēti veidojas, karbonātiem izgulsnējoties plaisās aerācijas zonā. Katlešu svītā dolokrētu cilmieži ir smilšaini aleirītiski nogulumi ar māla piejaukumu, kā to norāda makroparaugos un plānslīpējumos konstatētais dolokrētos esošais piejaukums, kā arī tiem pagulošie smilšainie un mālainie nogulumi;
- žūšanas plaisas (piem., 5.16. attēls). Tās attīstījās subaerālās atsegšanās laikā mainīga mitruma un temperatūras apstākļos, kas veicināja iežu saraušanos un izplešanos (Fu et al., 2004).

Pamatojoties uz augstāk minētajiem datiem, pētītajos Katlešu svītas dolokrētos nav novērotas gruntsūdeņu dolokrētu pazīmes, taču tās nevar pilnībā izslēgt.

## 7. SECINĀJUMI

Darba rezultātā, pamatojoties uz lauka un laboratorijas pētījumiem, kā arī iegūto datu salīdzinājumu ar ģeoloģiskās literatūras datiem, iegūti šādi svarīgākie secinājumi par Katlešu svītas dolokrētiem Kupravas atradnē:

- pētītajiem Katlešu svītas Kupravas ridas dolokrētiem ir raksturīga vertikālā zonalitāte - tajos var novērot divus, vietām nepilnīgus dolokrētu profilus, kas pārsvarā iesākas ar mālainiem, porainiem, kavernoziem vai blīviem dolokrētiem un noslēdzas ar masīviem dolokrētiem;
- pētītos dolokrētu griezumus daļēji ir iespējams korelēt, par pamatu izmantojot augšminēto vertikālo zonalitāti;
- divu dolokrētu profilu attīstību, domājams, var skaidrot ar ūdens līmeņa svārstībām Katlešu laikposmā. Pēc esošajiem datiem nav iespējams precīzi saistīt pētīto dolokrētu ar šīm ūdens līmeņa svārstībām, taču, epikontinentālajā Baltijas devona baseinā pat nelielas ūdens līmeņa svārstības varēja ietekmēt nogulumu subaerālo atsegšanos. Nav izslēgta autociklisku procesu ietekme uz dolokrētu veidošanos;
- ģeoloģiskajā literatūrā ir atzīmēts, ka Franas un Famenas laikmetā koku saknes varēja iekļūst augsnēs līdz 80-100 cm dziļumam, tādēļ var uzskatīt, ka Katlešu svītas dolokrētos novērotie rizolīti liecina par tuvumu Zemes virspusei, tātad atbilst augsnei, nevis dziļākiem līmeņiem;
- pētītajos dolokrētos atrastās augu sakņu struktūras (rizokrēcijas), šūnveida tekstūras, kā arī žūšanas plaisas norāda uz to, ka tie ir pedogēnie dolokrēti.

## PATEICĪBA

Autore izsaka pateicību darba vadītājam asoc. prof., Dr. Ģeol. Ģirtam Stinkulim par nesavtīgi ieguldīto darbu, enerģiju un morālo atbalstu, lai varētu tapt bakalaura darbs. Paldies Iežu pētījuma laboratorijas zinātniskajam asistentam M. ģeol. Konrādam Popovam par praktisku problēmu risināšanu un padomu došanu.

## IZMANTOTĀ LITERATŪRA

### Publicētā literatūra

- Algeo, T. J., Scheckler, S. E., 1998. Terrestrial-marine teleconnections in the Devonian: links between the evolution of land plants, weathering processes, and marine anoxic events. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences* 353, 113-130.
- Algeo, T. J., Scheckler, S. E., Maynard, J. B., 2001. Effects of the Middle to Late Devonian spread of vascular land plants on weathering regimes, marine biotas, and global climate. In Gensel, P. G., Edwards, D. (eds.), *Plants Invade the Land, Evolutionary and Environmental Perspectives*. Columbia Univ. Press, New York, pp. 213-236.
- Alonso-Zarza A. M., 2003. Palaeoenvironmental significance of palustrine carbonates and calcretes in the geological record. *Earth Science Reviews* 60, 261-298.
- Alonso-Zarza, A. M., Wright, P. V., 2010. Calcretes. In Alonso-Zarza, A. M., Tanner, L. H. (eds.), *Carbonates in Continental Settings: Facies, Environments and Processes. Developments in Sedimentology 61*. Elsevier, Amsterdam, pp. 225-268.
- Andrevs, J.E., 2006. Paleoclimatic records from stable isotopes in riverine tufas: synthesis and review. *Earth Science Reviews* 75 (1-4), 85-104.
- Berner, E.K., Berner, R.A., Moulton, K.L., 2003. Plants and mineral weathering: present and past. In: Holland, H.D., Turekian, K.K. (Eds.), *Treatise on Geochemistry*. Pergamon, Oxford, pp. 169-188.
- Berner, R.A., 1992. Weathering, plants, and the long term carbon cycle. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 56 (8), 3225-3231.
- Brangulis A. J., Kuršs V., Misāns J., Stinkulis Ģ. 1998. *Latvijas ģeoloģija*. Rīga, Jāņa sēta, 70 lpp.
- Brasier A. T., 2011. Searching for travertines, calcretes and speleothems in deep time: Processes, appearances, predictions and the impact of plants. *Earth-Science Reviews* 104, 213-239.
- Candy, I., Black S., 2009. The timing of Quaternary calcrete development in semi-arid southeast Spain: Investigating the role of climate on calcrete genesis. *Sedimentary Geology* 218, 6-15.
- Carlisle, D. 1980. Possible variations on the calcrete-gypcrete uranium model. Open-file Report, U.S. Department of Energy, GJBX-53(80), 38 pp.
- Chen, X. Y., McKenzie, N. J., Roach, I. C., 2002. Distribution in Australia: calcrete landscapes. In: Chen, X.Y., Lintern, M.J., and Roach, I.C. (Eds), *Calcrete Characteristics, Distribution and Use in Mineral Exploration*. Cooperative Research Centre for Landscape Environments and Mineral Exploitation, Perth, Western Australia, pp. 110-138.
- Chen, X. Y., 2002. Classification systems. In: Chen, X.Y., Lintern, M.J., and Roach, I.C. (Eds), *Calcrete Characteristics, Distribution and Use in Mineral Exploration*. Cooperative Research Centre for Landscape Environments and Mineral Exploitation, Perth, Western Australia, pp. 16-22.
- Chow, N., Wendte, J., 2011. Palaeosols and palaeokarst beneath subaerial unconformities in an Upper Devonian isolated reef complex (Judy Creek), Swan Hills Formation, west-central Alberta, Canada. *Sedimentology* 58, 960-993.
- Esteban, M., Klappa, C. F., 1983. Subaerial exposure environments. In: Scholle, P. A., Bebout, D. G., Moore, C. H. (Eds), *Carbonate Depositional Environments. American Association of Petroleum Geologists Memoir 33*, pp. 1-96.

- Fu, Q., Qing, H., Bergman, K. M. 2004. Dolomitized calcrete in the Middle Devonian Winnipegosis carbonate mounds, subsurface of south-central Saskatchewan, Canada. *Sedimentary Geology* 168, 49-69.
- Haq, B. U., Schutter, S. R., 2008. A chronology of Paleozoic sea-level changes. *Science* 322, 64-68.
- Hillier, R. D., Edwards, D., Morrissey L. B., 2008. Sedimentological evidence for rooting structures in the Early Devonian Anglo-Welsh Basin (UK), with speculation on their producers. *Paleogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 270, 366-380.
- Kuršs, V., Stinkule, A., 1997. *Latvijas derīgie izrakteņi*. Rīga, LU, 200 lpp.
- Machette, M.N., 1985. Calcic soils of southwestern United States. In: Weide, D.L. (Ed.), *Soil and Quaternary Geology of the Southeastern United States*. Geological Society of America, Special Paper 203, pp. 1-21.
- Pfeiffer, M., Le Roux, J. P., Solleiro-Rebolledo, E., Kemnitz, H., Sedov, S., Seguel, O., 2011. Preservation of beach ridges due to pedogenic calcrete development in the Tongoy palaeobay, North-Central Chile. *Geomorphology* 132, 34-248.
- Pipira D., Stinkulis Ģ. 2014. Dolokrētu paveidi Latvijas devona slāņkopā. *LU 72. zinātniskā konference. Ģeogrāfija. Ģoloģija Vides zinātne. Referātu tēzes*. Latvijas Universitāte, Rīga, lpp. 224-226.
- Sorokins V., 1998. *Sņežas horizonts*. Enciklopēdija "Latvijas daba". 5. sēj., 134. lpp.
- Stinkule A. 2014. *Māli Latvijas zemes dzīlēs*. Rīga, RTU izdevniecība, 121 lpp.
- Stinkulis Ģ. 2004. Karbonātu nogulumi Šķerveļa svītas nogulumos. *LU 62. zinātniskā konference. Ģeogrāfija. Ģoloģija Vides zinātne. Referātu tēzes*. Latvijas Universitāte, Rīga, lpp. 177.
- Stinkulis Ģ. 2006. Dolomītu garozas Latvijas devona klastiskajos nogulumos – jūru regresiju pazīmes. *LU 64. zinātniskā konference. Ģeogrāfija. Ģoloģija Vides zinātne. Referātu tēzes*. Latvijas Universitāte, Rīga, lpp. 210-211.
- Stinkulis Ģ., Indāns I., Ignāte L. 2007. Devona Šķerveļa svītas nogulumi un to veidošanās apstākļi. *LU 65. zinātniskā konference. Ģeogrāfija. Ģoloģija Vides zinātne. Referātu tēzes*. Latvijas Universitāte, Rīga, lpp. 202-204.
- Stinkulis Ģ. 2008. Dolocretes in the Devonian deposits of Latvia. In: Hints O., Ainsaar L., Männik, P., Meidla, T. (eds.). *The Seventh Baltic Stratigraphical Conference. Abstracts and Field Guide*. Geological Society of Estonia, Tallinn, pp. 66.
- Stinkulis, Ģ., Spruženiece L., 2011. Dolocretes as indicators of the subaerial exposure episodes in the Baltic Devonian paleobasin. In Lukševičš, E., Stinkulis Ģ, Vasiļkova, L. (eds.), *The Eighth Baltic Stratigraphical Conference. Abstracts*. University of Latvia, Riga, pp.62
- Stinkulis Ģ., Petrikas A. 2011. Subareālo apstākļu pazīmes devona Šķerveļa svītas nogulumiežos Lētižas gravas atsegumā. *LU 69. zinātniskā konference. Ģeogrāfija. Ģoloģija Vides zinātne. Referātu tēzes*. Latvijas Universitāte, Rīga, lpp. 384-386.
- Tabor N. J., Smith R. M. H., Sébastien Steyer J., Sidor C. A., Poulsen C. J., 2011. The Permian Moradi Formation of northern Niger: Paleosol morphology, petrography and minerology. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 299, 200-213.
- Theriault P., Desrochers A., 1993. Carboniferous calcretes in Canadian Arctic. *Sedimentology* 40, 449-465.
- Tucker, M. E., Wright, V. P., 1990. *Carbonate Sedimentology*. Blackwell Scientific Publications, pp. 482.
- Tucker M. E., 1991. *Sedimentary petrology*. An introduction to the origin of sedimentary rocks. Blackwell Science, 260 pp.
- Wright V. P. 1990. Meteoric diagenesis. In: *Carbonate sedimentology*, Blackwell Scientific Publications, pp. 336-348.

- Wright, V. P., 2007. Calcrete In: Nach, D. J., MacLaren, S. J. (Eds.), *Geochemical Sediments and Landscapes*. Wiley-Blackwell, Oxford, UK, pp.10-45.
- Wright, V. P., Tucker, M.E. 1991. *Calcretes*. Blackwell Scientific Publications. Carlton, Australia, pp. 352.
- Wright, V. P., Tucker, M. E., 2009. Calcretes: an introduction. *In* Wright, V. P., Tucker, M. E. (eds.), *Calcretes*. Reprint Series of the International Association of Sedimentologists, Reprint Series Volume 2, Blackwell, Oxford, pp. 1-24.
- Zhou, J., Chafetz, H. S., 2009. Biogenic caliches in Texas: The role of organisms and effect of climate. *Sedimentary Geology* 222, 207-225.
- Сорокин, В.С. 1978. Этапы развития Северо-Запада Русской платформы во Франском веке. Рига, Зинатне, с. 282.
- Сорокин, В.С. 1981. Франский ярус Верхний подъярус. В кн.: Девон и карбон Прибалтики. Под ред. В. С. Сорокина и др. Рига, Зинатне, с. 273-301.
- Сорокин, В.С. 1981. Снежский, памушский, горизонт. В кн.: Девон и карбон Прибалтики. Рига, Зинатне. с. 261-282.

### **Nepublicētā literatūra**

- Gailīte L., Hodireva V., Kuršs V., Meirons Z., Savvaitova L., Stinkulis Ģ., Zabele A., 1996. *Nogulumiežu klasifikācijas sastādīšana*. Rīga, LU Ģeoloģijas institūta fonds, 37 lpp.
- Jurševska L., 2015. Augšējā devona Šķerveļa svītas dolokrētu uzbūve un sastāvs Lētīžas grīvas atsegumā. Bakalaura darbs. Rīga, 82 lpp.
- Kļaviņš U., 2009. Karbonātu veidojumi apakšējā un vidējā devona nogulumos Latvijā. Maģistra darbs. Rīga, 57 lpp.
- Meire-Kārkle M., 2015. Augšdevona Katlešu svītas dolokrēti Kupravas māla karjera atsegumā: uzbūve, sastāvs un veidošanās apstākļi. Kurša darbs. Rīga, 34 lpp.
- Petrikas A., 2009. Karbonātu ieslēgumi devona Katlešu svītas nogulumos Kupravas apkārtnē. Bakalaura darbs. Rīga, 43 lpp.
- Pipira, D., 2015. Subaerālās atsegšanās notikumu pazīmes un veidojumi devona slāņkopā Latvijā. Disertācija. Latvijas Universitāte, Rīga, 134 lpp.
- Stinkulis, Ģ. (compiler) 1999. Field trip "Devonian" guidebook (the Fourth Baltic Stratigraphical Conference). Riga, 50 p.
- Ионин В.Д., 1992. Отчет о предварительной разведке глини в Купровском месторождении, Том I, Том II.

### **Interneta avoti:**

- LU ĢZZF WMS. 2009. 3. etapa ortofoto. Latvijas Ģeotelpiskās informācijas aģentūra. Skatīts 15.01.2016. Pieejams: <http://kartes.geo.lu.lv>