



**LATVIJAS
UNIVERSITĀTE**

PROMOCIJAS DARBS

**Rīga
2024**



LATVIJAS UNIVERSITĀTE

EKSAKTO ZINĀTŅU UN TEHNOĻĪJU FAKULTĀTE

Edgars Danefelds

PĻAVIŅU REĢIONĀLĀ STĀVA KARBONĀTIEŽU FĀCIJU ANALĪZE BALTIJAS DEVONA PALEOBASEINA CENTRĀLAJAI DAĻAI

PROMOCIJAS DARBS

Zinātnes doktora grāda (PhD) iegūšanai dabas zinātnēs
Zinātnes nozare: Zemes zinātnes, fiziskā ģeogrāfija un vides zinātnes
Apakšnozare: pamatiežu ģeoloģija

Rīga 2024

Promocijas darbs izstrādāts Latvijas Universitātes Eksakto zinātņu un tehnoloģiju fakultātē, Ģeoloģijas nodaļas Pamatiežu ģeoloģijas katedrā no 2015. gada līdz 2024. gadam.

NACIONĀLAIS
ATTĪSTĪBAS
PLĀNS 2020



EIROPAS SAVIENĪBA

Eiropas Sociālais
fonds



LATVIJAS
UNIVERSITĀTE

I E G U L D Ī J U M S T A V Ā N Ā K O T N Ē

Eiropas Sociālā fonda projekts "LU doktorantūras kapacitātes stiprināšana jaunā doktorantūras modeļa ietvarā", Nr.8.2.2.0/20/1/006, LU reģistrācijas numurs Nr.ESS2021/434.

Promocijas darba zinātniskais vadītājs:

Ģirts Stinkulis, asociētais profesors, Dr. geol. (Latvijas Universitāte)

Recenzenti:

Māris Krievāns, asociētais profesors, Dr. geol. (Latvijas Universitāte)

Leho Ainsaar, profesors, Dr. geol. (Tartu Universitāte (Tartu Ülikool))

Maciej Bojanowski, asociētais profesors, Dr. geol. (Ģeoloģijas institūts, Polijas Zinātņu akadēmija (Instytut Nauk Geologicznych Polskiej Akademii Nauk))

Promocijas padomes sastāvs:

Ģirts Stinkulis, asociētais profesors, *Dr. geol.*

Ervīns Lukševičs, profesors, *Dr. geol.* – padomes vietnieks

Aija Dēliņa, *Dr. geol.*

Juris Soms, *Dr. geol.*

Padomes sekretāri:

Normunds Stivriņš, profesors, *Dr. geol.* – padomes priekšsēdētājs

Māris Krievāns, asociētais profesors, *Dr. geol.* – padomes sekretārs

Promocijas darbs pieņemts aizstāvēšanai ar Latvijas Universitātes Ģeoloģijas promocijas padomes 2024. gada 18. aprīļa sēdes rīkojumu Nr. 29-31/180424.

Promocijas darba atklāta aizstāvēšana notiks LU Ģeoloģijas promocijas padomes sēdē 2024. gada 20. septembrī, Rīgā, Jelgavas ielā 1, 702. auditorijā.

Promocijas darba kopsavilkuma izdošanu ir finansējusi Latvijas Universitāte.

Ar promocijas darbu var iepazīties Latvijas Universitātes Bibliotēkas Daudznozaru bibliotēkā: datorika, juridiskās zinātnes, teoloģija, Rīgā, Raiņa bulv. 19.

Atsauksmes sūtīt: *Dr. ģeol.* **Ģirts Stinkulis**, Latvijas Universitātes Ģeoloģijas nodaļa, Rīga, Jelgavas iela 1, LV-1004. Fakss: +371 67332704, e-pasts: girts.stinkulis@lu.lv

© Edgars Danefelds, 2024
© Latvijas Universitāte, 2024

ANOTĀCIJA

Promocijas darbā analizēti karbonātisko nogulu uzkrāšanās apstākļi Franas laikmetā devona Baltijas paleobasēnā, Pļaviņu laikposmā, pamatojoties uz dolomītu, dolomītmerģeļu un daļēji dolomitizētu kaļķakmeņu fāciju analīzi. Izmantotas šādas pētījumu metodes: ģeoloģisko griezum dokumentācija un pētījumi, makroparagu analīze, XRD, XRF, TOC, oglekļa un skābekļa stabilo izotopu, kā arī *Biomarker* analīzes metode. Veikta fāciju nodalīšana un fāciju asociāciju raksturojums un interpretācija. Secināts, ka sedimentācijas procesus Pļaviņu laikposmā periodiski ietekmēja vidēju vētru darbība, bet bijuši galvenokārt mierīgi seklas jūras apstākļi ar īslaicīgām subaerālās atsegšanās epizodēm. Pētījumu teritorijas ziemeļu daļā tika atklāti cikli, kas liecina par periodiskām jūras līmeņa svārstībām, nelielo baseina dziļumu un plūdmaiņu ietekmēm. Pētījuma teritorija atbilst epikontinentālai platformai, virzienā uz ziemeļaustrumiem bijusi tās Z zona, lokāli arī Y zona. Pētījuma ietvaros secināts, ka savienojums ar pasaules okeānu bijis dienvidietumu virzienā, par ko liecina laminātu izplatības pieaugums pētījuma objektos virzienā uz ziemeļiem, savukārt virzienā uz dienvidrietumiem ir vairāk dolomītu ar organismu atliekām.

Raksturvārdi: epikontinentāls baseins, sedimentācijas apstākļi, Franas stāvs, dolomīti, karbonātu platforma.

ANNOTATION

The doctoral thesis focuses on carbonate sedimentary environments of the Late Devonian Pļaviņas time in the Baltic palaeobasin, based on dolomite, dolomitic marl and partly dolomitized limestone facies analysis. Such methods as geological exposure documentation and studies, macro-sample analysis, XRD, XRF, TOC, stable C and O isotope and *Biomarker* analysis methods. Facies and facies associations have been divided, described and interpreted. It was concluded that sedimentary environments during Pļaviņas time were influenced by periodic medium-intensity storm events, but overall sedimentary environments can be described as shallow-marine, of low energy, with some short-time subaerial exposure episodes. Cycles were discovered in deposits in some objects located in northern part of the study area, which lead to conclusion about periodic sea level fluctuations, shallowness of basin and tidal influence. Study area corresponds to epeiric platform, towards north-east it can be classified as the Z zone, locally also Y zone is identified. It has been concluded that the connection to an open ocean was towards south-west, evidenced by high number of laminae in north and organogenic carbonates in south-east.

Keywords: epeiric basin, sedimentary environments, Frasnian, dolomites, carbonate platform.

SATURS

IEVADS.....	6
1. IESKATS DEVONA KARBONĀTIEŽU PĒTĪJUMU VĒSTURĒ LATVIJĀ UN PASAULĒ	12
1.1. Pētījumi par Baltijas vēlā devona paleobaseina karbonātiežiem.....	12
1.2. Devona karbonātiežu pētījumi citviet pasaulē.....	14
2. KARBONĀTU SEDIMENTĀCIJA UN SECĪBU STRATIGRĀFIJA	16
2.1. Karbonātu sedimentācija seklās iekšzemes (epikontinentālās) jūrās	16
2.2. Karbonātu sedimentāciju ietekmējošie faktori	18
3. PĻAVIŅU SVĪTAS NOGULUMIEŽI LATVIJĀ	19
3.1. Latvijā sastopamo Pļaviņu svītas nogulumiežu līdzšinējo sedimentoloģisko pētījumu rezultāti.....	19
4. MATERIĀLS UN METODEDES.....	25
4.1. Lauka pētījumi	27
4.1.1. Karbonātiežu paraugu ievākšana	27
4.1.2. Atsegumu apraksti un fotodokumentācija	27
4.1.3. Ģeoloģisko griezumu dokumentācija	28
4.2. Laboratorijas pētījumu metodes	28
4.2.1. Pieslīpņu (mezoparaugu) izgatavošana	28
4.2.2. Paraugu sagatavošana XRD, XRF, <i>Biomarker</i> , TOC analīzēm un oglekļa un skābekļa stabilo izotopu analīzēm.....	28
4.2.3. Rentgendifraktometriskā (XRD) analīze	29
4.2.4. Rentgenfluorescences (XRF) analīze	31
4.2.5. TOC analīze	31
4.2.6. <i>Biomarker</i> lipīdu analīze	31
4.2.7. Oglekļa un skābekļa stabilo izotopu analīze.....	32
5. REZULTĀTI UN INTERPRETĀCIJA.....	33
5.1. Pētītie ģeoloģiskie griezumi un stratigrāfiskais iedalījums	33
5.1.1. Randātu klinšu ģeoloģiskā griezuma raksturojums	33
5.1.2. Grūbes dolomīta atseguma ģeoloģiskā griezuma raksturojums	34
5.1.3. Marinovas atradnes ģeoloģiskā griezuma raksturojums.....	35
5.1.4. Riežupes atsegumu ģeoloģisko griezumu raksturojumi	37
5.1.5. Ventas rumbas atseguma ģeoloģiskā griezuma raksturojums	39
5.1.6. Īvandes ūdenskritumu atseguma ģeoloģiskā griezuma raksturojums.....	40
5.1.7. Dārziema dolomīta atradnes ģeoloģiskā griezuma raksturojums	42
5.1.8. Apes pamestās dolomīta atradnes ģeoloģiskā griezuma raksturojums.....	44
5.1.9. Lauciņu (Cēsu) bijušās dolomīta atradnes ģeoloģiskā griezuma raksturojums.....	45
5.1.10. Kalkahju (Peetri) atseguma ģeoloģiskā griezuma raksturojums	47
5.1.11. Īļaku ieža ģeoloģiskā griezuma raksturojums	48
5.1.12. Vizuļu ieža ģeoloģiskā griezuma raksturojums.....	50
5.1.13. Kalamecu un Markuzu gravas ģeoloģiskā griezuma raksturojums	51
5.2. Fācijas.....	54
5.3. Fāciju asociācijas	68
5.3.1. FA1 – vidējā līdz augšējā plūdmaiņu zona.....	68

5.3.2. FA2 – sekla, normāla sāļuma jūra.	71
5.3.3. FA3 – vētru vai citu aktīvu notikumu ietekmēti karbonātieži.	75
5.4. Rrentgendifraktometrijas (XRD) analīžu rezultāti un to interpretācija	76
5.5. Fāciju un fāciju asociāciju izplatība Pļaviņu svītas ridās	78
5.5.1. Kokneses rida	79
5.5.2. Sēlijas rida	81
5.5.3. Atzeles rida	84
5.5.4. Apes rida.....	86
5.6. Rentgenfluorescences spektroskopijas (XRF) analīžu rezultāti un to interpretācija	90
5.7. Skābekļa un oglekļa stabilo izotopu analīžu rezultāti un to interpretācija	92
5.8. TOC analīžu rezultāti un to interpretācija	96
5.9. Fosilijas un ihnofosilijas pētītajos karbonātiežos	96
6. DISKUSIJA	98
SECINĀJUMI	106
IZMANTOTĀ LITERATŪRA	108
PIELIKUMI.....	113

IEVADS

Pētījuma tēmas aktualitāte

Augšējā devona Pļaviņu reģionālā stāva nogulumieži ir plaši izplatīti Latvijas teritorijā un pieejami pētījumiem vairākos desmitos dabīgu atsegumu un karjeru sienu. Tie ir aprakstīti iepriekš veiktos plašos sedimentoloģiskos, paleontoloģiskos un mineraloģiskos darbos (Gravitis, 1967; Liepin'sh, 1963, Sorokin, 1978, Stinkulis, 1998 u.c.). Vienlaikus ar Daugavas reģionālo stāvu Pļaviņu reģionālais stāvs ir tipisks ar to, ka tajā izsekojamas K. Grevinga (1861) nodalītās zonas (tolaik, fācijas): Veļikajas zona austrumos ar dominējošiem kaļķakmeņiem, Daugavas zona Latvijas centrālajā daļā ar dolomītu dominanci un Kurzemes zona rietumos ar mālainiem dolomītiem, dolomītmerģeļiem un māliem (Stinkule, Stinkulis, 2017). Šīs nogulumiežu izplatības likumsakarības, kā arī organismu atlieku skaita un daudzveidības samazināšanās no austrumiem uz rietumiem norāda, ka sedimentācijas baseins bija savienots ar atklātu baseinu austrumu virzienā (Brangulis *et al.*, 1998). Pļaviņu reģionālais stāvs arī atbilst pirmajam karbonātu sedimentācijas laikposmam Baltijas devona baseinā kopš ilgstošās dominējošās siliciklastisko nogulu veidošanās agrajā devonā līdz vēlā devona sākumam (Lukševičs, Stinkulis 2018). Pļaviņu reģionālā stāva nogulumiežu detalizēti sedimentoloģiski pētījumi ir būtiski kopējai izpratnei par karbonātisko nogulu veidošanās likumsakarībām Baltijas devona baseinā. Promocijas darbā veicamo pētījumu aktualitāti nosaka arī tas, ka iepriekšējie Franas stāva karbonātiežu sedimentoloģiskie pētījumi (Gravitis, 1967; Liepin'sh, 1963, Sorokin, 1978, 1981 u.c.) ir veikti pirms 40–60 gadiem. Tie bija detalizēti un plaši, taču balstījās uz ciklostatigrāfijas principiem, neizmantojot mūsdienās aktuālo fāciju analīzi. Šo seklūdēns epikontinentālā baseinā (Lukševičs *et al.*, 2012) veidojušos nogulumu pētījumos būtu svarīgi izmantot arī šādiem baseiniem izmantojamo fāciju zonu iedalījumu (James, Jones, 2016), kas atšķiras no tradicionāla iedalījuma, ko pielieto karbonātu nogāzēm un karbonātu platformām. Karbonātiežu fāciju un fāciju asociāciju nodalīšana ir būtiska, lai turpmākos pētījumos izveidotu Pļaviņu svītas nogulumu datormodeli, līdzīgi literatūrā atrodamiem epikontinentālu baseinu nogulumiežu piemēriem (Warnecke, Aigner, 2019).

Karbonātisko nogulumu veidošanās apstākļu interpretācija mūsdienās ir aprūtināta bez stabilo izotopu ģeoķīmijas un citu analītisko metožu pielietojuma, kas Latvijas devona karbonātiežiem līdz šim izmantotas ļoti ierobežotā apmērā.

Pētījuma rezultāti ir izmantojami karbonātu sedimentologiem arī citur pasaulē saistībā ar Pļaviņu svītas karbonātiežu dokumentāciju samērā plašā teritorijā, kas var palīdzēt citu seklūdēns epikontinentālo karbonātu baseinu fāciju analīzē.

Pētāmie Pļaviņu reģionālā stāva ieži ir gandrīz pilnībā dolomitizēti. To sākotnējo veidošanās apstākļu noskaidrošana ir aktuāls jautājums un vienlaikus zināms izaicinājums, jo dolomitizācija senā Baltijas paleobaseina ietvaros palielinās virzienā uz dienvidrietumiem (Lukševičs *et al.*, 2012). Baltijas valstu teritorijā praktiski visi Franas stāva karbonātieži ir dolomīti, kuros saglabājas tikai neliela daļa iežu sākotnējo tekstūru, t. sk. organogēno, kuras ļauj interpretēt sedimentācijas apstākļus.

Pētījuma mērķis un uzdevumi

Promocijas darba mērķis ir noskaidrot karbonātisko nogulu uzkrāšanās apstākļus Franas laikmetā devona Baltijas paleobaseinā, Pļaviņu reģionālā stāva nogulumiežu veidošanās laikposmā, pamatojoties uz detalizētu fāciju analīzi un laboratorijas pētījumu metožu kompleksu.

Promocijas darba mērķa sasniegšanai tika izvirzīti šādi darba uzdevumi:

- 1) Veikt iepriekšējo pētījumu analīzi par sedimentācijas apstākļiem devona Franas laikmetā, Baltijas devona paleobaseinā;
- 2) Veikt mūsdienu literatūras avotu analīzi par karbonātu sedimentoloģiju un karbonātisko nogulu uzkrāšanos seklās epikontinentālās jūrās;
- 3) Analizēt karbonātiežu tekstūras un veikt to paleontoloģisku raksturojumu;
- 4) Veikt ģeoloģisko griezum dokumentāciju un analīzi karjeros un atsegumos Baltijas valstu teritorijā, konkrēti Latvijā un Igaunijas dienvidaustrumos;
- 5) Izdarīt pētīto ģeoloģisko griezum savstarpēju korelāciju un nodalīt šīs svītas ridas tajos;
- 6) Veikt atlasītu karbonātiežu paraugu analīzi ar XRD, XRF, TOC, *Biomarker*, oglekļa un skābekļa stabilo izotopu metodēm;
- 7) Nodalīt fācijas un to asociācijas, kā arī veikt sedimentācijas vides interpretāciju, gan laikā, gan pētījumu teritorijā;
- 8) Izvērtēt sedimentācijas apstākļus ietekmējošos faktoros un to izmaiņas;
- 9) Nodalīt Baltijas Franas laikmeta karbonātu sedimentācijas baseina mūsdienu un senos analogus.

Promocijas darba pirmajā nodaļā un tās apakšnodaļās sniegts ieskats devona karbonātiežu pētījumu vēsturē gan Latvijā, gan citviet pasaulē. Otrajā nodaļā raksturoti karbonātu sedimentācijas procesi mūsdienās, kā arī senajos baseinos, raksturota karbonātu sedimentācija seklās iekšzemes jūrās un aprakstīti karbonātu sedimentāciju ietekmējošie faktori. Trešajā nodaļā aprakstīti Pļaviņu svītas nogulumieži Latvijā un Latvijā sastopamo Pļaviņu svītas nogulumiežu līdzšinējo sedimentoloģijas pētījumu rezultāti. Ceturtajā nodaļā aprakstīti promocijas darba pētījumā izmantotie materiāli, tai skaitā lauka pētījumos izmantotās metodes un arī pielietotās laboratorijas pētījumu metodes un veiktās analīzes. Piektajā nodaļā atspoguļoti rezultāti un interpretācija, tai skaitā pētīto ģeoloģisko griezum apraksti, nodalītās fācijas un fāciju asociācijas, XRD, XRF, oglekļa un skābekļa stabilo izotopu un TOC analīžu rezultāti un to interpretācija, fāciju un fāciju asociāciju sasaiste ar Pļaviņu svītas ridām, fāciju nozīme pētīto karbonātiežu veidošanās apstākļu interpretācijā, kā arī raksturota fosiliju daudzveidība pētītajos karbonātiežos. Sestajā nodaļā veikta diskusija – apspriesti autora iegūtie dati ar citu pētnieku datiem citviet pasaulē. Tam seko secinājumi, izmantotās literatūras saraksts un pielikumi. Pētījumā izmantota informācija no 78 publicētiem zinātniskās literatūras avotiem un 4 npublicētiem avotiem.

Promocijas darbs izstrādāts laika posmā no 2015. gada septembra līdz 2023. gada oktobrim. Informācija promocijas darba literatūras analīzes daļai iegūta Latvijas Universitātes Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu bibliotēkā (tai skaitā, izmantojot LU abonētos e-resursus), Latvijas Nacionālajā bibliotēkā, Vīnes Universitātes Ģeodinamikas un sedimentoloģijas centrā. Karšu un plānu sagatavošanai izmantots Latvijas Universitātes Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu karšu serveris. Pētījuma izstrādes laikā dokumentēti 14 vēlā devona Pļaviņu svītas atsegumi Latvijā, galvenokārt Ziemeļvidzemē un Kurzemē, kā arī Igaunijas dienvidaustrumu daļā, Veru (Võru) apriņķī. Kopumā ievākti vairāk kā 150 karbonātiežu paraugi. No lielākās daļas karbonātiežu paraugu tika izgatavoti pieslīpējumi (mezoparaugi), tomēr pētījumā izmantota tikai aptuveni puse reprezentatīvāko eksemplāru ar būtiskākajām sedimentācijas vidi raksturojošajām tekstūrām un citām īpatnībām.

Pētījuma novitāte

Šim promocijas darba ietvaros veiktajam pētījumam ir ievērojama novitāte Latvijas un Baltijas valstu mērogā, jo pirmo reizi kopš 1960.–80. gados veiktajiem devona karbonātiežu

pētījumiem (Gravitis, 1967; Liepin'sh, 1963, Sorokin, 1978, 1981 u.c.) tiek veikta kādas Franas stāva karbonātiskās griezumdaļas fāciju analīze tik plašā teritorijā.

Pētījuma zinātnisko novitāti nosaka vairāki aspekti. Tā kā pētāmie karbonātieži ir galvenokārt dolomīti, kuros dolomitizācijas rezultātā ir zudušas daudzas primāro kaļķakmeņu struktūras un tekstūras (Stinkulis, 1998), promocijas darba gaitā tika izstrādāta metodika šo pazīmju identifikācijai. Tā pamatojas uz lauka pētījumu, pieslīpņu (makroparaugu) mikroskopijas un laboratorisko analīžu metožu kombināciju, kā arī viena vecuma dolomītu salīdzinājumu ar to vecuma analogiem kaļķakmeņiem.

Epikontinentālas jūras ir seklūdens baseini kontinentu teritorijā – iekšzemē, kam atšķirībā no ezeriem ir savienojums ar pasaules okeānu. Mūsdienās ir ļoti maz šāda veida baseinu analoģu; no tiem var atzīmēt vienīgi Baltijas jūru, Hudzona līci un Karpentārija līci (Algeo *et al.*, 2008). Savukārt devona periodā, Živetas un Franas laikmetā, epikontinentālas jūras klāja lielāko daļu Eiramērijas kontinenta (Scotese, 2014). Šīm jūrām pieskaitāms arī Baltijas devona baseins. Ir daudz citu seno epikontinentālo karbonātu un klastiskās sedimentācijas baseinu piemēru (Tucker, Wright, 1990; Reading *et al.*, 1996). Sakarā ar labu mūsdienu analoģu trūkumu, informācija par senajām iekšzemes jūrām ir iegūstama tikai, pētot tur veidojušos nogulumus (Schieber, 2016). Šie apstākļi nosaka nepieciešamību pielietot detalizētus pētījumus un uzlabot to metodiku pētāmajiem karbonātiežiem. Darba novitāti nosaka arī tas, ka karbonātiežu uzbūves pētījumi dažādos mērogos tika kombinēti ar tādām metodēm kā XRD, XRF, TOC un *Biomarker* analīzes, kā arī skābekļa un oglekļa stabilo izotopu analīzēm.

Pēdējās dekādēs pieaudzis pētījumu un iegūto pierādījumu skaits (Pontén, Plink-Björklund, 2007; Pontén, Plink-Björklund, 2009; Tānavsuu-Milkeviciene, Plink-Björklund, 2009; Tovmasjana, 2013) par plūdmaiņu ietekmi uz sedimentāciju Baltijas devona baseina centrālajā daļā, līdz ar to svarīgi pārbaudīt plūdmaiņu ietekmi arī uz pētāmajiem karbonātiežiem.

Novitāte saskatāma arī izmantotajā laboratorijas metožu kopumā, jo devona karbonātiežu sedimentācijas apstākļu pētījumos Baltijas paleobaseinā līdz šim kombinācijā nav izmantotas XRD, XRF, TOC un *Biomarker* analīžu metodes. Jāizceļ arī pielietotā oglekļa un skābekļa stabilo izotopu analīze, kas devona slāņkopas pētījumos izmantota, lai noskaidrotu devona perioda Pļaviņu laikposma paleoklimatiskos apstākļus un klimata ietekmi uz sedimentācijas gaitu. Svarīgi minēt, ka Pļaviņu svītas karbonātiežu sedimentoloģiska rakstura pētījumos šāds apjomīgs metožu kopums izmantots pirmo reizi.

Aizstāvēšanai izvirzītās tēzes

1. Pļaviņu svītas karbonātieži Baltijas paleobaseina centrālajā daļā ir veidojušies seklā epikontinentālā jūrā, pārsvarā mierīgos hidrodinamiskos apstākļos (bez izteiktas viļņošanās ietekmes). Karbonātu sedimentāciju ir ietekmējušas periodiskas aktīva hidrodinamiskā režīma epizodes, galvenokārt to ietekme, kā arī vairākkārtēja subaerālā atsegšanās;

2. Pļaviņu svītai ir raksturīgs cikliskums, kur katra cikla laikā notiek ūdens dziļuma izmaiņas. To nosaka karbonātu sedimentācijas areālu progradācijas mijiedarbība ar ūdens līmeņa svārstībām, ko veicina plūdmaiņu procesi;

3. Pļaviņu svītas dolomītos, neskatoties uz sākotnējo struktūru un tekstūru būtiskām izmaiņām dolomitizācijas procesu ietekmē vēl aizvien ir saglabājušās pietiekami daudzas uzbūves iezīmes, ko iespējams izmantot sedimentācijas vides noskaidrošanā.

Hipotēze

Baltijas paleobaseina teritorijā devona Pļaviņu laikposmā bijusi sekla, epikontinentāla jūra, kurā pārsvarā mierīgos apstākļos uzkrājušās karbonātiskās nogulas. Sedimentācijas apstākļus ir ietekmējuši plūdmaiņu procesi un vētru darbība.

Pētījuma rezultātu aprobācija

Pētījumā izdarītie secinājumi un atziņas prezentētas kopumā 6 starptautiskās konferencēs un 3 vietēja mēroga konferencēs. Pētījuma rezultāti ir publicēti 2 ISBN izdevumos, kas ir recenzēti pēckonferenču ziņojumi. Viena (1) publikācija iesniegta arī publicēšanai zinātniskajā žurnālā *Estonian Journal of Earth Sciences*, kas ir indeksēta *Web of Science* un *SCOPUS* datu bāzēs.

Pētījuma autors piedalījies arī vienā vasaras skolā – *Carbonate Sediments as Archives of Earth Evolution*, laikā no 2018. gada 26. jūnija līdz 1. jūlijam, kuru kopīgi organizēja Tartu Universitāte un Tallinas Tehnoloģiju Universitāte, Prof. Dr. Kalles Kirsimē (Kalle Kirsimae) vadībā. Vasaras skolas noslēgumā tika aprobēti un prezentēti šī promocijas pētījuma tobrīd aktuālie rezultāti.

Promocijas darba rezultāti ir aprobēti un diskutēti, piedaloties ar referātiem šādās starptautiskās zinātniskajās konferencēs:

Klievēns, E., Mešķis, S. 2016. *Carbonate rocks of the Devonian Pļaviņas Formation, their sedimentary environments and ichnofossil complexes in North Latvia and South Estonia*. 9th Geosymposium of Young Researchers “Silesia 2016”.

Klievēns, E. 2017. *Sedimentary environments of carbonate deposits of the Upper Devonian Pļaviņas Formation in the Riežupe cliffs and Īvande falls exposures*. 10th Baltic Stratigraphic Conference.

Klievēns, E., Mešķis, S. 2018. *Devonian Pļaviņu formation carbonate rock sedimentary environment and fossil complex differences in territory of central part of Baltic Palaeobasin: Riežupe outcrop and Randāti cliff example*. 5th International Palaeontological Congress.

Klievēns, E., Mešķis, S. 2018. *Influence of dolomitisation in the Pļaviņas regional stage on trace fossils assemblages*. 5th International Palaeontological Congress.

Klievēns, E., Stinkulis, Ģ., Mešķis, S. 2019. *Carbonate sedimentary environments in the epicontinental Baltic Devonian basin: Pļaviņas Formation, Lower Frasnian*. 34th International Meeting of Sedimentology 2019. Roma, Italia.

Danefelds, E., Stinkulis, Ģ., Mešķis, S., Wagreich, M. 2023. *Carbonate sedimentary environments in the epicontinental Baltic Devonian basin: Pļaviņas Formation, Lower Frasnian – new results*. 17th Bathurst Meeting, 2023. International Meeting of Carbonate Sedimentologists.

Par pētījuma dažādiem aspektiem sagatavotas šādas recenzētas publikācijas un izdevumi:

Klievēns, E., Stinkulis, Ģ. 2016. Devona Pļaviņu svītas karbonātieži un to veidošanās

apstākļi Ziemeļlatvijā un Igaunijas dienvidos. *Lietišķi ģeoloģiskie pētījumi, jaunas tehnoloģijas, materiāli un produkti*. Galvenais red. Valdis Segliņš. Latvijas Universitāte, Rīga. ISBN 978-9934-556-07-4. 25 - 36. DOI: **10.22364/lgpjtmp**

Par pētījuma dažādiem aspektiem sagatavotas šādas publikācijas konferenču ziņojumu izdevumos (reģistrētas ISBN datu bāzē):

Klievēns, E., Mešķis, S. 2016. *Carbonate rocks of the Devonian Pļaviņas Formation, their sedimentary environments and ichnofossil complexes in North Latvia and South Estonia*. 9th Geosymposium of Young Researchers "Silesia 2016". ISBN **978-83-934005-9-1**.

Klievēns, E. 2017. *Sedimentary environments of carbonate deposits of the Upper Devonian Pļaviņas Formation in the Riežupe cliffs and Īvande falls exposures*. 10th Baltic Stratigraphic Conference, Checiny, 12–14 September 2017: Abstract and Field Guide. Polskie Towarzystwo Geologiczne. ISBN **978-8394-521-63-9**. 78 – 79.

Par pētījuma rezultātiem sagatavoti šādi zinātniskie raksti, kas indeksēti *Web of Science* un *SCOPUS* datu bāzēs:

Danefelds, E., Mešķis, S. 2024. Carbonate sedimentary environments in the epicontinental Baltic Devonian basin: Pļaviņas Formation, Lower Frasnian. *Estonian Journal of Earth Sciences*, Vol. 73, Issue 2 (**pieņemta publicēšanai 2024.gada 1.aprīlī**).

Nozīmīgākās publicētās starptautisko konferenču tēzes un raksti:

Klievēns, E., Mešķis, S. 2016. *Carbonate rocks of the Devonian Pļaviņas Formation, their sedimentary environments and ichnofossil complexes in North Latvia and South Estonia*. 9th Geosymposium of Young Researchers "Silesia 2016".

Klievēns, E. 2017. *Sedimentary environments of carbonate deposits of the Upper Devonian Pļaviņas Formation in the Riežupe cliffs and Īvande falls exposures*. 10th Baltic Stratigraphic Conference.

Klievēns, E., Mešķis, S. 2018. *Devonian Pļaviņu formation carbonate rock sedimentary environment and fossil complex differences in territory of central part of Baltic Palaeobasin: Riežupe outcrop and Randāti cliff example*. 5th International Palaeontological Congress.

Klievēns, E., Mešķis, S. 2018. *Influence of dolomitisation in the Pļaviņas regional stage on trace fossils assemblages*. 5th International Palaeontological Congress.

Klievēns, E., Stinkulis, Ģ., Mešķis, S. 2019. *Carbonate sedimentary environments in the epicontinental Baltic Devonian basin: Pļaviņas Formation, Lower Frasnian*. 34th International Meeting of Sedimentology 2019. Roma, Italia.

Danefelds, E., Stinkulis, Ģ., Mešķis, S., Wagreeich, M. 2023. *Carbonate sedimentary environments in the epicontinental Baltic Devonian basin: Pļaviņas Formation, Lower Frasnian – new results*. 17th Bathurst Meeting. International Meeting of Carbonate Sedimentologists. p. 27.

Pētījuma sākotnējie rezultāti un idejas prezentētas vairākos ziņojumos vietēja mēroga zinātniskajās konferencēs:

Klievēns, E., Stinkulis, Ģ. 2016. *Devona Pļaviņu svītas dolomītu slāņkopas uzbūve un veidošanās apstākļi Igaunijas dienvidaustrumu un Latvijas ziemeļaustrumu daļā*. LU 74. zinātniskā konference.

Klievēns, E., Stinkulis, Ģ. 2017. *Sedimentācijas vides un paleoklimata ietekme uz Pļaviņu svītas nogulumu sastāvu un uzbūvi Latvijā*. LU 75. zinātniskā konference.

Klievēns, E. 2018. *Devona Pļaviņu svītas nogulumiežu veidošanās apstākļu atšķirības paleobeseina teritorijā: Riežupes atsegumu un Randātu klinšu piemērs*. LU 76. zinātniskā konference.

Pedagoģiskais darbs

Pētījuma autors ir veicis sekojošas pedagoģiska rakstura aktivitātes:

- Praktisko darbu vadīšana/asistēšana ģeoloģijas bakalaura studiju programmas kursā “Sedimentācijas procesi un nogulumu” (aprīlis–maijs, 2016 un aprīlis–maijs, 2024), 32 stundas;
- Asistēšana bakalaura studiju programmas lauka kursa “Lauka kursā Zemes zinātnēs” vadībā, Igaunijas posmā (16.–22. maijs, 2016), 56 stundas;
- Vadīts viens kursa darbs bakalaura līmeņa studentam;
- Rezencēti divi bakalaura līmeņa darbi.

Pateicības

Pētījums ir veikts ar Eiropas Sociālā fonda projekta “LU doktorantūras kapacitātes stiprināšana jaunā doktorantūras modeļa ietvarā”, Nr.8.2.2.0/20/I/006, LU reģistrācijas numurs Nr.ESS2021/434., kā arī Latvijas Universitātes Akadēmiskā departamenta finansiālu atbalstu.

Izsaku vislielāko pateicību disertācijas zinātniskajam vadītājam Asoc.prof. Dr. geol. Ģirtam Stinkulim par padomiem, veselīgu kritiku un nesavtīgu palīdzību visa pētījuma tapšanas gaitā. Paldies arī Prof. Dr. geol. Ervīnam Lukševicam par padomiem organismu atlieku noteikšanā, pētījuma sākuma fāzē. Paldies Dr. geol. Sandijam Mešķim par sadarbību vairāku ziņojumu sagatavošanā un palīdzību pēdu fosiliju noteikšanā interesējošajos pētījumu objektos. Izsaku pateicību arī Vīnes Universitātes Ģeodinamikas un sedimentoloģijas centra (Austrija) vadītājam Prof. Dr. geol. Mihaelam Vāgraiham (Michael Wagneich) un Ao.Prof. Dr. geol. Suzannai Ģirai (Sussanne Gier) par uzņemšanu, padomiem un iespēju izmantot laboratoriju XRD, XRF, *Biomarker* un TOC analīzēm.

Paldies arī Dr. geol. Tonu Martmā (Tõnu Martma) no Tallinas Tehnoloģiju Universitātes (Igaunija) par palīdzību skābekļa un oglekļa stabilo izotopu analīzēs.

Vislielākais paldies pienākas arī ģimenei, tai skaitā sievai Lindai Danefeldei, par pacietību, sapratni un atbalstu.

1. IESKATS DEVONA KARBONĀTIEŽU PĒTĪJUMU VĒSTURĒ LATVIJĀ UN PASAULĒ

1.1. Pētījumi par Baltijas vēlā devona paleobaseina karbonātiežiem

Jau pirms 150 gadiem bija iegūti vispārēji priekšstati par faciālām izmaiņām augšējā devona karbonātiežos Latvijā un tuvākajos kaimiņreģionos. Pirmie pētījumi datējami ar 1861. gadu – tos veicis K. Grevings (K. Grewingk). Tālākie apjomīgie dati par šo karbonātisko iežu un organismu kompleksu ir iegūti un pētījumi veikti laika posmā no 1920. līdz 1940. gadam. Tos veicis N. Delle, E. Krauss (E. Kraus), H. Bīlenšteins (H. Bielenstein) u.c. Šie pētījumi lielākoties ir par šīs karbonātisko iežu slāņkopas stratigrāfisko iedalījumu un tā precizējumiem.

Augšējā devona karbonātiežus Krievijas Pleskavas rajonā no 1930. līdz 1960. gadam pētīja R. Hekers (R. Häcker) un D. Obručevs (D. Obruchev). Viņu pētījumi mainīja priekšstatus par Franas laikposma nogulumiežu veidošanās apstākļiem Veļikajas upes baseinā un tā apkārtnē. Šo divu pētnieku dati un secinājumi bija par pamatu tālākiem stratigrāfiskiem, paleoģeogrāfiskiem un paleontoloģiskiem pētījumiem.

Tajā pašā laika periodā augšējā devona karbonātiežus Latvijā pētījuši arī A. Matulis, N. Delle un I. Mamantovs (I. Mamantov). Šie pētījumi tika veikti, lai noskaidrotu dažādu veidu dolomītu izplatību, kā arī praktiskās ieguves iespējas un potenciālo izmantošanu būvmateriālu ražošanai.

Austrumlatvijā sastopamo Daugavas svītas pelēki sārto “Linavas tipa” dolomītu petrogrāfisko sastāvu pētījis J. Bite, veicot izgatavoto plānslīpējumu analīzi. Galvenokārt tika raksturota karbonātu minerālu attiecība ar dzelzs un mālu minerālu savienojumiem, kas raksturo iežu krāsu un izturību. Tika raksturota arī iežu struktūra un citi parametri.

Laika posmā no 1946.-1949.gadam R. Ozola un V. Melzobs pētīja daudzus atsegumus upju krastos un arī vienu veikto urbumu Latvijas ziemeļaustrumu daļā ar mērķi noteikt un precizēt karbonātiežu sastāvu šajā reģionā, kā arī tektoniskās struktūras un stratigrāfiskās īpatnības, iedalījumu. Dolomīta-kaļķakmens rindas iežu uzbūve un sastāvs tika raksturoti makroskopiski, tas ir, netika izgatavoti un detalizēti pētīti plānslīpējumi.

Latvijas augšējā devona nogulumiežu sastāvam, stratigrāfiskajam iedalījumam un fāciju zonalitātei plaša mēroga darbi tika veikti 1960. gados. Tos veica tādi pētnieki kā P. Liepiņš, J. Ābolkalns, V. Grāvītis, V. Sorokins, L. Savvaitova u.c. Šo pētījumu ietvaros tika sastādītas vairāku svītu litoloģiski faciālās kartes, kā arī ģeoloģiskie griezumumi.

Augšējā devona Franas stāva karbonātiežus Latvijā raksturojusi R. Ulste, kura savā pētījumā apskatījusi šo nogulumiežu tekstūras, struktūras un veidošanās apstākļus (Ulste, 1963). Pētījuma gaitā secināts, ka Franas stāva dolomīti ir sedimentogēni vai arī sedimentogēni – diaģenētiski. Vēlākos pētījumos (Stinkulis, 1998) netika atrasts pamatojums dolomītu sedimentogēnai izcelsmei un izdarīts pieņēmums, ka Latvijas devona dolomīti ir veidojušies agrīnos un vēlīnos nogulu un iežu izmaiņu procesos.

P. Liepiņš (Liepin'sh, 1963) savulaik norādījis uz to, ka Austrumlatvijā vērojami Daugavas svītas dolomīti, kas veidojušās vēlāk notikušos pēcsedimentācijas izmaiņu procesos. Par to liecina dolomīti ar reliktmām organogēnām struktūrām, kā arī plaisu un racējorganismu eju (bioturbācija) klātbūtne.

Izmantojot ģeoloģisko griezumu petrogrāfiskā sastāva analīzi, organismu atlieku kompleksu un ritmiskuma analīzi, V. Grāvītis (Gravitis, 1967) noteicis Franas stāva dolomītu un kaļķakmeņu izplatības likumsakarības un raksturojis to veidošanās apstākļus Gulbenes ieplakā.

V. Sorokins vairākos savos pētījumos (Sorokin, 1978, 1981 u.c.) plaši un detalizēti analizējis Franas stāva un dažādu tās daļu sastāvu, izplatību un veidošanos Austrumeiropas platformas ziemeļrietumu daļā. Viņš secinājis, ka Latvijas devona karbonātiežos sastopami divi dolomīta veidi – viens ir sedimentogēni – diaģenētisks, savukārt otrs, pēcsedimentācijas

dolomīts, kas veidojies, magnija savienojumiem migrējot ar ūdeņiem caur zemāk iegulošiem vai arī pārsedzošiem dolomītiem.

V. Sorokina publikācijām pievienotas arī detalizētas litoloģiski paleoģeogrāfiskās kartes dažādiem Franas laikmeta posmiem, kā arī ģeoloģiskie griezumumi, ieskaitot savstarpēji korelētus kopgriezumus. Pētījumos kombinētas sedimentoloģiskās un paleontoloģiskās pētījumu metodes, kā arī liela vērtība pievērsta ciklostratigrāfijai. V. Sorokin savā 1978. gada monogrāfijā (Sorokin, 1978) pauž viedokli, ka Pļaviņu svītā kopumā izsekojami 14 ritmi. Tos viņš nodalīja kā X pakāpes ritmus un tie vistīcāmāk salīdzināmi ar mūsdienās nodalītajiem “metru biezuma cikliem” – 5. pakāpes cikliskumam (Catuneanu, 2006).

V. Sorokin šajā monogrāfijā pauž viedokli arī par to, ka ūdens apmaiņu devona karbonātu sedimentācijas baseinos noteica meridionāli orientēti vaļņi – tektoniskie pacēlumi -, piemēram, Viļakas, Subates-Kokneses, Mežāres un Baldones vaļņi. Pēc viņa viedokļa šīs struktūras maz izpaudās transgresiju laikposmos (Pļaviņu svītas Atzeles rida, Daugavas svītas Kranciema rida u.c.), kad jūras ūdens no austrumiem diezgan brīvi ieplūda Baltijas paleobaseina rietumu daļā. Savukārt regresiju laikposmos (Salaspils svīta) ūdens apmaiņa šo pacēlumu dēļ bija ierobežota, tādēļ Kurzemes teritorijā, salīdzinot ar Vidzemi un it sevišķi Latgales austrumu daļu, krasi pieauga ūdens sāļums, veidojās ģipšainas nogulas un krasi samazinājās dzīvo organismu skaits un to daudzveidība (Sorokin, 1978, 1981).

Liels datu apjoms par Franas stāva karbonātiežiem, to uzbūvi, sastāvu un izplatību Latvijā ir tikuši iegūti ģeoloģiskās kartēšanas mērogā 1:200 000 darbu gaitā. Šos darbus vadīja V. Panovs-Ivanovs, G. Tracevskis, T. Arhatova, L. Birgere, J. Jankins, A. Mūrnieks un citi ģeoloģijas nozares speciālisti.

Pēc tam, balstoties uz ģeoloģiskās kartēšanas datiem un materiāliem, L. Birgere un T. Arharova izstrādāja Pļaviņu, Salaspils, Daugavas un citu devona perioda svītu litoloģiskās shēmas, kartes un vispārīgus ģeoloģiskos griezumus. Tajās parādīta dolomītu un kaļķakmeņu fāciju robežas Latvijas ziemeļu un ziemeļaustrumu daļā. Shēmas savulaik arī izmantotas daudzos vēlākos pētījumos un darbos, kā arī pievienotas grāmatai par Latvijas ģeoloģiju un tās derīgiem izrakteņiem (Геологическое строение, 1979).

Plaši un ilgstoši pētījumi par devona Franas stāva karbonātiežu sastāvu, uzbūvi un veidošanās apstākļiem ir veikti arī Igaunijas un Lietuvas teritorijā. Daudzus no tiem veica tie paši autori, kas atzīmēti jau iepriekš. Vienā no pēdējiem plašajiem apkopojumiem par Igaunijas ģeoloģiju atzīmēts, ka pašreizējā Igaunijas teritorijā - Galvenā devona lauka ziemeļrietumu daļā - Franas laikmeta sākumā no austrumiem (Maskavas sineklīzes virzienā) pakāpeniski sākās jūras transgresija (Teedumae *et al.*, 2006).

Pēdējā desmitgadē tiek pausti viedokļi, ka ir problemātiski noteikt Pļaviņu un Daugavas laikposmu baseinu savienojuma virzienu ar pasaules okeānu. Iepriekš minētās norādes par norobežota baseina pāreju uz atklātu jūru (Сорокин 1978; Brangulis 1998) virzienā no rietumiem uz austrumiem neatbilst virzienam, kur okeāns atrodas vistuvāk šim baseinam – uz dienvidrietumiem, tagadējā Polijas virzienā (Lukševičs *et al.*, 2012). Salīdzinot Franas stāva nogulumiežu sastāvu ar datiem par devona klimata izmaiņu likumsakarībām ir izteikts arī viedoklis par klimata aridizācijas un humidizācijas ietekmi uz nogulu sastāvu Baltijas devona baseinā (Lukševičs *et al.*, 2012).

Šo visu iepriekš aprakstīto seno, plašo pētījumu laikā ir samērā labi precizēts augšējā devona stratigrāfiskais iedalījums, fāciju zonalitāte un arī paleoģeogrāfiskie apstākļi Baltijas valstu teritorijā.

Tas, kā dolomīts veidojies agrāk un veidojās mūsdienās, ir viena no šī laikmeta būtiskākajām sedimentoloģisko pētījumu problēmām (Purser *et al.* 1994). Tomēr šī promocijas darba uzdevumos ietilpst Pļaviņu svītas karbonātiežu sākotnējie veidošanās apstākļi, bet dolomīta izcelsmes problēma tajā netiek apskatīta.

1.2. Devona karbonātiežu pētījumi citviet pasaulē

Pēdējos desmitos gadu ir veikti tūkstošiem pētījumu par karbonātiežu dažāda vecuma karbonātu veidošanās apstākļiem atšķirīgu tipu baseinos – no šelfa jūrām un līdz okeānu dziļūdens ieplakām, ezeriem un lagūnām. Mazāk ir pētījumu par sekliem epikontinentāliem baseiniem (Flügel, 2004), kāds ir bijis arī Baltijas devona paleobaseins.

Mūsdienās karbonātisko nogulumiežu veidošanās jeb sedimentācijas apstākļu pētījumos bieži un visai plaši izmantot aktuālisma metodi, kas ļauj spriest par senajiem baseiniem un tur notikšajiem sedimentācijas procesiem, pēc mūsdienu sedimentācijas piemēriem. Jāmin arī tas, ka lielas problēmas ģeologiem sagādā tas, ka Baltijas devona baseins ir bijusi ļoti plaša un sekla iekšzemes jūra (Lukševičs *et al.*, 2019), līdz ar to analogu baseinu mūsdienās šim piemēram ir maz un tie apmēros nav ne tuvu līdzīgi senajam Baltijas devona baseinam. Fāciju zonas šajos mūsdienu baseinos ir krietni mazāk izteiktas nekā šelfa baseinos. Papildus fācijām un fāciju zonām epikontinentālos baseinos mēdz nodalīt hidrodinamiskā režīma aktivitātes jeb vides enerģijas zonas, ko apzīmē ar burtiem – Z, Y un X zona (Wright, Burchette, 1996; Irwin, 1965).

Seno sedimentācijas apstākļu noskaidrošanā ļoti būtiska nozīme ir fāciju un mikrofāciju analīzei, kā arī fāciju asociāciju nodalīšanai. Ar fācijām (no angļu val. – *facies*) var interpretēt sedimentācijas procesus, savukārt ar fāciju secībām un to asociācijām var interpretēt sedimentācijas vidi (Flügel, 2004). Karbonātisko nogulu gadījumā izteikti liela nozīme ir arī mikrofāciju nodalīšanai un to asociācijām, jo bieži vien kaļķakmeņu uzbūve ir ļoti smalka, ir daudz maza izmēra tekstūru un organismu atlieku (Flügel, 2004). Mikrofāciju nodalīšanai izmanto pieslīpņus un plānslīpējumus. Svarīgi minēt, ka šajā darbā pētāmie Pļaviņu svītas karbonātieži dolomitizācijas gaitā ir zaudējuši daudzas primārās pazīmes, līdz ar to mikrofācijas nodalīt vairs nav tik aktuāli un lietderīgi, kas arī nav darīts šajā pētījumā.

Devona nogulumiežu fāciju analīze arī citviet pasaulē (Shen *et al.*, 2008; Shen *et al.*, 2017; Buggisch, Mann, 2004; Amthor *et al.*, 1993; Bush *et al.*, 2015; Da Silva *et al.*, 2011; Garland, 1997; Luczynski, 1998; Wendte and Uyeno, 2005 u.c.) tiek kombinēta ar stabilo izotopu analīzēm, secību stratigrāfijas metodiku, paleontoloģiska rakstura analīzi u.c.

Dolomītu fāciju nodalīšanā un analīzē vislabāk piemērojama pieslīpņu analīze, kam ir vidējs mērogs starp atsegumu pētījumiem dabā un plānslīpējumu pētījumiem (Da Silva, Boulvain, 2004). Šajā pētījumā uzsvars likts uz atsegumu un pieslīpņu analīzi, jo gandrīz visi pētīto karbonātiežu paraugi ir dolomīti.

Lai noteiktu seno baseinu ūdens temperatūru un sāļumu, nozīmīgas ir stabilo izotopu analīzes. Parasti karbonātiežu sedimentoloģijas pētījumos tiek izmantota $^{13}/^{12}\text{C}$ un $^{18}/^{16}\text{O}$ metode. Šīs abas metodes ļauj noteikt ne tikai temperatūru un sāļumu ūdenim, bet arī subaerālās atsegšanās virsmas, gadījumā, ja šajā laikposmā bijusi izplatīta augu valsts. Ja bijusi subaerālās atsegšanās epizode un bijusi augu valsts, tad $^{13}/^{12}\text{C}$ vērtības ir negatīvas. Savukārt viens no $^{18}/^{16}\text{O}$ pozitīvu vērtību izskaidrojumiem ir ūdeņu iztvaikošana Zemes virspusē. Tas iespējams tikai gadījumā, ja bijusi subaerālā atsegšanās (Milliman, 1974).

Ja ir šaubas par to, vai sedimentācijas apstākļi bijuši jūras vai kontinentāla rakstura, var izmantot arī mikroelementu ģeoķīmiskās metodes. Parasti izmanto Fe, Mn un Sr attiecību pētījumus. Jo augstāka stroncija (Sr) proporcija karbonātu minerālu katjonu vidū – jo izteiktāki marīni apstākļi un nav kontinentālas ietekmes uz karbonātiskajām nogulām (Tucker, Wright 1990).

Iespējams arī noteikt paleobaseinu dziļumus un to izmaiņas pēc atsevišķu ciklu biežumiem un uzmaiņām tajos, jo ciklu biežums ir tuvs senajam baseina dziļumam, ar nosacījumu, ka ūdens līmenis cikla veidošanās laikā nav būtiski mainījies (Immenhauser *et al.*, 2009 un Masse *et al.*, 2003).

Svarīga ir arī konkrētu sedimentācijas tekstūru identificēšana un atpazīšana ģeoloģisko griezumā pētījumu gaitā. Svarīgi noteikt šos sedimentācijas vides indikatorus, ja tādi ir

sastopami – vētru slāņi (tempestīti), viļņu un straumju ripsnojums, vigvama tekstūras, žūšanas plaisas, lietus lāšu nospiedumi un citas nozīmīgas pazīmes.

Lai pilnībā raksturotu sedimentācijas apstākļus un vidi, svarīgi identificēt arī cikliskuma pazīmes, tādas, kā ciklu veidus, ciklu biežumus un to izmaiņas. Lai veiktu cikliskuma analīzi, bieži izmanto arī Fišera diagrammu (no angļu val. – *Fisher plots*).

Mūsdienu karbonātiežu pētījumos iespējams izmantot arī paleoekoloģisko analīzi, lai raksturotu organismus un to dzīves apstākļus, tai skaitā jebkādas izmaiņas tajos. Aktuāla mūsdienās ir arī inhnofosiliju analīze, kas ir interdisciplinārs paleontoloģisko un sedimentoloģisko pētījumu veids, kas ļauj precizēt sedimentācijas vidi un apstākļus pēc racējorganismu eļām, to tīkla, parametriem un citiem novērojumiem (Flügel, 2004).

2. KARBONĀTU SEDIMENTĀCIJA UN SECĪBU STRATIGRĀFIJA

2.1. Karbonātu sedimentācija seklās iekšzemes (epikontinentālās) jūrās

Karbonātu sedimentācija seklās jūrās parasti norisinās tropiskā un subtropu klimatā, un to veicina hermatipo koraļļu un zaļāļģu simbioze. Šie organismi dzīvo silta klimata apstākļos. Serpulīdu un vermetīdu rīfi, kā arī augstāku platuma grādu eilitorālie organismi var veidot karbonātiem bagātus nogulumus arī vēsākos klimata apstākļos (Milliman, 1974).

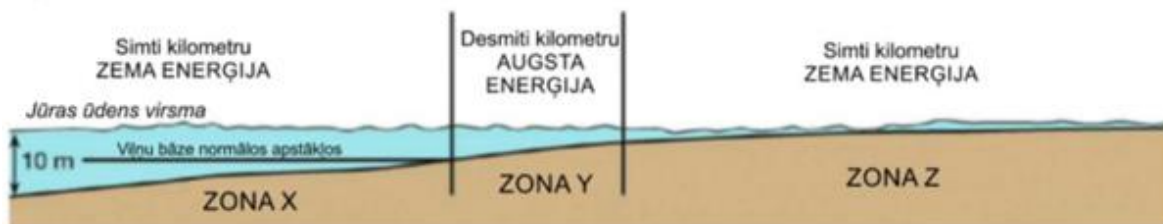
Mūsdienās viens no karbonātu sedimentācijas nozīmīgājiem producentiem seklās iekšzemes jūrās ir koraļļu rīfi. To nozīmīgākie veidošanās un izplatības areāli ir tropiskajā apvidū, piemēram, Bahamu salās, Persijas līcī, Karību jūrā, Austrālijas austrumu piekrastē un Indonēzijas salu apvidū. Šīs vietas ir gandrīz pilnībā izolētas no klastiskā materiāla pieneses areāliem, piemēram, upju deltām, un daļa no šiem areāliem atrodas arī vietās, kurām ir raksturīgs izteikti arīds klimats (Wright, Burchette, 1996).

Galvenais un izplatītākais koraļļu rīfu modeļa veids ir tropu koraļļu rīfs. Šis modelis parasti tiek apskatīts no krietni vien plašāka aspekta, ietverot arī tuvu esošās lagūnas, piekrastes sēkļus, kuros akumulējās ooīdi un mikrītiski nogulumi. Lai arī koraļļi lielākoties nav dominējošie organismi koraļļu rīfos (galvenie bieži vien ir zaļāļģes), tie ir galvenie organismi rīfu izveidē, jo to organismu atliekas veido bāzes struktūru, jeb konstrukciju pašam rīfam. Galvenie ierobežojošie faktori koraļļu augšanai ir ūdens baseina dziļums, temperatūra un ūdens sāļums (Milliman, 1974).

Devona periodā epikontinentālās plaformās attīstījās gan koraļļu, gan stromatoporu rīfi, gan šo organismu stabilizēti karbonātisko nogulu pauguri (Milliman, 1974).

Optimāli apstākļi karbonātisko nogulu sedimentācijai iekšzemes baseinos, jūras šelfā, tai skaitā, karbonātu platformās, ir 2 līdz pat 15 metru dziļumā (Tucker, Wright, 1990). Epikontinentāli baseini veidojās, kad kratona virsmu visai plašā teritorijā applūdinājis jūras ūdens. Šādā veidā norisinājās plašu teritoriju applūšana un veidojās sekla epikontinentāla jūra, kas varēja būt pat simtiem vai līdz tūkstošiem kilometru plata. Šo seno jūru sedimentācijas apstākļu izprašana sagādā zināmas problēmas, jo mūsdienās nav tiešu analogu ar tādiem vai pat tuvu līdzīgiem apstākļiem (James, Jones, 2016).

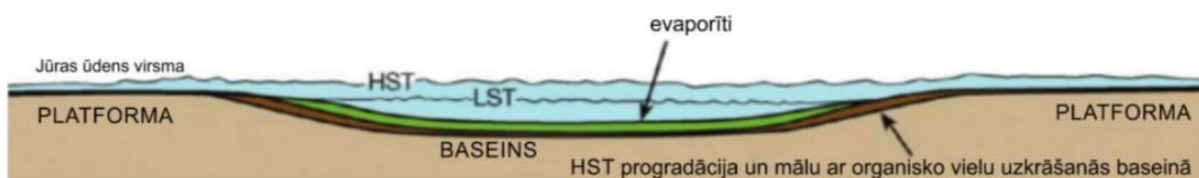
Epikontinentālas platformas veidojas (skat. 2.1. attēlu), kad karbonātiskās nogulas izgulsnējas seklā ūdens baseinā, kas pārklājis plašas kratona teritorijas. M. Irvins (Irwin, 1965) iesaka epikontinentālu platformu teritorijā nodalīt 3 zonas pēc vides hidrodinamiskās aktivitātes. Tām ir apzīmējumi – X, Y un Z. Tās atšķiras no atklāta šelfa platformas zonām – rīfu nogāze, sēklis, rīfs, lagūna utt.). Zona X atbilst relatīvi dziļam ūdens baseinam, kurā viļņi un to darbība neietekmē nogulas. Zona Y atrodas viļņu un plūdmaiņu ietekmes zonā, tajā ir visaugstākā enerģijas pārnese un ietekme uz nogulām, organismiem. Zona Z atrodas virzienā no Y zonas uz iekšzemi. Šeit būtiski samazinās plūdmaiņu un tās enerģiju ietekme uz sedimentācijas norisi. Lielu vētru laikā Z zona var applūst, bet tad atkal var notikt subaerālā atsegšanās un var veidoties žūšanas plaisas un citas tekstūras. Iespējams, ka Z zonā atradušās arī neliela izmēra salas (James, Jones, 2016).



2.1. attēls. Epikontinentālas platformas shēma ar zonu sadalījumu (modificēta pēc: James, Jones, 2016, shematiska).

Figure 2.1. Schematic drawing with zonal distribution of epicontinental carbonate platform (modified after: James, Jones, 2016, schematic).

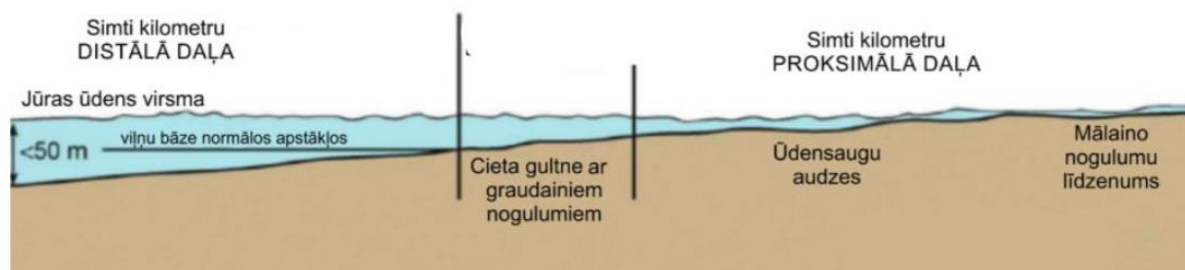
Epikontinentālie baseini (skat. 2.2. attēlu) atradušies seklu platformu depresijās un tie var būt gan kā norobežoti, gan arī atvērta tipa baseini. Epikontinentālos baseinos periodiski un pakāpeniski izgulsnējušās karbonātiskās nogulas. Šajos baseinos vairāk izgulsnējas arī mālainas nogulas, kā arī organiskās vielas, piemēram, glaukonīts u.c. minerāli (James, Jones, 2016).



2.2. attēls. Epikontinentāla baseina shēma (modificēta pēc: James, Jones, 2016, shematiska). HST – augsta ūdens līmeņa sistēmu josla; LST – zema ūdens līmeņa sistēmu josla.

Figure 2.2. Schematic drawing of epicontinental carbonate basin (modified after: James, Jones, 2016, schematic). HST- highstand system tract; LST – lowstand system tract.

Nākošais veids ir epikontinentālas nogāzes (skat. 2.3. attēlu), kuru platums var būt pat 100 km (James, Jones, 2016). Nogāzes lielākoties ir lēzenas, ar mazu slīpumu; tās var būt pat gandrīz plakanas. Atšķirībā no epikontinentālām platformām, nogāzes vairāk ietekmē vētras un plūdmaiņas (Flügel, 2004).



2.3. attēls. Epikontinentālas nogāzes shēma (modificēta pēc: James, Jones, 2016, shematiska).

Figure 2.3. Schematic drawing of epicontinental carbonate slope (modified after: James, Jones, 2016, schematic).

2.2. Karbonātu sedimentāciju ietekmējošie faktori

Globālā mērogā karbonātiežu izveides procesā izteikti liela nozīme ir klimatam, tai skaitā temperatūrai un gaismas starojuma intensitātei. Karbonātiežu veidošanos ietekmē arī lokāli un reģionālie tektoniskie procesi, kā arī viļņu un straumju režīms jūrā, kurā tie veidojas. Lai karbonātiskais substrāts veidotos, ir nepieciešams noteikts ūdens sāļums un ūdens mineralizācijas pakāpe. Šie būtiskie faktori nosaka un ietekmē karbonātisko nogulu veidojošo organismu veidu un izplatības areālu. Būtiska ietekme ir arī okeāna un jūru līmeņa svārstībām, kā arī klimatam. Klimatam ir jābūt stabilam ilgā laika posmā un tas nevar būt ļoti mainīgs. Karbonātu izveidi ietekmē arī ūdens duļķainība un karbonātiskā substrāta īpašības.

Karbonātu minerālais un litoloģiskais sastāvs ir lielā mērā atkarīgs no nogulsnešanās apjoma (no angļu val. – *precipitation*). Liela daļa pētnieku atbalsta arī enzīmu teoriju, bet daļa zinātnieku pieturas pie kristālu un elektroķīmiskajiem modeļiem. Tie pētnieki, kas atbalsta tā saukto veidnes modeli, pieturas pie tā, ka visi karbonāti, tai skaitā ooidu veidojumi, satur matrici, kas veidota no proteīniem un aminoskābēm. Atbilstoši šim modelim, čaulu nukleācija sevī ietver kalcija jonu koordināciju, lai atbrīvotu karboksilu grupas aminoskābju atlikumus proteīnu matricē (Milliman, 1974).

Devona periodā karbonātu sedimentāciju ietekmēja kopumā silts klimats. Franas laikmetā, kam atbilst arī Pļaviņu laikposms, klimats vēl nedaudz pasiltinājās un izveidojās tā sauktais saunas tipa (no angļu val. – *hothouse*) klimats. Daudzi atklājumi devona slāņkopās liecina, ka bijušas ilgtermiņa klimatiskās izmaiņas, domājams, tās ir bijušas astronomisku faktoru izraisītas. Šīs klimata izmaiņas visdrīzāk izraisījušas daudzas liela apmēra anoksiskās epizodes okeānos (De Vleeschouwer *et al.*, 2014).

Karbonātiežu dolomitizācijas process ir nozīmīga problēma, ko nav plānots pētīt šajā promocijas darbā, taču ir jāgūst izpratne par dolomitizācijas ietekmi uz karbonātiežu sākotnējām tekstūrām un struktūrām, kas palīdzētu rekonstruēt šo iežu sākotnējo uzbūvi. Kā liecina iepriekšējo pētījumu pieredze, dolomīts bieži selektīvi veidojas dažādās fosilijās un citās struktūrās (Stinkulis, 1998).

Līdz šim ģeologiem nav izdevies īpaši veiksmīgi sintezēt dolomītu laboratorijas apstākļos, jo, lai salīdzinoši ātri sintezētu dolomītu, bija nepieciešamas ļoti augstas temperatūras (virs 100°C) un augsts spiediens (virs 20 atmosfērām), kas nekādā gadījumā nav bijis iespējams, piemēram vēlā devona epohā (Purser *et al.*, 1994), kad bijuši samērā mēreni apstākļi (ūdens temperatūra bijusi mazāka par 50°C). Dolomīts ir plaši izplatīts paleozoja un mezozoja nogulumiežos, bet mūsdienās sastopams reti, bez tam ļoti diskutabli ir jautājumi par faktoriem, kas traucē un pozitīvi ietekmē dolomīta veidošanos. Lai izskaidrotu dolomitizācijas procesu norisi, tiek piedāvāti vairāki dolomitizācijas modeļi, kuri gan nav universāli un vairāk piemērojami konkrētiem gadījumiem (Purser *et al.*, 1994). Mūsdienās vēl aizvien ir populārs 1990. gadu beigās atklātais un pamatotais t.s. mikroorganismu dolomitizācijas modelis (Vasconcelos, McKenzie, 1997), kura norisi senajos nogulumos gan ir grūti pārbaudīt.

Karbonātiežus ietekmē arī citi pēcsedimentācijas procesi. Karbonātieži, kas veidojušies dažādu pēcsedimentācijas procesu ietekmē, var būt ļoti atšķirīgi pēc to petrogrāfiskā sastāva, ķīmiskā sastāva un stabilo izotopu īpašībām. Šīs atšķirības var ietekmēt dažādu šķīdumu migrācija, temperatūra, ķīmiskais sastāvs un ķīmiskās reakcijas, kas norisinājušās pēcsedimentācijas procesu gaitā (Kleesment *et al.*, 2013). Karbonātieži var vairākkārt mainīt savu sastāvu, pateicoties šiem procesiem. Pats izteiksmīgākais pēcsedimentācijas process ir dolomitizācija, kas Pļaviņu reģionālā stāva karbonātiežus ir skārusi ļoti izteikti (Kleesment *et al.*, 2013).

Seklas jūras karbonātiežu sedimentāciju būtiski ietekmējuši arī tādi faktori kā jūras sāļums, tai skaitā, Mg un Ca koncentrācija. Tomēr mūsdienu karbonātiežos Mg koncentrācija nav tik būtiska un tieši neietekmē dolomīta veidošanos, kā tas ir senajos devona dolomītos (Higgins, 2017).

3. PĻAVIŅU SVĪTAS NOGULUMIEŽI LATVIJĀ

3.1. Latvijā sastopamo Pļaviņu svītas nogulumiežu līdzšinējo sedimentoloģisko pētījumu rezultāti

Augšējā devona Franas stāva Pļaviņu svīta ir izplatīta gandrīz lielākajā Latvijas teritorijas daļā. Pļaviņu svītā sastopami galvenokārt dolomīti ar merģeļu, smilšakmeņu, aleirolītu, kaļķakmeņu un māla starpkārtām, nereti sastopamas arī plānas ģipša starpkārtnas. Pļaviņu svītas karbonātieži uzguļ Amatas svītas iežiem saskanīgi, konkordanti, tomēr vietām konstatēti sedimentācijas pātraukumi (Brangulis *et al.*, 1998).

Augšējā devona nogulumieži ir daļa no Baltijas devona baseina karbonātiežu slāņkopas, kam kopumā ir liels biežums un ievērojama laterālā izplatība.

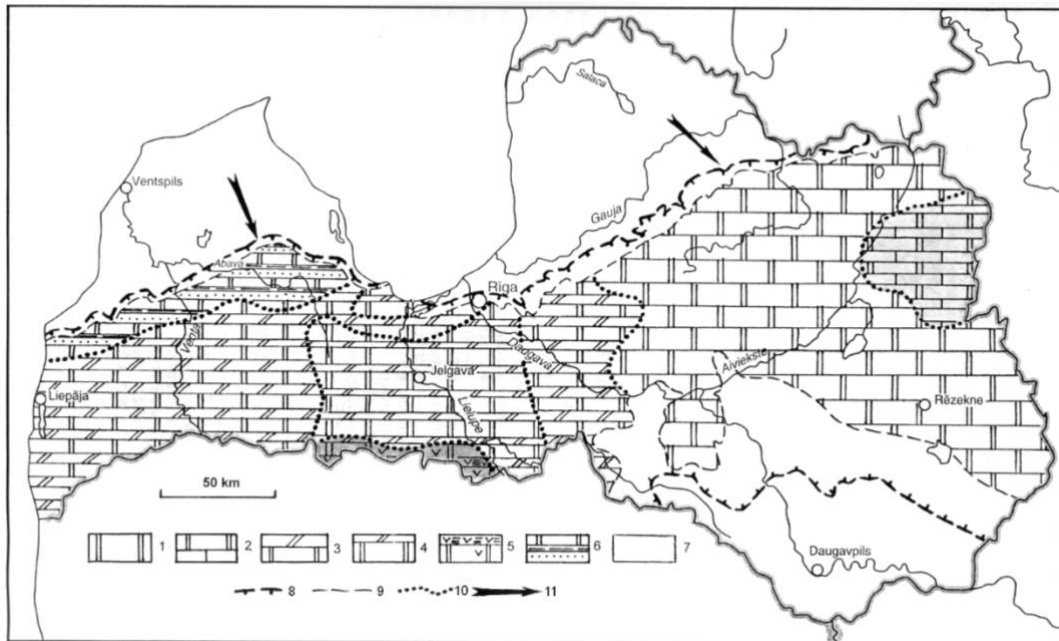
Pļaviņu reģionālā stāva nogulumieži ir plaši izplatīti ne tikai Latvijā, bet arī visā Austrumreioipas platformā, vienlaikus Galvenajā devona laukā (GDL) – to ietekmēja Pļaviņu laikposma transgresija (Sorokin, 1978). Pļaviņu svītai Igaunijā un Krievijas ziemeļaustrumos ir analogi – Sņetnaja Goras, Pleskavas un Čudovas svītas, vai vismaz to daļas. Virzienā uz austrumiem pieaug kaļķakmeņu un merģeļu īpatsvars. Kopumā V. Sorokins norāda, ka virzienā uz austrumiem bijuši normāla sāļuma jūras apstākļi, kas ir labvēlīgi organismu eksistencei (Sorokin, 1978).

Iepriekš sedimentācijas apstākļu izmaiņas Baltijas devona baseinā nav tikušas analizētas un interpretētas no klimata izmaiņu un temperatūras fluktuāciju viedokļa. Iespējams, pārāk liela nozīme piešķirta vietēja mēroga lokāliem un arī globāliem tektoniskajiem procesiem.

Atsegumi, kuros pārstāvēta Pļaviņu svīta, ir sastopami Abavas, Daugavas, Dubnas, Gaujas, Palsas, Riežupes, Radžupītes un Ventas krastos. Visvairāk Pļaviņu svītas atsegumu ir Daugavas upes krastos no Rīgas līdz Līvāniem. Pļaviņu svītas raksturīgākie atsegumi ir Pļaviņās, Daugavas labajā krastā. Jāatzīmē gan, ka pēc Pļaviņu HES celtniecības lielākā daļa atsegumu ir applūdināti. Latvijas sedlienes daļā Pļaviņu svītas maksimālais biežums sasniedz 50 metrus (pie Rīgas – Pleskavas kāples). Virzienā uz ziemeļrietumiem un rietumiem biežums samazinās līdz pat 20 metriem. Vismazākais biežums ir Latvijas – Lietuvas ieliecē – ap 11 līdz 15 metriem ziemeļu daļā un maksimums 27,4 metri dienvidaustrumu daļā, netālu no Skaistkalnes (Brangulis *et al.*, 1998).

Pēc karbonātiežu sastāva, cikliskās uzbūves pētījumiem un organismu kompleksa atšķirībām Pļaviņu svīta tiek iedalīta četrās ridās. Pļaviņu svīta iesākas ar Kokneses ridu, kas sastāv no dolomītmerģeļiem, māliem, mālainiem dolomītiem un dolomītiem, kā arī smilšakmeņiem. Tai seko Sēlijas, Atzeles un Apes ridas – tajās lielākoties dominē metasomatiskie dolomīti. Metasomatiskie dolomīti tiek saukti arī par aizvietošanās dolomītiem. Atzeles ridas karbonātieži ir atbilstoši maksimālajai jūras transgresijai vēlā devona epochā (Brangulis *et al.*, 1998).

Pļaviņu svītas karbonātiežos pirmoreiz K. Grevings 1861. gadā konstatējis Franas stāva karbonātiskajai daļai raksturīgās fāciju zonas (skat. 3.1. attēlu).



3.1. attēls. Pļaviņu svītas litoloģiski faciālā shēma (modificēta pēc: T. Arharovas un L. Birgeres, 1979, shematiska).

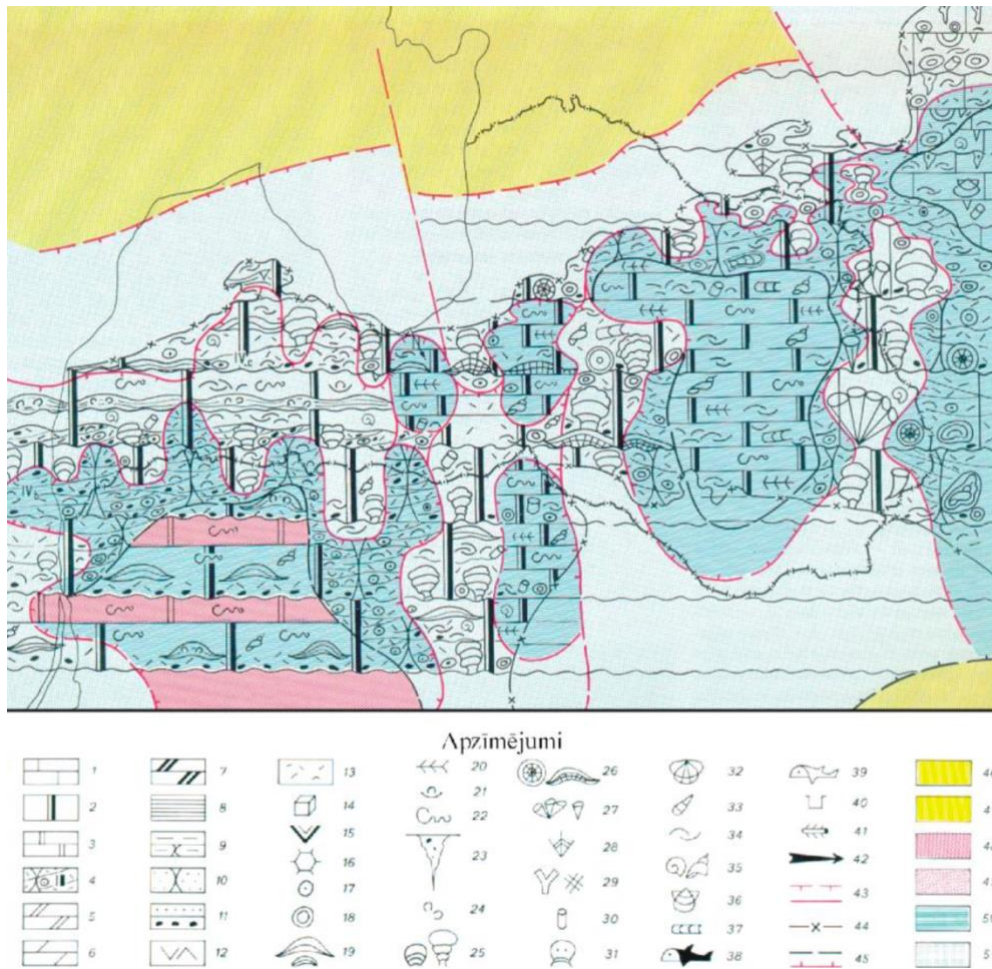
Apzīmējumi: *Litoloģiski faciālie kompleksi*: 1 - dolomīti (80 - 95 %); 2 - dolomīti (40-75%) un kaļķakmeņi (20 - 45 %); 3 - dolomīti (50 - 75 %) un dolomītmerģeļi (20 - 35 %); 4 - dolomīti (75 - 85 %) un dolomītmerģeļi (līdz 15 %); 5 - dolomīti (līdz 65 %) un māli (10 - 30 %) ar ģipša piejaukumu; 6 - dolomīti (50 - 60 %), dolomītmerģeļi (līdz 20 %), smilšakmeņi un māli (līdz 30 %). 8 - Pļaviņu svītas mūsdienu izplatības laukuma robeža; 9 - robeža laukumam, kura ietvaros Pļaviņu svīta ir izplatīta pilnā apjomā; 10 - litoloģiski faciālo kompleksu robeža; 11 - dominējošais sanešu plūsmasvirziens.

Figure 3.1. Lithofacies scheme for Pļaviņas formation (modified after: T. Arharova and L. Birgere, 1979, schematic).

Legend: *Complexes of lithofacies*: 1 - dolomites (80-95%); 2 - dolomites (40 - 75 %) and limestones (20 - 45 %); 3 - dolomites (50 - 75 %) and dolomitic marls (20 - 35 %); 4 - dolomites (75 - 85 %) and dolomitic marls (till 15 %); 5 - dolomites (till 65 %) and clays (10 - 30 %) with gypsum admixture; 6 - dolomites (50 - 60 %), dolomitic marls (till 20 %), sandstones and clays (till 30 %). 8 – boundary of the present distribution area of the Pļaviņas Regional Stage; 9 – boundary of the Pļaviņas Regional Stage in full thickness; 10 – boundaries of lithofacies complexes; 11 – dominant sediment influx direction.

Latvijas austrumu un ziemeļaustrumu daļā, kā arī Igaunijas dienvidaustrumu daļā un Krievijas rietumu daļā dominē organogēnas un hemogēnas izcelsmes kaļķakmeņi, kuros sastopamas daudzu sugu bezmugurkaulnieku atliekas. Šo zonu K. Grevings nodēvējis par Veļikajas fāciju, pēc upes nosaukuma Krievijā.

V. Sorokin savu pētījumu gaitā izstrādājis arī Pļaviņu laikposma paleoģeogrāfisko un fāciju shēmu (skat. 3.2. attēlu), kas uzskatāmi attēlo iežu veidu dažādību un citus sedimentoloģiska un paleontoloģiska rakstura aspektus (Sorokin, 1997).



3.2. attēls. Baltijas devona baseina daļas paleoģeogrāfiskā un fāciju shēma Pļaviņu laikposma vidējai daļai (Sorokin, 1997).

Apzīmējumi: 1 – kaļķakmeņi; 2 – dolomīti; 3 – plātņains dolomīts; 4 – dolomīts, kas aizvieto drupu kaļķakmeņus; 5 – dolomītmerģeļi; 6 – merģeļi; 7 – dolomītmerģeļi ar lieliem kristāliem; 8 – māli; 9 – aleirolīti; 10 – smilšakmeņi; 11 – konglomerāti un gravelīts; 12 – ģipši un anhidrīti; 13 – organismu čaulu detrīts; 14 – halīta kristāli un to aizvietoējumi; 15 – sekundāri ģipši; 16 – žūšanas pazīmes; 17 – ooiīdi; 18-41 – organismu atliekas; 42 – drupu materiāla pieplūdes virzieni; 43 – lūzumi; 44 – mūsdienu Pļaviņu RS izplatības zonas robeža; 45 – jūras daļa ar raksturīgo nogulumiežu sastāvu; 46 -47 – sauszeme; 48 – jūras ieplaka ar lielāku ūdens sāļumu; 49 – jūras pacēlumi ar lielāku ūdens sāļumu; 50 – jūras ieplakas.

Figure 3.2. Palaeogeographic and facies scheme of the Devonian Pļaviņas Regional Stage middle part (Sorokin, 1997).

Legend: 1 – limestones; 2 – dolomites; 3 – layered dolomite; 4 – dolomite which replaces clastic limestone; 5 – dolomite marls; 6 – marls; 7 – dolomite marls with large dolomite crystals; 8 – clays; 9 – siltstones; 10 – sandstones; 11 – conglomerate and gravelite; 12 – gypsum and anhydrite; 13 – fossil debris; 14 – halite crystals and their pseudomorphs; 15 – secondary gypsum; 16 – desiccation cracks; 17 – ooidss; 18-41 – fossils; 42 – clastic material inflow direction; 43 – faults; 44 – present distribution boundary of the Pļaviņas RS; 45 – part of sea with its characteristic sedimentary rock composition; 46-47 –land; 48 – sea depression with increased salinity; 49 – subaqueous uplifts with increased salinity; 50 – sea depressions.

NODĀLA STĀVS	Reģionālais stāvs	LITOSTRATIGRĀFISKĀS VIENĪBAS					
		ZA, DR IGAUNIJA	DA IGAUNIJA	Z, A, C LATVIJA	R LATVIJA	LIETUVA	
AUGŠDEVONS	FAMENAS	ŠKERVEĻA				ŠKERVEĻA sv	
		KETLERU				KETLERU sv	
		PIEMARES				ŽAGARES sv	
		SPĀRNENES				SNIKERES Fm	ŠVĒTES sv
						TĒRVĒTES	
						MŪRU sv	
						AKMENES sv	
						KURSAS sv	
						JONIŠKES sv	
						ELEJAS sv	ŠAULU sv
						AMULAS sv	PAKRUOJAS sv
						STIPINU sv	
						OGRES sv	PAMUŠAS sv
						KATLEŠU sv	
				DAUGAVAS sv	ISTRAS sv		
				DUBNIKU sv	SALASPILS sv	TATULAS sv	
FRĀNAS	PĻAVIŅU		CUDOVAS sv			KUPIŠKU sv	
			PLESKAVAS sv			SUOSAS sv	
			SĪETNĀJA GORA sv			JERAS sv	
VIDUSDEVONS	EIFEĻA ŽIVĒTAS	AMATAS			AMATAS sv	ŠVENTOJI sv	
		GAUJAS		GAUJAS sv	LODES sv SIETĪNU sv	GAUJAS sv	
		BURTNIĒKU			BURTNIĒKU sv	BUTKŪNU sv	
		ARUKILAS			ARUKILAS sv	KUKĻU sv	
		NARVAS		KERNAVES sv		NARVAS sv	KERNAVES sv
				LEIVU sv			LEDAI sv
			VADJAS sv				
		PĒRNAVAS		PĒRNAVAS sv	PĒRNAVAS sv	PĒRNAVAS sv	PĒRNAVAS sv
				LEMSI sv	MEHIKORMAS sv	RĒZEKNES sv	PĒRNAVAS sv
		APAKŠDEVONS	PRĀGĀS EMSAS	ĶEMERU			
						ŠEŠUVIS sv	
						STONIŠKU sv	
						TILŽES sv	
						GARGŽDU	
LOHKOVAS	TILŽES						

3.3. attēls. Devona nogulumiežu stratigrāfiskā shēma Baltijas valstīm (modificēta pēc: Lukševičs *et al.*, 2012; Meškis, 2013); Ar sarkanu kontūru atzīmēta pētījumu robeža – Pļaviņu reģionālais stāvs.

Figure 3.3. Stratigraphic chart of the Devonian succession of the Baltic States (modified after: Lukševičs *et al.*, 2012; Meškis, 2013); Pļaviņas RS marked with red rectangle.

Pļaviņu svītas dolomīti satur stromatoporu, brahiopodu, gliemežu, galvkāju, jūras liliju, aļģu un koraļļu fosilijas, onkolītus un stromatolītus. Nereti ir vērojamas zivju fosilijas, bet retākos gadījumos ir iespējams atrast pārogļotas augu atliekas (Lukševičs, Stinkulis, 2018a). Šie organismi ir mituši normāla sāļuma jūrā, nereti bijuši arī nosacīti saldūdens apstākļi (neliela tā pieplūde).

Rietumu virzienā karbonātiežos pieaug dolomitizācijas pakāpe (skat. 3.3. attēlu). Daudzviet, arvien biežāk sastopami lieli dolomīta kristāli (t.sk. "apīti"), to slāņi. Latvijas

centrālajā daļā un lielā Austrumlatvijas daļā Pļaviņu svītā dominē jau izteikti tīri dolomīti (Brangulis *et.al.*, 1998). Organismu kompleksi gan ir līdzīgi Veļikajas fācijai. Šo zonu K. Grevings nosaucis par Daugavas fāciju. Veļikajas un Daugavas “fācijas” pēc mūsdienu priekšstatiem gan nevajadzētu dēvēt par fācijām vai fāciju zonām, jo organismu kompleksi šajās teritorijās ir līdzīgi un neliecina par atšķirīgiem sedimentācijas apstākļiem. To, ka Latvijas centrālajā daļā un austrumos dominē dolomīti, bet tālāk uz austrumiem ir kaļķakmeņi, visdrīzāk var izskaidrot ar nogulumiežu dolomitizācijas pakāpes palielināšanos rietumu virzienā. Dolomīts veidojies, aizvietojot kaļķakmeņus agrīnos vai vēlīnos pēcsedimentācijas procesos (Stinkulis, 1998).

Latvijas rietumu daļā, iespējams, ir vairāk tādu dolomītu, kas veidojušies agrīnos izmaiņu procesos (agrīnā diaģenēze), kad kalcija karbonātu nogulas vēl nebija pārveidojušās par litificētiem kaļķakmeņiem. Iepriekš literatūrā tie saukti par sedimentogēnajiem dolomītiem vai agrīni diaģenētiskajiem dolomītiem (Brangulis *et.al.*, 1998). Tomēr litoloģiskās un tekstūru pazīmes ir nepietiekamas, lai varētu spriest par dolomīta veidošanās laikposmu. Rietumu virzienā vērojams, ka pieaug arī dolomītmerģeļu un māla daudzums. Dažviet sastopami arī ģipša slāņi un nelielas tā lēcas. Iepriekš ģeologi secinājuši, ka Pļaviņu laikposma faciālo zonu iedalījums jeb zonalitāte norāda uz to, ka Maskavas sineklīzē bijusi atklāta tipa jūra (3.4. attēls). Domājams, ka Latvijas virzienā tā jau bija kā daļēji norobežots baseins (Brangulis *et.al.*, 1998).

Pļaviņu svītā, netālu no Apes, sastopami rupjkristāliski dolomīti, tie ir pārkristalizēti un tos mēdz saukt par “apītiem”, jo tie konstatēti tikai Apes ridas ietvaros un pirmoreiz tieši Apes ciema apkārtnē. Tie veido lēcveida ķermeņus, kuru izplatības laukuma platums ir 30 km, garums – 80 km, bet biezums vietām sasniedz pat 5,0 līdz 5,5 metrus. Pētnieki pieļauj, ka “apīti” ir veidojušies Pļaviņu laikposmā, maza mēroga regresiju epizodēs. “Apīti” vairs neveidojušies, kad sākušās jaunas transgresijas (Brangulis *et.al.*, 1998).

Pļaviņu svītā klastiskā materiāla, pārsvarā smilts, daudzums palielinās ziemeļu virzienā – Subates - Kokneses un Viļakas vaļņu tuvumā. Latvijas – Lietuvas ieliecē, apakšdaļā konstatēts apmēram 0,2 līdz pat 5,0 metru biezs smilšakmens slānis (Brangulis *et.al.*, 1998; Stinkulis, 1998).

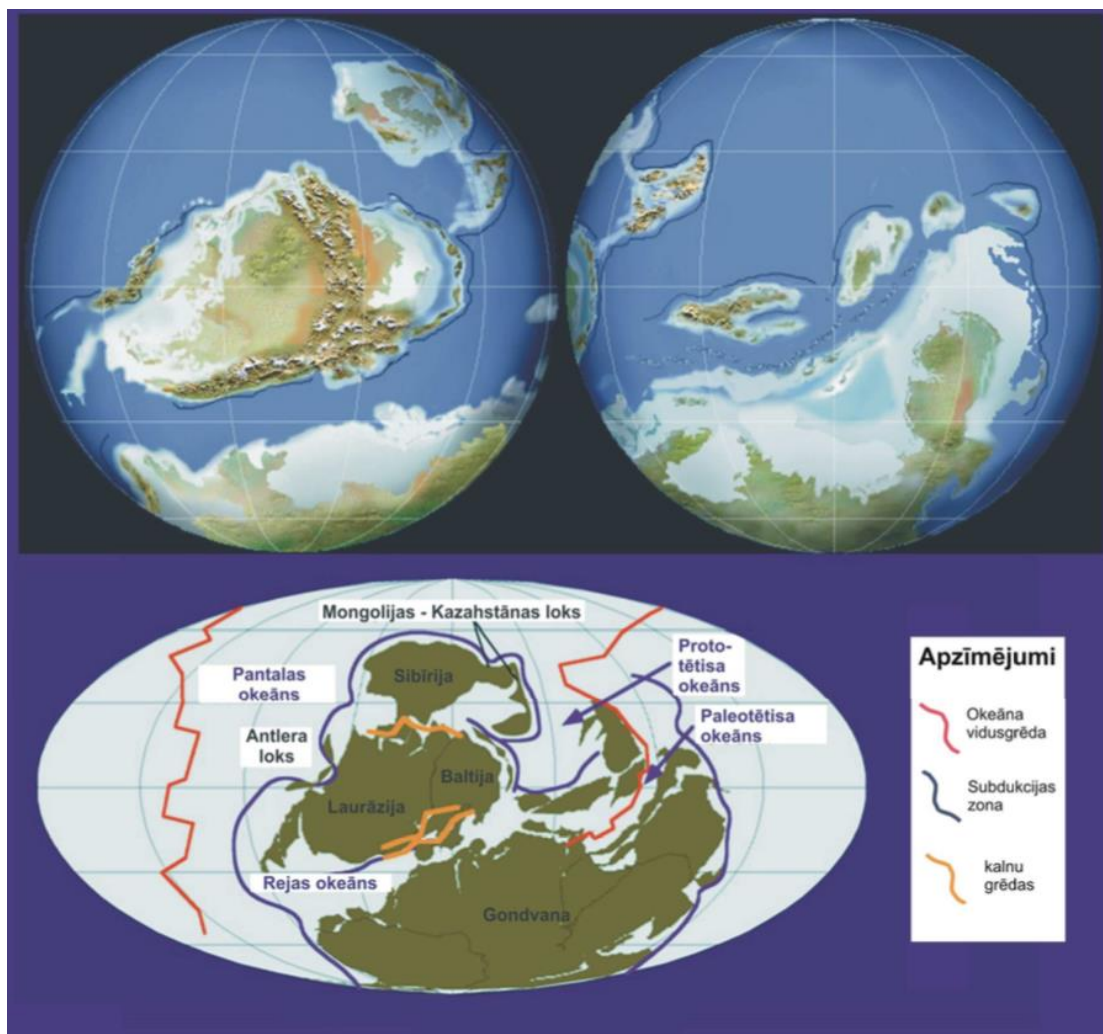
Iepriekšējos pētījumos noskaidrots, ka Apes, Atzeles, kā arī Sēlijas ridām raksturīgs bagātīgs organismu komplekss. Sastopami gliemeži, jūras lilijas, brahiopodi, gliemenes, galvkāji, dažādi koraļļi, stromatolīti un onkolīti, stromatoporāti un ihnofosilijas. Kokneses ridā ir krietni mazāk organismu atlieku – sastopamas tikai retas zivju, kohnostraku atliekas, lingulīdi, kā arī pārogļotas augu atliekas. Kokneses ridas izplatības austrumu daļā sastopami arī reti slēdžu brahiopodi un jūras liliju atliekas, to sakopojumi. Iepriekšējos pētījumos norādīts, ka visās Pļaviņu svītas ridās virzienā uz rietumiem izteikti samazinās organismu daudzveidība, to sugu skaits, jo šajā virzienā būtiski pieaudzis ūdens baseina sāļums. (Brangulis *et.al.*, 1998).

Pļaviņu laikposmā Baltijas devona baseina teritorijā izveidojās epikontinentāla jūra, kas bija samērā sekla. Tajā krasi samazinājās drupu materiāla, kā arī saldūdens pieplūdums no Baltijas vairoga puses. Laika gaitā šajā baseinā izveidojās īpaša fāciju zonalitāte – no austrumiem uz rietumiem, kā iepriekš aprakstīts, mainās nogulumu sastāvs un fosiliju daudzums, un sugu skaits. Šī fāciju zonalitāte atšķīrās no iepriekšējo devona laikposmu baseinu fācijām. Iepriekšējie pētījumi uzrāda, ka virzienā uz Latvijas galējiem austrumiem palielinās normālam jūras sāļumam atbilstošas izcelsmes bezmugurkaulnieku daudzveidība – atrodamas brahiopodu, gliemeņu, gliemežu, jūras liliju un stromatoporu atliekas (Stinkulis, 1998). Pēc V. Sorokina viedokļa, šis fakts apstiprina to, ka epikontinentālais un sekla baseins bija ūdenstilpne, kas bija savienota ar atklātu jūru, kura atradās austrumos (Sorokin, 1978 un 1981).

Tiek pieļauts, ka virzienā uz rietumiem baseins būtiski sašaurinājās un epizodiski, nedaudz pieauga ūdens sāļums. Šajā baseina daļā dominē dolomīti. Domājams, ka Latvijas rietumu daļā eksistēja lagūna vai sekls, vienmērīga dziļuma jūras līcis. Šeit atklātas jūras ietekme ir praktiski jau nemanāma un veidojās māli ar dolomīta starpkārtām, dolomīti un dolomītmerģeļi. Arī organismu atliekas to apstiprina – sastopamas aļģes, augu atliekas, brahiopodu un zivju atliekas (Sorokin, 1981; Stinkulis, 1998).

Pļaviņu laikposmā jūra, kurā bija normāls ūdens sāļums, uzvirzījās plašiem Austrumeiropas platformas reģioniem. Par to liecina kaļķakmeņi ar daudzveidīgām bezmugurkaulnieku atliekām, kas raksturīgas jūrām. Pļaviņu svītas Atzeles ridas apakšējā daļa (ridas transgresīvā daļa) atbilst maksimālai vēlā devona jūras transgresijai (Sorokin, 1978, 1981; Stinkulis, 1998). Atzeles ridā visā Latvijas teritorijā ir dolomīti ar daudzveidīgām organismu atliekām, kas norāda uz normāla sāļuma baseina izveidi praktiski visā Latvijas teritorijā (Lukševičs, Stinkulis, 2018b).

Savukārt Austrumeiropas platformas austrumu daļā, pie Urāliem, Pļaviņu laikposmā veidojās mālaini karbonātiskas nogulas ar organisko vielu, glaukonīta un citu komponentu piejaukumu, kas liecina par šo nogulumu veidošanos ievērojami dziļākā baseinā (Sorokin, 1981).

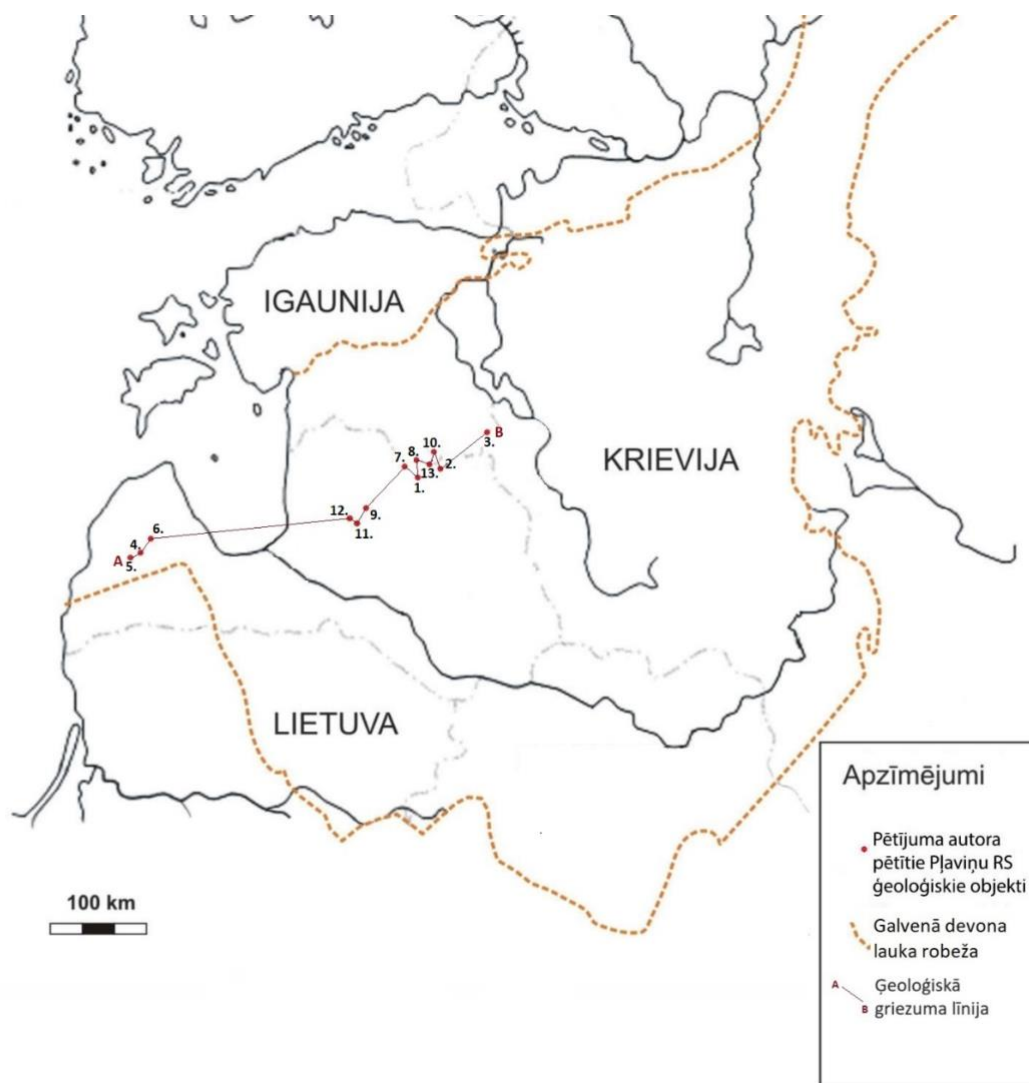


3.4. attēls. Vēlā devona okeānu un kontinentu izvietojuma paleoģeogrāfiskās rekonstrukcijas shēma, situācija pirms 370 milj. gadu (modificēta pēc: Scotese *et al.*, 2000 un Meškis, 2013).

Figure 3.4. Palaeogeographic reconstruction of the Late Devonian oceans and continents, situation 370 Ma years ago (modified after: Scotese *et al.*, 2000 and Meškis, 2013).

4. MATERIĀLS UN METODEDES

Kopumā pētījuma gaitā tika analizēti 14 ģeoloģiskie objekti – Latvijā un Igaunijas dienvidaustrumu daļā. Papildus paša autora pētītajiem ģeoloģiskajiem objektiem tika izmantoti arī dati par pieslīpņiem no Kristapa Seiļa bakalaura darba par Vizulu iezī. Neskatoties uz aizgūto sākotnējo informāciju, disertācijas pētījuma autors pats apmeklēja šo ģeoloģisko objektu un precizēja ģeoloģisko griezumu atsegumā, kā arī veica jaunu karbonātiežu paraugu ievākšanu.



4.5. attēls. Galvenā devona lauka (GDL) shēma (modificēta pēc: Mešķis, 2013) ar pētījuma objektu izvietojumu.

Apzīmējumi: Autora pētītie Pļaviņu RS ģeoloģiskie objekti: 1. Randātu klintis ($57^{\circ}26'54.1''N$ $26^{\circ}20'47.7''E$); 2. Grūbes dolomīta atsegums ($57^{\circ}31'35.0''N$ $26^{\circ}46'44.3''E$); 3. Marinovas karjera atsegums ($57^{\circ}44'26.0''N$ $27^{\circ}31'21.6''E$); 4. Riežupes atsegumi ($56^{\circ}59'16.7''N$ $22^{\circ}02'40.7''E$); 5. Ventas rumbas atsegums ($56^{\circ}58'04.7''N$ $21^{\circ}58'40.2''E$); 6. Īvandes ūdenskritumu atsegumi ($57^{\circ}04'05.0''N$ $22^{\circ}17'43.0''E$); 7. Dārziema dolomīta atradne ($57^{\circ}29'32.9''N$ $26^{\circ}25'7.0''E$); 8. Apes pamestā dolomīta atradne ($57^{\circ}31'52.6''N$ $26^{\circ}41'21.9''E$); 9. Lauciņu (Cēsu) bijusī dolomīta atradne ($57^{\circ}19'4.6''N$ $25^{\circ}19'0.3''E$); 10. Kalkahju (Peetri) atsegums ($57^{\circ}32'48.9''N$ $26^{\circ}34'49.7''E$). Aizgūtie Pļaviņu RS ģeoloģiskie objekti: 11. Īļaku iezis ($57^{\circ}13'28.2''N$ $25^{\circ}13'32.8''E$); 12. Vizulu iezis ($57^{\circ}13'31.9''N$ $25^{\circ}13'25.3''E$); 13. Kalamecu un Markuzu gravas atsegumi ($57^{\circ}32'30.6''N$ $26^{\circ}26'40.1''E$).

Figure 4.5. Schematic map (modified after: Meškis, 2013) of the Main Devonian Field (MDF) with distribution of study objects.

Legend: Pļaviņas Regional Stage: 1. Randāti cliffs; 2. Grūbe dolomite exposure; 3. Marinova quarry exposure; 4. Riežupe exposures; 5. Venta falls exposure; 6. Īvande waterfalls exposures; 7. Dārzciems dolomite quarry; 8. Ape abandoned dolomite quarry; 9. Lauciņi (Cēsis) abandoned dolomite quarry; 10. Kalkahju (Peetri) exposure; 11. Īļaki cliff; 12. Vizulī cliff; 13. Kalameci and Markuzi ravine exposures. All geographical coordinates for studied geological objects are mentioned in previous page and this page.

Autors lauka pētījumu veikšanā un makroparaugu (pieslīpņu) izgatavošanā ir sadarbojies ar ģeoloģijas studentēm Lindu Vīksnu (bij. Āboliņa) un Mariannu Meiri-Kārkli.

Sedimentācijas apstākļu pētījumiem Baltijas devona paleobaseina centrālajā daļā Latvijā un Igaunijas dienvidaustrumos tika izvēlēti tādi objekti, kas būtu izvietoti pēc iespējas plašākā teritorijā un aptvertu iespējami pilnīgu devona Pļaviņu reģionālā stāva ģeoloģiskā griezuma intervālu. Pētot un analizējot ģeoloģiskos objektus, tika izstrādāts pētījuma metožu komplekss, lai raksturotu un interpretētu sedimentācijas apstākļus dažādos stratigrāfiskos intervālos. Svarīgi minēt, ka ņemot vērā saspringto ģeopolitisko situāciju, kas iesākās jau 2014. gadā, autoram nav bijusi iespēja apmeklēt pētījuma objektus Pleskavas apgabalā, Krievijā, kā arī citviet Krievijā un Baltkrievijas ziemeļu daļā.

Vislabākie priekšstati par tekstūrām un struktūrām, kā arī citām pazīmēm, kas liecina par karbonātu sedimentācijas apstākļiem, tika iegūti makroskopiski. No šādiem piemēriem var atzīmēt vigvama tekstūras, laminītus, viļņu ripsnojumu, lietus lāšu nospiedumus un žūšanas plaisas. Papildus jāatzīmē, ka dažviet var būt novērojamas arī nosakāmas augu atliekas uz slāņojuma virsmām, organismu atliekas vai to pazīmes, tādas kā kavernas, kā arī ihnofosilijas (tai skaitā, bioturbācija) (Stow, 2007). Tomēr jāņem vērā, ka pētāmie ieži ir dolomīti, kuros būtiska daļa sākotnējo tekstūru un struktūru pēcsedimentācijas procesu gaitā ir zudušas (Stinkulis, 1998, Meškis, 2013), vai iežu uzbūves īpatnības ir vāji izteiktas un nav viennozīmīgi identificējamās. Kā liecina promocijas pētījuma izstrādes gaitā gūtā pieredze, liela izmēra slāņu virsmas un iekšienes tekstūras saglabājas labāk nekā mikrotekstūras un sākotnējās struktūras. Šo iemeslu dēļ galvenā uzmanība tika pievērsta tieši slāņkopu dokumentēšanai ģeoloģiskajos griezumos un zāģētu, pulētu makroparaugu (pieslīpņu) pētījumiem. Lauka darbu laikā tika izstrādāti arī ģeoloģiskie griezumi pētītājiem intervāliem, veiktas to savstarpējas korelācijas, kā arī detalizēti pētīti un aprakstīti nogulumiežu saguluma apstākļi, un aprakstītas, kā arī analizētas tekstūras tajos.

No daļas noņemto karbonātiežu paraugu tika izgatavoti pieslīpņi (mezoparaugi) ar galveno mērķi noteikt tekstūras, lai interpretētu šo nogulumiežu sākotnējos sedimentācijas apstākļus.

Pēc pētījumiem lauka apstākļos, ģeoloģisko griezumu analīzes un pieslīpējumu pētījumiem tika izvēlētas trīs etalonslāņkopas (Randātu klintis un Riežupes atsegumi, kā arī Īļaku ieža), kuriem pēc autora domām būtu nepieciešami detalizētāki sedimentācijas apstākļu pētījumi ar analītiskām laboratorijas pētījumu metodēm.

Karbonātiežiem no diviem (Randātu klintis un Riežupes atsegumi) iepriekš minētajiem atsegumiem, pamatojoties uz morfoloģiskām un citām pazīmēm, tika veikta izvēlēto karbonātiežu paraugu tālāka analīze mikromērogā ar:

- rentgendifraktometrijas (XRD) analīzi, lai noteiktu nogulumiežu minerālo sastāvu un aptuveni novērtētu izplatītāko minerālu saturu;
- kopējo organiskās izcelsmes oglekļa daudzuma (TOC, no angļu val. – *total organic carbon*) analīzi, lai noteiktu organiskās vielas saturu;
- *Biomarker* metodi, lai noteiktu lipīdu daudzumu pētāmajos karbonātiežos;

- oglekļa un skābekļa stabilo izotopu analīzi, pielietojot masu spektrometrijas metodi (Ahm, *et al.*, 2018).

Karbonātiežiem no viena (Īļaku ieža) atseguma, pamatojoties uz morfoloģiskām un citām pazīmēm, tika veikta izvēlēto karbonātiežu paraugu tālāka analīze ar:

- rentgendifraktometrijas (XRD) analīzi, lai noteiktu nogulumiežu minerālo sastāvu un aptuveni novērtētu izplatītāko minerālu saturu;
- rentgenfluorescences (XRF) analīzi, lai noteiktu nogulumiežu ķīmisko sastāvu.

Detalizēti pētījumi ar XRD, XRF, *Biomarker* un TOC metodēm tika veikti diviem ģeoloģiskajiem objektiem vienas stratigrāfiskās vienības ietvaros, bet dažādās vietās Latvijā, lai varētu noteikt Baltijas devona paleobaseina centrālās daļas sedimentācijas apstākļu īpatnības un atšķirības.

Oglekļa un skābekļa stabilo izotopu analīzes tika veiktas 46 paraugiem no 7 atsegumu griezumiem. Paraugi šīm analīzēm tika ievākti no Dārziema dolomīta atradnes atseguma, Marinovas dolomīta atradnes atseguma, Īvandes ūdenskritumu klintīm, Kalkahju (Peetri) atseguma, Randātu klintīm un Apes pamestās dolomīta atradnes atseguma. Paraugu ievākšanas intervāli bija no 0,1 metra (Apes pamestajā dolomīta atradnē) līdz 1,0 metriem (Dārziema dolomīta atradnē).

4.1. Lauka pētījumi

4.1.1. Karbonātiežu paraugu ievākšana

Karbonātiežu paraugu ievākšana un lauka pētījumi tika veikti laika posmā no 2015. gada oktobra līdz 2023. gada februārim. Paraugus autors ievāca kopumā no 14 Pļaviņu svītas atsegumiem Latvijā un Igaunijas dienvidaustrumu daļā - Randātu klintīm, Grūbes dolomīta atseguma, Marinovas atradnes atseguma, Riežupes atsegumiem, Ventas rumbas atseguma, Īvandes ūdenskritumu atseguma, Dārziema dolomīta atradnes atseguma, Apes pamestās dolomīta atradnes atseguma, Lauciņu (Cēsu) bijušās dolomīta atradnes atseguma, Kalkahju (Peetri) atseguma, Kalamecu un Markuzu gravu atseguma, Vizuļu ieža un Īļaku ieža.

Daļa atsegumu lielākoties atradās samērā viegli pieejamās vietās nelielu upju krastos. Kopumā lauka pētījumu un darbu laikā tika ievākti vairāk kā 150 karbonātiežu paraugu monolīti, vidēji izmēros 10 x 10 cm. Paraugu ievākšanai tika izmantots ģeologa atskaldāmais āmurs, paraugu maisiņi, marķējuma lapiņas, zīmulis un marķieris. Atdalot paraugu no atseguma, tam tika veikta novietojuma apzīmēšana – tika atzīmēta parauga augšpuse un apakšpuse, norādot to ar bultu. Pēc tam katram paraugam tika dots apzīmējums. Katram atsegumam tika noteiktas arī koordinātas, izmantojot rokas *Garmin* GPS ierīci.

4.1.2. Atsegumu apraksti un fotodokumentācija

Atsegumu apraksti lauka grāmatiņā tika veikti uz vietas katrā objektā, lauka apstākļos, lai vēlāk datus varētu apstrādāt kamerālos apstākļos, veidot aprakstus datorvidē, datu interpretāciju, ģeoloģisko griezumu savstarpējas korelācijas u.c. darbus. Papildus tam tika veikta arī lauka pētījumu gaitas un arī katra pētījumu objekta (atseguma) foto dokumentācija ar digitālo fotokameru. Katrā ģeoloģiskajā objektā tika izvēlēta atseguma siena, kurās bija paši pilnīgākie ģeoloģiskie griezumi. Kopumā sagatavoti 14 objektu ģeoloģiskie griezumi.

Slāņu biezumi un to sagulums tika noteikts ar mērlenti, ģeoloģisko busoli, izmantojot arī lauka grāmatiņu un zīmuli. Lai katra pētījuma objektu precīzi piesaistītu ģeogrāfiski, tika izmantota globālā pozicionēšanas sistēmas iekārta *Garmin* (GPS).

4.1.3. Ģeoloģisko griezumņu dokumentācija

Ģeoloģiskie griezumņi skiču veidā ar zīmuli tika izstrādāti uz vietas, lauka pētījumu laikā, lauka grāmatiņā. Pēc tam katrs lauka apstākļos skicētais griezumņs tika precizēts pēc atsegumu sedimentoloģiskajiem aprakstiem un ieskenēts datorā. Tad katrs ģeoloģiskais griezumņs tika pārzīmēts digitāli licencētā *CorelDraw* vai brīvpieejas *Inkscape* programmatūrā, izveidojot vektorizētus zīmējumus.

4.2. Laboratorijas pētījumu metodes

4.2.1. Pieslīpņu (mezoparaugu) izgatavošana

Karbonātiežu tekstūru pētījumiem tika veikta karbonātiežu pieslīpņu izgatavošana. Kā pētījuma autors secinājis jau ģeoloģijas maģistrantūras studiju laikā, pētot augšējā krīta karbonātiežus no Austrijas Dolomītu Alpiem Untersbergas apkārtnē, karbonātiežu sedimentācijas apstākļu pētījumiem vispiemērotākās ir tieši mezomēroga sedimentācijas tekstūras. Tādēļ plānslīpējumi autora disertācijas pētījuma laikā nav tikuši izgatavoti, bet nelielā apjomā aizgūti no M. ģeol. Agneses Mariannas - Miķelsones. Pētījuma gaitā izgatavoti tikai paraugu pieslīpējumi mezomērogā.

Daļu pieslīpņu izgatavojis pētījuma autors, bet daļu no tiem sadarbībā ar M. ģeol. Mariannu Meiri-Kārkli, laika posmā no 2015. gada oktobra līdz 2022. gada oktobrim. Pieslīpējumi tika izgatavoti LU Dabaszinātņu akadēmiskā centra (DAC) Iežu pētījumu laboratorijā, kā arī daļa no tiem – Vīnes Universitātē, Zemes zinātņu, ģeogrāfijas un astronomijas fakultātē, Ģeodinamikas un sedimentoloģijas centrā.

Daļu paraugu pieslīpņu no 3 ģeoloģisko objektu materiāliem bija izgatavojuši ģeoloģijas bakalaura programmas studenti Albīna Trofimova un Kristaps Seilis, bet promocijas darba autors šos ģeoloģiskos objektus pētījuma gaitā apsekoja arī pats, kā arī precizēja ģeoloģiskos griezumņus, noņēma papildus karbonātiežu paraugus turpmākiem pētījumiem.

4.2.2. Paraugu sagatavošana XRD, XRF, *Biomarker*, TOC analīzēm un oglekļa un skābekļa stabilo izotopu analīzēm

Paraugu sagatavošana XRD, XRF, *Biomarker*, TOC un oglekļa un skābekļa stabilo izotopu analīzēm tika veikta Vīnes Universitātes Zemes zinātņu, ģeogrāfijas un astronomijas fakultātē, Ģeodinamikas un sedimentoloģijas centrā, sadarbībā ar prof. Dr. geol. Mihaelu Vāgraihu (Michael Wagreich) un asoc. prof. Dr. geol. Suzannu Gīru (Susanne Gier).

Iesākumā, no katra lielā parauga LU Dabaszinātņu akadēmiskā centra Iežu pētījumu laboratorijā tika atzāģēti izmēros mazāki karbonātiežu paraugi, kuru svars iepriekš tika definēts no aptuveni 50 līdz 120 gramiem. Pēc tam katrs karbonātiežu paraugs tika marķēts ar jau iepriekš iedalīto parauga numuru (atbilstoši nodalītajam slāņa numuram ģeoloģiskajā griezumņā) un ar kurjerpastu nogādāts uz Austriju, Vīnes Universitāti, Ģeodinamikas un sedimentoloģijas centru.

Vispirms katrs paraugs tika sasmalcināts (pulverizēts) smalkā, nestrukturētā pulverī (kristalīti ir haotiski izkārtoti) ar graudu izmēru 10 līdz 20 mikroni (μm). Pulverizēšana tika veikta Vīnes Universitātē, Ģeodinamikas un sedimentoloģijas centrā, izmantojot planetāro dzirnavu iekārtu *Retsch RS 200* (4.6. attēls), kā arī *Fritsch Vibrating Cup Mill Pulverisette 9* planetāro dzirnavu iekārtu.



4.6. attēls. Planetāro dzirnavu iekārta *Retsch RS 200*, kas izmantota paraugu pulverizēšanai.

Figure 4.6. Planetary rotary mill *Retsch RS 200*, used in pulverizing rock samples.

Paraugu pulverizēšanai iekārtas vadības panelī tika izvēlēti sekojoši parametri: apgriezību skaits minūtē – 1000 rpm; programmas laiks – 3 minūtes. Šie parametri bija visoptimālākie un pilnībā pietiekami katra karbonātiežu parauga pulverizēšanai līdz nepieciešamajai pulvera frakcijai.

4.2.3. Rentgendifraktometriskā (XRD) analīze

XRD analīzes metode promocijas pētījuma darbā tika izmantota, lai, pamatojoties uz rentgendifrakcijas ainām, varētu identificēt karbonātiežos esošos minerālus un varētu precizēt šo nogulumu sedimentācijas apstākļus.

XRD analīzes tika veiktas paraugiem no trim pētījuma autora izvēlētiem ģeoloģiskiem etalongriezumiem – Randātu klintīm, Īļaku ieža un Riežupes atsegumiem. Kopumā ar XRD analīzes veidu tika analizēti 23 karbonātiežu paraugi. Pa vienam paraugam tika noņemts no katra identificētā, nodalītā atseguma slāņa.

Paraugu sagatavošanu, tāpat arī pašas rentgendifraktometrijas analīzes veica šī pētījuma autors. Visi paraugi sākotnēji tika sagatavoti strukturēti, pulverizētā veidā. Paraugi XRD analīzei tika sagatavoti Vīnes Universitātes, Ģeodinamikas un sedimentoloģijas centrā, izmantojot *Halten* 5 cm diametra turētāju 2–70° ar padziļinājuma diametru 16 mm.

Pulverizētie paraugi pirms skenēšanas rentgenstaru difraktometrā tika iepildīti parauga turētāja padziļinājumā ar diametru 16 mm un pieblīvēti ar neliela izmēra cilindra formas piestu. Liekais parauga pulveris tika notīrīts ar otiņu un vieglu gaisa plūsmu, izmantojot saspīestā gaisa kompresoru. Tad parauga turētājam tika uzlikts fiksējams vāciņš un pēc tam turētājs tika ievietots paraugu turētāja kolonnā. Paraugu turētāja kolonnā kopumā ietilpst līdz pat 15 paraugi, līdz ar to astoņi paraugi ar rentgenstaru difraktometru tika skenēti atsevišķi, otrajā kārtā. Pēc katra parauga sagatavošanas, visi instrumenti tika notīrīti ar acetonu un papīra salveti, lai citu karbonātiežu paraugu pulverveida materiāls nenonāku pie cita parauga.

Lauka pētījumos noņemto Pļaviņu reģionālā stāva (Riežupes atsegumi, Īļaku iezis un Randātu klintis) karbonātiežu paraugu XRD analīzes tika veiktas Vīnes Universitātes, Ģeodinamikas un sedimentoloģijas centrā, izmantojot rentgenstaru difraktometru *Panalytical X'pert Pro* (4.7. attēls).



4.7. attēls. *Panalytical X'pert Pro* rentgenstaru difraktometrs Vīnes Universitātes, Ģeodinamikas un sedimentoloģijas centrā.

Figure 4.7. *Panalytical X'pert Pro* X-ray diffractometer in University of Vienna, Center for Geodynamics and Sedimentology.

Rentgenstaru difrakcijas ainas tika uzņemtas ar $\text{CuK}\alpha$ radiāciju, 2–70° 40 posmā ar ekspozīcijas laiku 5 sekundes un soļa garumu 0,0167°. Uzsākot skenēšanu, programmā *X'Pert Data Collection* tika izvēlēts arī spriegums 40 kV un strāvas stiprums 40 mA. Rentgenstaru difraktometrs aprīkots ar augstas izšķirtspējas goniometru un daudzkanālu *PIXcel* staru detektoru.

Rentgenstaru difraktogrammu apstrāde un minerālo fāžu kvantitatīvā, un kvalitatīvā analīze tika veikta, izmantojot datorprogrammu *X'Pert High Score Plus*, kā arī balstoties uz Rītvelda (no angļu val. – *Rietveld refinement method*) metodi.

Zemāk autors raksturojis visbiežāk sastopamos minerālus pētīto karbonātiežu sastāvā, pamatojoties uz to kvantitatīvajām pazīmēm (Burt, 2004; Taylor, 1991):

- kalcīts – galvenais atstarojums šim minerālam ir pie 3,06 Å;
- kvarcs – galvenie atstarojumi šim minerālam ir pie 4,27 Å un 3,34 Å;
- dolomīts – galvenais atstarojums šim minerālam ir pie 2,88–2,89 Å;
- illīts – galvenais atstarojums, maksimums ir pie 10 Å.

4.2.4. Rentgenfluorescences (XRF) analīze

XRF analīzes metode promocijas pētījumā tika izmantota, lai, pamatojoties uz tās rezultātiem, varētu identificēt karbonātiežu sastāvā esošos mikroelementus un galveno elementu oksīdu koncentrācijas (Azami *et al.*, 2021).

XRF analīzes tika veiktas 7 izvēlētajiem paraugiem no Īļaku ieža. Tika noteikta Ca, Mg, Si, Al, Mn, Ti, Zr u.c. mikroelementu koncentrācija *ppm* izteiksmē. Kopumā jāņem vērā, ka iekārtas kļūda var būt aptuveni 1–3% robežās. Tika veikta arī karbonātiežu sastāvā esošo galveno elementu oksīdu koncentrāciju noteikšana – MgO, Al₂O₂, SiO₂, P₂O₅, K₂O, CaO, TiO₂, MnO un Fe₂O₃.

XRF analīzes tika veiktas ar *Bruker Tracer IV* rokas tipa iekārtu, katra parauga testēšana ilga aptuveni 420 sekundes (7 minūtes). Pēc tam, savienojot XRF iekārtu ar datoru, sistēmā tika automātiski ģenerēts *MS Excel* fails tabulas veidā ar ķīmisko elementu koncentrācijām.

4.2.5. TOC analīze

TOC, jeb kopējā organiskas izcelsmes oglekļa (t.i., organiskā oglekļa) analīze (no angļu val. – *total organic carbon*) ir metode atlikušās organiskās vielas koncentrāciju noteikšanai nogulumiežos. TOC analīzes tika veiktas 5 karbonātiežu paraugiem, kuros organoleptiski, pēc krāsojuma pazīmēm tika novērots vislielākais organiskās vielas saturs. 3 paraugi bija no Randātu klintīm, bet 2 paraugi no Riežupes atsegumiem. TOC analīzes pētījuma autors veica Vīnes Universitātes Vides ģeozinātņu departamentā, Zemes zinātņu centrā. Tika izmantota iekārta *Multiphase Carbon Determinator RC-612*. Paraugu apstrādes temperatūra ir 550 °C. TOC rezultāti tika automātiski ģenerēti datorā, kas savienots ar analīžu iekārtu, un tādejādi tika iegūti analizēto karbonātiežu paraugu TOC grafiki (1. pielikums).

4.2.6. Biomarker lipīdu analīze

Biomarker lipīdu analīzes karbonātiežu paraugiem tika veiktas Vīnes Universitātes Ģeodinamikas un sedimentoloģijas centrā, Prof. Dr. geol. Mihaela Vāgraiha (Michael Wagreich) vadībā. Ar šo metodi tika analizēti tie paši 5 paraugi, kas tika analizēti ar TOC metodi. *Biomarker* lipīdu metode tika izmantota, lai no karbonātiežu paraugiem ekstrahētu viegli šķīstošās organiskās vielas (t.s. bitumenu) (El-Shafiey *et al.*, 2014). Mērījumiem tika izmantota gāzes hromatogrāfijas - masu spektrometrijas iekārta (no angļu val. – *GC-MS*) un

gāzu hromatogrāfijas iekārta ar liesmu jonizācijas detektoru (no angļu val. – *GC-FID*). Analīzēm tika izmantoti jau iepriekš sagatavotie un pulverizētie karbonātiežu paraugi.

Pirms ekstrakcijas procesa, pulverizētajam karbonātieža paraugam tika pievienoti 40 ml dihlorometāna:metanola (attiecībā 3:1). Ekstrakcija tika veikta ar mikroviļņu tipa iekārtu *CEM MARS X*. Karsēšanas laiks bija 15 minūtes pie 80 °C temperatūras un 600 W jaudas. Sakarā ar to, ka organiskās vielas saturs ir ļoti mazs, šīs metodes rezultāti neuzrādīja nozīmīgas vērtības (tās bija ļoti zemas), kas līdz ar to nav izmantojamas pētījumā (Aderoju, Bend, 2018) un tālākā interpretācijā. Šie rezultāti nav pievienoti arī šim disertācijas pētījuma darbam.

4.2.7. Oglekļa un skābekļa stabilo izotopu analīze

Latvijas Universitātes Iežu pētījumu laboratorijā (LU DAC, Jelgavas iela 1, Rīga) sākotnēji tika veikta pulverveida paraugu nodalīšana no katra izvēlētā karbonātieža parauga. Nepieciešamais pulverveida karbonātieža parauga daudzums analīzei no katra ieža parauga ir aptuveni 0,3–0,5 grami. Paraugs tika iegūts, veicot urbšanu ar betona urbja uzgali, izmantojot elektrisko urbšanas iekārtu *Bosch GSB 13 RE*. Katrs paraugs pēc tam tika ievietots ependorfa mēģenē ar nomināltilpumu 2 ml. Pēc tam visi sagatavotie paraugi tika ievietoti kartona kastē un uz Igauniju, Tallinas Tehnoloģiju Universitātes Ģeoloģijas Institutu tos nogādāja disertācijas darba zinātniskais vadītājs Asoc.prof. Dr. geol. Ģirts Stinkulis.

Oglekļa un skābekļa stabilo izotopu analīzes tika veiktas Tallinas Tehnoloģiju Universitātes Ģeoloģijas Institutā, Igaunijā, sadarbībā ar Dr. geol. Tonu Martmā (Tõnu Martma). Oglekļa un skābekļa stabilo izotopu analīzes paraugiem tika veiktas no septiņiem pilniem griezumiem – no Apes pamestās dolomīta atradnes atseguma un Lauciņu (Cēsu) dolomīta atradnes, Marinovas dolomīta atradnes atseguma, Īvandes ūdenskritumu klintīm, Kalkahju (Peetri) atseguma, Randātu klintīm un Apes pamestās dolomīta atradnes atseguma. Noņemto un analizēto karbonātiežu paraugu noņemšanas intervāli bija no 0,1 metra līdz 1,0 metriem.

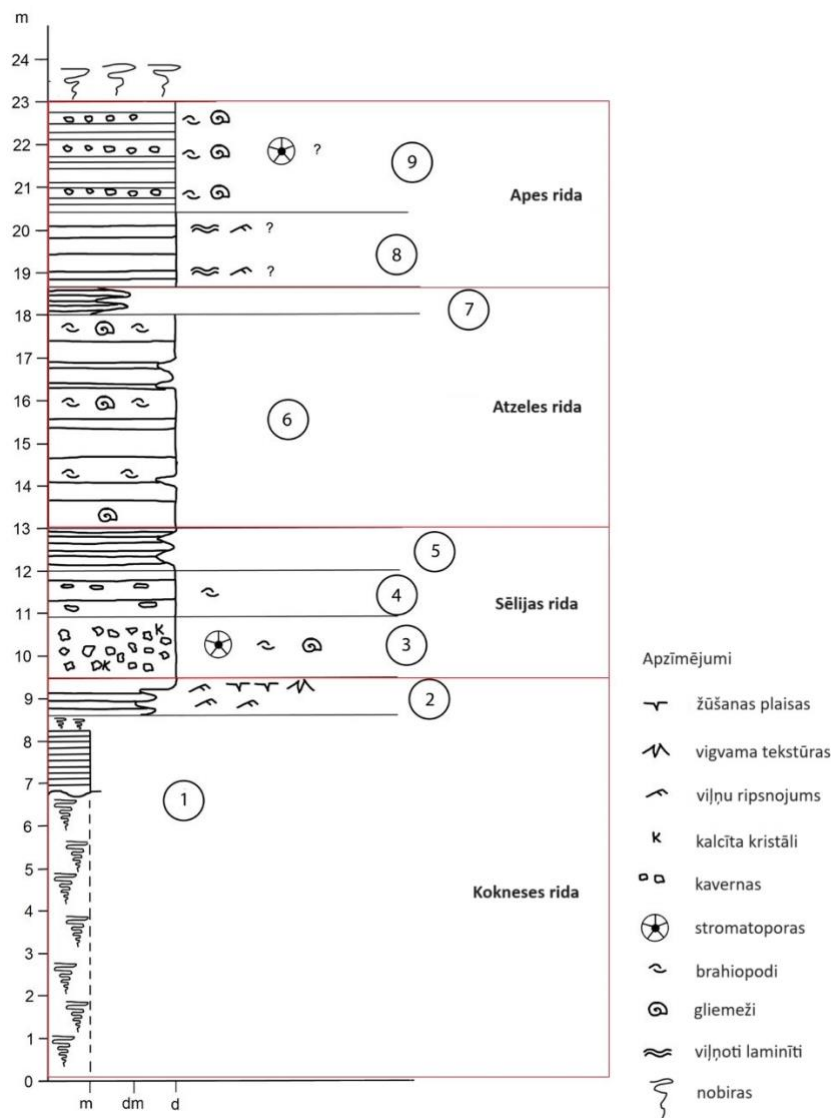
Kopumā autors sagatavoja stabilo izotopu analīzei sagatavoja 46 karbonātiežu paraugus. Izotopu analīzes tika veiktas ar iekārtu *GasBench II Preperation Line*. Šī iekārta savienota ar masu spektrometra iekārtu *Thermo Scientific Delta V Advantage*. Iegūtie stabilo izotopu rezultāti ir sniegti pieņemtā δ izteiksmē, kā novirze promilēs no VPDB vērtību standarta (no angļu val. – *Vienna Peedee Belemnite*). Iekārtas kalibrācijā izmantots starptautiskais LSVEC standarts. Iegūtie rezultāti ļāvuši pētījuma autoram precizēt karbonātisko nogulu sedimentācijas apstākļus.

5. REZULTĀTI UN INTERPRETĀCIJA

5.1. Pētītie ģeoloģiskie griezumī un stratigrāfiskais iedalījums

5.1.1. Randātu klinšu ģeoloģiskā griezuma raksturojums

Pētījumu objekts atrodas Gaujas upes labajā krastā, aptuveni 650 metrus uz dienvidiem no Vidzemes šosejas tilta pār Gauju. Šis atsegums (5.8. attēls) atrodas Randātu klinšu galvenajā daļā, kas ir arī augstākā atseguma daļa. Novietojums kartē dots 4.5. attēlā. Atseguma ģeogrāfiskās koordinātas dotas 3. pielikumā.



5.8. attēls. Pļaviņu svītas nogulumiežu ģeoloģiskais griezumī Randātu klinīs: m – māls; dm – dolomītmerģelis; d – dolomīts/kaļķakmens. Ar numuriem apzīmēti nodalītie slāņi un noņemtie paraugi.

Figure 5.8. Geological section of sedimentary rocks of the Pļaviņas Formation in the Randātu cliffs: m – clay; dm – dolomitic marl; d – dolomite/limestone. Numbers in circles mark distinguished beds and collected samples.

1. slānis. 6,8–8,3 m – pelēki un sarkani mālaini nogulumu, kas vietām ir noplūduši (2 fācija).

8,3–8,6 m – nobiru slānis.

2. slānis. 8,6–9,4 m – dolomīts, mālainis, vietām dolomītmerģelis, sīkplātņains, kas virzienā uz šī slāņa augšu pāriet biežāk plātņainā dolomītā. Dažviet slānī var novērot viļņu ripsnojumu. Slāņa augšdaļā ir labi izteiktas žūšanas plaisas, kas sastopamas kopā ar vigvama tekstūrām (slāņa apakšdaļā 12. fācija, no slāņa vidus 1. fācija).

3. slānis. 9,4–10,8 m – dolomīts, ļoti kavernozs. Kavernas ir izveidojušās gliemežu, brahiopodu un nelielu stromatoporu fosiliju vietā, tām izšķīstot, domājams, dolomitizācijas procesā. Vietām kavernās ir sekundārā kalcīta žeodas. Dolomīts ir ievērojami izmainīts pēcsedimentācijas procesu gaitā – tas ir brekčijots un tam ir dzelzs oksīdiem un hidroksīdiem raksturīgais krāsojums (slāņa apakšdaļā 10. fācija, no slāņa vidus 5. fācija)

4. slānis. 10,8–12,0 m – dolomīts, vidēji līdz biežplātņains, vidēji kavernozs. Kavernām ir izteikti slāniskais (horizontāls) izkārtojums. Līdzīgi iepriekšējam slānim, kavernas arī šeit ir veidojušās fosiliju šķīšanas rezultātā (6. fācija)

5. slānis. 12,0–13,0 m – dolomīts un mālainis dolomīts, sīkplātņains, bez redzamām organismu atliekām (slāņa apakšdaļā 2. fācija, augšpus 12. fācija)

6. slānis. 13,0–18,0 m – dolomīts, vidēji līdz biežplātņains, vietām sīkplātņains. Griezuma augstuma atzīmju 14,2 m, 16,4 m un 16,8 m posmos ir novērojamas aptuveni 5 cm biezas sīkplātņainu dolomītmerģeļu un mālainu dolomītu starpkārtnas. Atsevišķos intervālos dolomīts ir bagāts ar brahiopodu čaulām un to detrītu, kā arī gliemežu čaulu detrītu. Pārsvarā šajā slānī dolomīts ir viendabīgs (pašā slāņa apakšdaļā ap 1 metra biezumā 6. fācija, pēc tam 4. fācijas un 2. fācijas mija)

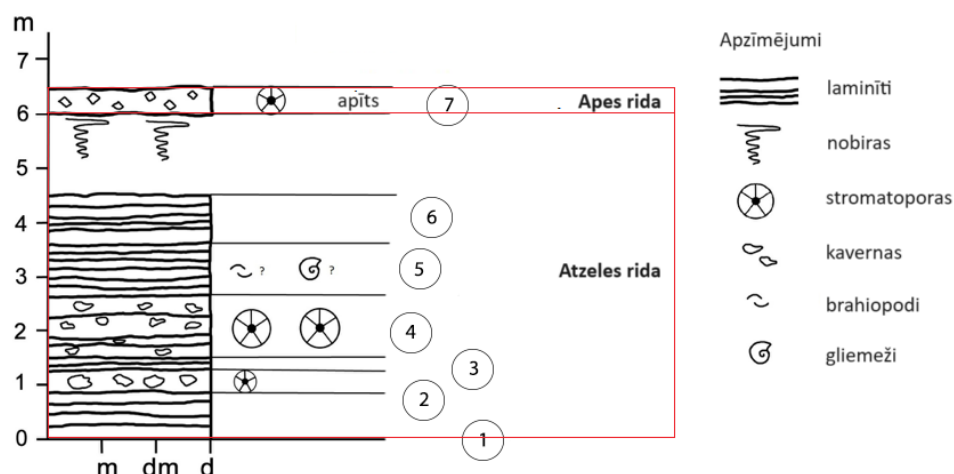
7. slānis. 18,0–18,7 m – mālu, karbonātisku un dolomītmerģeļu mija. Slānis ir daļēji aizbiris (12. fācija).

8. slānis. 18,7–20,4 m – dolomīts, viendabīgs, vidēji plātņains ar līdzienām plātņu robežām, gaišs. Daudzviet ir izsekojams viļņots kārtojums un problemātisks viļņu ripsnojums (1. fācija)

9. slānis. 20,4–23,0 m – dolomīts, vidēji plātņains, vietām sīkplātņains. Daudzviet slānī tas ir kavernozs, kas nosaka neregulāru uzbūvi. Kavernas ir veidojušās, šķīstot brahiopodu, gliemežu, iespējams, arī stromatoporu fosilijām. Kavernās ir konstatēti dolomītmiti (slāņa apakšdaļā un pašā augšdaļā 6. fācija, slāņa vidusdaļā 5. fācija, kuru apkļauj 2. fācija).

5.1.2. Grūbes dolomīta atseguma ģeoloģiskā griezumā raksturojums

Pētītais objekts atrodas aptuveni 80 metrus uz ziemeļaustrumiem no nelielas hidroelektrostacijas dambja, kas atrodas uz Vaidavas upes. Pētītā atseguma siena (5.9. attēls) atrodas Grūbes dolomīta atseguma augstākajā daļā. Novietojums kartē dots 4.5. attēlā. Atseguma ģeogrāfiskās koordinātas dotas 3. pielikumā.



5.9. attēls. Pļaviņu svītas ģeoloģiskais griezumā Grūbes dolomītu atsegumā: m – māls; dm – dolomītmerģelis; d – dolomīts/kaļķakmens. Ar numuriem apļos apzīmēti nodalītie slāņi un noņemtie paraugi.

Figure 5.9. Geological section of carbonate rocks of the Pļaviņas Formation in the Grūbe dolomite exposure: m – clay; dm – dolomitic marl; d – dolomite/limestone. Numbers in circles mark distinguished beds and collected samples.

1. slānis. 0,0–0,8 m – dolomīts, ar plātņu biezumu 5–10 cm, ar regulāru uzbūvi, maz kavernām (2. fācija).

2. slānis. 0,8–1,25 m – dolomīts (1 plātne), daudz kavernām sakarā ar stromatoporu, iespējams, arī citu fosiliju klātbūtni (5. fācija).

3. slānis. 1,25–1,5 m – dolomīts, regulāri plātņains (3 plātnes), bez kavernām (2. fācija).

4. slānis. 1,5–2,7 m – dolomīts, vidēji kavernozs, vidēji plātņains (plātņu biezums 10–15 cm), vietām sīkplātņains. Kavernas ir nevienmērīgi izkliedētas, tās galvenokārt ir stromatoporu fosiliju vietā. Stromatoporas pēc formas ir ieapaļas, vietām, domājams, apgāztas. To diametrs ir līdz 30 cm. Vietām šo fosiliju daudzums ir aptuveni 30% no dolomīta apjoma (pirmā slāņa daļa, sākot no apakšas, 2. fācija, pēc tam seko 5. fācija).

5. slānis. 2,7–3,7 m – dolomīts, sīkplātņains (plātņu biezums ap 5 cm), regulāri plātņains. Ir vidēji daudz kavernu nelielu fosiliju, iespējams, gliemežu un brahiopodu vietā. Dolomitizācijas procesi neļauj precīzāk noteikt fosilijas, to piederību (2. fācija)

6. slānis. 3,7–4,5 m – dolomīts, viendabīgs, bez kavernām, no vidēji līdz ļoti sīki plātņainam (2. fācija).

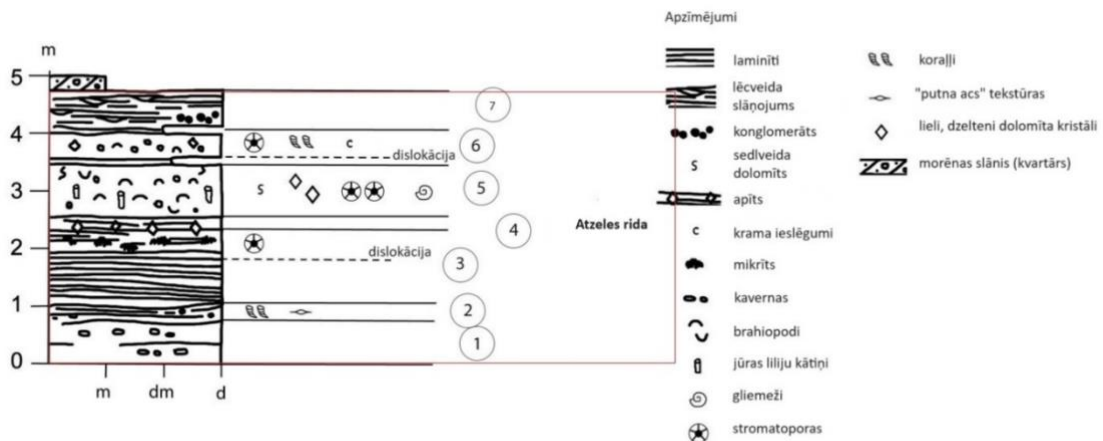
7. slānis. 6,0–6,5 m – dolomīts, rupjkristālisks (“apīts”), ar daudzām nelielām (līdz 5 cm), ieapaļām stromatoporu atliekām (5. fācija).

5.1.3. Marinovas atradnes ģeoloģiskā griezuma raksturojums

Marinovas dolomīta atradne atrodas Igaunijas dienvidaustrumos, Veru (Võru) apriņķī. Pētītais atsegums atrodas atradnes rietumu daļā, atradnes applūdušās daļās dienvidrietumu stūrī. Marinovas atradnes ģeoloģiskais griezumā ir skatāms 5.10. attēlā. Novietojums kartē dots 4.5. attēlā. Atseguma ģeogrāfiskās koordinātas dotas 3. pielikumā.

1. slānis. 0,0–0,61 m – dolomīts, viendabīgs, blokveida. Dolomīta pamatmasa ir smalkkristāliska. Slāņa biezums ir aptuveni 0,61 m. Dolomīts ir kavernozs. Kavernas dolomītā ir vidēji lielas – aptuveni 2 mm līdz pāris cm. Vietām kavernas ir iegarenas formas (līdz pat 5 cm garumā), kas ir izvietotas horizontāli, tomēr kopumā tām ir neregulāra forma un tās ir izvietotas haotiski (6. fācija).

2. slānis. 0,61–0,99 m – dolomīts, blīvs, viendabīgs, blokveida. Virsma starp 1. un 2. slāni ir neregulāra un bedraina. Dolomīts smalkkristālisks, virzienā uz augšu novērojami laminīti, kas liecina par zemu ūdens līmeni. Starp laminītu kārtiņām ir “putna acs” tekstūras. Slāņa apakšdaļā ir lielas un neregulāras formas kavernas, kā arī nelielas koraļļu sakopojumu atliekas (2. fācija).



5.10. attēls. Pļaviņu svītas dolomītu ģeoloģiskais griezumā Marinovas dolomīta atradnē, Igaunijā: m – māls; dm – dolomītmerģelis; d – dolomīts/kaļķakmens. Ar numuriem apļos apzīmēti nodalītie slāņi un noņemtie paraugi.

Figure 5.10. Geological section of dolomites of the Pļaviņas Formation in the Marina dolomite quarry exposure: m – clay; dm – dolomitic marl and marl; d – dolomite/limestone. Numbers in circles mark beds and collected samples.

3. slānis. 0,99–2,32 m – dolomīts, smalkkristālisks, blokveida, dažviet arī plātņains. Vietām ir laminīti. Uz laminītu kārtiņām konstatēts glaukonīts. Aptuveni 1,79 m no griezuma apakšas konstatēta dislokācija (vājinātā zona), kurā konstatēts mehāniski drupināts dolomīts. Slāņa augšdaļā dolomīts smalkkristālisks, tomēr vietām ir mikrītiski sektori un mikrīta ieslēgumi, kas kopumā liecina par neviendabīgu dolomīta uzbūvi. Slāņa augšdaļā ir stromatoporu atliekas (sākot no apakšdaļas, ap 1,1 metra biezumā 2. fācija, pēc tam seko 5. fācija).

4. slānis. 2,32–2,41 m – dolomīts (Apes tipa – “apīts”) vidēji līdz rupjkristālisks un vidēji blīvs līdz porains. Gan ieža pamatmasā, gan uz slāniņu kontaktvirsmām ir zaļganpelēka argilīta piejaukumi. Visu 4. slāni veido 0,5–1,5 cm biezas dolomītu kārtiņas (2. fācija).

5. slānis. 2,41–3,29 m – kaļķakmens, haotiskas uzbūves. Retas gliemežu un stromatoporu atliekas. Konstatētas arī pārkristalizētas brahiopodu? čaulas. Kopumā slānī ir ļoti daudz fosiliju. Slāņa augšdaļā ir arī blīvi jūras liliju kātņu sakopojumi, kas izplatīti vienmērīgi pa visu slāņa augšdaļu. Vietām izplatīts sedlveida tipa dolomīts. Kavernās un kaļķakmens masā

vietām ir nevienmērīga dolomīta izplatība. Pašā slāņa augšdaļā ir vērojams slāņojums, kas atgādina laminītus.

Starp 5. un 6. slāni ir deformēta zona, kurā 7 cm biezumā sastopama zaļganu māla (~1–2 mm) un kaļķakmens (~1–5 mm) slānīšu, lēcu un kārtiņu mija (pirmā slāņa daļa, sākot no apakšdaļas, 6. fācija, pēc tam 5. fācija).

6. slānis. 3,36–3,94 m – kaļķakmens, plātņains, ar balta krama ieslēgumiem. Izteikti liela nevienmērīgā dolomīta izplatība. Dzelteni dolomīta kristāli sastopami dzīslās, kavernās un kaļķakmens pamatmasā. Ļoti daudz fosilijas – gan koraļļi, gan stromatoporas un gliemeži. Izmēros lielākās kavernas un organismu atliekas ir sastopamas slāņa apakšējā un vidējā daļā.

Starp 6. un 7. slāni sastopama 6 cm bieža deformētu nogulumu kārtā, kas ir analoga starp 5. un 6. slāni esošajai kārtai (5. fācija).

7. slānis. 4,00–4,67 m – kaļķakmens, ar mikrokristālisku pamatmasu, vietām gandrīz slēptkristālisks. Ir izteikts lēcveida slāņojums – plāni kaļķakmens slānīši mijas ar iegarenām lēcām, kurās ir mālaini nogulumi. Slāņa apakšdaļā ir konglomerāts, kura pamatmasa, kā arī komponenti ir no tā paša kaļķakmens materiāla, kurā tas atrodas (slāņa apakšdaļā 9. fācija, pēc tam 2. fācija).

5.1.4. Riežupes atsegumu ģeoloģisko griezumņu raksturojumi

Riežupes atsegumu sērija atrodas starp Rumbenieku un Mežvaldes ciematiem, Riežupes upes krastos. Pētīti tika divi atsegumi, viens no tiem atrodas upes kreisajā krastā, aptuveni 120 metrus uz rietumiem no tilta pār Riežupi (5.11. attēls), savukārt otrs mazākais atsegums atrodas aptuveni 50 metrus no tā paša tilta pār Riežupi (5.12. attēls). Novietojums kartē dots 4.5. attēlā. Atsegumu ģeogrāfiskās koordinātas dotas 3. pielikumā.

1. atsegums

1. slānis. 0,0–0,50 m – dolomītmerģeļi, gaiši brūni, viss slānis kārtainu laminītu veidā, laminītu biezums no 0,5 cm līdz 2,0 cm, vietām dolomītmerģeļa masa ir izteikti miltaina, uz slānīšu virsmām dažviet augu atlieku kolonijas (nenosakāmas), kurās augu atliekas izvietotas haotiski un samērā blīvi. Augu atliekas ir ap 1–2 cm garas, apmēram 1–2 mm platas, tumšas krāsas (melnas, tumši pelēkbrūnas) (2. fācija).

2. slānis. 0,50–1,60 m – mālainu dolomītu un dolomītmerģeļu mija, ar glaukonīta pazīmēm, slāņa apakšdaļā vietām laminīti, atsevišķu slānīšu biezums mainās no 0,5 līdz 6,0 cm, vietām pat 10 cm. Intervālā no 0,55–0,75 m no slāņa apakšas laminīti. Virzienā uz leju un augšu no šī intervāla plātņu biezums pakāpeniski pieaug (2. fācija).

3. slānis. 1,60–2,00 m v dolomīts, gaiši brūns, vidēji plātņains, atsevišķu plātņu biezums mainās no 3,5 līdz 9,0 cm. Dažviet neregulāri izvietotas ap 2 mm diametrā kavernas (11. fācija).

4. slānis. 2,00–2,27 m – dolomīts, gaiši brūns līdz iedzeltens, masīvs, retām kavernām, kas, iespējams, izveidojušās gliemežu atlieku vietā (6. fācija).

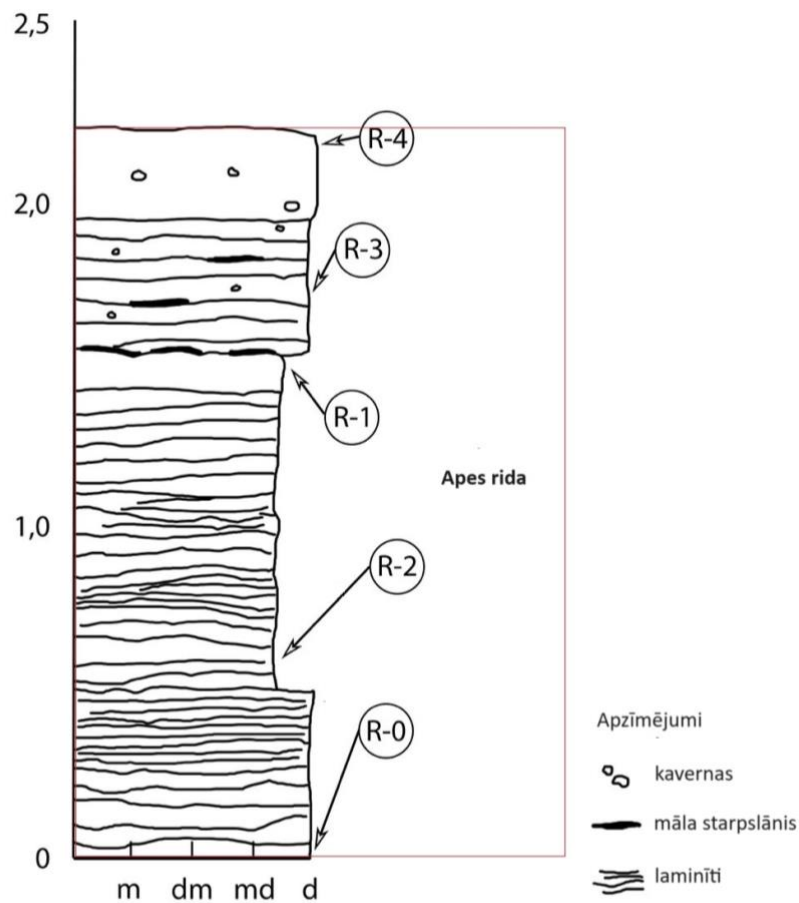
2. atsegums

1. slānis. 0,0–0,40 m – dolomīts, masīvs, gaiši brūns, nav kavernu. Biezums variē no 35–40 cm. Nav manāmu organismu atlieku (? fācija).

2. slānis. 0,40–0,60 m – dolomīts, zaļganpelēks līdz gaiši brūns, plātņains, slānī 1 līdz 3 plātnes. Slānim mainīgs biezums, vidēji no 10–20 cm. Virsma starp 1. slāni un 2. slāni izteikti nelīdzena un mainīga (12. fācija). Slāņa vidus daļā konstatētas arī koraļļu atliekas.

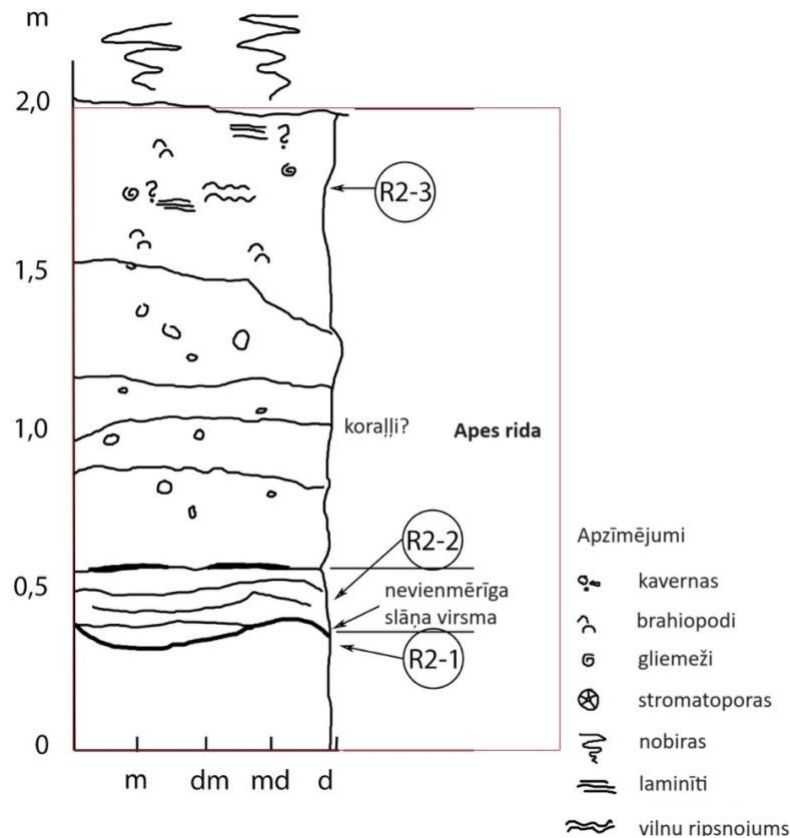
3. slānis. 0,60–2,00 m – dolomīts, organogēns, dzeltenbrūns līdz pelēks. Sastāv no masīva organismu atlieku kopuma. Dažviet izsekojams viļņu ripsnojums. Slānī daudz kavernu.

Aptuveni 30 cm no slāņa augšas laminīti. Dažviet šajā slānī kārtojums. No organismu atliekām nosakāmi tikai brahiopodi. Citas organismu atliekas nevarēja noteikt to sliktās saglabātības dēļ (slāņa apakšdaļā, ap 1,0 metra biezumā 6. fācija, pēc tam seko 1. fācija).



5.11. attēls. Pļaviņu svītas dolomītu ģeoloģiskais griezum Riežupei lielajā atsegumā, Latvijā: m – māls; dm – dolomītmerģelis; md – mālainis dolomīts; d – dolomīts/kaļķakmens. Ar numuriem apļos apzīmēti nodalītie slāņi, tai skaitā noņemtie paraugi.

Figure 5.11. Geological section of dolomites of the Pļaviņas Formation in the Riežupe large exposure: m – clay; dm – dolomitic marl; md – clayey dolomite; d – dolomite/limestone. Numbers in circles mark beds and collected samples.



5.12. attēls. Pļaviņu svītas dolomītu ģeoloģiskais griezum Riežupe mazajā atsegumā, Latvijā: m – māls; dm – dolomītmerģelis; md – mālainis dolomīts; d – dolomīts/kaļķakmens. Ar numuriem apļos apzīmēti nodalītie slāņi, tai skaitā ņemtie paraugi.

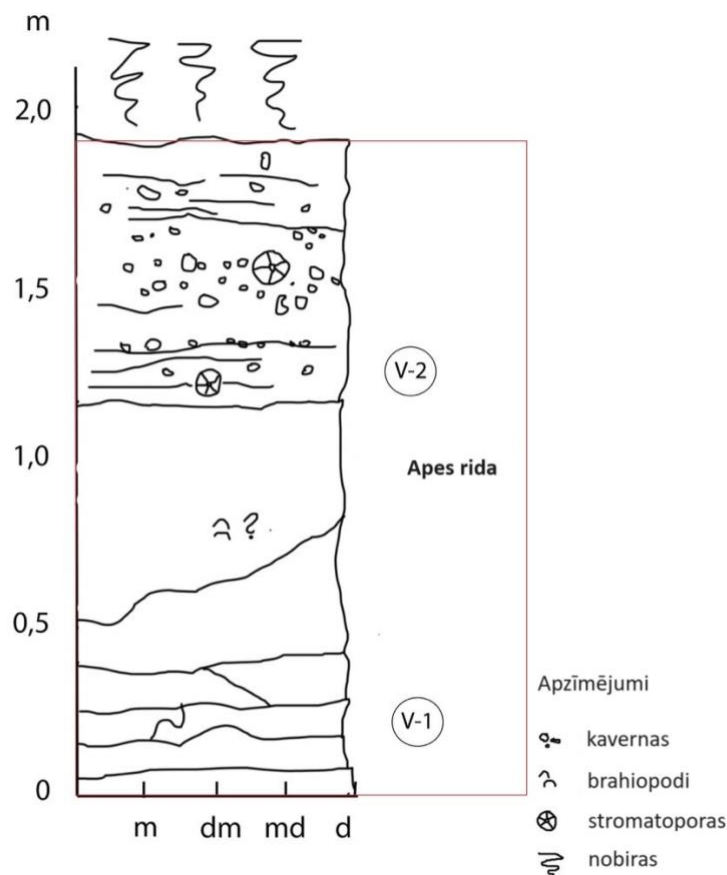
Figure 5.12. Geological section of dolomites of the Pļaviņas Formation in the Riežupe small exposure: m – clay; dm – dolomitic marl; md – clayey dolomite; d – dolomite/limestone. Numbers in circles mark beds and collected samples.

5.1.5. Ventas rumbas atseguma ģeoloģiskā griezuma raksturojums

Ventas rumbas atsegums atrodas ap 20 m no Ventas rumbas ūdenskrituma, Ventas upes kreisajā krastā. Atseguma ģeoloģiskais griezum ir skatāms 5.13. attēlā. Novietojums kartē dots 4.5. attēlā. Atseguma ģeogrāfiskās koordinātas dotas 3. pielikumā.

1. slānis. 0,0–0,8 m – dolomīts, masīvs, daudz bloki ar neregulārām virsmām. Slāņa apakšdaļā plātnes, bloki ap 10 – 20 cm bieži, savukārt slāņa augšdaļā plātnes pat 40 – 50 cm biezas. Nav organismu atlieku, kā arī nav manāmas kavernas (6. fācija).

2. slānis. 0,8–1,95 m – dolomīts, kavernozs, kavernas ap 0,5-1 cm diametrā, kavernas vietām izkārtotas ķēdītēs, slāņa vidusdaļā ir izteikti kavernožāks, daudzviet novērojamas apšķīdušas stromatoporu atlieku. Slāņa augšdaļā un apakšdaļā izsekojamas plātnes, bet vidusdaļā masa ir viendabīgāka (pirmā slāņa daļa, sākot no apakšdaļas, 5. fācija, pēc tam seko 6. fācija).



5.13. attēls. Pļaviņu svītas dolomītu ģeoloģiskais griezumā pie Ventas rumbas, Latvijā: m – māls; dm – dolomītmerģelis; md – mālais dolomīts; d – dolomīts/kaļķakmens. Ar numuriem apļos apzīmēti nodalītie slāņi, tai skaitā noņemtie paraugi.

Figure 5.13. Geological section of dolomites of the Pļaviņas Formation in the Venta falls exposure: m – clay; dm – dolomitic marl; md – clayey dolomite; d – dolomite/limestone. Numbers in circles mark beds and collected samples.

5.1.6. Īvandes ūdenskritumu atseguma ģeoloģiskā griezuma raksturojums

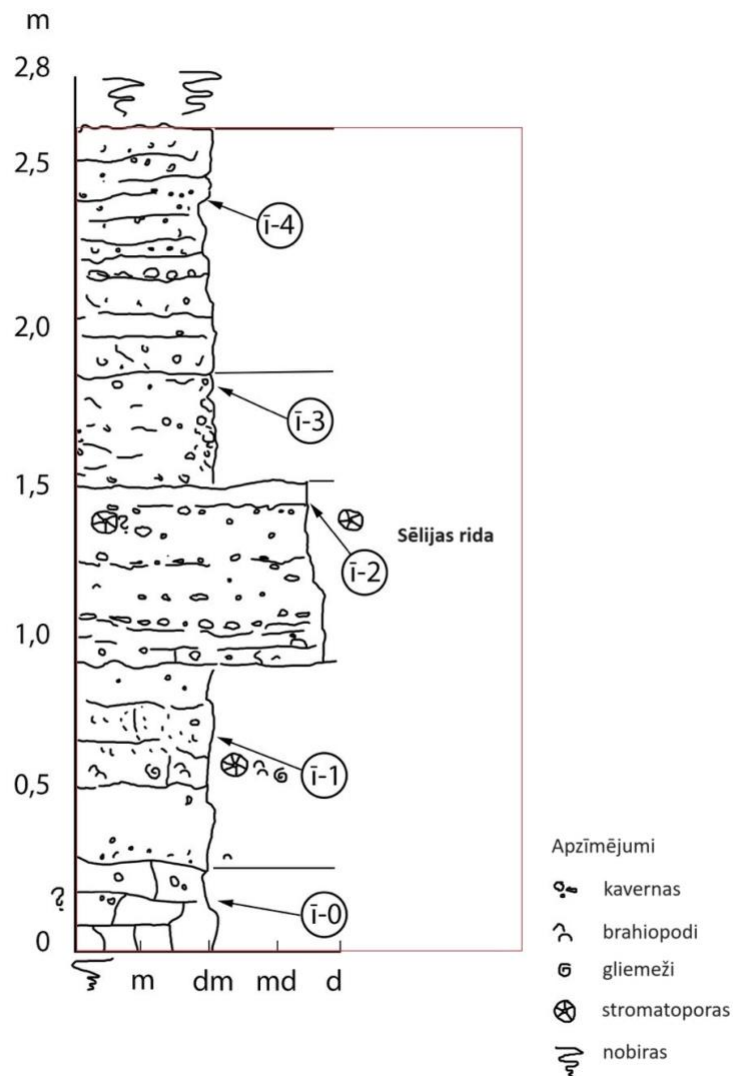
Īvandes ūdenskritumu klinšu atsegums atrodas starp abiem Īvandes ūdenskritumiem. Atsegums atrodas pie otrā tilta, virzienā uz Īvandes upes augšteci. Atseguma ģeoloģiskais griezumā ir skatāms 5.14. attēlā. Novietojums kartē dots 4.5. attēlā. Atseguma ģeogrāfiskās koordinātas dotas 3. pielikumā.

1. slānis. 0,0–0,90 m – dolomītmerģelis, masīvs, iedzeltens, blokveida. Bloki 25 līdz 30 cm bieži, apakšdaļā plānāki. Slāņa augšdaļā daudz mazu kavernu, bet apakšdaļā to ir mazāk, vietām gliemežu un brahiopodu atliekas. Slāņa augšējā virsma ir nelīdzena un neviendabīga. Aptuveni 65 cm no slāņa apakšas ir organismu atlieku sakopojums (6. fācija, sākot no slāņa apakšdaļas, ap 0,5 metru biezumā, pēc tam seko 5. fācija, slāņa augšdaļā atkal 6. fācija).

2. slānis. 0,90–1,45 m – dolomīts, kavernozs. Daudz kavernu un nenosakāmas izcelsmes organismu atlieku, iespējams, gliemežu. Kavernas lielākoties ir iegarenas, līdz pat 5–6 cm garas, un vietām ir izvietotas ķēdītēs. Augšdaļā sastopamas stromatoporu atlieku pazīmes (slāņa apakšdaļā 6. fācija, augšdaļā 5. fācija).

3. slānis. 1,45–1,80 m – dolomīts, masīvs, neviendabīgs. Vietām starp dolomītu un dolomītmerģeli, retas kavernas. Dolomīts ir mainīgs horizontālā virzienā, vietām ir izteikti kavernozi un izteikti neviendabīgs (2. fācija).

4. slānis. 1,80–2,60 m – dolomītmerģelis, izteikti kavernozi, ar izteiktām slāņojuma pazīmēm. Slāņi ir vāji izsekojami, ap 5–15 cm bieži. Viss slānis kopumā ļoti neviendabīgs. Daudz mazu kavernu. Aptuveni 30–35 cm no slāņa apakšas dažviet izvietotas kavernas ķēdītēs (5–6 cm garas). Ap slāņa vidusdaļu izsekojams kārtējums (6. fācija).



5.14. attēls. Pļaviņu svītas dolomītu ģeoloģiskais griezumā Īvandes atsegumā, Latvijā: m – māls; dm – dolomītmerģelis; md – mālainais dolomīts; d – dolomīts/kaļķakmens. Ar numuriem aplos apzīmēti nodalītie slāņi, tai skaitā noņemtie paraugi.

Figure 5.14. Geological section of dolomites of the Pļaviņas Formation in the Īvande cliffs exposure: m – clay; dm – dolomitic marl; md – clayey dolomite; d – dolomite/limestone. Numbers in circles mark beds and collected samples.

5.1.7. Dārziema dolomīta atradnes ģeoloģiskā griezuma raksturojums

Dārziema dolomīta atradne atrodas aptuveni 3,5 km uz dienvidiem no Gaujienas ciemata centra. Pētītais atsegums atrodas atradnes rietumu sienas daļā. Atseguma ģeoloģiskais griezumš ir skatāms 5.15. attēlā. Novietojums kartē dots 4.5. attēlā. Atseguma ģeogrāfiskās koordinātas dotas 3. pielikumā.

1. slānis. 0,0–0,55 m – dolomīts, mālains un dolomītmerģelis. Slāņa apakšējā daļā dolomītmerģelis ap 10 cm biežumā, vērojamas vigvama tekstūras, žūšanas plaisas, vietām arī neliela izmēra viļņu ripsnojums. Slāņa augšdaļā ir dolomīts, mālains, ar neregulāru kārtojumu. Domājams, ka tie ir laminīti un liecina par vidējo plūdmaiņu zonu (slāņa apakšdaļā 12. fācija, pēc tam seko 1. fācija).

2. slānis. 0,55–1,00 m – dolomīts, smalkkristālisks, ar bioturbācijas pazīmēm (*Planolites?*). Eju platums ir ap 2 mm platumā (6. fācija).

3. slānis. 1,00–2,15 m – dolomīts, izteikti kavernozi, maz bioturbācijas pazīmju, kavernas, domājams, veidojušās gliemežu fosiliju vietās (slāņa apakšdaļā 11. fācija, pēc tam seko 6. fācija).

4. slānis. 2,15–2,55 m – dolomīts, ar horizontālām, meandrējošām bioturbācijas ejām (*Planolites*). Slānī vērojama arī organiskā viela un māla starpkārtnas. Konstatētas arī *Chaetocladus* aļģes (6. fācija).

5. slānis. 2,55–3,55 m – dolomīts, smalkkristālisks, virzienā uz augšu nedaudz vidēji kristālisks, stipras bioturbācijas pazīmes (*Planolites*), 2–3 mm platumā. Nevienmērīgs kārtojums un organismu atlieku piejaukums. Kavernas konstatētas izšķīdušu brahiopodu fosiliju vietās (viss slānis 6. fācija, pati augšdaļa ap 15 cm biežumā, 2. fācija).

6. slānis. 3,55–3,60 m – dolomīts un dolomītmerģelis, mālains, tumši pelēks līdz violetas nokrāsas. Slāni iegul slīpi, domājams, ka ledāja ietekmēti (12. fācija).

7. slānis. 3,60–3,90 m – dolomīts, smalkkristālisks līdz vidēji kristālisks, viena masīva plātne. Vidusdaļā daudz kavernu, kavernas izšķīdušu brahiopodu un gliemežu fosiliju vietās (6. fācija).

8. slānis. 3,90–4,55 m – dolomīts, smalkkristālisks, viendabīgs, ar retām kavernām. Vietām novērojams sīkkārtojums. Slāņa virsmās novērojamas erozijas pazīmes – tā ir nevienmērīga (2. fācija).

9. slānis. 4,55–5,40 m – dolomīts, vidējkristālisks, izteikti kavernozi, tās ir izšķīdušu gliemežu un brahiopodu vietās. Dažviet, slāņa apakšdaļā laminīti (kārtojums). Uz plaisu virsmās sekundārais kalcīts, dažviet arī dolomīta miltu masā. Vērojamas arī stilolītu šuves (pati slāņa apakšdaļa, 2. fācija, pēc tam 6. fācija).

10. slānis. 5,40–6,15 m – dolomīts, smalkkristālisks līdz vidējkristālisks, slāņa augšdaļā vietām konstatēti organismu detrits un periodisks sīkkārtojums (3. fācija).

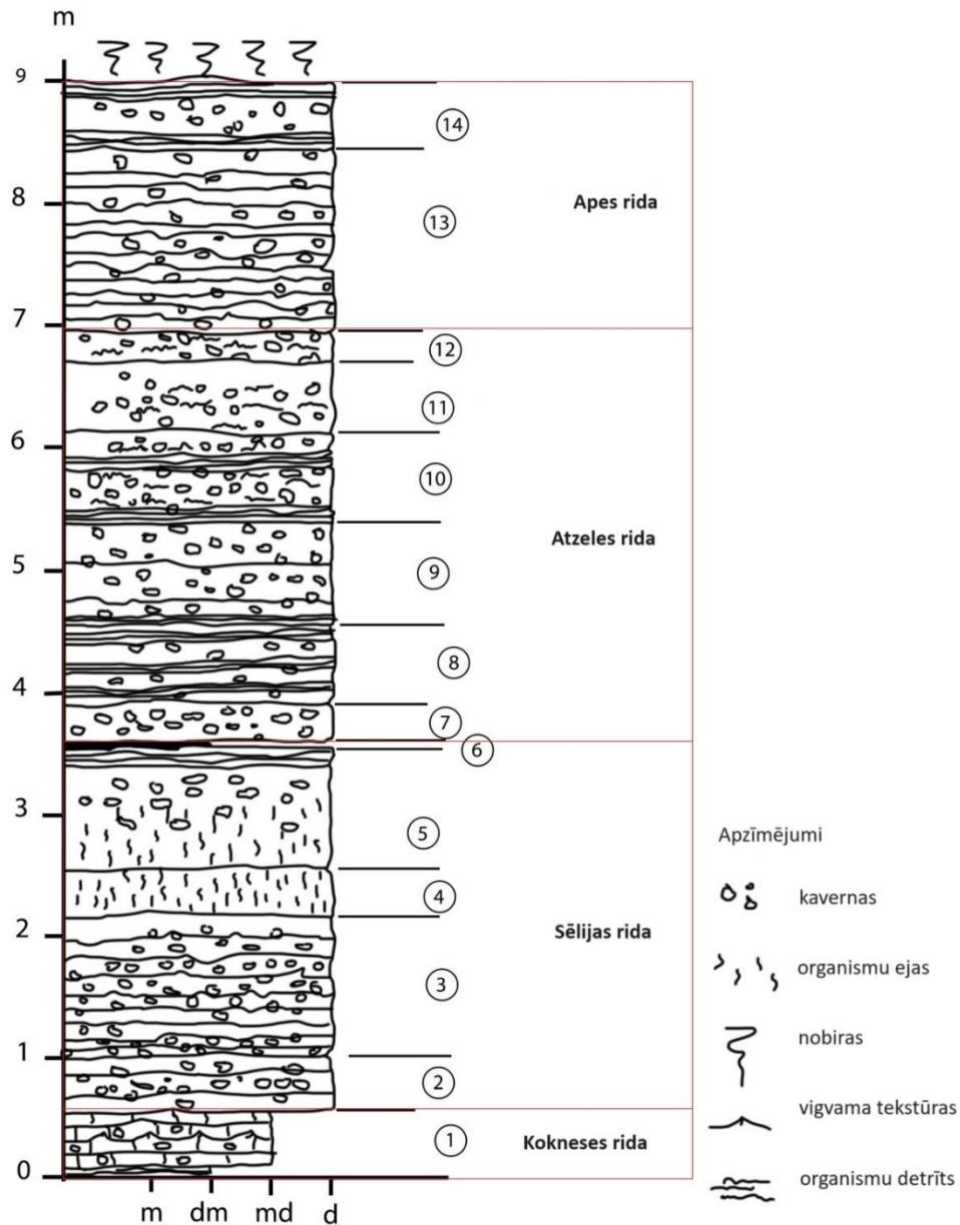
11. slānis. 6,15–6,70 m – dolomīts, smalkkristālisks līdz vidēji kristālisks, ir samērā daudz kavernu, lielās konstatētas izšķīdušu gliemežu vietās, mazās brahiopodu un organismu detrita vietā (3. fācija).

12. slānis. 6,70–6,95 m – dolomīts, smalkkristālisks, nevienmērīgas masas, maz kavernu. Slāņa apakšdaļā novērotas bioturbācijas pazīmes un nelielas mugurkaulnieku fosilijas. Slāņa augšdaļā pazīmes, kas liecina, ka izteikti mainījušies sedimentācijas apstākļi, domājams, notikusi subaerālā atsegšanās un žūšanas procesi (retas žūšanas plaisas uz slāņu virsmām), vietām kārtojums. Vietām sastopamas zivju atliekas un organismu detrits. Organismu ejas vietām ir pat 2 cm diametrā (3. fācija).

13. slānis. 6,95–8,50 m – dolomīts, smalkkristālisks līdz vidēji kristālisks, daudz kavernu. Ņemot vērā struktūru, secināts, ka tas ir kvarcītveida dolomīts. Saskaitītas 12 plātnes,

kurām ir neregulāras robežas. Kavernas veidojušās izšķīdušu gliemežu un citu mazāku fosiliju vietās. Vairākās vietās konstatēti laminīti un organismu atliekas līdz pat 5 cm izmērā (6. fācija).

14. slānis. 8,50–9,00 m – dolomīts, vidusdaļā neregulāri kārtots, retas kavernas – veidojušās izšķīdušu gliemežu fosiliju vietās (6. fācija).



5.15. attēls. Pļaviņu svītas nogulumiežu ģeoloģiskais griezum Dārziema atradnē, Latvijā: m – māls; dm – dolomītmerģelis; md – mālais dolomīts; d – dolomīts/kaļķakmens. Ar numuriem apļos apzīmēti nodalītie slāņi un ņemtie paraugi.

Figure 5.15. Geological section of Pļaviņas formation from Dārziems dolomite quarry: m – clay; dm – dolomitic marl; md – clayey dolomite; d – dolomite/limestone. With numbers in circles are marked layers and collected samples.

5.1.8. Apes pamestās dolomīta atradnes ģeoloģiskā griezuma raksturojums

Apes pamestās dolomīta atradnes atrodas aptuveni 0,5 km uz dienvidiem no Apes ciemata centra. Pētītais atsegums atrodas atradnes dienvidu sienas centrālajā daļā. Atseguma ģeoloģiskais griezums ir skatāms 5.16. attēlā. Novietojums kartē dots 4.5. attēlā. Atseguma ģeogrāfiskās koordinātas dotas 3. pielikumā.

1. slānis. 0,0–0,28 m – dolomīts, rupjkristālisks. Vietām mālaināka pamatmasa. Nevienmērīga uzbūve. Vietām stromatoporu atliekas, izmērā nelielas (1–2 cm) (pati slāņa apakšdaļa, 12. fācija, pēc tam seko 5. fācija).

2. slānis. 0,28–0,66 m – dolomīts, kavernozi. Kavernas izmēros no 3 līdz 6 cm, galvenokārt stromatoporu vietā. Slāņa augšdaļā aptuveni 3 cm bieza nevienmērīga māla kārtā (slāņa apakšdaļa 11. fācija, augšdaļa, 5. fācija).

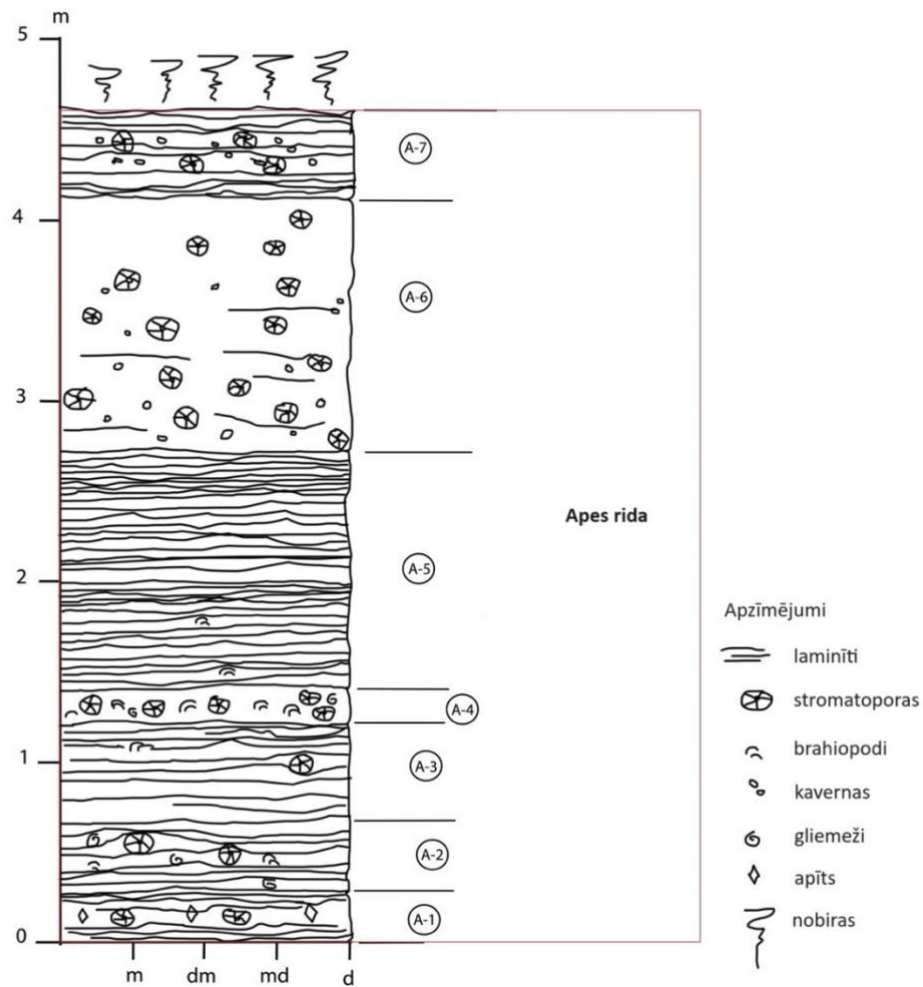
3. slānis. 0,66–1,21 m – dolomīts, pelēkbrūns (plankumains). Ir laminīti, to slāņojums apliec fosilijas. Fosilijas ir retas. Sastopamas dažas stromatoporu un dažas brahiopodu atliekas (2. fācija).

4. slānis. 1,21–1,41 m – dolomīts, pelēks, ar daudz brahiopodu atliekām. Slāņa robeža pakāpeniska. Sastopamas stromatoporas 2–7 cm diametrā (5. fācija).

5. slānis. 1,41–2,74 m – dolomīts, laminītisks, viendabīgs. Retas brahiopodu atliekas. Kopumā sastāv no 3 plātnēm. Pirmā ir 11 cm bieza, savukārt augšējā ir 25 cm bieza (2. fācija).

6. slānis. 2,74–4,14 m – dolomīts, daudz kavernu un stromatoporu atlieku, pirmie aptuveni 30 cm ar daudz stromatoporu atliekām, nākamie aptuveni 30 cm ar maz stromatoporu atliekām, pēc tam atkal ar daudz stromatoporu atliekām. Slānis ir horizontāli neviendabīgs, dažviet ir ļoti biezs, citviet plāns vai pat izķīlējas (5. fācija).

7. slānis. 4,14–4,64 m – dolomīts, neviendabīgi slāņots, slāņa vidusdaļā ir ķēdītēs izkārtotas kavernas (stromatoporu atlieku vietās), slāņa lejas daļā izteikti iezīmējas laminīti (pati slāņa apakšdaļa 2. fācija, pēc tam seko 5. fācija).



5.16. attēls. Pļaviņu svītas dolomītu ģeoloģiskais griezumā Apes pamestajā atradnē, Latvijā: m – māls; dm – dolomītmerģelis; md – mālainais dolomīts; d – dolomīts/kaļķakmens. Ar numuriem apļos apzīmēti nodalītie slāņi un ņemtie paraugi.

Figure 5.16. Geological section of dolomites of the Pļaviņas Formation in the Ape abandoned dolomite quarry exposure: m – clay; dm – dolomitic marl; md – clayey dolomite; d – dolomite/limestone. Numbers in circles mark beds and collected samples.

5.1.9. Lauciņu (Cēsu) bijušās dolomīta atradnes ģeoloģiskā griezumā raksturojums

Lauciņu (Cēsu) bijusī dolomīta atradne atrodas aptuveni 2,5 km uz ziemeļaustrumiem no Cēsu pilsētas centra. Pētītais atsegums atrodas atradnes dienvidaustrumu daļā, aptuveni 120 metrus leņpus no Cēsu aktīvās atpūtas parka. Atseguma ģeoloģiskais griezumā ir skatāms 5.17. attēlā. Novietojums kartē dots 4.5. attēlā. Atseguma ģeogrāfiskās koordinātas dotas 3. pielikumā.

1. slānis. 0,0–0,8 m – dolomīts, kavernozi, pelēki dzeltenas krāsas, ap 20–25 cm biezi bloki. Daudz kavernu, diametrs ap 2 cm apakšdaļā līdz 1 cm augšdaļā (6. fācija).

2. slānis. 0,8–1,15 m – dolomītmerģelis, sarkanīgi brūns līdz pelēks, viendabīgs (11. fācija).

3. slānis. 1,15–1,9 m – dolomīts, gaiši pelēks, biežplātņains, veidots no blokiem 20–30 cm biezumā. Retas ihnofosilijas (6. fācija).

4. slānis. 1,9–2,2 m – dolomītmerģelis, zaļgans, daudz 5 mm biezu kārtiņu, konstatēta glaukonīta klātbūtne (2. fācija).

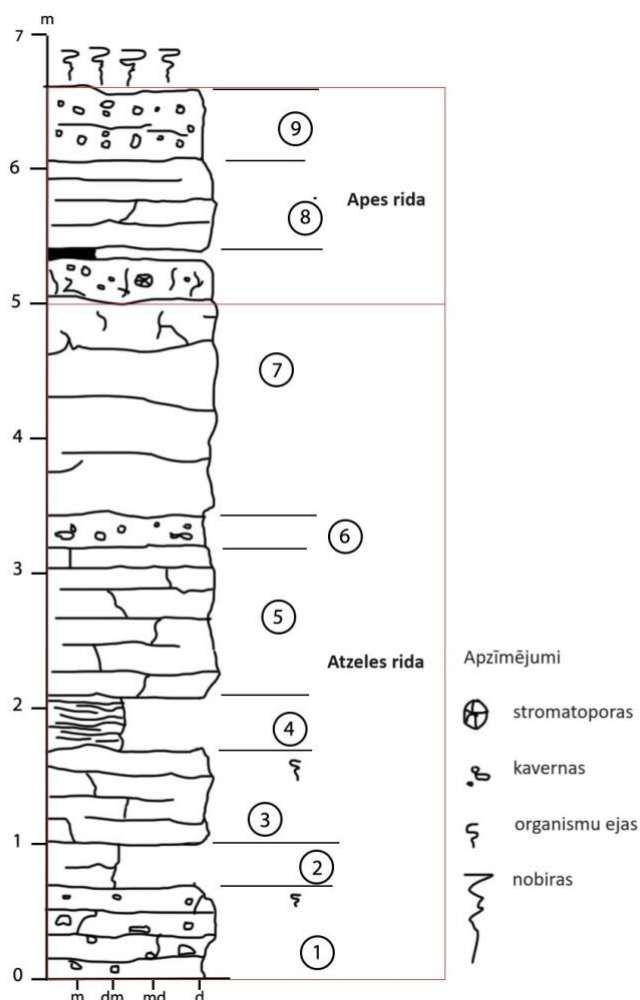
5. slānis. 2,2–3,2 m – dolomīts, dzelteni pelēks, masīvs, veidots no ap 25 cm bieziem blokiem, vietām konstatētas māla starpkārtiņas (11. fācija).

6. slānis. 3,2–3,5 m – dolomīts, masīvs, dzelteni pelēks, daudz kavernu, diametrs ap 1–4 cm. Vietām sarkanas joslas, kas liecina par dzelzs savienojumu klātbūtni (6. fācija).

7. slānis. 3,5–5,4 m – dolomīts, biežplātņains, biežums plātnēm apmēram 30–40 cm, slāņa augšdaļā daudz vertikālu un horizontālu plaisu. Vietām arī sfēriskas kavernas (izmēros no 10 līdz 15 cm diametrā), kas liecina par stromatoporu klātbūtni. 7.slāni un 8.slāni atdala māla starpkārta (gandrīz viss slānis 11. fācija, pati augšdaļa 5. fācija).

8. slānis. 5,4–6,1 m – dolomīts, biežplātņains, dzeltenīgs, plātnes ap 30 cm biezas (11. fācija).

9. slānis. 6,1–6,7 m – dolomīts, izteikti dēdējis, daudz dolomīta miltu, it īpaši kavernās. Dolomītā daudz kavernas, izmērs ap 1 cm diametrā (6. fācija).



5.17. attēls. Pļaviņu svītas karbonātiežu ģeoloģiskais griezum Lauciņu (Cēsu) pamestajā atradnē, Latvijā: m – māls; dm – dolomītmerģelis; md – mālains dolomīts; d – dolomīts/kaļķakmens. Ar numuriem apļos apzīmēti nodalītie slāņi un noņemtie paraugi.

Figure 5.17. Geological section of carbonate rocks of the Pļaviņas Formation in the Lauciņi (Cēsis) abandoned dolomite quarry exposure: m – clay; dm – dolomitic marl; md – clayey dolomite; d – dolomite/limestone. Numbers in circles mark beds and collected samples.

5.1.10. Kalkahju (Peetri) atseguma ģeoloģiskā griezumā raksturojums

Kalkahju (Peetri) atsegums atrodas aptuveni 5,5 km uz rietumiem no Apes ciemata, Peetri upes krastā, Igaunijā, Veru (Võru) apriņķī. Atsegumu sērija ir līdz 60 m gara un līdz 4–4,5 m augsta. Atseguma ģeoloģiskais griezums ir skatāms 5.18. attēlā. Novietojums kartē dots 4.5. attēlā. Atseguma ģeogrāfiskās koordinātas dotas 3. pielikumā.

1. slānis. 0,5–0,6 m – kaļķakmens, sīkplātņains, plātnišu biezums vidēji 1 cm (2. fācija).

2. slānis. 0,6–0,7 m – kaļķakmens, masīvs, bez organismu atliekām (2. fācija).

3. slānis. 0,7–0,9 m – kaļķakmens, sīkplātņains, plātnišu biezums vidēji 1 cm (2. fācija).

4. slānis. 0,9–1,1 m – kaļķakmens, masīvs, bez organismu atliekām (2. fācija).

5. slānis. 1,1–1,15 m – kaļķakmens plātņains, biezums plātnēm no 2–3 cm (2. fācija).

6. slānis. 1,15–1,25 m – kaļķakmens, masīvs (2. fācija).

7. slānis. 1,25–1,28 m – kaļķakmens, plātņains, plātņu biezums no 1–2 cm (2. fācija).

8. slānis. 1,28–1,5 m – kaļķakmens, masīvs (2. fācija).

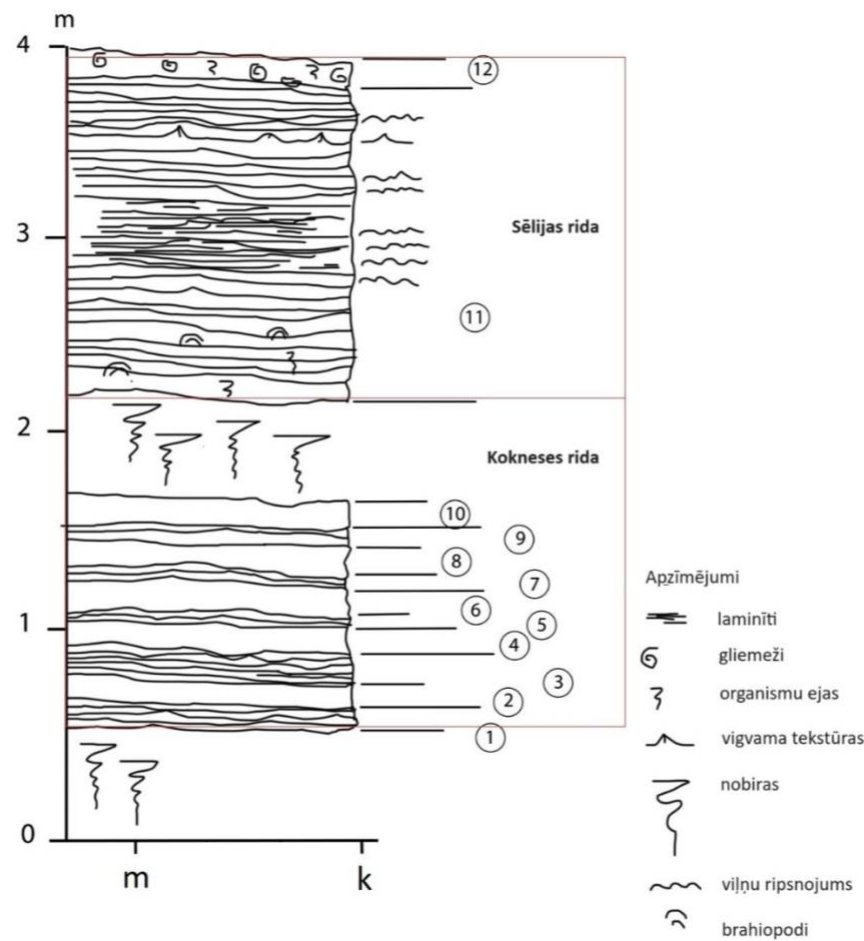
9. slānis. 1,5–1,55 m – kaļķakmens, plātņains, plātņu biezums ap 2 cm (2. fācija).

10. slānis. 1,55–1,7 m – kaļķakmens, masīvs (2. fācija).

no 1,7 – 2,3 m pārtraukums, nobiras.

11. slānis. 2,3–3,8 m – kaļķakmens, plātņains, slāņa augšdaļa un apakšdaļa vidēji plātņaina, bet vidusdaļa sīkplātņaina, ik pēc aptuveni 14 cm ap 1–2 cm biezs laminītu slānis. Slāņa apakšdaļā konstatētas organismu ejas un vāji saglabātas brahiopodu atliekas. Sākot no 3,5–3,8 m viegls viļņu ripsnojums. Vietām arī konstatētas žūšanas plaisas uz slānīšu virsmām. Starp viļņu ripsnojuma korītēm un nogāzēm vidēji 2 cm attālums, augstums ap 0,5 cm (slāņa pirmā daļa, 2. fācija, pēc tam seko 1. fācija).

12. slānis. 3,8–4,0 m – kaļķakmens, masīvs, ar gliemežu atliekām un vertikālām organismu (noteiktas kā *Chondrites*) ejām (2 – 3 mm platumā) uz slāņu kontaktvirsmām (6. fācija).



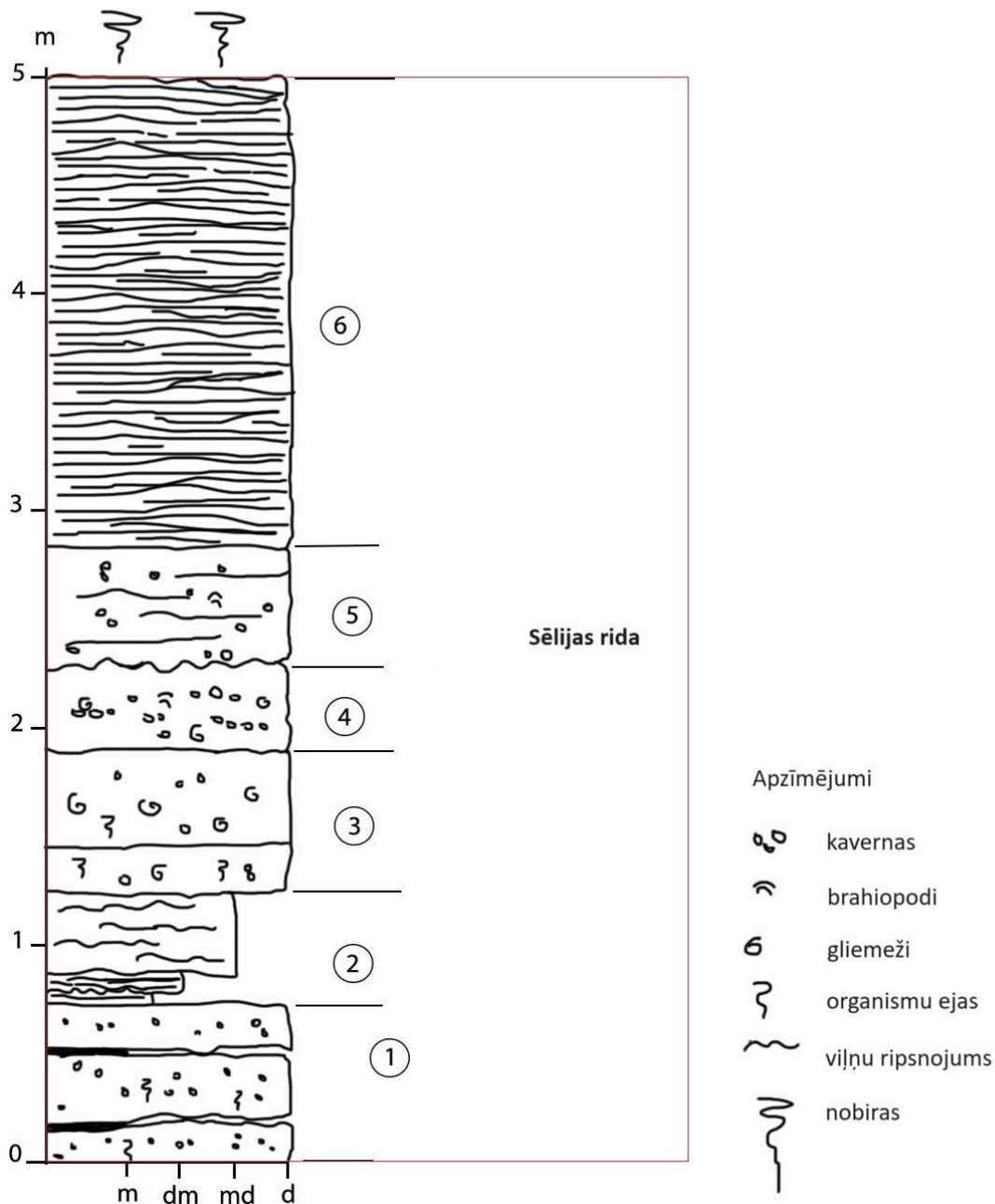
5.18. attēls. Pļaviņu svītas dolomītu ģeoloģiskais griezumā Kalkahju (Peetri) atsegumā, Igaunijā: m – māls; k – kaļķakmens. Ar numuriem apļos apzīmēti nodalītie slāņi un noņemtie paraugi.

Figure 5.18. Geological section of dolomites of the Pļaviņas Formation in the Kalkahju (Peetri) exposure: m – clay; k – limestone. Numbers in circles mark beds and collected samples.

5.1.11. Īļaku ieža ģeoloģiskā griezuma raksturojums

Īļaku iezis atrodas aptuveni 500 m lejpus Melturiem, Amatas upes krastā, Drabešu pagastā, Latvijā. Atseguma ģeoloģiskais griezumā ir skatāms 5.19. attēlā. Novietojums kartē dots 4.5. attēlā. Ģeoloģiskais griezumā pamatojas uz K. Seiļa datiem, to papildinājis šī darba autors. Atseguma ģeogrāfiskās koordinātas dotas 3. pielikumā.

1. slānis. 0,0–0,70 m – dolomīts, trīs plātnes, daudz mazu kavernu, plātnes atdala plānas māla kārtiņas. Konstatētas arī organismu ejas, konkrēti bioturbācijas pazīmes, piederību nav izdevies noteikt. Slāņa augšdaļā viļņots slāņojums, ko nosaka dolomīta un dolomītsmilšakmeņa mija.



5.19. attēls. Pļaviņu svītas dolomītu ģeoloģiskais griezumā Īļaku iezī, Latvijā: m – māls; dm – dolomītmerģelis; md – mālaina dolomīts; d – dolomīts/kaļķakmens. Ar numuriem apļos apzīmēti nodalītie slāņi un noņemtie paraugi.

Figure 5.19. Geological section of dolomites of the Pļaviņas Formation in Īļaki cliff exposure: m – clay; dm – dolomitic marl; md – clayey dolomite; d – dolomite/limestone. Numbers in circles mark distinguished beds and collected samples.

Nelielā izmēra kavernas ir izšķīdušu ooīdu vietā. Slāņa augšdaļa ir neregulāras uzbūves un ar palielinātu māla saturu (6. fācijas un 11. fācijas cikliska mija, pati slāņa augšdaļa, 7. fācija).

2. slānis. 0,70–1,3 m – dolomītmerģeļa un mālaina dolomīta mija. Vietām ar māla starpkārtiņām. Apakšdaļa izteikti mālaināka, augšdaļa mazāk, bet ar daudz kavernām. Slāņa augšdaļā novērots vāji izteikts viļņu ripsnojums (1. fācija, pati slāņa apakšdaļa, 11. fācija).

3. slānis. 1,3–1,9 m – dolomīts, kavernozs, sastāv no divām plātnēm. Apakšējā plātne plānāka. Kavernu izmēri ir no 5 mm līdz 3 cm, atlieku šķīšanas vietas izkārtotas haotiski. Kavernas gliemežu atlieku vietā, var novērot spirālveida formu. Neliels glaukonīta piejaukums. Vietām arī organismu ejas, piederību nav izdevies noteikt (9. fācija).

4. slānis. 1,9–2,3 m – dolomīts, kavernozs, viena plātne. Kavernas izvietotas neregulārās rindās, iespējams, gliemežu un brahiopodu vietā. Slāņa augšdaļā novērojams viļņu ripsnojums. Dažviet novērojamas pārskalotas organismu atliekas – detrits (1. fācija).

5. slānis. 2,3–2,85 m – dolomīts, plātņains, ar māla starpkārtām, vairākas plātnes, kuras grūti izšķirt. Ir kavernas, kas veidojušās brahiopodu atlieku šķīšanas rezultātā (11. fācija).

6. slānis. 2,85–5,0 m – dolomīts, sīki līdz vidēji plātņains, nav izšķiramas tekstūras un organismu atliekas (2. fācija).

5.1.12. Vizuļu ieža ģeoloģiskā griezumā raksturojums

Vizuļu ieža ģeoloģiskais atsegums atrodas aptuveni 700 m lejpus Melturiem un 200 m no Īlaku ieža, Amatas upes krastā, Drabešu pagastā, Latvijā. Atseguma ģeoloģiskais griezumā ir skatāms 5.20. attēlā. Ģeoloģiskais griezumā pamatojas uz K. Seiļa datiem, to papildinājis šī darba autors. Novietojums kartē dots 4.5. attēlā. Atseguma ģeogrāfiskās koordinātas dotas 3. pielikumā.

1. slānis līdz 4. slānis, nav attēlots ģeoloģiskajā griezumā, jo atradās zem nobiru kārtas un nav viennozīmīgi dokumentēts.

1. slānis. 0,0–0,95 m – māla mija ar dolomītmerģeli. Dolomītmerģeļa kārtiņas līdz 10 cm biezumā. Novērots izteikts sīkkārtojums.

2. slānis. 0,95–1,58 m – dolomīts, mālains, sešas plātnes, starp tām mazas māla kārtiņas. Mazas un retas kavernas (detrita vietā). Slāņa apakšdaļā un augšdaļā viļņu ripsnojums.

3. slānis. 0,95–1,40 m – māla un dolomītmerģeļa slāņmija, retām mālaina dolomīta starpkārtām. Slāņa apakšdaļā plātnes biežākas, augšdaļā plānākas. Apakšējie 10 cm ir mālaini ar sīkkārtojumu.

*4. slānis. 1,40–2,0 m – mālains dolomīts, uz slāņu virsmām *Chaetocladus* aļģu atliekas. Slānis arī tumšākas krāsas, nedaudz pelēcīgs.*

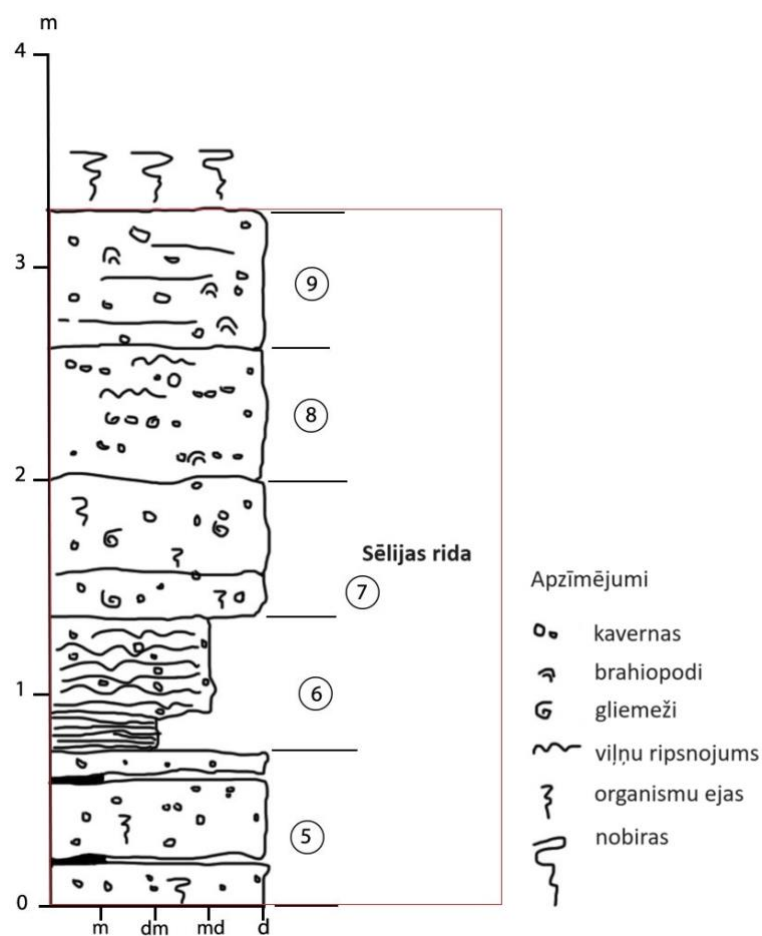
5. slānis. 0,0–0,7 m – dolomīts, trīs plātnes, daudz mazu kavernu. Konstatētas arī organismu ejas, konkrētu bioturbācijas pazīmes. Kavernas ir ooidu vietā (6. fācijas un 11. fācijas cikliska mija, pati slāņa augšdaļa, 7. fācija).

6. slānis. 0,7–1,37 m – dolomītmerģeļa un mālaina dolomīta mija. Vietām ar māla starpkārtiņām. Apakšdaļa izteikti mālaināka, augšdaļa mazāk, bet ar daudz kavernām. Novērots viegls viļņu ripsnojums (slāņa apakšdaļā 11. fācija, pēc tam seko 1. fācija).

7. slānis. 1,37–2,0 m – dolomīts, kavernozs, divas plātnes. Apakšējā plātne plānāka. Kavernu izmēri ir no 5 mm līdz 3 cm. Kavernas gliemežu atlieku vietā, var novērot spirālveida formu. Neliels glaukonīta piejaukums. Vietām arī konstatētas traucētas organismu ejas (6. fācija).

8. slānis. 2,0–2,7 m – dolomīts, kavernozs, kavernas izvietotas rindās, iespējams, gliemežu un brahiopodu vietā, augšdaļā novērojams viļņu ripsnojums. Dažviet novērojami pārskaloti dolomīta graudi un organismu detrits (1. fācija).

9.slānis. 2,7–3,4 m – dolomīts, masīvs, vāji izsekojamas plātnes. Vidēji daudz kavernu, veidojušās brahiopodu atlieku šķīšanas rezultātā (4. fācija).



5.20. attēls. Pļaviņu svītas karbonātiem ģeoloģiskais griezumā Vizūļu iezī, Latvijā: m – māls; dm – dolomītmerģelis; md – mālainis dolomīts; d – dolomīts/kaļķakmens. Ar numuriem apļos apzīmēti nodalītie slāņi un ņemtie paraugi.

Figure 5.20. Geological section of carbonate rocks of the Pļaviņas Formation in Vizūļu cliff exposure: m – clay; dm – dolomitic marl; md – clayey dolomite; d – dolomite/limestone. Numbers in circles mark beds and collected samples.

5.1.13. Kalamecu un Markuzu gravas ģeoloģiskā griezumā raksturojums

Kalamecu un Markuzu gravas atsegums atrodas aptuveni 3,8 km uz ziemeļaustrumiem no Gaujienas pie Markuzu upes. Kalamecu un Markuzu gravas kopumā ir ap 240 metrus garas, atsegums atrodas aptuveni Kalamecu gravas vidusdaļā. Atseguma ģeoloģiskais griezumā ir skatāms 5.21. attēlā. Novietojums kartē dots 4.5. attēlā. Ģeoloģiskais griezumā pamatojas uz A. Trofimovas datiem, to 2023. gada augustā lauka darbu laikā papildinājis šī darba autors. Atseguma ģeogrāfiskās koordinātas dotas 3. pielikumā.

1. slānis. 0,0–0,60 m – dolomītmerģeļa un mālaina dolomīta mija. Slānis sastāv no sīkākām plātnēm (sīkplātnains). Novērojams viegls viļņu ripsnojums. Konstatētas arī lietūs lāšu

pēdas, diametrs ap 2 mm, kā arī žūšanas plaisas. Ir lēzena slīpslāņojuma tekstūra, kas liecina par ūdens straumes ietekmi. Konstatēti ap 2,5 cm bieza mēroga cikli, kas varētu būt plūdmaiņu ritmīti. Konstatētas arī ihnofosilijas (*Planolites* racējorganismu pēdas, ap 2 mm platumā) un lapu atliekas (1. fācija, savukārt slāņa vidusdaļa, 12. fācija).

2. slānis. 0,60–1,40 m – dolomīts, neregulāras uzbūves, plātņains. Maz kavernu un vidusdaļā mālaināki sektori (pat dolomītmergēļa un mālaina dolomīta mija). Iespējams novērojamas paleokarsta pazīmes – brekcijas, kas veido ap 30–35% no dolomīta masas. Tieši brekcijas norāda uz paleokarstu, tomēr uz to vēl vairāk norāda neregulārās virsmas (12. fācija, slāņa vidusdaļa, 10. fācija)

3. slānis. 1,40–1,90 m – dolomīts, kavernozs, bez izteikta slāņojuma. Ir koraļļu vai sūneņu atliekas. Apaļās formas kavernas liecina par stromatoporu un brahiopodu atlieku klātbūtni (slāņa apakšdaļa, 5. fācija, pēc tam seko 12. fācija).

4. slānis. 1,90–2,20 m – dolomīts ar līdz 2 cm biežām dolomītmergēļa starpkārtām. Slāņa abās kontaktvirsmās ir viļņu ripsnojuma pazīmes. Ripsnojums ir lēzens. Sastopamas arī žūšanas plaisas un vigvama tekstūras, kas liecina par subaerālo atsegšanos (1. fācija).

5. slānis. 2,20–2,80 m – dolomīts, kavernozs, ar sūneņu nospiedumiem un vāji saglabātām brahiopodu atliekām. Ir arī lielas, ap 10 cm diametrā, kavernas, kas liecina par stromatoporu atlieku klātbūtni. Vietām slānī konstatēts arī organismu detrits (5. fācija).

6. slānis. 2,80–3,00 m – dolomīts, mālains, sīkplātņains. Ir nelielas viļņu ripsnojuma pazīmes žūšanas plaisas. Novērots arī neregulārs kārtojums un glaukonīts uz tā virsmām. Starp 6. un 7. slāni konstatēts ap 1 cm biezs māla slānis (12. fācija).

7. slānis. 3,00–3,20 m – dolomīts, smilšains, ar brahiopodu atliekām, kas izkārtotas horizontāli. Slāņa vidusdaļa ir kavernoza un lejas daļā ir slāņojuma pazīmes (8. fācija).

8. slānis. 3,20–3,60 m – dolomīta un mālaina dolomīta slāņmija, virzienā uz augšu mālaināks. Slāņa augšdaļā ir līdz 7 cm biezs māla slānis. Konstatēti plūdmaiņu ritmīti. Daudzviet dolomīta slānī novērojams viļņu ripsnojums, savukārt slāņa augšdaļā, mālainajā daļā, žūšanas plaisas. Daudz organismu eju (slāņa apakšdaļa, 1. fācija, pēc tam seko 12. fācija un 11. fācija).

9. slānis. 3,60–4,00 m – dolomīts, bez kavernām. Slāņa vidusdaļā viļņu ripsnojums. Sastopamas ihnofosilijas *Rhizocorallium*. Dolomīts lielākoties smalkkristālisks. Nav konkrētu tekstūru, kas liecinātu par sedimentācijas apstākļiem (6. fācija).

10. slānis. 4,00–4,50 m – dolomīts, vidusdaļā daudz stromatoporu atlieku. Kopumā visā slānī ir viļņu ripsnojums un žūšanas plaisas, kas liecina par subaerālas atsegšanās epizodēm. Sastopamas ihnofosilijas *Rhizocorallium*. Viļņu ripsnojums galvenokārt problemātisks (1. fācija, izņemot slāņa vidusdaļu, kur 5. fācija).

11. slānis. 4,50–5,05 m – dolomīts, daudz mazām kavernām. Konstatētas arī stromatoporu atliekas un gliemežu atliekas. Kavernās ir mazu organismu čaulas un detrits, domājams, brahiopodu atliekas (5. fācija).

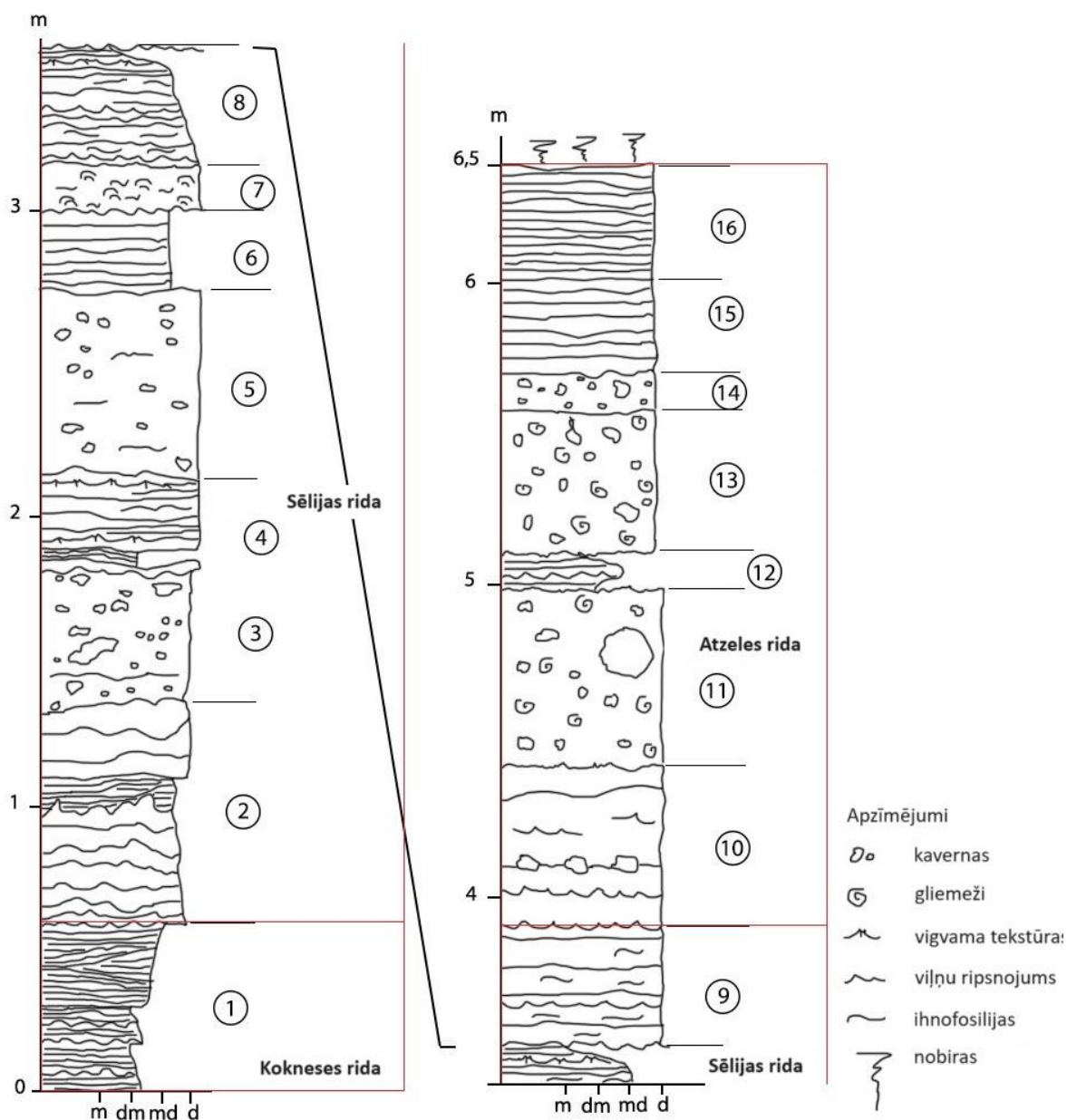
12. slānis. 5,05–5,20 m – mālains dolomīts un māls. Apakšdaļā ir mālains dolomīts, savukārt augšdaļā – māls. Mālainajā dolomītā konstatēts izteikts viļņu ripsnojums un laminīti. Nav organismu atlieku (12. fācija).

13. slānis. 5,20–5,70 m – Dolomīts, izteikti kavernozs, dažviet ir mālaina dolomīta joslas. Konstatētas gliemežu atliekas, kas izkārtotas ķēdītēs un organismu ejas (6. fācija).

14. slānis. 5,70–5,85 m – dolomīts, retām organismu ejām, nav žūšanas plaisas un organismu atliekas (6. fācija).

15. slānis. 5,85–6,15 m – dolomīts, plātņains, kavernozs, ar stromatoporu atliekām. Mazas kavernas un poras, kas liecina par organismu detrita šķīšanu. Novērots arī kārtojums un viļņu ripsnojums ar intervālu līdz 1 cm (1. fācija).

16. slānis. 6,15–6,55 m – dolomīts, vidēji plātņains līdz sīkplātņains, konstatēts viļņu ripsnojums. Retas iegarenas formas kavernas. Novērotas arī stromatoporas un gliemeži to dzīves pozīcijā (1. fācija).



5.21. attēls. Pļaviņu svītas dolomītu ģeoloģiskais griezumā Kalamecu un Markuzu gravas atsegumā, Latvijā: m – māls; dm – dolomītmerģelis; md – mālains dolomīts; d – dolomīts/kaļķakmens. Ar numuriem apļos apzīmēti nodalītie slāņi un noņemtie paraugi.

Figure 5.22. Geological section of dolomites of the Pļaviņas Formation in Kalameci and Markuzi ravine exposure: m – clay; dm – dolomitic marl; md – clayey dolomite; d – dolomite/limestone. Numbers in circles mark beds and collected samples.

5.2. Fācijas

Pamatojoties uz atsegumu dokumentācijas un pieslīpņu pētījumiem makroskopiski, kā arī dažkārt izmantojot mikroskopijas metodi Iežu pētījumu laboratorijā, Pļaviņu svītas karbonātiskajos un mālainajos nogulumiežos pētījuma autors ir nodalījis šādas 12 fācijas:

F1 – Karbonātieži ar viļņotu kārtojumu un viļņu ripsnojumu – šādi karbonātieži sastopami Randātu klinšu dolomītos, 2. slāņa augšdaļā un 8. slānī, 8. slānī tas ir nedaudz problemātisks. Dolomīti un mālaini dolomīti pētīti arī Riežupes 2. atseguma 3. slāņa augšdaļā. Viļņu ripsnojums un viļņots kārtojums konstatēts arī Dārzciema atradnes atseguma 1. slānī (5.23. attēls), mālainajos dolomītos. Viļņu ripsnojuma pazīmes konstatētas arī Kalkahju (Peetri) atseguma griezuma kaļķakmeņos, vairākos slāņos griezuma augšdaļā (piemēram, 11. slānī), un divos slāņos (2. slānī un 4. slānī) Īļaku ieža mālos, mālainajos dolomītos un dolomītos. Arī Vizulu ieža mālos, mālainajos dolomītos un dolomītos, 6. slānī un 8. slānī konstatēts viļņu ripsnojums. Visapjomīgākās un izteiktākās viļņu ripsnojuma pazīmes konstatētas Kalamecu un Markuzu gravas ģeoloģiskajā griezumā, tas izplatīts cikliski visa griezuma dolomītmerģeļos un dolomītos – 1. slānī, 4. slānī, 8. slānī, 10. slānī, 12. slānī, 15. slānī un 16. slānī.



5.23. attēls. Neregulāri sīkslāņots dolomīts no Dārzciema atradnes 1.slāņa, 1. fācija (F1).

Figure 5.23. Irregular thin-layered laminitic dolomite from Dārzciems quarry layer 1, facie F1.

Interpretācija:

Kārtaina tekstūra liecina par mierīgu sedimentācijas vidi, kā arī par regulāru, ritmisku kāda procesa atkārtošanos. Viļņu ripsnojums liecina par viļņu darbības ietekmi uz sedimentāciju. Tas var veidoties dažādos ūdens dziļumos, bet parasti seklā ūdenī.

F2 – Karbonātieži ar regulāru un neregulāru kārtojumu – šādi karbonātieži sastopami daudzos pētījuma objektos. Atsegumos Latvijā un Kalkahju (Peetri) atsegumā, Igaunijā, šie ieži ir dolomīti, bet Marinovas atsegumā, Igaunijā – arī kaļķakmeņi. Randātu klintīs tie sastopami 1. slānī, 5. slānī, vietām 6. slānī, vietām arī 9. slānī. Grūbes dolomītu atsegumā sastopami arī 1. slānī, 3. slānī, 4. slānī (vietām), visā 5. slānī, arī 6. slānī. Marinovas atradnes atseguma kaļķakmeņos konstatēti 2. slānī, virzienā uz tā augšu, vietām 3. slānī, 4. slānī, vietām arī 7. slānī (nedaudz mālaini). Šie karbonātieži sastopami arī visā 1. slānī, arī 2. slānī, Riežupes atseguma dolomītos. Kārtaini dolomīti izsekojami arī 4. slānī, Īvandes ūdenskritumu atsegumā, kā arī

4.slānī Lauciņu (Cēsu) dolomīta atradnes atsegumā. Dārziema atradnes griezumā šādi karbonātieži vietām konstatēti 5. slāņa augšdaļā, 8. slānī, dažviet 9. slāņa apakšdaļā, kā arī 14. slāņa vidusdaļā - dolomītos. Apes pamestajā dolomīta atradnē kārtaini dolomīti sastopami 3. slānī, 5. slānī, kā arī 7. slāņa lejas daļā. Kalkahju (Peetri) atseguma griezumā sīkplātņaini kaļķakmeņi konstatēti visā griezumā – sākot no 1. slāņa līdz pat 10.slānim (cikliski mijas ar masīva dolomīta slāņiem) un 11. slānī (apakšējā daļā), ir novērots izteikts cikliskums. Īļaku ieža griezumā šādi dolomīti sastopami visā 6. slānī. Īļaku iežā konstatēts, ka kārtojums veido simetriskus ritmus, kas uzskatāmi par plūdmaiņu kopām (no angļu val. – *tidal bundles*).

Interpretācija:

Kārtojums norāda uz mierīgu vidi un bieži mainīgiem sedimentācijas apstākļiem. Īļaku iežā atklātais kārtojums, kas veido simetriskus ritmus (plūdmaiņu kopas) apliecina paisuma-bēguma procesu ietekmi uz sedimentāciju. Pārsvarā baseinā bijuši sekla ūdens apstākļi, savukārt vides apstākļi bijuši mierīgi (Immenhauser, 2009).

F3 – Karbonātieži ar traucētu kārtojumu (bioturbācija u.c.) – šādi dolomīti konstatēti ļoti reti, viens izteiktākais piemērs ir 12. slānis Dārziema atradnē (5.24. attēls), kur vāji izsekojams kārtojums ar izteiktām bioturbācijas pazīmēm, ejas ir nelielas, neviendabīgas, kā arī ļoti traucētas. Vairākos pētījuma objektos novērotas arī žūšanas plaisas un ar tām saistītās vigvama tekstūras.



5.24. attēls. Neregulāri kārtains dolomīts ar bioturbācijas un žūšanas procesu pazīmēm (vigvama tekstūras) no Dārziema atradnes 12.slāņa, 3. fācija (F3).

Figure 5.24. Irregular laminated dolomite from Dārziems dolomite quarry layer 12 with bioturbation marks and tepee structures, facie F3.

Interpretācija:

Šādi dolomīti Dārziema atradnē, kas ir kārtaini un ar bioturbācijas pazīmēm, liecina par ļoti sekla ūdens apstākļiem. Savukārt, žūšanas plaisas un vigvama tekstūras uz slāņu virsmām norāda uz subaerālas atsegšanās epizodēm. Nelielais baseina dziļums ļāvis racējorganismiem veidot ejas karbonātiskajā substrātā (Immenhauser, 2009 un Masse *et al.*, 2003), savukārt vides apstākļi bijuši mierīgi.

F4 – Karbonātieži ar organismu detritu – 6. slānī, Randātu klinšu dolomītu griezumā konstatēts organismu detrits (gliemežu čaulu detrits). Vizuļu ieža dolomītu 9. slānī sastopams gliemežu un brahiopodu atlieku detrits. Arī Dārziema dolomīta atradnē 8. slānī konstatēts organismu detrits (5.25. attēls). Organismu atlieku detrits galvenokārt ir haotiski izkārtots ieža pamatmasā.



5.25. attēls. Dolomīts ar haotiski izvietotu organismu detritu, iespējams, arī oīdiem.
Dārziema atradne, 8. is, 4. fācija (F4)

Figure 5.25. Dolomite with randomly distributed fossil debris, probably, also ooids.
Dārziems quarry, layer 8, facie F4.

Interpretācija:

Karbonātieži, šajā gadījumā dolomīti, ar organismu detritu, liecina par karbonātiskā materiāla pārskalošanos, visticamāk viļņošanās ietekmē. Tas iespējams seklā ūdenī, viļņu darbības zonā. Baseina dziļums bijis neliels. Vides apstākļi bijuši pārsvarā aktīvi, nereti arī samērā aktīvi (vidēji mierīgi).

F5 – Stromatoporu karbonātieži – šādi karbonātieži autora pētītajos objektos ir izplatīti salīdzinoši plaši. Grūbes atseguma dolomītos šādi ieži konstatēti 2. slānī, 4. slānī un 7. slānī, Randātu klinšu griezumā dolomītos un dolomītmerģeļos, 3., slānī un 9. slānī. Marinovas atradnes griezumā tie sastopami arī 3. slāņa augšdaļā, nedaudz 5. slānī un 6. slānī. Ventas rumbas atseguma dolomītos šie ieži konstatēti arī 2. slānī, un Īvandes ūdenskritumu atseguma griezumā dolomītos 2. slāņa augšdaļā, kā arī 1. slāņa vidusdaļā. Stromatoporu karbonātieži sastopami arī Apes pamestās dolomīta atradnes dolomītos visā griezumā (5.26. attēls), izņemot 5. slāni. Lauciņu pamestās dolomīta atradnes griezumā šādi karbonātieži konstatēti arī 7. slānī. Savukārt Kalamecu un Markuzu gravas griezumā šāda tipa dolomīti sastopami 3. slānī, 5. slānī, 10. slānī, 11. slānī – manāms vāji izsekojams sedimentācijas procesu izmaiņu cikliskums, kas bijis labvēlīgs šiem organismiem – domājams, notikusi periodiska un neliela ūdens baseina dziļuma palielināšanās, kad stromatoporām bijuši īpaši labvēlīgi dzīves apstākļi.



5.26. attēls. Pa kreisi – aptuveni 18 cm gara stromatoporas atlieka, apgāzta, Apes pamestajā dolomīta atradnē, 6. slānis, 5. fācija (F5); Pa labi – aptuveni 10 līdz 14 cm diametrā lielas kavernas vietās, kur notikusi sīpolveida stromatoporu atlieku šķīšana, 6. slānis, 5. fācija (F5).

Figure 5.26. Left – approx. 18 cm long stromatoporoid remain, overturned, found in Ape abandoned dolomite quarry, layer 6, facie F5; Right – two vugs about 10 to 14 cm in diameter, in place of dissolved bulbous-type stromatoporoid remains, layer 6, facie F5.

Interpretācija:

Stromatoporas liecina par normāla sāļuma, sekla ūdens apstākļiem (Garland 1997). Tās ir tipiskas devona, t. sk. Franas laikmeta, karbonātu platformām, ir bieži rifu būvētāji organismi, taču sastopami arī ārpus rifiem dažādos sekla ūdens apstākļos (Da Silva *et al.* 2011). Stromatoporas, galvenokārt, visos pētījumu objektos ir pārskalotas, vietām apgāztas un tās ir sīpolveida formas, kas liecina par aktīvu viļņu darbības ietekmi. Visticamāk to pārskalotie sakopojumi izkārtoti tieši starp karbonātisku nogulu sēkļiem vai arī plūdmaiņu kanālos, līdz ar to, jūra bijusi sekla, savukārt vides apstākļi bijuši aktīvi (stromatoporu atliekas ir apgāztas un izkārtotas ķēdītēs vai haotiski) (Immenhauser, 2009).

F6 – Karbonātieži ar dažādām organismu atliekām un bioturbāciju – karbonātieži, gan dolomīti, gan dolomītmerģeļi u.c., ar dažādām organismu atliekām sastopami visos pētītajos griezumos dažādos intervālos (12. slānī Dārziema atradnē arī mugurukaulnieku fosilijas) (5.27. attēls), tomēr karbonātieži ar bioturbācijas pazīmēm Dārziema dolomīta atradnes dolomītos – 2. slānī, 3. slānī, 4. slānī, 5. slānī un 12. slānī. Bioturbācija konstatēta arī Īļaku ieža 1. slānī, Vizulu ieža 5. slānī, un 7. slānī, Kalamecu un Markuzu gravas atseguma 9. slānī, 13. slānī un 14. slānī (racējorganismu pēdas konstatētas arī šī atseguma 1. slānī, bet tikai vienā gadījumā, līdz ar to, konkrētais karbonātiežu slānis nav apzīmēts kā 6. fācija) Arī Īvandes ūdenskritumu atseguma 3. slāņa apakšdaļā un visā 5. slānī, vietām arī 1. slānī un 2. slānī. Šādi karbonātieži sastopami arī Kalkahju (Peetri) atseguma 12. slānī. Šāda tipa karbonātieži izsekojami arī Dārziema dolomīta atradnes atseguma 1. slānī, 3. slānī, 6. slānī, 9. slānī. Jāatzīmē, ka arī Dārziema dolomīta atradnes atseguma 4. slānī un 5. slānī konstatētas *Planolites* pēdu fosilijas. Karbonātieži ar organismu atliekām un šķīdušu atlieku kavernām konstatēti arī Marinovas atradnes 1. slānī un dažviet 5. slānī. Randātu klintīs šie ieži konstatēti 4. slānī, 6. slāņa apakšdaļā, 9. slāņa apakšdaļā un pašā augšdaļā. Riežupes 2. atseguma 3. slāņa apakšdaļā un 1. atseguma 3. slāņa augšdaļā arī pētīti šādi karbonātieži. Šāda tipa karbonātieži konstatēti arī Ventas rumbas atseguma 1. slāņa visā griezumā, kā arī 2. slāņa augšdaļā.



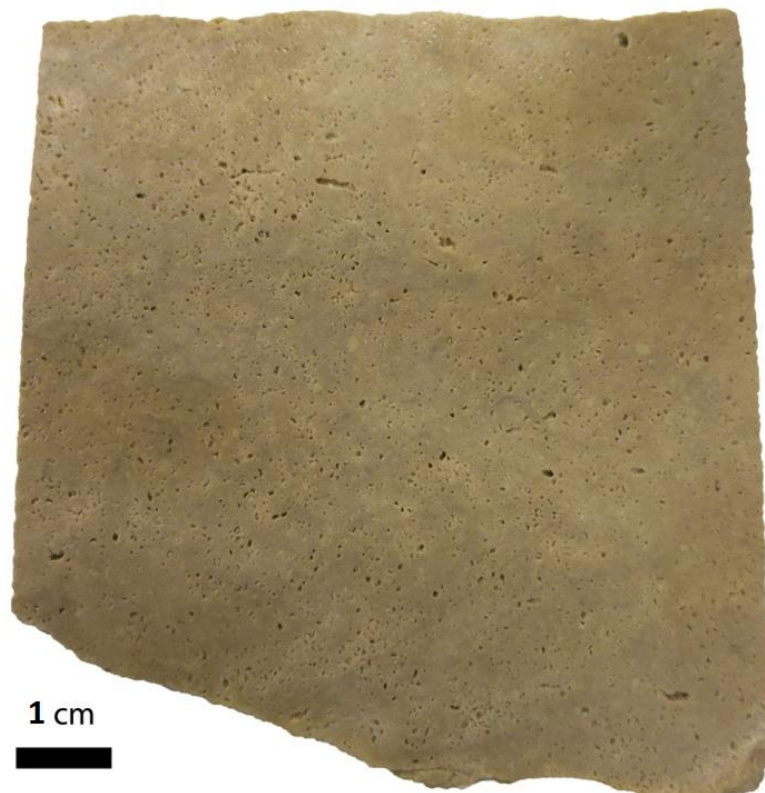
5.27. attēls. Dolomīts ar gliemežu un brahiopodu atliekām, kā arī bioturbācijas pazīmēm no Īļaku iezā 7. slāņa, 6. faciā (F6).

Figure 5.27. Dolomite with gastropod and brachiopod fossil remains, as well as bioturbation marks, from Īļaki cliff layer 7, facie F6.

Interpretācija:

Šeit jāatzīmē, ka veidošanās apstākļi šiem karbonātiem var būt dažādi, taču visizteiktāk tie raksturo sekla ūdens apstākļus, kā arī subaerālus apstākļus. Baseina dziļums bijis neliels (Immenhauser, 2009). Racējorganismi (*Planolites*, *Chondrites* u.c.) dzīvojuši seklas jūras apstākļos, kur sedimentāciju ietekmējuši plūdmaiņu procesi (Meškis, 2013). Secināms, ka kopumā vides apstākļi bijuši no mierīgiem līdz samērā aktīviem (Masse *et al.*, 2003).

F7 – Ooīdu karbonāti – karbonāti ar ooīdiem sastopami tikai 1. slānī un 2. slānī (5.28. attēls), Īļaku iezī un 5. slānī, Vizulu iezī. Ooīdi liecina, ka nogulumu uzkrāšanās ir notikusi aktīvā vidē – viļņu vai straumju darbības ietekmē. Par ooīdu esamību galvenokārt liecina līdz 2 mm lielas poras, kā arī šo poru regulāri apaļā forma. Domājams, ooīdi ir izšķīduši karbonātiņu dolomitizācijas rezultātā. Regulārā, apaļā forma, un izmēri no milimetra desmitdaļām līdz 2 mm norāda, ka poras ir veidojušās ooīdu vietā. Ooīdiem raksturīgā koncentriskā uzbūve un iekšējās kārtiņas nav saglabājušās – dolomitizācijas procesi tās ir pilnībā iznīcinājuši. Iespējams, daļa poru un mazo kavernu atbilst arī izšķīdušam smalkam organismu detritam.



5.28. attēls. Dolomīts ar ooīdiem un organismu detrītu no Īļaku ieža 2.slāņa, 7.fācija (F7).

Figure 5.28. Fossiliferous, vuggy, and porous dolomite from Īļaki cliff layer 2, facie F7.

Interpretācija:

Ooīdi veidojas dažādos apstākļos, taču visraksturīgākie tie ir seklam, normāla sāļuma ūdenim aktīvā hidrodinamiskajā režīmā (Tucker, Wright 1990). Tādējādi ooīdi norāda uz sedimentācijas vidi ar lielu enerģiju – visticamāk, sēkļiem vai plūdmaiņu kanāliem. Baseina dziļums bijis mazs (Immenhauser, 2009).

F8 – Karbonātieži ar klastiskā materiāla un dolomīta miju – karbonātieži ar klastiskā (dolomītsmilšakmeņa) un dolomīta miju konstatēti Kalamecu un Markuzu gravas atseguma griezumā 7. slānī un Īļaku ieža 1. slānī (5.29. attēls).



5.29. attēls. Klastiskā materiāla un dolomīta mijas no Īļaku ieža 1.slāņa, 8.fācija (F8).

Figure 5.29. Clastic material and dolomite alternation from Īļaki cliff layer 1, facie F8.

Interpretācija:

Šādi karbonātieži, kuros ir klastiskais, kas mijas ar viendabīgu dolomītu, liecina par periodisku klastiskā materiāla (šajā gadījumā – smalka smilts) pieplūdi no karbonātu platformas sauszemes puses. Tajā laikā nav bijis normāls ūdens sāļums, domājams, ka bijuši nosacīti saldūdens apstākļi. Vides apstākļi bijuši samērā mierīgi.

Jaukta tipa karbonātieži, kur mijas dolomītsmilšakmens ar dolomītu (karbonātiskā pamatmasa) ir sastopami reti. Šāda tipa karbonātieži liecina par specifiskiem paleoklimatiskajiem apstākļiem un klastiskā materiāla pienesi, tai skaitā, sarežģītu sedimentācijas vidi (Guangquan, Lidong, 2021). Šāda tipa viļņots slāņojums (5.29. attēls), kur mijas klastiskais materiāls ar dolomīta pamatmasu, iespējams, var būt veidojies plūdmaiņu kanālos seklas jūras piekrastē vai arī plūdmaiņu līdzenumos. Šādi apstākļi ir raksturīgi arī senajām epikontinentālajām jūrām (Guangquan, Lidong, 2021). Tomēr šī interpretācija nav viennozīmīga, jo klastiskā materiāla pienesē un izgulsnēšanās var notikt arī cita veida apstākļos.

F9 – Karbonātieži, kas pilnībā veidoti no dažāda izmēra un noapaļotības litoklastiem un tempestīti (vētru slāņi) – šādi karbonātieži konstatēti tikai Īļaku ieža griezumā 7. slānī (5.30. attēls), kur iezi veido dažāda izmēra, pārsvarā vāji noapaļoti, litoklasti, kas ieslēgti smalkā karbonātiskā pamatmasā, kā arī Marinovas atradnes griezumā augšējā nodalītajā slānī – tas ir karbonātisks konglomerāts. Marinovas atradnē novērojams gradācijas slāņojums, litoklastu izmēri pieaug virzienā uz slāņa lejas pusi, kā arī litoklasti uzguļ tieši uz iepriekšējā slāņa virsmas.



5.30. attēls. Dolomīts ar litoklastiem no Īļaku ieža 7.slāņa, 9.fācija (F9).

Figure 5.30. Dolomite with litoclasts from Īļaki cliff layer 7, facie F9.

Interpretācija:

Šie karbonātieži un visas to tekstūras liecina par vētru slāņiem. Vētru ietekmi apliecina gan gradācijas slāņojums, gan arī tas, ka litoklasti uzguļ tieši uz izskalotas apakšējā slāņa virsmas. Šie karbonātieži var būt veidojušies gan viļņu darbības zonā, gan arī dziļāk par viļņu darbības zonu, baseina dziļums ir var variēt no neliela līdz jau dziļākam – maksimālajam, kāds bijis epikontinentālā jūrā (Immenhauser, 2009). Secināms, ka bijusi arī vētru ietekme, līdz ar to bijuši aktīvi vides apstākļi.

F10 – Brekčijoti karbonātieži – brekčijoti karbonātieži konstatēti 3. slānī, Randātu klinšu griezumā un 2. slānī, Kalamecu un Markuzu gravas atseguma griezumā. Brekčijotā tekstūra Kalamecu un Markuzu gravas atsegumā ir raksturīga iežu pamatmasai (matricei), kas norāda uz to, ka brekčija ir sena, tā nav veidojusies ledāja bīdes spēka ietekmē. Savukārt Randātu klinšu gadījumā tika secināts, ka brekčija veidojusies ledāja darbības ietekmē, pēcsedimentācijas procesu laikā, tādēļ šī veida brekčija netiek izskatīta 10. fācijas ietvaros.

Interpretācija:

Brekčijotie karbonātieži norāda uz paleokarstu. Kopumā, domājams, ka bijuši samērā aktīvi vides apstākļi. Šķautņainās atlūzas norāda uz minimālu materiāla transportu un brekčijas veidošanos paleokarsta ietekmē.

F11 – Karbonātieži ar mālainu nogulumu starpkārtām – šādi karbonātieži ar māla starpkārtām konstatēti vietām Dārziema dolomīta atradnes 3. slānī. Ap 3 cm bieza māla starpkārta konstatēta arī Apes pamestajā dolomīta atradnē, 2.slāņa dolomītos. Mālaina materiāla starpkārtnas konstatētas arī Laučiņu (Cēsu) bijušajā dolomīta atradnē - 2. slāņa, 5. slāņa un 7. slāņa un 8. slāņa dolomītos. Mālaina materiāla starpkārtnas konstatētas arī vietām 1. slānī, 2. slānī un visā 5. slānī, Īļaku iezi un 5. un 6. slānī, Visuļu iezi. Mālainu nogulumu kārta konstatēta arī Kalamecu un Markuzu gravas atseguma griezuma 8. slānī (viena kārta 7 cm biezumā). Šādi karbonātieži konstatēti arī Riežupes 1. atseguma 3. slāņa apakšdaļā. Visos gadījumos konstatēti māla kārtiņu sabiezējumi.

Interpretācija:

Cikliskās izmaiņas un mālaino kārtiņu sabiezinājumi liecina par plūdmaiņu procesiem un sekla ūdens apstākļiem (Nichols, 2007). Vides apstākļi pārsvarā bijuši mierīgi, to aktivizēšanās ir iespējama periodiski, plūdmaiņu procesu laikā.

F12 – Mālaini dolomīti un dolomītmerģeļi – mālaini dolomīti sastopami Randātu klinšu griezuma (starpkārtiņu veidā) 2. slānī, 5. slānī un 7. slānī. Šīs fācijas karbonātieži pētīti arī Riežupes 1. atseguma griezuma 2. slānī. Mālaini dolomīti konstatēti arī Dārziema dolomīta atradnes ģeoloģiskā atseguma griezumā 1. slānī un 6. slānī. Mālainie dolomīti sastopami arī Apes pamestās dolomīta atradnes griezumā 1. slānī. Mālais dolomīts un dolomītmerģelis mijas arī 1. slānī un 2. slānī, Kalamecu un Markuzu gravas atseguma griezumā. Mālais dolomīts pētīts arī Kalamecu un Markuzu gravas atseguma 3. slāņa vidusdaļā, 6. slānī, 8. slānī, 12. slānī. Šie nogulumi liecina par palielinātu māla pieplūdi sedimentācijas procesā. Mālainie dolomīti galvenokārt ir slāņoti.

Interpretācija:

Visas pazīmes liecina par to, ka baseinā karbonātisko nogulu sedimentācijas procesā bijusi palielināta māla sanešu pieplūde. Baseina dziļums bijis neliels, savukārt vides apstākļi mierīgi

2.tabula. Karbonātiežu fācijas un to asociācijas

Table 2. Carbonate rock facies and their associations

Fācijas	Izmēri un sastāvs	Tekstūras	Slāņu robežas	Fosilijas un inhnofosilijas	Baseina dziļums, orientējošs	Interpretācija	Fāciju asociācijas
F1 Karbonātieži ar viļņotu kārtojumu un viļņu ripsnojumu	0,3 līdz 1,5 m biezi slāņi, māli, mālaini dolomīti un dolomīti, dolomītmeģeļi	Viļņots kārtojums un viļņu ripsnojums, žūšanas plaisas	Vienmērīgas, sub-horizontālas	Nav konstatētas	Sekls līdz vidēja dziļuma ūdens	Sekla līdz vidēji dziļa ūdenstīpē, viļņotās ietekmē. Žūšanas plaisas norāda uz arīdu klimatu, savukārt slāņu kārtojums liecina par lagūnas vai plūdmaiņu līdzenuma apstākļiem (Ījaku iezī) (Masse <i>et al.</i> , 2003). Laminīti ar kārtojumu norāda arī uz sedimentāciju augšējā plūdmaiņu zonā (no angļu val. – <i>supratidal</i>) (Flügel, 2004).	FA1
F2 Karbonātieži ar regulāru un	0,2 līdz 2,3 m biezi slāņi, dolomīti un kaļķakmeņi	Regulārs un neregulārs kārtojums	Vienmērīgas, sub-horizontālas	Nav konstatētas	Sekls ūdens	Kārtaini dolomīti (laminīti) ir raksturīgi	FA1, FA2

neregulāru kārtojumu								augšējai plūdmaiņu zonai.	
F3 Karbonātieži ar traucētu kārtojumu	0,3 līdz 0,7 m bieži slāņi, dolomīti	Traucēts kārtojums	Traucētas	Bioturbācijas pazīmes (nav nosakāma piederība)	Sekla jūra	Traucēts kārtojums ar bioturbāciju norāda uz sedimentāciju plūdmaiņu līdzenuma apstākļos vai plūdmaiņu kanālos (Meškis, 2013).	FA1, FA2		
F4 Karbonātieži ar organismu detritu	0,5 līdz 1,0 m bieži slāņi, dolomīti	Vienmērīgs slāņojums	Vienmērīgas, sub-horizontālas	Gliemežu un brahiopodu atliekas	Sekls	Organismu detrits norāda uz aktīvu vidi un seklu ūdeni.	FA2		
F5 Stromatoporu karbonātieži	0,15 līdz 1,5 m bieži slāņi, dolomīti un dolomītmerģeļi	Pārskalotas stromatoporu atliekas	Nevienmērīgas, robotas	Stromatoporu atliekas	Seklas jūras apstākļi	Bijuši normāla sāļuma, sekla ūdens apstākļi (Garland, 1997).	FA2		
F6 Karbonātieži ar dažādām organismu atliekām un bioturbāciju	0,1 līdz 1,5 m bieži slāņi, mālaini dolomīti un dolomīti, dolomītmerģeļi	Bioturbācija, vienmērīgs slāņojums	Vienmērīgas, sub-horizontālas	Mugurkaulnieku fosilijas, gliemežu, brahiopodu u.c. organismu atliekas, bioturbācijas pazīmes (<i>Planolites</i> ,	Seklas jūras apstākļi	Bijuši sekla ūdens apstākļi, plūdmaiņu ietekme (Meškis, 2013). Bioturbācija norāda uz sedimentāciju plūdmaiņu	FA2		

				<i>Lockeia</i> un <i>Thalassinoides</i>)				līdzņemtos vai plūdmaiņu kanālos. Savukārt, organismu atlieku izkārtojums “ķēdītēs” apstiprina apgalvojumu par sedimentācijas aktīvā hidrodinamiskajā režīmā (Shen <i>et al.</i> , 2008).	
F7 Ooīdu karbonātieži	0,1 līdz 0,2 m biezi slāņi, dolomīti	Haotisks ooīdu izkārtojums	Nevienmērīgas	Ooīdi un poras izšķīdušu ooīdu vietās	Seklas jūras apstākļi	Sekla ūdens apstākļi, normāla sāļuma ūdens, aktīvi hidrodinamiskie apstākļi (Li <i>et al.</i> , 2019).	FA2		
F8 Karbonātieži ar klastiskā materiāla un dolomīta miju	0,2 m biezs slānis, dolomīts un dolomītmilšakmens	Klastiskā materiāla un dolomīta mija	Vienmērīgas, sub-horizontālas	Nav konstatētas	Seklas jūras apstākļi	Notikusi periodiska klastiskā materiāla pieplūde, sedimentācijas ietekmējuši plūdmaiņu procesi (Guangquan, Lidong, 2021).	FA3		

F9 Karbonātieži ar dažāda izmēra, noapaļotības litoklastiem	0,3 līdz 0,6 m bieži slāņi, dolomīts un karbonātisks konglomerāts	Dažāda izmēra litoklasti (izmēros no 1 mm līdz 1,8 cm) vienmērīgā pamatmasā, Vietām normālais gradācijas slāņojums, ko nosaka litoklastu sadalījums pēc izmēriem.	Nevienmērīgas, robotas	Nav konstatētas	Vīļņu darbības zonā, seklas jūras apstākļos	Šāda tipa karbonātieži veidojušies vētru ietekmē, ko vietām apstiprina gradācijas slāņojums. Uz minimālu litoklastu transportu norāda to vājā noapaļotības pakāpe (Immenhauser, 2009).	FA3
F10 Brekčijoti karbonātieži	0,3 līdz 0,6 m bieži slāņi, dolomīts un dolomītmerģelis	Brekčijoti karbonātieži	Nevienmērīgas, robotas	Nav konstatētas	Seklas jūras apstākļi	Brekčijoti karbonātieži norāda uz paleokarsta procesiem. Šāda tipa karbonātieži konstatēti Kalamecu un Markuzu gravas atsegumā. Paleokarsta procesi iespējami apstākļos, kur ir samērā aktīvi vides apstākļi (Immenhauser, 2009). Citi autori	FA1

									norāda, ka paleokarsts liecina par sedimentāciju straujas jūras līmeņa samazināšanās rezultātā (Chow, Wendte, 2011).	
F11 Karbonātieži ar mālainu nogulumu starpkārtām	0,05 līdz 1,6 m biezi slāņi, māli, mālaini dolomīti, dolomīti	Mālainu un karbonātisku nogulumu mija, konstatētas nelielas mālaina materiāla starpkārtas (plūdmaiņu kopas)	Vienmērīgas, subhorizontālas	Nav konstatētas	Seklas jūras apstākļi	Sedimentācija norisinājusies seklas jūras apstākļos, konkrēti plūdmaiņu līdzenumos (Nichols, 2007).	FA1, FA2			
F12 Mālaini karbonātieži	0,1 līdz 0,7 m biezi slāņi, mālaini dolomīti un dolomītmeģeļi	Regulārs slāņojums	Vienmērīgas, subhorizontālas	Nav konstatētas	Sekls ūdens	Salīdzinoši mierīgi sedimentācijas apstākļi par ko liecina regulārais slāņojums (Messadi <i>et al.</i> , 2016).	FA1, FA2			

5.3. Fāciju asociācijas

5.3.1. FA1 – vidējā līdz augšējā plūdmaiņu zona.

Šajā fāciju asociācijā ietilpst kārtaini dolomīti/laminīti (FA1 fāciju asociācijā ietilpst sekojošas fācijas – F1, F2, F3, F11, F12)

Kārtainie dolomīti un laminīti sastopami gandrīz visos pētītajos objektos, tiem bieži vien ir neregulāra uzbūve (5.23. attēls) un slāņojums ir nevienmērīgs, viļņains. Vietām izdevies identificēt viļņu ripsnojumu, kas norāda uz viļņošanās ietekmi sedimentācijas gaitā. Viļņu ripsnojums bieži ir raksturīgs vidējās plūdmaiņu zonas veidojumiem.

Randātu klinšu griezumā (Sēlijas un Atzeles ridā, kā arī Apes ridā) dominē dolomīti un to kopumā 14,5 metru biezajā slāņkopā tikai 2 metru biezumā ir sastopami dolomītmerģeļi un mālaini dolomīti. Šiem iežiem un daļai dolomītu (2., 5., 7. un 8. slānis – 1. fācija un 12. fācija) ir raksturīga sīkplātņaina uzbūve un bieži arī kārtaina tekstūra, ko nosaka milimetru un to daļu biezuma horizontālu un viļņotu kārtiņu mija. 2. slānī šajos karbonātiežos ir žūšanas plaisas un vigvama tekstūras. Vietām var novērot arī viļņu ripsnojumu. Sīkplātņains dolomīts un viļņu ripsnojums liecina par seklu baseinu, savukārt vigvama tekstūras un žūšanas plaisas – par īslaicīgām subaerālās atsegšanās epizodēm. Šis tekstūru kopums norāda uz vidējo līdz augšējo plūdmaiņu zonu (Flügel, 2004). Palielinātais mālainā materiāla daudzums kārtainos nogulumos bieži ir raksturīgs plūdmaiņu līdzenumiem, kuros ir mierīgāks hidrodinamiskais režīms nekā virzienā uz atklātu jūru vēršiem karbonātisko nogulu sēkļiem un rifiem (Flügel, 2004).

Grūbes dolomīta atseguma plātņaino dolomītu bez organismu atliekām veidošanās apstākļus interpretēt ir sarežģīti, jo dolomitizācijas procesu dēļ lauka apstākļos nav iespējams noteikt to pamatmasas raksturu – mikrīta un graudu proporciju. Karbonātiskie nogulumi ar regulāru, plātņainu uzbūvi un bez organismu atliekām var veidoties dažādos apstākļos – salīdzinoši dziļā baseinā, lagūnā un arī citā vidē. Šiem dolomītiem gan nav kārtaino tekstūru, žūšanas plaisu vai citu pazīmju, kas norādītu uz vidējo vai augšējo plūdmaiņu zonu (Flügel, 2004). Tomēr cikliski sastopami šīs fāciju asociācijas karbonātieži.

Marinovas dolomīta atradnē bieži ir sastopami laminīti (2. fācija) – kārtaini dolomīti un kaļķakmeņi, kas ir tipiski vidējās un augšējās plūdmaiņu zonas nogulumu (Flügel, 2004). 2. slānī tajos sastop arī “putna acs” tekstūras (t.i., fenestras), kuras ir tipiska vidējās plūdmaiņu zonas pazīme (Tucker, Wright, 1990).

Riežupes mazajā atsegumā vietām konstatēti sīkplātņaini dolomīti, nereti ar mālainiem starpslāņiem, kas liecina par sekla jūras baseina apstākļiem (2. fācija). Arī Īvandes ūdenskritumu atseguma 3. slānis noteikts kā 2. fācija, kas atbilst šai fāciju asociācijai.

Dārzciema dolomīta atradnes ģeoloģiskajā griezumā novērots cikliskums (12. fācijas, 1. fācijas, 6. fācijas, 11. fācijas, 2. fācijas, 3. fācijas mija), jo karbonātiežus, kas veidojušies seklā jūrā, aktīvos vai vidēji aktīvos hidrodinamiskos apstākļos, nomaina sekla un mierīga jūras, iespējams, lagūnas, apstākļi – smalki un mikrītiski dolomīti, ar organismu ejām un mālainiem slānīšiem, kā arī žūšanas plaisas un citas pazīmes, kas liecina pat par subaerālo atsegšanos. Novērotais viļņu ripsnojums, savukārt norāda par mēreni aktīvu hidrodinamisko vidi seklā jūras apstākļos (Sorokin, 1981). Vietām var novērot arī viļņu ripsnojumu un sīkplātņainu dolomītu, kas liecina par seklu baseinu, savukārt žūšanas plaisas – par īslaicīgām subaerālās atsegšanās epizodēm. Šis tekstūru kopums nepārprotami norāda uz vidējo līdz augšējo plūdmaiņu zonu (Flügel, 2004). Dažos slāņos konstatētais palielinātais mālainā materiāla daudzums un organismu ejas ir raksturīgas plūdmaiņu līdzenumiem, kuros ir mierīgāks hidrodinamiskais režīms nekā virzienā uz atklātu jūru vēršiem karbonātisko nogulu sēkļiem un rifiem (Flügel, 2004).

Apes pamestās dolomīta atradnes atseguma vidusdaļā (5. slānis) sastopami dolomīti – laminīti, nereti ar brahiopodu atliekām. Sīkplātņaini, laminītiski dolomīti (2. fācija) liecina par seklas jūras apstākļiem (Tucker, Wright, 1990).

Kalkahju (Peetri) atseguma ģeoloģiskā griezuma lielāko daļu veido sīkplātņaini kaļķakmeņi (2. fācija), virzienā uz augšu nedaudz pieaug plātņišu biezums, kā arī parādās citas tekstūras – viļņu ripsnojums un organismu atliekas. Pētījuma autors visu atseguma griezumu raksturojis ar šo fāciju asociāciju. Kārtainie kaļķakmeņi liecina par seklas jūras apstākļiem (Garland, 1997). Šis tekstūru kopums norāda uz vidējo līdz augšējo plūdmaiņu zonu (Flügel, 2004). Sīkplātņaino un masīvāko kaļķakmeņu mija apakšējos 10 slāņos liecina par izteiktu cikliskumu, kas varētu būt saistīts ar pastiprinātu plūdmaiņu ietekmi sedimentācijas gaitā (Tānavsuo–Milkeviciene & Plink–Björklund 2009; Tovmasjana 2013). Daudzviet griezuma augšdaļā (2. fācija un 1. fācija, griezuma augšdaļā arī 6. fācija) sastopamas organismu ejas un vigvama tekstūras, ka liecina par iespējamu subaerālu atsegšanos vai ļoti seklas jūras apstākļiem. Savukārt gliemežu un brahiopodu atliekas, kas izkārtotas haotiski vai “ķēdītēs” liecina par iespējamu organismu atlieku pārskalošanu. Tas liek secināt, ka bijis aktīvs hidrodinamiskais režīms un varbūtēja nelielu vētru ietekme (Shen *et al.*, 2008).

Paraugos no Īlaku ieža 7.slāņa konstatēts, ka apstākļi ir bijuši ļoti mainīgi un nogulu sedimentācijas gaitā ūdens līmenis ir krities, kā rezultātā nogulas ir atsegušas un izžuvušas. Vēlāk, ceļoties ūdens līmenim, tās tikušas pārskalotas kā atsevišķi, ieapaļi vai arī šķautņaini litoklasti (5.30. attēls). Paraugā (pieslīpnī), iespējams, novērojams arī organismu detrits, kas varētu būt gan pārskalotas organismu atliekas, gan arī tie paši litoklasti, tikai smalkāka izmēra (Masse *et al.*, 2003).

Īlaku klinšu ģeoloģiskā griezuma pēdējais slānis (2,2 metru biezumā) liecina par seklas jūras apstākļiem (2. fācija) (Garland, 1997), jo konstatēti sīkplātņaini dolomīti, laminīti. Šī paša ģeoloģiskā objekta Apes ridā 8. slānī (1.fācija) bieži sastop dolomītus, kuros brahiopodu detrits ir izkārtots “ķēdītēs”, slāniski. Šajā slānī novērots arī viļņu ripsnojums un viļņots kārtojums. Organismu atlieku un detrita slāniskais izkārtojums norāda uz organismu atlieku pārskalošanu, kas bieži tiek interpretēts kā rifu vai karbonātisko nogulu pauguru pret jūru vērstās nogāzes pazīme (Shen *et al.*, 2008). Iespējams, ka organismu atlieku pārskalošana ir notikusi spēcīgākas viļņošanās ietekmē un šie nogulumi ir veidojušies starp vētru viļņu bāzi un viļņu bāzi normālos apstākļos (Gutteridge, 1989). Brahiopodu klātbūtne visticamāk norāda uz nogulumu veidošanos aktīvā hidrodinamiskajā režīmā – nosacītā karbonātu nogāzes augšdaļā (Flügel, 2004; Machel, Hunter, 1994).

Vizuļu iezī vietām (atseguma vidusdaļā, 2. slānis) konstatēts arī viļņu ripsnojums un viļņoti tīši, kas to apstiprina (1. fācija), savukārt pārskalotie dolomīta graudi un organismu detrits liecina par kādu lielākas enerģijas notikumu – nelielu vētras epizodi.

Kalamecu un Markuzu gravas atsegumā dažviet konstatēts izteikts viļņu ripsnojums un viļņots slāņojums (1. fācija), kas liecina par samērā aktīvu hidrodinamisko režīmu (Shen *et al.*, 2008). Šajā ģeoloģiskajā objektā konstatēti vairāki cikli, kas liecina par periodiskām izmaiņām sedimentācijā. Visā ģeoloģiskā griezuma intervālā konstatēti 0,4–0,5 līdz pat 1,4–1,5 m bieži cikli, kas liecina par cikliskumu sedimentācijas gaitā (1. fācijas, 12. fācijas, 10. fācijas, 5. fācijas, 8. fācijas, 6. fācijas, 11. fācijas mija), kā arī liek domāt, ka šajā laika posmā baseina dziļums bijis 0,4 līdz 1,5 m dziļš (Immenhauser, 2009). Dārziema dolomīta atradnes atseguma 1. slānī, šādos nogulumos ir plūdmaiņu ritmīti (no angļu val. – *tidal bundles*). Tie redzami 5.23. attēlā. Kalamecu un Markuzu gravas atseguma 2. slānī pētītas karbonātiskas brekčijas, kas norāda uz paleokarsta notikumiem. Šie konstatētie brekčijotie karbonātieži norāda uz varbūtēju paleokarstu, krietni mazāka varbūtība, ka tie ir vētru slāņi. Asšķautņainas atlūzas brekčijas pamatmasā, kopā ar haotisku to izkārtojumu, varētu norādīt uz paleokarstu, savukārt, ja atlūzas būtu noapaļotas, tas norādītu uz vētru slāņiem.

Bieži vien šie neregulāri kārtainie dolomīti un laminīti var būt organismu un citu apstākļu ietekmēti, kā, piemēram, bioturbācijas ietekmēti un ar žūšanas ietekmi (5.24. attēls) –

vīgvama tekstūrām, kā tas konstatēts Kalamecu un Markuzu gravas atseguma ģeoloģiskajā griezumā (5.31. attēls).



5.31. attēls. Žūšanas plaisu tīkls ar dzelzs minerālu iekrāsojumu Kalamecu un Markuzu gravas atseguma karbonātiežos, uz 8. slāņa un 9. slāņa savstarpējās kontaktvirsmas. Mērlente mērogam (cm).

Figure 5.31. Desiccation crack net with red *Fe* oxide colouring on 8th and 9th layer interbed contact in Kalameci and Markuzi ravine carbonate rock exposure. Measuring tape for scale (cm).

Interpretācija:

Domājams, ka FA1 karbonātieži pieder pie lagūnu–plūdmaiņu līdzenumu tipa sedimentācijas, jo tās pārsvarā ir zonas ar mierīgiem apstākļiem, zemas enerģijas notikumiem un ierobežotu savienojumu ar atklāto jūru (Nichols, 1999). Laminītu plaša izplatība norāda uz vidējo–augšējo plūdmaiņu zonu. Vidējās plūdmaiņu zonas esamību apstiprina Marinovas karjerā novērotās fenestras (putna acs tekstūras).

Vairākos pētījumu objektu griezumos konstatēts arī izteikts pazīmju cikliskums. Ciklos var novērot pāreju no apakšējās–vidējās līdz vidējai–augšējai plūdmaiņu zonai. Šādu ciklu biežums varētu atbilst ūdens dziļumam, ja tas nav mainījies ciklu veidošanās laikā (Immenhauser, 2009). Pamatojoties uz šo pieņēmumu, novērtēts, ka Kalamecu un Markuzu gravās atsegtie dolomīti ir veidojušies 0,5-1,6 m dziļā jūrā.

FA1 karbonātiežos bieži ir subaerālās atsegšanās pazīmes, žūšanas plaisas uz slāņu virsmām un vigvama tekstūras, retāk arī lietus lāšu nospiedumi uz slāņu virsmām. Tas liecina par to, ka sedimentācijas gaitā īslaicīgi samazinājies ūdens līmenis, kas ļāvis notikt karbonātisko nogulu žūšanai un subaerālai atsegšanai.

Šī FA1 kopumā atbilst zemas vides enerģijas jeb Z zonai (Irwin, 1965; James, Jones, 2016).

5.3.2. FA2 – sekla, normāla sāļuma jūra.

Fāciju asociācijā FA2 ietilpst sekojošas fācijas – F4, F5, F6, F7, F11, F12. Šai FA ir tipiskas organismu atliekas. Bieži vien iezi veidojošie organismi ir brahiopodi un gliemeži, stromatoporas, bet mēdz būt arī tādi organismi kā jūras lilijas vai aļģu atliekas. Ir sastopami arī ooīdi, kuri sevišķi plaši izplatīti Sēlijas ridā Īļaku iezī un Vizulu iezī. Dažkārt iezi veidojošie organismi nav nosakāmi, un secināms tikai tas, ka tas ir organismu detrīts, atsevišķas, vāji saglabātas atliekas, vai to vietā veidojušās kavernas un poras (5.25. attēls). Dažos pētījuma objektos šī veida karbonātiežos vērojams tumšs krāsojums, kas iezīmē organisko vielu klātbūtni.

Marinovas atradnē Atzeles ridā atrastie koraļļi ir retums pētītajos Pļaviņu svītas nogulumiežos. Koraļļi ir silta, sekla, normāla sāļuma ūdens iemītnieki, kuri iznīkst, ja šie apstākļi krasi mainās (Tucker, Wright, 1990). Pētījumos par devona nogulumu uzkrāšanās apstākļiem norādīts, ka šie organismi dzīvo pie viļņu bāzes vai virs viļņu bāzes, fotiskajā zonā. Tie ir atzīmēti karbonātisko nogulu pauguru pret jūru vērstajā nogāzē, rifos, kā arī to abās nogāzēs (Tosolini *et al.*, 2012; Garland, 1997). Kopumā līdzīgos apstākļos veidojas un mīt arī jūras lilijas (Garland, 1997), kuru kātiņi un to fragmenti ir bagātīgi izplatīti Marinovas atradnē 5. slāņa augšdaļā (5. fācija un 6. fācija). Jūras liliju kātiņu pārskalošana notiek aktīvā hidrodinamiskajā režīmā, tādēļ devona karbonātu platformu fāciju shēmā (Machel, Hunter, 1994) šo fosiliju sakopojumi raksturīgi rifu jūras virziena nogāzei un karbonātu nogāžu daļai, kas ieguļ dziļāk par sēkļu zonu.

Riežupes atsegumos sastopami diezgan daudz dolomīti un dolomītmerģeļi ar gliemežu un brahiopodu fosilijām. Šie organismi lielākoties ir saistīti ar rifiem un ir sastopami gan rifu kodolos, gan arī to nogāzēs (Garland, 1997). Tie ir izplatīti arī plašākā apstākļu kopumā, tomēr fotiskajā zonā un siltā ūdenī (Tosolini *et al.*, 2012). Sīpolveida (ieapaļie) stromatoporāti ir raksturīgi lagūnu (aizrifa) apstākļiem, bet rifa apstākļos parasti ir tabulāri vai kupolveida stromatoporāti (Garland 1997).

Dažos slāņos konstatētais palielināta mālainā materiāla daudzums un organismu ejas ir raksturīgas plūdmaiņu līdzenumiem, kuros ir mierīgāks hidrodinamiskais režīms nekā virzienā uz atklātu jūru vērstiem karbonātisko nogulu sēkļiem un rifiem (Flügel, 2004).

Ventas rumbas atseguma ģeoloģiskā griezuma apakšdaļā sastopami dolomīti bez organismu atliekām (6. fācija), līdz ar to veidošanās apstākļus interpretēt ir sarežģīti. Karbonātieži, kuriem ir regulāra, masīva un plātņaina uzbūve, un nav organismu atliekas, var veidoties ļoti dažādos apstākļos – gan dziļā baseinā, gan arī lagūnā. Šiem dolomītiem nav arī kārtaino tekstūru, žūšanas plaisu, viļņu un straumju ripsnojuma vai arī citu pazīmju, kas norādītu uz vidējo vai augšējo plūdmaiņu zonu (Flügel, 2004). Šī atseguma augšdaļas dolomīti ir krasi atšķirīgi no apakšējās daļas - tas apstiprina krāsas izmaiņas sedimentācijas vides apstākļos. Konstatētas ļoti daudz kavernas, kuru izcelsme nav precīzi nosakāma, bet domājams,

tas veidojušās šķīstot brahiopodu un gliemežu atliekām. Tur ir arī daudz liela izmēra stromatoporu atlieku.

Īvandes ūdenskritumu atsegumā galvenokārt sastopami kavernozi dolomīti ar izšķīdušām fosilijām (5. fācija un 6. fācija). Sastopams liels daudzums gliemežu un brahiopodu atlieku, vietām arī stromatoporu atliekas.

Dārziema dolomīta atradnes ģeoloģiskajā griezumā novērots cikliskums (12. fācijas, 1. fācijas, 6. fācijas, 11. fācijas, 2. fācijas, 3. fācijas, mija), jo karbonātiežus, kas veidojušies seklā jūrā, aktīvos hidrodinamiskos apstākļos, nomaina seklas un mierīgas jūras, iespējams, lagūnas, apstākļi – smalki un mikrītiski dolomīti, ar organismu ejām un mālainām starpkārtām, kā arī žūšanas plaisām un citām pazīmēm, kas liecina pat par subaerālo atsegšanos (Sorokin, 1981).

Apes pamestās dolomīta atradnes griezuma apakšdaļā (1. līdz 4. slānis) un augšdaļā (6., 7. slānis) sastopami dolomīti, kas galvenokārt veidojušies mainīgos apstākļos (mijas 12. fācija, 5. fācija, 11. fācija). Šajā pētījumu objektā sākotnējo veidošanās apstākļu noteikšanu būtiski apgrūtina rupjkristāliskie dolomīti – “apīti”. Stromatoporu un brahiopodu atlieku kopums (5. fācija) liecina (5.32. attēls) par normāla sāļuma sekla jūras apstākļiem (Garland, 1997).

Lauciņu (Cēsu) dolomīta atradnes ģeoloģiskā griezuma pirmais slānis ir izteikti kavernozs (6. fācija), konkrētās kavernas ir veidojušās, izšķīstot brahiopodu un gliemežu atliekām, kas norāda uz normāla sāļuma, seklu jūru (Garland, 1997). Pēc tam seko masīvi, vidēji līdz biezi plātņaini dolomīti, vietām ar glaukonīta un māla kārtiņām (11. fācija, 2. fācija un 6. fācija), kas liecina par mierīgiem dziļākas baseina daļas apstākļiem (Sorokin, 1981). Griezuma augšdaļā ir arī nedaudz kavernu, daļa brahiopodu vietā, daļa sfēriskas – stromatoporu vietā (5. fācija). Šīs pazīmes liecina arī par normāla sāļuma seklu jūru, kā arī fotisko zonu un siltu ūdeni (Tosolini *et al.*, 2012). Pētījuma autors visu ģeoloģisko griezumu ir aprakstījis kā šo fāciju asociāciju, par ko ļauj secināt visu novēroto pazīmju kopums.

Paraugā (5.29. attēls) no Īlaku ieža 1. slāņa redzams, ka uz viendabīga dolomīta slānīšiem periodiski izgulsnējies smalkgraudains smilšainais materiāls (karbonātiska smilts), kas liecina par to, ka nogulas bijušas periodiski litificētas un tad atkal pārskalotas, tādējādi, veidojot karbonātiska un smilšaina materiāla sajaukumu un slāņmiju. Domājams, ka šīs periodiskās klastiskā materiāla pieneses epizodes izraisījušas plašākās plūdmaiņu epizodes. Vietām pieslīpnī vērojamas organismu ejas un brahiopodu atliekas, kas liecina, ka organismiem ir bijusi visai labvēlīga dzīves vide, visticamāk, bijuši plūdmaiņu līdzenuma apstākļi (Guangquan, Lidong, 2021).

Daudzviet Īlaku ieža griezuma vidusdaļā un apakšdaļā, kā arī Vizulu ieža atseguma vidusdaļā sastopamas organismu ejas, kas liecina par sekla jūras apstākļiem (1. fācijas, 6. fācijas un 11. fācijas cikliska mija, vienā gadījumā konstatēta arī 7. fācija (1. slāņa augšdaļa)), iespējams bijusi plūdmaiņu līdzenuma tipa sedimentācija. Brahiopodu un gliemežu atlieku kopums liecina par normāla sāļuma sekla jūras apstākļiem (Flügel, 2004). Vizulu ieža atseguma vidusdaļā gliemežu un brahiopodu atliekas, kas ir neregulāri un haotiski izkārtotas, gan atseguma griezuma apakšdaļā, gan augšdaļā, liecina par iespējamu organismu atlieku pārskalošanos.

Arī Vizulu iezī sastopamie ooīdi apstiprina sekla jūras apstākļus, jo tie veidojas fotiskajā zonā un siltā ūdenī (Garland, 1997).

Organismu atliekas Ventas rumbas, Īvandes ūdenskritumu un Apes pamestās dolomīta atradnes atsegumos gandrīz vienmēr ir izkārtotas “ķēdītēs” vai haotiski, kas liecina par iespējamu organismu atlieku pārskalošanu un, domājams, arī pat vētru ietekmi. Šie karbonātieži var tikt interpretēti kā vētru slāņi vai varētu tikt interpretēti kā viļņu ietkmēts rifs, vai arī karbonātisko nogulu paugurs pret jūru vērsto nogāzi (Shen *et al.*, 2008). Arī stromatoporas liecina par to pašu, jo galvenokārt saistītas ar rifiem un to nogāzēm (Garland, 1997). Brahiopodu un gliemežu atlieku klātbūtne arī nav pretrunā ar iepriekš minēto, jo šie organismi dzīvo normāla sāļuma, seklā ūdenī – attiecīgi, rifā (Garland, 1997). Brahiopodu klātbūtne var

liecināt arī par karbonātisko nogulu sedimentāciju aktīvā hidrodinamiskā režīmā – karbonātu nogāzes augšdaļā, kas arī sakrīt ar rifa iespējamo atrašanās vietu baseinā (Machel, Hunter, 1994).



5.32. attēls. Apes pamestās dolomīta atradnes atseguma apakšējās daļas organogēnie, ar stromatoporu atliekām bagātīie karbonātieži (0,0 līdz 1,4 m; mērlentes garums mērogam – 0,4 m).

Figure 5.32. Organogenic, rich in stromatoporoid remains, carbonate rock exposure part from Ape abandoned dolomite quarry (0,0 – 1,4 m; measuring tape length for scale – 0,4 m).

Kalamecu un Markuzu gravas atseguma karbonātieži ir veidojušies visai mainīgos apstākļos, gan ļoti seklas jūras apstākļos, kur sedimentāciju ietekmējusi viļņu darbība, gan arī dziļākās baseina daļās. Dažbrīd ir notikušas arī subaerālās atsegšanās epizodes. Šai fāciju asociācijai atbilst vairāki griezumā slāņi, kur konstatētas stromatoporu, brahiopodu atliekas (5. fācija un 6. fācija). Arī šeit stromatoporu, gliemežu un citu atlieku kopums liecina par normāla sāļuma seklas jūras apstākļiem (Garland, 1997). Šajā pētījumu objektā, slāņu, tai skaitā ciklu biezums pakāpeniski pieaug virzienā uz griezumā augšdaļu, kas liek domāt, par baseina pakāpenisku padziļināšanos, transgresiju.

Daudzkārt karbonātiezis Kalamecos, tā atsevišķos slāņos, ir ne tikai ar organismu atliekām un haotiskas uzbūves, bet tajā ir arī organismu ejas un vāji izsekojams slāņojums, kas liecina par visai mainīgiem sedimentācijas vides apstākļiem īsā laika posmā (5.27. attēls). Šajā

paraugā kavernas veidojušās, izšķīstot brahiopodu un gliemežu atliekām, kas bijušas pārskalotas. Paraugā vērojams, ka daļu tekstūru, tai skaitā, kārtojumu, šķērso racējorganismu pēdas – ejas.

Šai fāciju asociācijai pieder arī viendabīgs dolomīts ar daudzām nelielām, apaļām porām, kuru izmēri pārsvarā ir mazāki par 1–2 mm, kuras veidrojušās ooīdu šķīšanas vietās (5.27. attēls).

Pie karbonātiežiem ar organismu atliekām pieder arī stromatoporoīdu karbonātieži, kas veidojušies fotiskajā zonā ar siltu ūdeni, šie organismi un to klātbūtne liecina par normāla sāļuma, seklu jūru (Tosolini *et al.*, 2012) (5.33. attēls). Sakarā ar stromatoporu lielo daudzumu – koncentrāciju, domājams, šos dolomītus var pieskaitīt par organogēniem karbonātiežiem.



5.33. attēls. Organogēns, ar stromatoporu atliekām bagāts dolomīts (fācija F5) pamestajā Apes dolomīta karjerā (autora foto, 2016). Labajā pusē mērogs – 1 m.

Figure 5.33. Fossiliferous dolomite rich in stromatoporoid remains (facie F5) in abandoned Ape dolomite quarry (authors photo, 2016). Scale on the right side – 1 m.

Interpretācija:

Plašā organismu atlieku (gliemeži, brahiopodi, stromatoporas, reti koraļļi un jūras lilijas) norāda uz šīs fāciju asociācijas karbonātiežu veidošanos normāla sāļuma baseinā ar siltu ūdeni un iespējamu savienojumu ar pasaules okeānu (Tucker, Wright, 1990).

Šie karbonātieži veidojušies karbonātu platformas atklātajā, nenorobežotajā daļā, kur pārsvarā valdījis mierīgs līdz vidēji aktīvs hidrodinamiskais režīms. Tos tur var ietekmēt viļņu, vētru viļņu un plūdmaiņu darbība, kā arī citi faktori. Šos karbonātiežus var veidot gan organismi dabiskajā pozīcijā, gan arī uz zemūdens reljefa formu nogāzēm un/vai vētru ietekmē pārskalotas organismu atliekas un to detrits.

Šai fāciju asociācijai ļoti tipiskais organismu atlieku un detrita slāniskais izkārtojums norāda uz organismu atlieku pārskalošanu, kas bieži tiek interpretēts kā rifu vai karbonātisko nogulu pauguru pret jūru vērstās nogāzes pazīme (Shen *et al.*, 2008). Iespējams, ka organismu atlieku pārskalošana ir notikusi mazāku vētru ietekmē un šie nogulumi ir veidojušies kā šo notikumu slāņi starp vētru viļņu bāzi un viļņu bāzi normālos apstākļos (Gutteridge, 1989).

Stromatoporas ir bieži sastopamas devona karbonātiežos un tās ir tipiskas atklātas jūras, rifa kodola, kā arī tā priekšējās daļas (uz jūru vērstās) un aizmugurējās daļas (sauszemes virzienā vērstās) apstākļiem (Garland, 1997). Tās ir izplatītas arī plašākā apstākļu kopumā, taču vienmēr fotiskajā zonā, siltā ūdenī (Tosolini *et al.*, 2012). Dolomitizācijas procesu ietekme un citas pēcsedimentācijas izmaiņas neļauj pilnvērtīgi un precīzi novērtēt stromatoru formu un dažbrīd arī atrašanos dzīves pozīcijā, tomēr vismaz daļa šo organismu atlieku ir pārvietojusās – rotējušas. Visticamāk tas norāda uz karbonātu platformas pret jūru vērstās nogāzes apstākļiem.

Iespējamā brahiopodu un gliemežu klātbūtne nav pretrunā ar šiem datiem – šie organismi dzīvo un var tikt pārskaloti aktīvā hidrodinamiskajā režīmā (Flügel, 2004; Machel, Hunter, 1994; Garland, 1997).

Kopumā secināms, ka FA2 karbonātiežu sedimentācijas gaitā bijuši normāla sāļuma apstākļi (Tucker, Wright, 1990) un apakšējā plūdmaiņu zona (Pratt, 2010). Domājams, ka Vizulu un Īlaku ieža apkārtnē Pļaviņu Sēlijas laikposmā bijis lokāls pacēlums ar seku ūdeni (sēklis, paralēli vai subparalēli krasta līnijai) un labvēlīgiem apstākļiem ciānbaktēriju attīstībai, kā rezultātā veidojušies ooīdi, to sakopojumi. Bijis arī aktīvs hidrodinamiskais režīms un normāls ūdens sāļums. Savukārt konstatētais organismu detrits liecina par organismu atlieku pārskalošanu - bijušas aktīvāka hidrodinamiskā režīma epizodes. FA2 karbonātieži, atbilstoši Irvina (Irwin, 1965) klasifikācijai, atbilst Y un X zonām.

5.3.3. FA3 – vētru vai citu aktīvu notikumu ietekmēti karbonātieži.

Šīs fāciju asociācijas karbonātieži konstatēti reti, tikai pāris ģeoloģiskajos griezumos, galvenokārt pētījumu teritorijas ziemeļaustrumos, bet ar visizteiktākajām pazīmēm Īlaku iezi un Marinovas dolomīta atradnē. Pie šīs fāciju asociācijas pieder šādas fācijas – F8, F9 un F10. Marinovas dolomīta atradnes pašā augšdaļā (7. slāņa apakšdaļa) konstatēts konglomerāts (skatīt 5.34. attēlu), kas sastāv no šī paša slāņa kaļķakmeņu noapaļotiem atlūzu fragmentiem un domājams, ir veidojies vētras laikā un uzskatāms par vētru slāni - tempestītu (Nichols, 1999). Īlaku ieža griezuma vidusdaļā (3. slānis) konstatētas gliemežu un brahiopodu atliekas, kas izkārtotas izteikti haotiski, dažbrīd arī “ķēdītēs”, liecina par iespējamu organismu atlieku pārskalošanu augstas enerģijas apstākļos. Domājams, ka bijis ļoti aktīvs hidrodinamiskais režīms (Shen *et al.*, 2008). Kalamecu un Markuzu gravas atseguma vidusdaļā pētītie smilšainie dolomīti (7. slānis, 8. fācija) arī iedalīti pie šīs fāciju asociācijas, jo izceļas ar pārskalotām brahiopodu atliekām, kas iegulst starp diviem slāņiem, kuri iedalīti pie FA1.

Arī citos pētījumu objektos, dažādos intervālos, pētīti karbonātieži ar stipras viļņošanās vai nelielu vētru epizožu ietekmi uz tiem, tomēr tie nav iedalīti pie šīs fāciju asociācijas, jo pazīmes nav tik izteiktas un viennozīmīgas.



5.34. attēls. Konglomerāts Marinovas atradnes 7. slāņa apakšdaļā (foto: Ģ. Stinkulis, 2015). Gaiši brūnais konglomerāta veidojums redzams foto fiksācijas augšdaļā, labajā pusē mērogs – 30 cm.

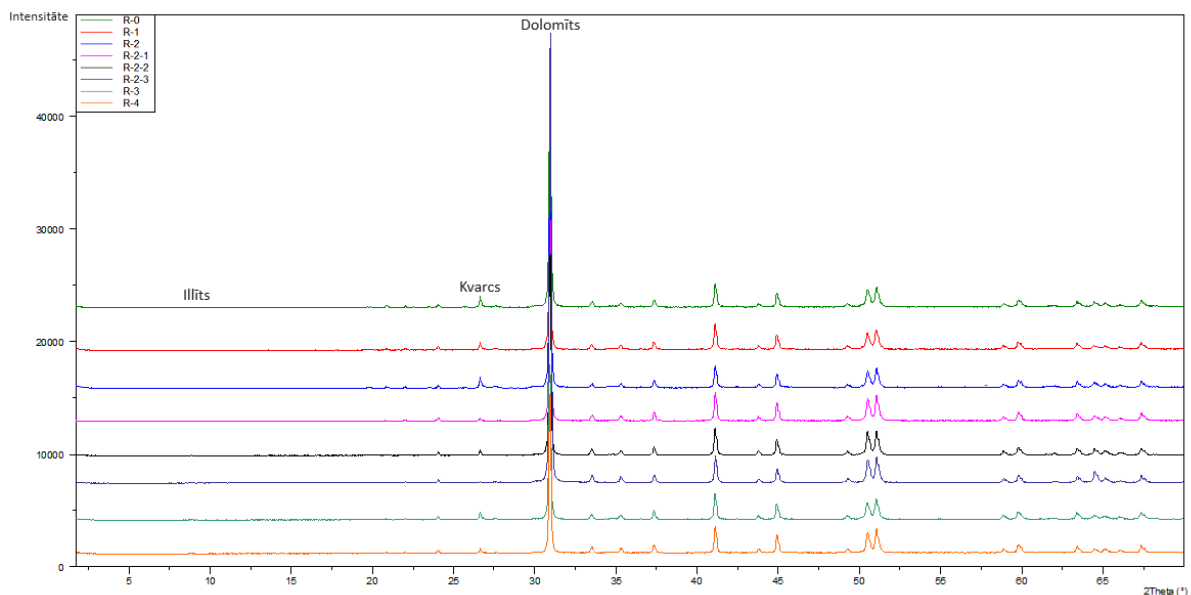
Figure 5.34. Conglomerate in lower part of layer 7 at Marina quarry (photo: Ģ. Stinkulis, 2015). Lightly brownish conglomerate rock is visible at uppermost part of photo, scale on the right side – 30 cm.

Interpretācija:

FA3 nogulumieži ir veidojušies augstas enerģijas notikumos. Šīs FA nozīmīgākā fācija ir F9 (karbonātieži ar litoklastiem). Šīs fācijas ieži un to tekstūras liecina par vētru darbību, iespējams, arī citiem augstas enerģijas notikumiem. Vētru ietekmi apliecina gan gradācijas slāņojums (3. slānis Īļaku ieži), gan arī tas, ka litoklasti uzguļ tieši uz izskalotas apakšējā slāņa virsmas.

5.4. Rentgendifraktometrijas (XRD) analīžu rezultāti un to interpretācija

Rentgendifraktometriskās analīzes rezultāti dolomītiem no Riežupes atsegumiem (5.35. attēls) liecina, ka, kā jau sagaidāms, dominē minerāls dolomīts ar nelielu kvarca un māla minerāla illīta piejaukumu. Kvarcs visticamāk pārstāv siliciklastisko materiālu – smilti vai aleirītu –, ko makroskopiski neizdevās konstatēt. Māla piejaukums, savukārt, tika novērots arī atsegumos. Vērojams arī, ka visi 8 analizētie paraugi no Riežupes abiem atsegumiem uzrāda ļoti līdzīgas kvantitatīvās līknes un nav vērojamas praktiski nekādas minerālu koncentrāciju izmaiņas.



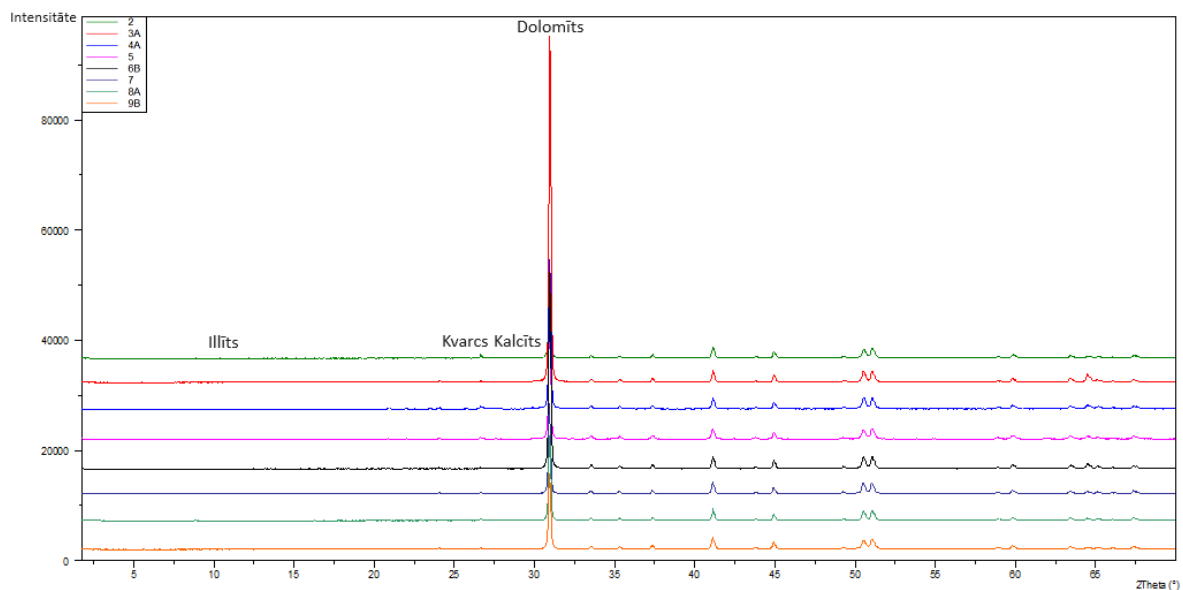
5.35. attēls. Rentgendifraktometrijas (XRD) analīžu apvienotais grafiks paraugiem no Riežupes atsegumiem. Minerālu nosaukumi pievienoti to galvenajiem (intensīvākajiem) atstarojumiem.

Figure 5.35. Combined X-ray diffraction analysis (XRD) graph for samples from Riežupe exposures. The mineral names mark the main (most intense) reflexes.

Karbonātiežu paraugu rentgendifraktometrijas analīžu rezultāti no Randātu klinšu atsegumiem (5.36. attēls) arī apliecina pieņēmumu, ka izteikti dominē dolomīts ar nelielu kvarca un kalcīta, kā arī nelielu māla minerāla (illīta) piejaukumu.

Kvarcs visticamāk ir saistīts ar siliciklastisko piejaukumu – smilti vai aleirītu. Illīts pārstāv māla piejaukumu, ko izdevās konstatēt arī makroskopiski atsegumā. Kalcīts visticamāk ir sekundārs, jo Randātu klintis neatrodas dolomitizēto kaļķakmeņu izplatības apgabalā (Brangulis u.c., 1998, Stinkulis, 1998).

Visi 8 analizētie karbonātiežu paraugi no Randātu klintīm uzrāda ļoti līdzīgas kvantitatīvās līknes un arī šajos paraugos, tāpat kā paraugos no Riežupes atsegumiem, nav novērojamas praktiski nekādas minerālu koncentrāciju izmaiņas.



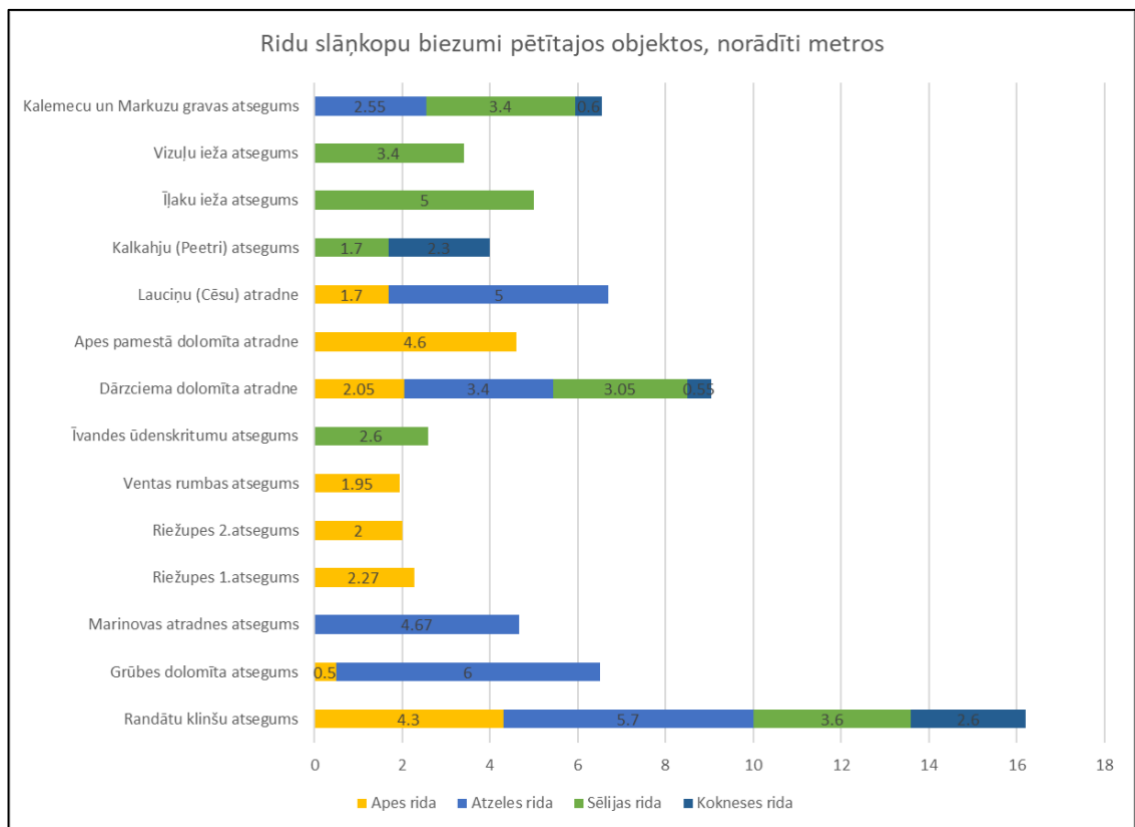
5.36. attēls. Rentģendifraktometrijas (XRD) analīžu apvienotais grafiks paraugiem no Randātu klinšu atseguma.

Figure 5.36. Combined X-ray diffraction analysis graph for samples from Randāti cliffs exposure.

Augstais dolomīta saturs rentģendifraktometrijas ainā sakrīt ar pētīto atsegumu un pieslīpņu pētījumu datiem par izteikti dominējošu dolomītu pētīto karbonātiežu slāņkopās. Kvarca piejaukums norāda uz siliciklastiskā materiāla klātbūtni, bet kalcīts apliecina sekundārās kalcitizācijas nelielu ietekmi uz pētītajiem karbonātiežiem (Azami *et al.*, 2021).

5.5. Fāciju un fāciju asociāciju izplatība Pļaviņu svītas ridās

Disertācijas autors veikto pētījumu gaitā, vadoties pēc tuvumā esošajiem ģeoloģiskajiem izpētes urbieniem (detalizēta informācija – 2. pielikumā un 3. pielikumā) un citu autoru pētījumiem (Hodireva, 1997, u.c.), veicis pētīto ģeoloģisko objektu piesaisti Pļaviņu svītas Kokneses, Sēlijas, Atzeles un Apes ridām (5.37. attēls). Zemāk aprakstīta katra no piesaistītajām ridām, vadoties pēc autora nodalītajām fācijām un to asociācijām. Pētījuma autors veicis arī savstarpējas korelācijas visiem pētītajiem ģeoloģiskajiem objektiem, pamatojoties uz nodalīto ridu robežām (5.46. attēls).



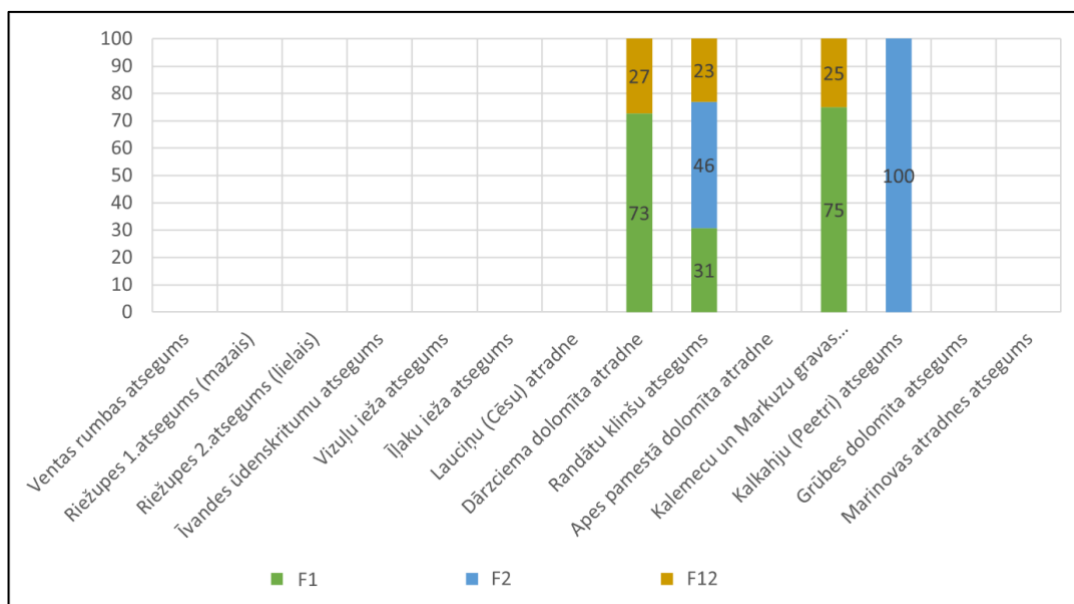
5.37. attēls. Karbonātiežu piederība Pļaviņu svītas ridām pētījumu objektos, slāņkopu biezumi norādīti metros.

Figure 5.37. Carbonate rock adherence to Pļaviņas regional stage for studied geological objects, bed thicknesses shown in meters.

5.5.1. Kokneses rida

Kokneses rida sastopama (skatīt 5.37. attēlu) Randātu klintīs aptuveni 9,5 metru biezumā. Tai gan izdevās aprakstīt tikai augšējo daļu 2,6 m biezumā, jo atseguma apakšdaļa ir klāta ar nobīrām. Kalkahju (Peetri) atseguma apakšdaļā tā ir pārstāvēta 2,3 metru biezumā, Dārzciema dolomīta atradnē, meliorācijas grāvī 0,55 metru biezumā, bet Kalamecu gravā 0,6 metru biezumā. Visos objektos ir ridas augšējā daļa, tādēļ iegūtie dati nesniedz informāciju par visu ridu.

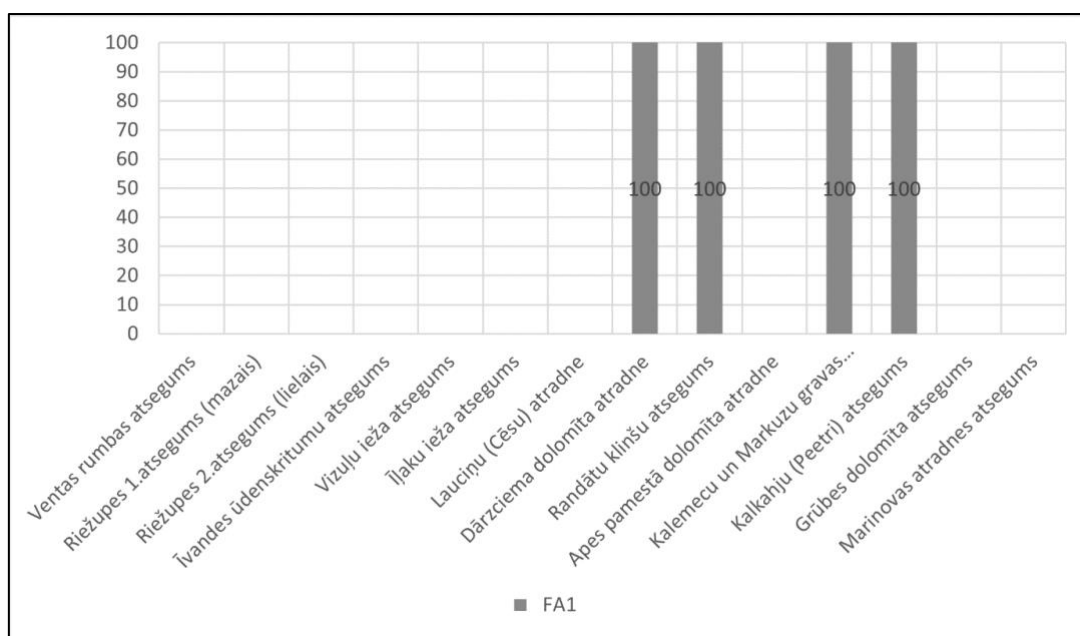
Kokneses rida ir pētīta mazākajā daļā objektu, kuri pie tam atrodas pētījumu teritorijas ziemeļaustrumu daļā (5.38. attēls). Tādēļ pēc iegūtajiem datiem nevar spriest par šo ridu visā biezumā, visā pētījumu teritorijā. Pētītajos objektos Kokneses ridas karbonātiežos pētījuma autors nodalījis trīs fācijās: F1 – karbonātieži ar viļņotu kārtojumu un viļņu ripsnojumu; F2 – karbonātieži ar regulāru un neregulāru kārtojumu; F12 – mālaini karbonātieži. Apskatot izveidoto diagrammu (5.38. attēls), secināms, ka dominē fācija F1 un fācija F2; Fācija F1 sastopama Dārzciema dolomīta atradnes atseguma apakšdaļā – 73% no pētītajiem Kokneses ridas karbonātiežiem, šajā pašā atsegumā sastopami arī mālaini karbonātieži, kas iedalīti kā fācija F12 – 27%. Randātu klintīs kopumā nodalītas trīs fācijas – fācija F1 sastopama 31% apmērā, fācija F2 46% apmērā, savukārt fācija F12 – 23%. Pētītajā Kalamecu un Markuzu gravas atsegumā dominē fācija F1 – 75%, vēl sastopami arī fācijas F12 karbonātieži – 25% apmērā. Kalkahju (Peetri) atseguma Kokneses ridas karbonātieži iedalīti tikai vienā fācijā – F2, attiecīgi 100% apmērā.



5.38. attēls. Nodalīto fāciju izplatība Kokneses ridas karbonātiežos, autora pētītajos objektos, dati norādīti procentos, kas noapaļoti līdz skaitļiem.

Figure 5.38. Distribution of distinguished facies within the Koknese Member carbonate rocks in geological objects studied by author, data presented as percentages, which are rounded up.

Analizējot iegūtos datus par nodalītajām Kokneses ridas fāciju asociācijām (5.39. attēls), konstatēts, ka visos pētītajos objektos, kur identificēti Kokneses ridas karbonātieži, pārstāvēta tikai pirmā fāciju asociācija – FA1 (vidējā līdz augšējā plūdmaiņu zona); visos pētījumu objektos 100% apmērā.



5.39. attēls. Nodalīto fāciju asociāciju izplatība Kokneses ridas karbonātiežos, autora pētītajos objektos, dati norādīti procentos, kas noapaļoti līdz skaitļiem.

Figure 5.39. Distribution of distinguished facies associations within the Koknese Member carbonate rocks in geological objects studied by author, data presented as percentages, which are rounded up.

Visus Kokneses ridas karbonātiežus vieno kārtainība, nereti arī cikliskums, kā arī viļņu ripsnojums, žūšanas plaisas, krietni retāk arī lietus lāšu nospiedumi. Tas liecina par to, ka Pļaviņu Kokneses laikposmā bijuši ļoti seklas jūras apstākļi ar subaerālās atsegšanās epizodēm. Vietām mālainajos un karbonātiski mālainajos nogulumiežos konstatētas arī halīta pseidomorfozes, kas apstiprina faktu par subaerālo atsegšanos un papildus tam norāda uz arīdu klimatu. Jāatzīmē, ka Kalamecu gravas atseguma pašā apakšdaļā, 1. slānī, noteiktas *Planolites* pēdu fosilijas, jeb ejas, kas apliecina sedimentāciju seklā jūrā, plūdmaiņu līdzenuma apstākļos (Pemberton, Frey, 1982).

Secināms, ka Kokneses laikposmā, pētījumu teritorijas ziemeļaustrumos bijuši vidējās līdz augšējās plūdmaiņu zonas apstākļi. FA1 fāciju asociācija atbilstoši Irvina nodalītajām ūdens vides enerģiju zonām (Irwin, 1965), atbilst autora nodalītajai Z zonai.

Par apstākļiem Kokneses ridas nogulumu veidošanās laikposmā pārējās pētījumu reģiona daļās neizdevās spriest attiecīgu objektu trūkuma dēļ.

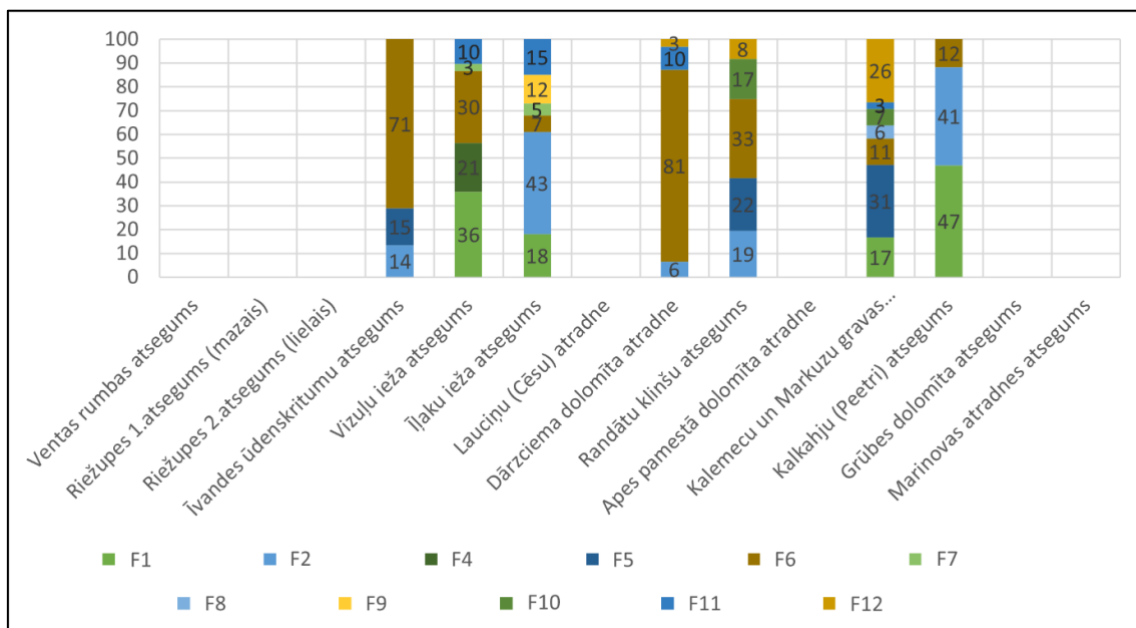
5.5.2. Sēlijas rida

Sēlijas rida pētīta Īvandes ūdenskritumu (skatīt 5.37. attēlu) atsegumā (pilns atseguma griezumš, ap 2,6 metru augstumā), Vizūļu iezī (pilns atseguma griezumš, ap 3,4 metru augstumā), Īļaku iezī (pilns atseguma griezumš, aptuveni 5,0 metru augstumā), Dārziema dolomīta atradnes atsegumā (atseguma griezuma apakšējā daļa, no 0,55 metru augstuma līdz aptuveni 3,55 metru augstumam – aptuveni 3,0 metru biezumā), Randātu klintīs (atseguma griezuma apakšējā daļā, no 9,4 metru augstuma līdz 13,0 metru augstumam – 3,6 metru biezumā), Kalamecu un Markuzu gravas atsegumā (atseguma griezuma apakšējā daļā, no 0,6 metru augstuma līdz 4,0 metru augstumam – 3,4 metru biezumā), Kalkahju (Peetri) atsegumā (atseguma griezuma augšdaļa, 1,7 metru biezumā).

Sēlijas ridas karbonātieži iedalīti kopumā vienpadsmit fācijās (F1 – karbonātieži ar viļņotu kārtojumu un viļņu ripsnojumu, F2 – karbonātieži ar regulāru un neregulāru kārtojumu, F4 – karbonātieži ar organismu detritu, F5 – stromatoporu karbonātieži, F6 – karbonātieži ar dažādām organismu atliekām un bioturbāciju, F7 – ooīdu karbonātieži, F8 – karbonātieži ar klastiskā materiāla un dolomīta miju, F9 – karbonātieži no dažāda izmēra un noapaļotības litoklastiem, F10 – brekcijoti karbonātieži, F11 – karbonātieži ar mālainu nogulumu starpkārtām un F12 – mālaini karbonātieži). Šīs vienpadsmit fācijas iedalītas trīs fāciju asociācijās - FA1 – vidējā līdz augšējā plūdmaiņu zona, FA2 – sekla, normāla sāļuma jūra, FA3 – vētru vai citu aktīvu notikumu ietekmēti karbonātieži.

Sēlijas rida ir pārstāvēta gan pētījumu teritorijas rietumos, gan arī centrālajā daļā un ziemeļaustrumos esošajos pētītajos ģeoloģiskajos objektos.

Apskatot izveidoto diagrammu (5.40. attēls), secināms, ka Sēlijas laikposmā visā pētījumu teritorijā bijuši mainīgi sedimentācijas apstākļi. Īvandes ūdenskritumu atsegumā sastopama fācija F2 – 14%; fācija F5 – 15 %; kā arī fācija F6 – 71% apmērā. Vizūļu iezī izplatītas kopumā piecas fācijas. Fācija F1 konstatēta 36% apmērā; fācija F4 – 21%; fācija F6 – 30%; fācija F7 – 3%, savukārt fācija F11 – 10% apmērā. Īļaku iezī fācija F1 nodalīta 18% karbonātiežu; fācija F2 – 43%, fācija F6 - 7 %, fācija F7 – 5%, fācija F9 – 12%, savukārt fācija F11 – 15 % gadījumu. Dārziema dolomīta atradnes atsegumā izteikti dominē fācija F6 ar 81%; fācija F2 sastopama 6% gadījumu, fācija F11 – 10%, savukārt fācija F12 – 3%. Randātu klintīs fācija F2 sastopama 19%; fācija F5 – 22%, fācija F6 – 33%, fācija F10 – 17% gadījumu, savukārt fācija F12 – 8% gadījumu. Kalamecu un Markuzu gravas atsegumā fācija F2 pārstāvēta 17% gadījumu, fācija F5 – 31%, fācija F6 – 11%, fācija F8 – 6%, fācija F10 – 7%, fācija F11 – 3% gadījumu, savukārt fācija F12 – 26%. Kalkahju (Peetri) atsegumā dominē fācijas F1 karbonātieži ar 47%; fācija F2 sastopama 41% gadījumu, savukārt fācija F6 – 12%.



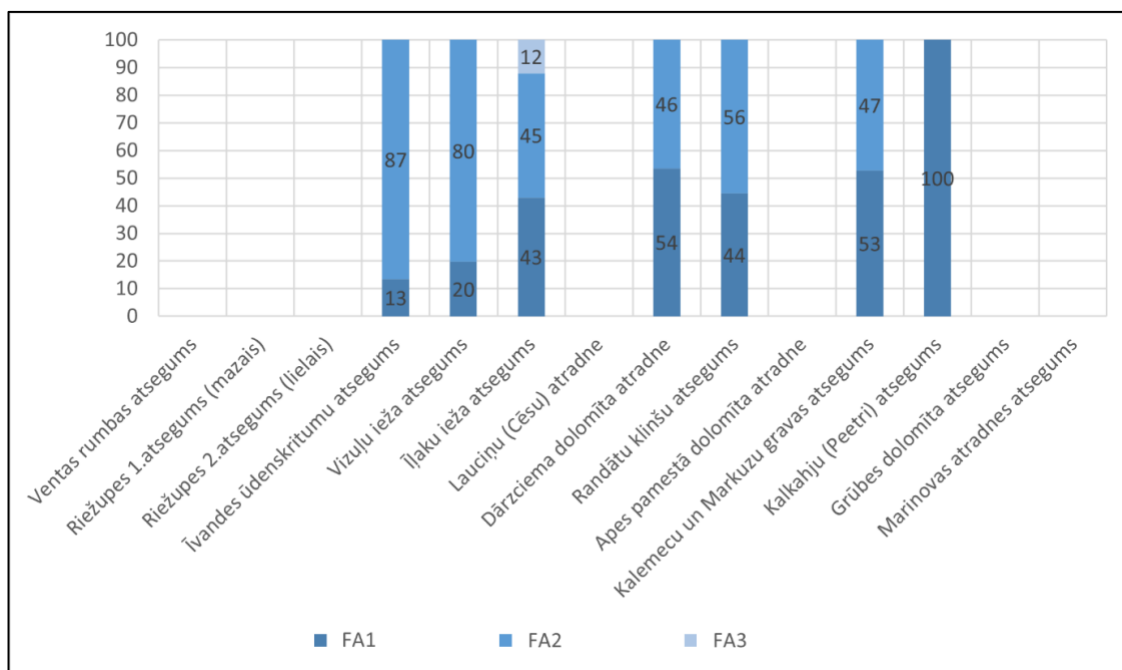
5.40. attēls. Nodalīto fāciju izplatība Sēlijas ridas karbonātiežos, autora pētītajos objektos, dati norādīti procentos, kas noapaļoti līdz skaitļiem.

Figure 5.40. Distribution of distinguished facies within the Sēlija Member carbonate rocks in geological objects studied by author, data presented as percentages, which are rounded up.

Analizējot iegūtos datus par nodalītajām Sēlijas ridas fāciju asociācijām (5.41. attēls), konstatēts, ka virzienā uz pētījumu teritorijas ziemeļaustrumiem palielinās fāciju asociācijas FA1 izplatība, savukārt fāciju asociācijas FA2 – virzienā uz rietumiem. Īvandes ūdenskritumu atsegumā dominē FA2 ar 87%, bet FA1 iedalīta 13%. Vizuļu iežā arī dominē FA2 – 80% gadījumu, FA1 – 20%. Īļaku iežā FA1 un FA2 izplatīta līdzīgi, attiecīgi 43% un 45%, bet FA3 iedalīta 12% gadījumu. Dārziema dolomīta atradnē FA1 ir 54%, bet FA2 – 46%. Randātu klintīs FA1 iedalīta 44% gadījumos, FA2 – 56%. Kalamecu un Markuzu gravas atsegumā proporcijas ir līdzīgas, kā Randātos – FA1 konstatēta 53%, FA2 – 47%. Kalkahju (Peetri) atsegumā visas sastopamās fācijas iedalītas kā FA1 – 100% šīs fāciju asociācijas dominānce.

Dažos no pētījumu objektiem, kur konstatēta fāciju asociācija FA3, galvenokārt pētījumu teritorijas centrālajos rajonos, var klasificēt, kā Y zonu, atbilstoši Irvina klasifikācijai (Irwin, 1965). Atbilstoši šai klasifikācijai, rietumu virzienā bijusi X zona, savukārt ziemeļaustrumu virzienā – Z zona, ko apstiprina fāciju asociācijas FA1 dominānce Kalkahju (Peetri) atsegumā, Igaunijas dienvidaustrumos.

Sēlijas ridas karbonātiežos (kur pārstāvēts pilns ridas griezum – Dārziema dolomīta atradne, Randātu klintis, Kalamecu un Markuzu gravas atsegums) vieno tas, ka rida iesākas ar masīvu, vidēji līdz biezi plātņainu dolomītu, kuram vietām ir bioturbācijas pazīmes, Randātos sastop arī kavernas un stromatoporu atliekas (arī slāņa biezums te ir aptuveni 1,5 metri).



5.41. attēls. Nodalīto fāciju asociāciju izplatība Sēlijas ridas karbonātiežos, autora pētītajos objektos, dati norādīti procentos, kas noapaļoti līdz skaitļiem.

Figure 5.41. Distribution of distinguished facies associations within the Sēlija Member carbonate rocks in geological objects studied by author, data presented as percentages, which are rounded up.

Kopumā Sēlijas laikposmā sedimentācijas apstākļi Baltijas paleobaseinā bijuši mainīgi. Vizuļu un Īļaku iežos Sēlijas rida iesākas ar biežām dolomīta plātnēm, kuras atdala māla starpslāņi – sedimentācijas apstākļi bijuši mainīgi. Pēc tam kavernozius karbonātiežus visos ģeoloģiskajos objektos, kur sastopama Sēlijas rida, nomaina ar organismu atliekām bagāti un sīkplātņaini karbonātieži (dažviet arī laminīti), vietām ar viļņu ripsnojumu un organismu ejām, žūšanas plaisām. Secināts, ka Randātu klinšu apkārtnē Sēlijas laikposma sākumā bijis dziļāks ūdens baseins, savukārt pārējā Sēlijas laikposma baseina daļa bijusi izteikti sekla jūra, kuru periodiski ietekmējušas vētras un plūdmaiņu procesi. Jāatzīmē, ka Kalamecu un Markuzu gravā Sēlijas ridā novērots cikliskums – konstatēti 0,4–1,6 m biezuma cikli, kas varētu liecināt par sezonālām izmaiņām sedimentācijā un pat plūdmaiņu ietekmi. Ciklu biezums palielinās virzienā uz augšu – notikusi pakāpeniska baseina padziļināšanās, jeb transgresija. Pārējos pētījuma objektos, kur konstatēta Sēlijas rida, šādas pazīmes netika novērotas. Sēlijas ridas kopējais biezums palielinās virzienā uz pētījumu teritorijas rietumiem, kas norāda uz to, ka, domājams, arī baseina dziļums pieaudzis šajā virzienā. Tas savukārt apstiprina autora hipotēzi par to, ka pētījuma teritorijas ziemeļaustrumos bijusi epikontinentālas jūras Z zona. Svarīgi atzīmēt arī Kalkahju (Peetri) atseguma pašā augšdaļā un Dārziema dolomīta atradnes atseguma Sēlijas ridas augšdaļā (4. slānis un 5. slānis) noteiktās *Planolites* pēdu fosilijas, kas apstiprina karbonātisko nogulu sedimentāciju sekla jūras apstākļos un, iespējams, pat plūdmaiņu līdzenumos.

Jāsecina, ka Sēlijas laikposmā pētījumu teritorijas ziemeļaustrumos dominēja vidējās līdz augšējās plūdmaiņu zonas apstākļi (FA1 šajā darbā; Z zona pēc Irwin, 1956), savukārt rietumu virzienā nedaudz pieaudzis jūras dziļums, par ko liecina gan mālaino karbonātiežu izplatības pieaugums rietumu virzienā, gan arī organismu atlieku apjoma pieaugums (FA2 šajā darbā; X zona pēc Irwin, 1956).

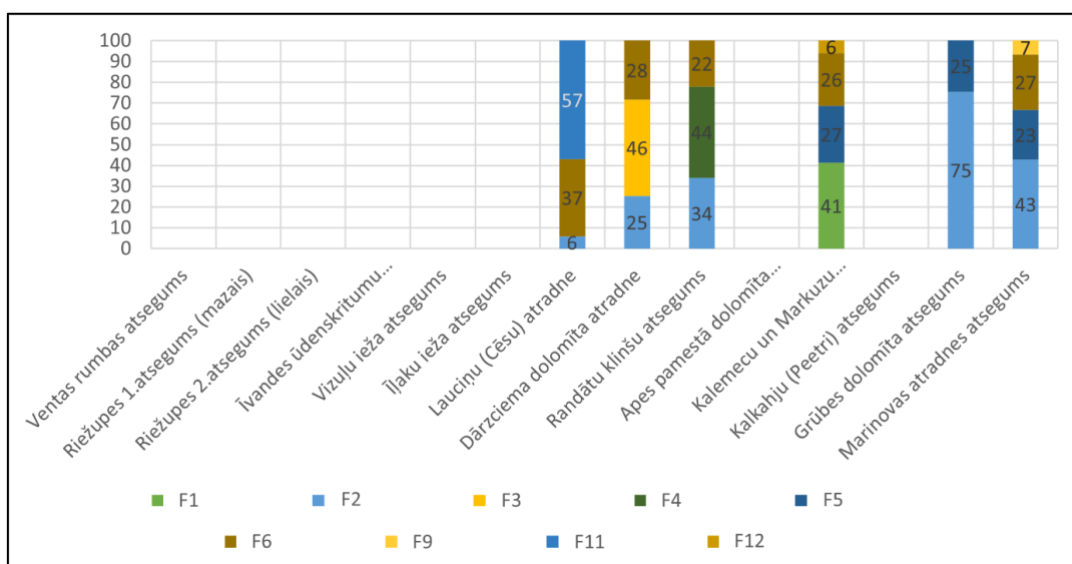
5.5.3. Atzeles rida

Atzeles rida pētīta Lauciņu (Cēsu) dolomīta atradnē (skatīt 5.37. attēlu) (slāņa apakšdaļa, aptuveni 5,0 metru biezumā), Dārzciema dolomīta atradnē (no 3,55 metru augstuma līdz 6,95 metru augstumam – 3,4 metru biezumā), Randātu klintīs (no 13,0 metru augstuma līdz 18,7 m augstumam – 5,7 metru biezumā), Kalamecu un Markuzu gravas atsegumā (atseguma augšējā daļa, no 4,0 metru augstuma līdz pašai atseguma augšai, 6,55 metru augstuma – kopā 2,55 metru biezumā), Grūbes dolomīta atsegumā (no 0,0 metru augstuma līdz 6,0 metru augstumam – 6,0 metru biezumā), Marinovas dolomīta atradnes atsegumā (no 0,0 metru augstuma līdz 4,67 metru augstumam – 4,67 metru biezumā).

Atzeles rida šajā darbā ir raksturota galvenokārt pētītās teritorijas ziemeļaustrumu daļā esošajos objektos, jo citos pētītajos griezumos tā nav pārstāvēta (atsegta).

Atzeles ridas karbonātieži iedalīti kopumā deviņās fācijās (F1 – karbonātieži ar viļņotu kārtojumu un viļņu ripsnojumu, F2 – karbonātieži ar regulāru un neregulāru kārtojumu, F3 – karbonātieži ar traucētu kārtojumu, F4 – karbonātieži ar organismu detritu, F5 – stromatoporu karbonātieži, F6 – karbonātieži ar dažādām organismu atliekām un bioturbāciju, F9 – karbonātieži no dažāda izmēra, noapaļotības litoklastiem, F11 – karbonātieži ar mālainu nogulumu starpkārtām un F12 – mālaini karbonātieži), kā arī trīs fāciju asociācijās - FA1 – vidējā līdz augšējā plūdmaiņu zona, FA2 – sekla, normāla sāļuma jūra, FA3 – vētru vai citu aktīvu notikumu ietekmēti karbonātieži.

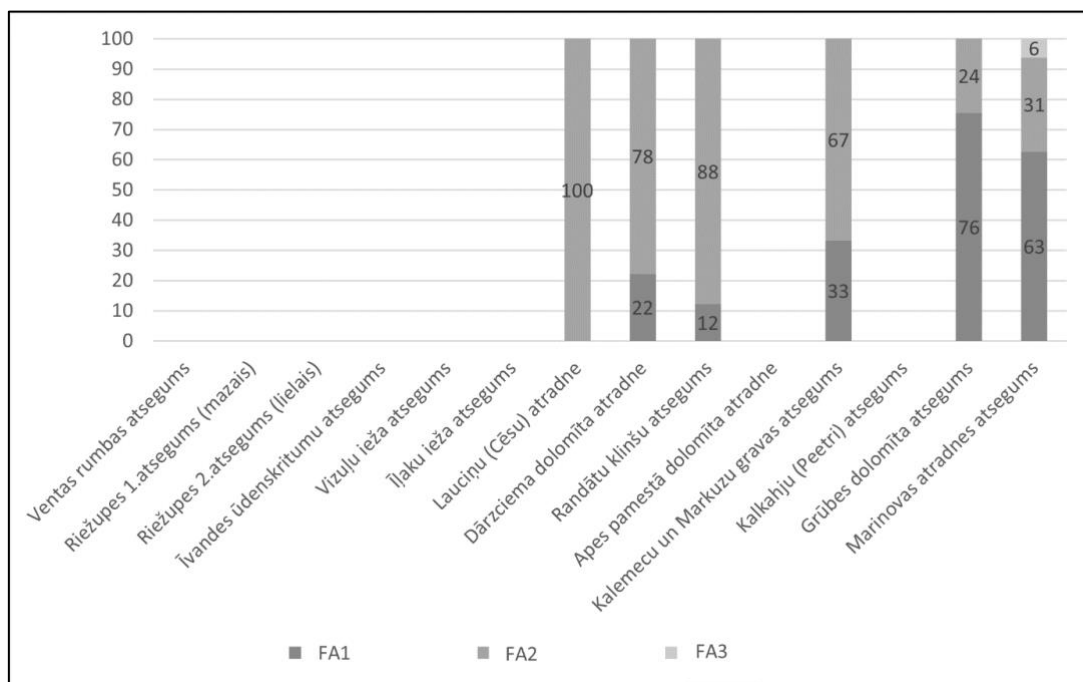
Analizējot datus par fāciju izplatību Atzeles ridā (5.42. attēls), noskaidrots, ka pētījumu teritorijā bijuši mainīgi sedimentācijas procesi. Lauciņu (Cēsu) dolomīta atradnes atsegumā dominē fācija F11 ar 57 %; fācija F6 konstatēta 37% gadījumu, savukārt fācija F2 – 6%. Dārzciema dolomīta atradnes atsegumā fācija F2 iedalīta 25 % gadījumu, fācija F3 – 46%, bet fācija F6 – 28%. Randātu klintīs fācija F2 konstatēta 34%, fācija F4 – 44%, savukārt fācija F6 – 22% gadījumu. Kalamecu un Markuzu gravas atsegumā dominē fācija F1 – 41%, fācija F5 – 27% gadījumu, fācija F6 – 26% un fācija F12 – 6%. Grūbes dolomīta atsegumā ar 75 % dominē fācija F2, savukārt fācija F5 izplatīta 25% gadījumu. Marinovas atradnes atsegumā fācija F2 sastopama 43%, fācija F5 – 23%, fācija F6 – 27%, bet fācija F9 – 7%.



5.42. attēls. Nodalīto fāciju izplatība Atzeles ridas karbonātiežos, autora pētītajos objektos, dati norādīti procentos, kas noapaļoti līdz skaitļiem.

Figure 5.42. Distribution of distinguished facies within the Atzele Member carbonate rocks in geological objects studied by author, data presented as percentages, which are rounded up.

Nodalītās fāciju asociācijas Atzeles ridā (5.43. attēls) norāda uz to, ka rietumu virzienā bijusi aktīvāka sedimentācijas vide (FA2), savukārt, virzienā uz ziemeļaustrumiem bija mierīgāki apstākļi un seklāks ūdens (FA1). Laučiņu (Cēsu) dolomīta atradnes atseguma visas fācijas un tur pētītie karbonāti iedalīti kā FA2 – 100% pārstāvība. Dārzciema dolomīta atradnē FA1 konstatēta 22% gadījumu, savukārt FA2 – 78%. Randātu klintīs FA1 iedalīta 12%, bet FA2 – 88%. Kalamecu un Markuzu gravas atsegumā FA1 konstatēta 33% gadījumu, savukārt FA2 – 67%. Grūbes dolomīta atsegumā dominē FA1 ar 76%, FA2 pētīta tikai 24% gadījumu. Marinovas atradnes atsegumā FA1 konstatēta 63%, FA2 – 31%, kā arī 6% karbonātiņu fāciju iedalītas pie FA3. Autors konstatējis, ka, līdzīgi, kā Sēlijas laikposmā, virzienā uz ziemeļaustrumiem bijusi karbonātu platformas Z zona, savukārt rietumu virzienā bijusi X zona. FA3 nelielā izplatība Marinovā norāda uz vētru epizodēm.



5.43. attēls. Nodalīto fāciju asociāciju izplatība Atzeles ridas karbonātiņos, autora pētītajos objektos, dati norādīti procentos, kas noapaļoti līdz skaitļiem.

Figure 5.43. Distribution of distinguished facies associations within the Atzele Member carbonate rocks in geological objects studied by author, data presented as percentages, which are rounded up.

Baseina dziļums Atzeles laikposmā laterāli bijis mainīgs, tomēr vēl joprojām notikusi lēna baseina transgresija, kas iesākās jau Sēlijas laikposmā. Dārzciema dolomīta atradnes atsegumā Atzeles ridā novērots cikliskums (ciklu biežums pieaug virzienā uz atseguma augšdaļu), kas liecina par ūdens līmeņa celšanos baseinā. Jāatzīmē, ka Dārzciema atradnes apkārtnē Atzeles laikposmā pēc autora domām bijusi izteikti sekla jūra (kur karbonātiskajās nogulās mituši un ejas veidojuši racējorganismi, to apstiprina vairākos atseguma slāņos (6. slānis un 9. slānis) noteiktās *Planolites* pēdas). Atzeles laikposma noslēgumā baseins atkal bijis seklāks un to periodiski ietekmējusi viļņu darbība, par ko liecina vietām pārskalots organismu detrits un viļņu ripsnojums. Domājams, ka baseins vēl joprojām bija dziļāks pētījumu teritorijas rietumu daļā, tas pakāpeniski arī padziļinājies jūras līmeņa celšanās rezultātā. Virzienā uz ziemeļaustrumiem baseina dziļums bijis mazāks, par ko liecina kārtojums, izteiktas laminātu daudzums, kā arī vietām konstatētas žūšanas plaisas. Bieži konstatēti arī organismu detrits un pārskalotas organismu atliekas, kas izkārtotas “ķēdītēs” – tas liecina par aktīvu hidrodinamisko vidi. Konstatēts, ka pētījumu teritorijas ziemeļaustrumu daļā sedimentācija galvenokārt

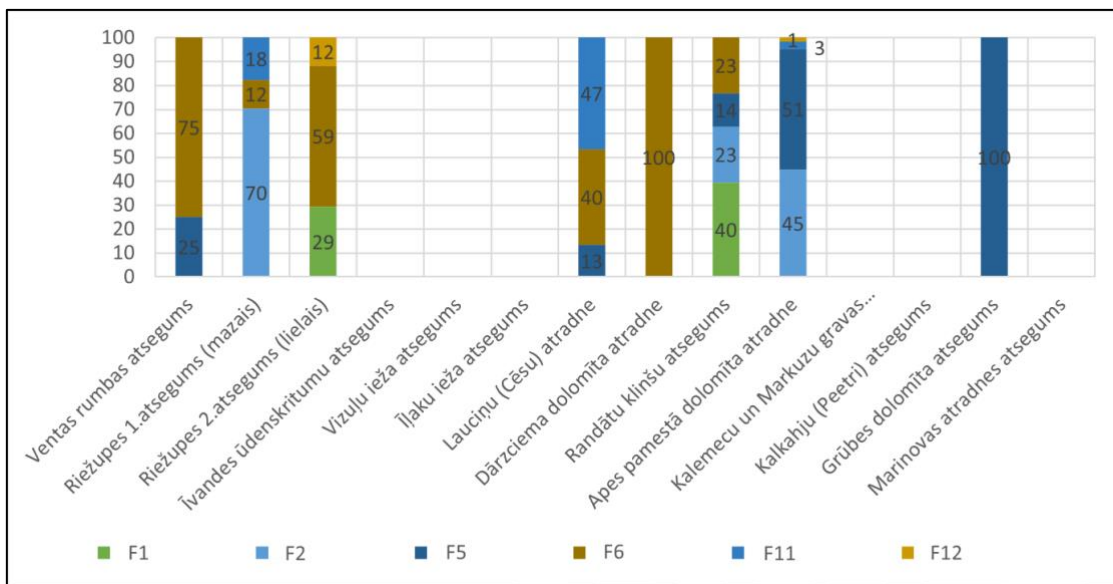
norisinājusies plūdmaiņu līdzenumos. Marinovas atradnes atseguma vidusdaļā sastopamais “apīta” tipa dolomīts liecina par dolomīta pārkristalizēšanos. Iespējams, ka tas šajā gadījumā ir noticis Atzeles laikposma gaitā, pirms nākamā karbonātisko nogulu slāņa veidošanās. Savukārt, vietām konstatētais zaļganais krāsojums (glaukonīta klātbūtne?) varētu norādīt uz mazu sedimentācijas ātrumu. Jāatzīmē arī konglomerāts (aptuveni 30 cm biezumā, vienmērīgas uzbūves) Marinovas griezuma augšdaļā, kas liek domāt par kādas spēcīgākas vērtras ietekmi Atzeles laikposma nobeiguma fazē, tieši pētījumu teritorijas ziemeļaustrumu daļā. Kopumā pētījumu teritorijas ziemeļaustrumi atbilst Z zonai, tomēr jāņem vērā, ka Marinovas atradnes apkārtnē šajā laikposmā bijis rifs ar bagātīgi izplatītiem, daudzveidīgiem bezmugurkaulniekiem - stromatoporām, brahiopodiem, gliemežiem, koraļļiem un jūras lilijām, kurš atradies nodalītajā Y zonā (2.1. attēls). To ietekmēja arī augstas enerģijas notikumi, kā rezultātā karbonātiežiem ar fosilijām Marinovas atradnē uzguļ karbonātisks konglomerāts (vētru slānis – tempestīts).

5.5.4. Apes rida

Apes rida sastopama Ventas rumbas (skatīt 5.37. attēlu) atsegumā (viss atsegums, pilns tā griezumā 1,95 metru biezumā), abos Riežupes klinšu (abi pilni atsegumu griezumā, 2,27 metru un 2,0 metru biezumā), Lauciņu (Cēsu) dolomīta atradnes atsegumā (atseguma augšējā daļa, no 5,0 līdz 6,7 metru augstumam – 1,7 metru biezumā), Dārziema dolomīta atradnes atsegumā (no 6,95 metru līdz 9,0 metru augstumam – 2,05 metru biezumā), Randātu klintīs (no 18,7 metru līdz 23,0 metru augstumam – 4,3 metru biezumā), Apes pamestās dolomīta atradnes atsegumā (pilns atseguma griezumā, 4,64 metru biezumā) un Grūbes dolomīta atsegumā (pati atseguma augšdaļa, no 6,0 metru līdz 6,5 metru augstumam – 0,5 metru biezumā).

Apes ridas karbonātieži pārstāv sešas no Pļaviņu svītā nodalītajām fācijām (F1 – karbonātieži ar viļņotu kārtojumu un viļņu ripsnojumu, F2 – karbonātieži ar regulāru un neregulāru kārtojumu, F5 – stromatoporu karbonātieži, F6 – karbonātieži ar dažādām organismu atliekām un bioturbāciju, F11 – karbonātieži ar mālainu nogulumu starpkārtām un F12 – mālaini karbonātieži), kā arī divās fāciju asociācijās (FA1 – vidējā līdz augšējā plūdmaiņu zona, FA2 – sekla, normāla sāļuma jūra).

Apes rida ir izplatīta gan pētījumu teritorijas rietumu daļā, gan arī ziemeļaustrumos pētītajos objektos (5.44. attēls). Ventas rumbas atsegumā, kur pārstāvēta tikai Apes rida, dominē fācija F6 ar 75 %, bet fācija F5 konstatēta 25% gadījumā. Riežupes mazajā atsegumā dominē fācija F2 ar 70%; fācija F6 – 12% gadījumā, bet fācija F11 – 18%. Riežupes lielajā atsegumā dominē fācija F6 ar 59%, fācija F1 sastopama 29%, savukārt fācija F12 – 12% gadījumā. Lauciņu (Cēsu) dolomīta atradnes atsegumā sastopamas trīs fācijas: fācija F5 – 13%, fācija F6 – 40% gadījumā un fācija F11 – 47%. Dārziema dolomīta atradnē visi Apes ridas karbonātieži iedalīti pie fācijas F6. Jāņem gan vērā, ka Dārziema dolomīta atradnē pētīta tikai pati Apes ridas apakšdaļa, aptuveni 2 metru biezumā. Randātu klintīs sastopami kopumā četru fāciju karbonātieži; fācija F1 – 40% gadījumā, fācija F2 – 23%, fācija F5 – 14% un fācija F6 – 23%. Apes pamestās dolomīta atradnes atsegumā dominē fācija F5 ar 51%, fācija F2 – 45% gadījumā, savukārt fācijas F11 un F12, attiecīgi – 2% un 1%. Visbeidzot Grūbes dolomīta atsegumā ar 100% dominē fācija F5.

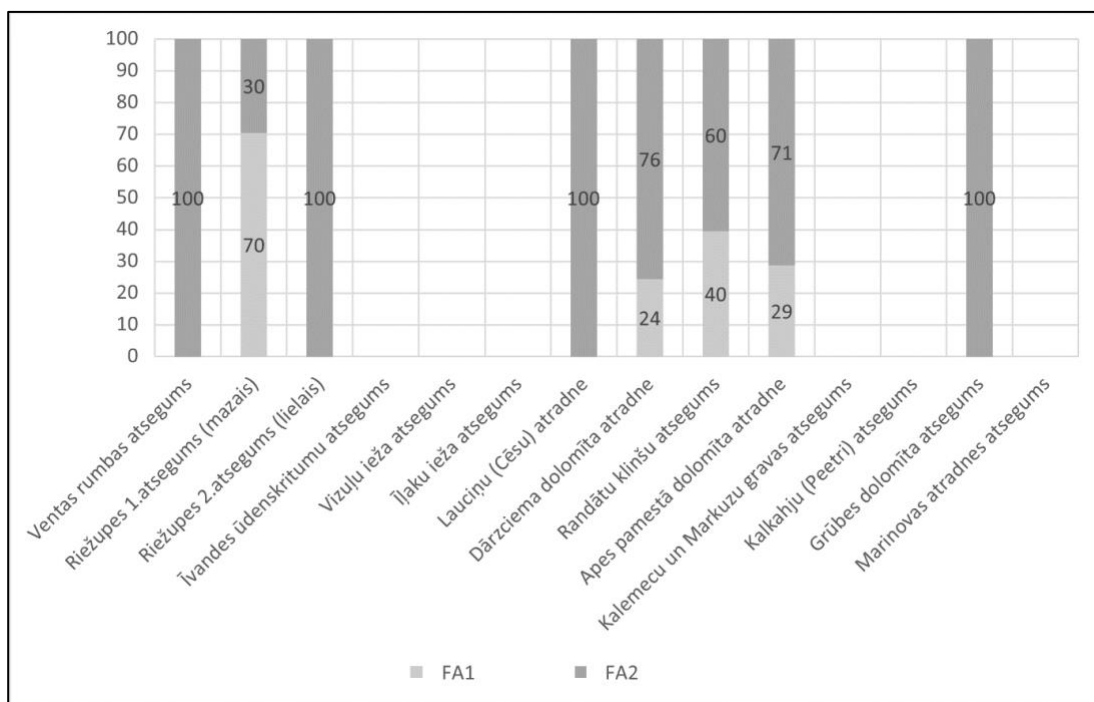


5.44. attēls. Nodalīto fāciju izplatība Apes ridas karbonātiēžos, autora pētītajos objektos, dati norādīti procentos, kas noapaļoti līdz skaitļiem.

Figure 5.44. Distribution of distinguished facies within the Ape Member carbonate rocks in geological objects studied by author, data presented as percentages, which are rounded up.

Arī nodalītās Apes ridas fāciju asociācijas (5.45. attēls) norāda uz karbonātu sedimentāciju seklas jūras apstākļos. Tomēr Apes ridas gadījumā, fāciju asociācija FA1 ir izplatīta gan daļā Riežupes mazā atseguma, kas atrodas pētījumu teritorijas rietumos, gan arī vairākos atsegumos pētījumu teritorijas ziemeļaustrumu daļā. FA2 izplatīta gan rietumu daļā, gan arī pētījumu teritorijas ziemeļaustrumos. Raksturīga izteikta vides mainība ne tikai laikā, bet arī laterāli, kā arī cikliskums. Ventas rumbas atseguma karbonātiēžu fācijas iedalītas kā FA2 un pārstāv visus 100 %. Riežupes mazajā atsegumā dominē FA1 ar 70%; FA2 konstatēta 30% gadījumā. Riežupes lielā atseguma visas trīs fācijas iedalītas kā FA2 ar 100% pārstāvību. Tāda pat situācija ir arī Laučiņu (Cēsu) dolomīta atradnē (FA2 – 100%). Dārzcieda dolomīta atradnē FA1 iedalīta 24% gadījumu un FA2 – 76%. Randātu klinītīs iedalīta FA1 – 40% un FA2 – 60 %. Apes pamestās dolomīta atradnes atseguma karbonātiēžu fācijas iedalītas FA1 ar 29%, bet FA2 konstatēta 71% gadījumu. Grūbes dolomīta atseguma visas karbonātiēžu fācijas iedalītas kā FA2 (FA2 – 100 %).

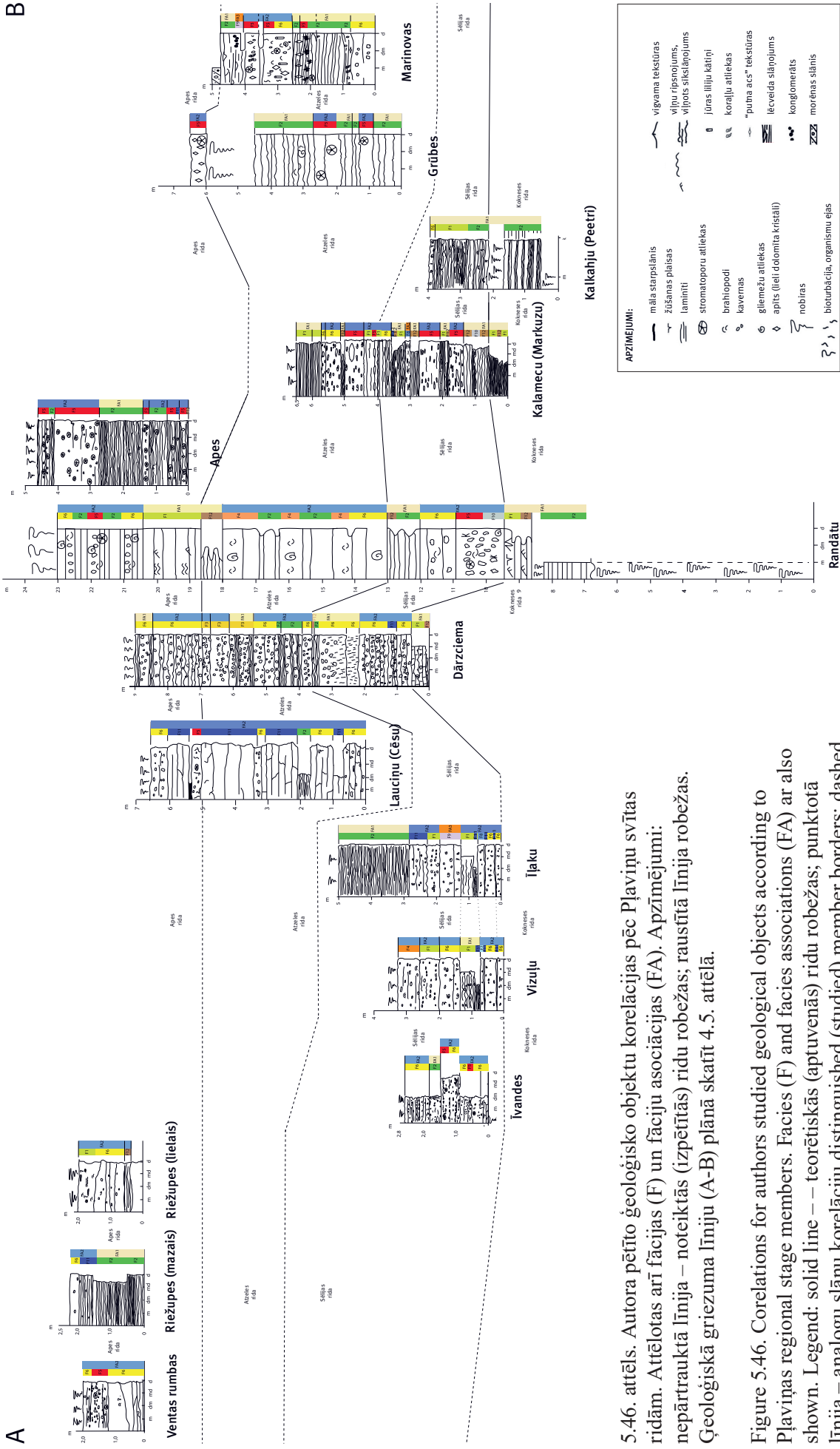
Izteiktā FA2 izplatība liecina par to, ka visā pētītajā teritorijā Apes laikposmā bijuši stabilāki seklas jūras apstākļi nekā tas ir bijis iepriekš – Sēlijas un Atzeles laikposmos. Šajos iepriekšējos laikposmos bija gan sekls, gan ļoti sekls ūdens.



5.45. attēls. Nodalīto fāciju asociāciju izplatība Apes ridas karbonātiežos, autora pētītajos objektos, dati norādīti procentos, kas noapaļoti līdz skaitļiem.

Figure 5.45. Distribution of distinguished facies associations within the Ape Member carbonate rocks in geological objects studied by author, data presented as percentages, which are rounded up.

Secināms, ka Pļaviņu Apes laikposmā bijuši kopumā mierīgi, seklas jūras apstākļi, tomēr pētījumu teritorijā Apes ridas karbonātieži nevienā ģeoloģiskajā objektā nav atsegti pilnā biezumā, kas neļauj pilnvērtīgi raksturot sedimentācijas apstākļus visā Apes laikposmā. Randātu klintīs Apes ridas karbonātiežos novērojamas cikliskuma pazīmes, tomēr ciklu biezumus un to mainīgumu nav iespējams viennozīmīgi noteikt. Pēc Apes ridas karbonātiežos sastopamo laminītu daudzuma visu pētīto atsegumu griezumā apakšdaļā un pakāpenisku slāņu biezuma pieaugumu, secināms, ka Apes laikposms iesācies ar seklas jūras apstākļiem, pēc tam turpinājusies neliela ūdens līmeņa celšanās, kur labvēlīgos apstākļos mitušas stromatoporas un citi organismi. Grūbes atseguma augšdaļā konstatēts “apīta” tipa dolomīts, kas apstiprina pēdsedimentācijas procesu ietekmi uz šīs slāņkopas augšējo daļu. Par “apītu” izcelsmi ir dažādi viedokļi (Brangulis u.c., 1998), bet šis jautājums netika risināts promocijas darba izstrādes laikā.



5.46. attēls. Autora pētīto ģeoloģisko objektu korelācijas pēc Pļaviņu svītas rīdām. Attēlotas arī fācijs (F) un fāciju asociācijas (FA). Apzīmējumi: nepārtrauktā līnija – noteiktās (izpētītās) rīdu robežas; raustītā līnija robežas. Ģeoloģiskā griezumā līniju (A-B) plānā skatīt 4.5. attēlā.

Figure 5.46. Correlations for authors studied geological objects according to Pļaviņas regional stage members. Facies (F) and facies associations (FA) are also shown. Legend: solid line – theoretical (approximate) member borders; dashed line – theoretical (approximate) member borders; dotted line – correlation borders for analogue layers. See geological cross-section line (A-B) in Figure 4.5.

5.6. Rentgenfluorescences spektroskopijas (XRF) analīžu rezultāti un to interpretācija

Pēc rentgenfluorescences spektroskopijas (XRF) rezultātu iegūšanas 7 dolomīta paraugiem no Īļaku ieža, tie tika apvienoti divās tabulās. 9. tabulā sniegtas retāk sastopamu mikroelementu koncentrācijas pētītajos karbonātiežu paraugos, to koncentrācijas izteiktas ppm mērvienībās.

Savukārt 10. tabulā parādīti dominējošo oksīdu, to atvasinājumu rezultāti, kur koncentrācijas ir izteiktas procentuāli.

Pēc iegūtajiem datiem 10. tabulā, secināms, ka pētītie dolomītu paraugi ir bagāti ar CaO (50,21–59,17 masas %), MgO (17,36–28,28 masas%) un SiO₂ (7,52–21,26 masas%). Savukārt pretēji tam, dolomītu paraugos ir zems saturs Al₂O₃ (3,69–7,92 masas%), Fe₂O₃ (1,25–2,42 masas%), K₂O (1,38–4,07 masas%), TiO₂ (0,16–0,45 masas%), P₂O₅ (0–0,16 masas%), MnO (0,09–0,12 masas%).

Kalcija un magnija oksīdi ir saistīti ar dolomītu kā iezi un minerālu, silīcija un alumīnija oksīdi raksturo smilts–aleirīta un māla piejaukumu. Samērā lielais dzelzs oksīda daudzums visticamāk ir saistīts ar piejaukumiem starp kristāliem, kā arī porās un kavernās. Kā redzams atsegumos un makroparaugos, dolomīti bieži ir sārti un iedzelteni, kas atbilst dzelzs savienojumu noteiktajai krāsai. Līdzīgi var izskaidrot arī mangāna oksīda izcelsmi un izplatību – vietām dolomītos var novērot melnus mangāna oksīdu un hidroksīdu uzsūbējumus. Kālija, titāna un fosfora uzkrāšanās iežos var notikt gan sedimentācijas, gan agrīnos un vēlīnos pēcsedimentācijas procesos.

Dolomīta paraugos tika analizēti arī mikroelementi, rezultāti (9. tabula). Tādu elementu, kā Zr (14–45 ppm), Cu (21–30 ppm), Zn (18–28 ppm), Ni (4–9 ppm), Cr (6–32 ppm) un Mo (0–5 ppm) daudzums ir mazs. Arī Sr (61–121 ppm) koncentrācija ir mazāka nekā parasti izteikts marīniem karbonātiežiem – 80–900 ppm (Vincent *et al.* 2006; Li *et al.*, 2015). Dolomīti parasti satur mazāk Sr, salīdzinot ar kaļķakmeņiem, jo dolomīta kristālrežģī var ietilpt mazāks šī elementa daudzums. Neskatoties uz to, dolomīti, kuri ir veidojušies normāla sāļuma baseinos, satur Sr 470–550 ppm daudzumā, bet evaporītu baseinu dolomīti – 500–700 ppm daudzumā (Qing, Mountjoy, 1989; Veizer 1983; Land 1991 – citēts: Li *et al.* 2015). Pļaviņu svītas dolomītos esošās Sr samazinātās vērtības, domājams, var skaidrot līdzīgi kā to darījuši Li *et al.* (2015) – dolomīti ir attīrījušies no mazāk izplatītiem elementiem pārkristalizēšanās rezultātā – pēcsedimentācijas procesos.

Procentuālās vērtības (no masas%) trīs pārstāvētākajiem oksīdiem (CaO, MgO un SiO₂) tika korelētas ar retāk sastopamo elementu koncentrācijām: CaO (50,21–59,17 masas%), MgO (17,36–28,28 masas%) un SiO₂ (7,52–21,26 masas%). Pētījuma gaitā netika novērotas korelācijas šo elementu daudzumiem.

Tomēr secināts, ka Īļaku griezuma karbonātiežu paraugos paaugstinātas MnO/CaO un Fe₂O₃/CaO attiecību vērtību atšķirības norāda uz pēcsedimentācijas izmaiņām (De Winter, Claeys, 2016), līdzīgi kā samazinātais stroncija daudzums. Savukārt paaugstinātas MnO un Fe₂O₃ koncentrācijas apvienojumā ar pavisam nelielām Sr/CaO koncentrācijām, varētu liecināt par palielinātu paleovides aktivitāti (Richardson *et al.*, 2004).

9.tabula. Ar rokas rentgenfluorescences (XRD) iekārtu iegūto Mikroelementu koncentrāciju (miljonajās daļās (ppm)) rezultāti dolomīta paraugiem

Table 9. Trace element concentrations (parts per million (ppm)) for shale and limestone samples from handheld X-ray fluorescence (XRF) analyses

Parauga Nr. Sample No.	Cr	Ni	Cu	Zn	As	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Cd	Ba	Ce	W	Pb	Th	U
i-1	6	8	29	27	51	40	93	8	45	3	0	33	0	22	1	0	0	8
i-4	9	4	28	18	45	19	66	4	19	1	5	146	0	8	8	4	0	0
i-8	17	9	30	28	70	45	92	7	41	4	5	4	0	28	14	1	6	9
i-12	26	9	26	18	72	20	88	4	16	2	3	151	0	3	2	4	2	0
i-16	32	9	28	24	68	20	121	2	22	0	0	42	534	12	4	2	0	4
i-20	21	4	21	14	0	11	61	2	14	0	0	400	576	2	3	4	0	0
i-23	25	7	25	24	63	22	78	5	20	0	4	76	0	12	8	2	0	0

10. tabula. Galveno elementu oksīdu koncentrācijas dolomīta paraugos no Īļaku ieža (rokas rentgenfluorescences (XRF)); masas procenti pārrēķināti uz 100%, neņemot vērā nenoteiktos elementus, tāds kā Na u.c.)

Table 10. Major element oxide concentrations for dolomite samples of the Īļaki cliff exposure (handheld X-ray fluorescence (XRF)); weight percentages recalculated to 100% without considering non-measurable elements such as Na etc.)

Parauga Nr./Sample No.	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃
i-1	17,36	6,91	19,53	0,00	3,08	50,21	0,41	0,10	2,40
i-4	22,17	4,52	12,05	0,04	1,91	57,38	0,24	0,12	1,58
i-8	13,23	7,92	21,26	0,00	4,07	50,54	0,45	0,09	2,42
i-12	20,18	5,14	11,82	0,03	2,05	59,17	0,26	0,10	1,25
i-16	20,90	5,14	12,46	0,02	2,11	57,22	0,24	0,11	1,81
i-20	28,28	3,69	7,52	0,10	1,38	57,46	0,16	0,11	1,29
i-23	20,11	5,05	12,21	0,16	2,05	58,33	0,25	0,10	1,74

5.7. Skābekļa un oglekļa stabilo izotopu analīžu rezultāti un to interpretācija

Oglekļa un skābekļa stabilo izotopu analīzes ir veiktas 46 dolomīta paraugiem (5.47. attēls).

$\delta^{13}\text{C}$ vērtības pētītajiem dolomītiem variē no -8.2% līdz 0.73% , savukārt $\delta^{18}\text{O}$ vērtības pētītajiem dolomītiem variē no -8.57% līdz -3.09% (3. tabula, 4. tabula, 5. tabula, 6. tabula, 7. tabula, 8. tabula).

Karbonātu platformu dolomītiem dominē šādas C un O stabilo izotopu vērtības: $\delta^{13}\text{C}$ $-3 - +3\%$; bet $\delta^{18}\text{O}$ $-10 - +3$ (Land 1980). Vidējās $\delta^{13}\text{C}$ vērtības fanerozoja marīnajiem karbonātiem ir $-1\% - 4\%$, devonā ap, vidēji 2% (Mackensen, Schmiedl 2019). Šie dati kopumā sakrīt ar promocijas darbā iegūtajiem rezultātiem, apliecinot nogulumiežumarīnu izcelsmi.

Pētītajos objektos, ieskaitot Getliņu un Gaujienas urbumus, oglekļa izotopu vērtības ir līdzīgas, taču tās ir zemākas (pārsvarā $-2 - -4\%$) Īvandes, Riežupes un Getliņu objektos (pētījumu teritorijas centrālā daļa – rietumi), bet augstākas, ap 1% Apē (pētījumu teritorijas ziemeļaustrumu daļa). Iespējams, šo parādību var izskaidrot ar zināmu saldūdens pieplūdi baseina rietumu daļā (Amthor *et al.*, 1993), taču tas ir jāpārbauda turpmākos pētījumos ar plašāku datu kopu. Saldūdens pieplūde marīnos baseinos samazina $\delta^{13}\text{C}$ vērtības (Colombie *et al.*, 2010).

Promocijas darba pētījumā iegūtās dolomītu skābekļa izotopu vērtības ir zemākas nekā parasti konstatētas marīnas izcelsmes nogulumiem (Land, 1980). To var izskaidrot ar atmosfēras ūdeņu ietekmi pēcsedimentācijas procesu gaitā. Skābekļa izotopu vērtības pēcsedimentācijas procesos mainās daudz ātrāk nekā oglekļa izotopu vērtības, jo skābekļa izotopu vērtību izmaiņām ir nepieciešama ievērojami mazāka ūdens/ieža attiecība nekā oglekļa izotopu vērtību izmaiņām (Sharp, 2017). Samērā ievērojama ir $\delta^{18}\text{O}$ vidējo vērtību samazināšanās no aptuveni -4 līdz -6% virzienā no rietumiem uz austrumiem, kas, domājams, saistāma ar pēcsedimentācijas procesu atšķirībām – lielāku atmosfēras ūdeņu ietekmi pētījumu apgabalu austrumu daļā. Tas gan, domājams, neattiecas uz notikumiem Pļaviņu laikposmā, bet vēlākos laika posmos.

Visticamāk pētītie nogulumi kopumā nav veidojušies baseinā ar palielinātu ūdens sāļumu, t. sk. evaporītu baseinā, jo tajos ir pazeminātas $\delta^{13}\text{C}$ vērtības (Warren, 2018).

3.tabula. Oglekļa un skābekļa stabilo izotopu analīžu rezultāti karbonātiem no Marinovas dolomīta atradnes

Table 3. Carbon and oxygen stable isotope results for carbonate rocks samples from Marina dolomite quarry

Svīta	Rida	Atsegums	Parauga numurs	Parauga augstums no atseguma apakšas, m	Karbonātiem tips	$\delta^{13}\text{C}$, %	$\delta^{18}\text{O}$, %
Pļaviņu	Atzeles	Marinovas dolomīta atradne	M 1	0,5	Dolomīts	0.48	-5.28
			M 2	1,0	Dolomīts	0.17	-6.05
			M 3	1,8	Dolomīts	0.10	-5.76
			M 4	2,3	Dolomīts	-1.32	-7.05
			M 5	3,0	Dolomīts	-1.61	-8.16
			M 6	3,8	Dolomīts	-1.38	-8.57
			M 7	4,4	Dolomīts	-0.60	-6.18

Iegūtie oglekļa un skābekļa stabilo izotopu attiecību rezultāti apstiprina to, ka Pļaviņu svītas karbonātieži (šajā gadījumā, dolomīti) ir ievērojami mainījušies pēcsedimentācijas procesos (5.46. attēls).

Visticamāk, $\delta^{13}\text{C}$ vērtību amplitūdas dolomītos no Marinovas, varētu norādīt arī uz nelielu saldūdens ietekmes palielināšanos laika gaitā.

4.tabula. Oglekļa un skābekļa stabilo izotopu analīžu rezultāti karbonātiežu paraugiem no Dārzciema dolomīta atradnes

Table 4. Carbon and oxygen stable isotope results for carbonate rocks samples from Dārzciems dolomite quarry

Svīta	Rida	Atsegums	Parauga numurs	Parauga augstums no atseguma apakšas, m	Karbonātiežu tips	$\delta^{13}\text{C}$, %	$\delta^{18}\text{O}$, %
Pļaviņu	Kokneses	Dārzciema dolomīta atradne	D 1	1,0	Dolomīts	0.06	-6.40
	Sēlijas		D 2	2,0	Dolomīts	0.01	-6.61
			D 2-2	3,0	Dolomīts	-0.24	-6.27
			D 3	4,0	Dolomīts	-0.23	-4.88
	Atzeles		D 4	5,0	Dolomīts	0.00	-5.72
			D 5	6,0	Dolomīts	-1.49	-5.31
			D 6	7,0	Dolomīts	-1.40	-5.12
			D 7	8,0	Dolomīts	-0.58	-5.40
Apes	D 8	8,9	Dolomīts	-0.83	-6.10		

Relatīvi liela starpība starp $\delta^{18}\text{O}$ vērtībām varētu liecināt arī par vēliņu dolomīta kristalizāciju. $\delta^{13}\text{C}$ nedaudz mainīgie lielumi – nelielas negatīvas un pozitīvas vērtības – var norādīt uz vāji izteiktu jūras ūdeņu un atmosfēras (nokrišņu) ūdeņu sajaukšanos (Immenhauser *et al.*, 2003 un Wendte, Uyeno, 2005).

Dārzciema dolomīta atradnes dolomītos oglekļa un skābekļa stabilo izotopu vērtības mainās minimāli, kas norāda uz nosacīti stabiliem sedimentācijas apstākļiem. Pārsvārā bijuši normāla sāļuma jūras apstākļi (Colombie *et al.*, 2010).

5.tabula. Oglekļa un skābekļa stabilo izotopu analīžu rezultāti karbonātiežu paraugiem no Īvandes ūdenskritumu klinčim

Table 5. Carbon and oxygen stable isotope results for carbonate rocks samples from Īvande waterfalls cliffs exposure

Svīta	Rida	Atsegums	Parauga numurs	Parauga augstums no atseguma apakšas, m	Karbonātiežu tips	$\delta^{13}\text{C}$, %	$\delta^{18}\text{O}$, %
Pļaviņu	Sēlijas	Īvandes klinču atsegums	Ī-0	0,2	Dolomīts	-2.07	-4.33
			Ī-1	0,7	Dolomīts	-2.83	-3.78
			Ī-2	1,4	Dolomīts	-3.01	-4.04
			Ī-3	1,8	Dolomīts	-4.01	-3.97
			Ī-4	2,4	Dolomīts	-4.82	-4.37
			Ī-5	2,6	Dolomīts	-0.23	-5.59

Oglekļa stabilo izotopu $\delta^{13}\text{C}$ vērtības Īvandes ūdenskritumu atsegumā samazinās no –2,07 atseguma apakšdaļā līdz –4,82‰ virzienā uz atseguma augšdaļu. Pašā atseguma augšdaļā (paraugs Ī-5), oglekļa stabilo izotopu vērtības krasi pieaug, līdz –0,23‰. Kopumā oglekļa stabilo izotopu vērtību samazināšanās laika gaitā, liecina par pakāpenisku saldūdens pieplūdi

marīnā baseinā. Savukārt, novērotais krasais oglekļa vērtību palielinājums pēdējā atseguma slānī, norāda uz dolomīta veidošanos vidē, kur strauji ir palielinājies ūdens sāļums baseinā, jeb bijusi mazāka saldūdens pieplūde no kontinenta vai atmosfēras ūdeņiem (Kleesment *et al.*, 2013).

6.tabula. Oglekļa un skābekļa stabilo izotopu analīžu rezultāti karbonātiežu paraugiem no Kalkahju (Peetri) atseguma
Table 6. Carbon and oxygen stable isotope results for carbonate rocks samples from Kalkahju (Peetri) exposure

Svīta	Rida	Atsegums	Parauga numurs	Parauga augstums no atseguma apakšas, m	Karbonātiežu tips	$\delta^{13}\text{C}$, ‰	$\delta^{18}\text{O}$, ‰
Pļaviņu	Sēlijas	Kalkahju (Peetri) atsegums	P1	0,7	Dolomīts	-3.95	-4.41
			P2	1,4	Dolomīts	-4.29	-4.70
			P3	2,1	Dolomīts	-2.54	-4.43
			P4	2,8	Dolomīts	-0.68	-6.34
			P5	3,5	Dolomīts	-1.39	-5.37

Kaļķakmeņos no Kalkahju (Peetri) atseguma, oglekļa stabilo izotopu vērtības, līdzīgi kā Īvandes ūdenskritumu atseguma paraugos, ir zemākas atseguma apakšdaļā, bet virzienā uz augšu tās pieaug līdz $-0,68$ un $-1,39\%$. Šie rezultāti liecina par evaporītu baseina attīstību laika gaitā – ūdens sāļums ūdenī ir palielinājies un bijusi mazāka atmosfēras ūdeņu ietekme uz tiem (Kleesment *et al.*, 2013).

7.tabula. Oglekļa un skābekļa stabilo izotopu analīžu rezultāti karbonātiežu paraugiem no Randātu klintīm
Table 7. Carbon and oxygen stable isotope results for carbonate rocks samples from Randāti cliffs

Svīta	Rida	Atsegums	Parauga numurs	Parauga augstums no atseguma apakšas, m	Karbonātiežu tips	$\delta^{13}\text{C}$, ‰	$\delta^{18}\text{O}$, ‰
Pļaviņu	Kokneses	Randātu klinšu atsegums	2	7,0	Dolomīts	-0.38	-5.04
			5	7,7	Dolomīts	-1.87	-6.18
			7	9,2	Dolomīts	-0.53	-5.80
	Sēlijas		2A	10,7	Dolomīts	-0.31	-5.31
			3B	12,2	Dolomīts	0.09	-5.50
			4B	13,7	Dolomīts	-0.50	-5.64
	Atzeles		6A	15,2	Dolomīts	-0.70	-5.79
			6B	16,7	Dolomīts	-1.00	-5.33
			6C	18,2	Dolomīts	-0.24	-6.34
			6E	19,7	Dolomīts	0.01	-5.65
	Apes		8B	21,2	Dolomīts	-1.17	-5.34
			9A	22,7	Dolomīts	0.73	-5.55

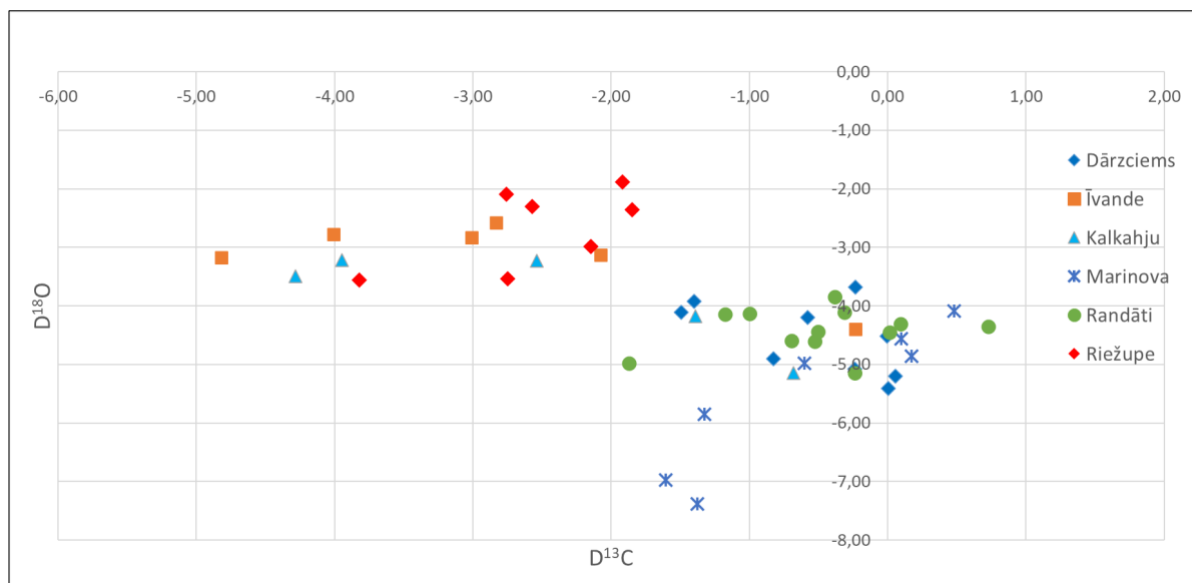
Randātu klintīs stabilo oglekļa analīžu vērtības pētītajos dolomītos mainās ļoti minimāli, un ir tuvu nullei (pārsvarā, nedaudz negatīvas vērtības). Šādi rezultāti norāda uz maz mainīgiem marīnajiem apstākļiem. Dažbrīd konstatētas pozitīvās vērtības (attiecīgi, 0,09, 0,01

un 0,73‰) liecina par nedaudz palielinātu ūdens sāļumu baseinā šajos konkrētajos laika posmos, kad norisinājusies karbonātisko nogulu sedimentācija (Warren, 2018).

8.tabula. Oglekļa un skābekļa stabilo izotopu analīžu rezultāti karbonātiestu paraugiem no Riežupes klintīm (1. atsegums un 2. atsegums)
Table 8. Carbon and oxygen stable isotope results for carbonate rocks samples from Riežupe cliffs (both, 1st and 2nd exposure)

Svīta	Rida	Atsegums	Parauga numurs	Parauga augstums no atseguma apakšas, m	Karbonātiestu tips	$\delta^{13}\text{C}$, ‰	$\delta^{18}\text{O}$, ‰
Pļaviņu	Apes	Riežupes klinšu 1.atsegums	R0	0,1	Dolomīts	-2.15	-4.19
			R2	0,6	Dolomīts	-2.76	-3.30
			R1	1,6	Dolomīts	-1.92	-3.09
			R3	1,8	Dolomīts	-1.85	-3.55
		Riežupes klinšu 2.atsegums	R2-1	0,3	Dolomīts	-2.57	-3.50
			R2-2	0,4	Dolomīts	-2.75	-4.74
			R2-3	1,8	Dolomīts	-3.82	-4.76

Izteikti mainīgas oglekļa stabilo izotopu $\delta^{13}\text{C}$ vērtības (Riežupes abos atsegumos tās variē no $-3,82$ līdz $1,85\%$) norāda uz dolomīta veidošanos vidē, kur marīnie jūras ūdeņi periodiski sajaukušies ar atmosfēras ūdeņiem (nokrišņi) (Kleesment *et al.*, 2013). Bijis mainīgs ūdens sāļums. Kā redzams attēlā 5.47, līdzīgi sedimentācijas apstākļi bijuši arī dolomītos no Īvandes ūdenskritumu atseguma, daļēji, arī Kalkahju (Peetri) atseguma karbonātiestu paraugos.



5.47. attēls. Oglekļa un skābekļa stabilo izotopu attiecību vērtības paraugiem no Dārzciema dolomīta atradnes, Īvandes ūdenskritumu atseguma, Kalkahju (Peetri), Marina dolomīta atradnes, Randātu klintīm un Riežupes atsegumiem.

Figure 5.47. Carbon and oxygen stable isotope ratio values for samples from Dārzciems dolomite quarry, Īvande waterfall exposure, Kalkahju (Peetri), Marina dolomite quarry, Randāti cliffs and Riežupe exposures.

5.8. TOC analīžu rezultāti un to interpretācija

Kopējā organiskā izcelsmes oglekļa daudzuma (TOC, no angļu val. – *total organic carbon*) analīzes uzrāda nozīmīgus datus sākotnējā organiskā materiāla apjoma novērtēšanai pētītajos karbonātiežu paraugos (rezultāti apskatāmi 1. pielikumā).

Divos paraugos ar vizuāli novērtēto augstāko organiskās vielas saturu no Randātu klintīm, organiskās izcelsmes oglekļa daudzums variē no 0,524 % 5. paraugā līdz 0,419 % 9b paraugā.

Savukārt trīs paraugos ar vizuāli novērtēto augstāko organiskās vielas saturu no Riežupes atseguma, organiskās izcelsmes oglekļa daudzums paraugā R-0 ir 0,449 %, paraugā R-2 ir 0,388 %, bet paraugā R-3 ir 0,409 %.

Iegūtie analīžu rezultāti (1. pielikums) veiktajiem karbonātiežu paraugiem no Randātu klintīm un Riežupes atsegumiem uzrāda, ka sedimentācijas gaitā nav bijuši anoksiski apstākļi (Da Silva, Boulvain, 2004). Tas liek domāt, ka sedimentācijas gaitā un pēcsedimentācijas procesos organiskās vielas ir oksidētas vai izskalotas. Tomēr tas iezīmē arī sākotnējo organiskās vielas daudzuma apmēru, tas ir, ka organiskās vielas sākotnēji šajos slāņos bijis vairāk kā citos. Tādēļ secināms, ka sedimentācijas vide ir bijusi oksiska – bijuši oksiski seklas jūras gultnes apstākļi un vidēja organiskā aktivitāte, jeb oligotrofi apstākļi (Da Silva, Boulvain, 2004).

5.9. Fosilijas un ihnofosilijas pētītajos karbonātiežos

Fosilijas Baltijas devona paleobaseina centrālajā daļā galvenokārt ir vāji līdz slikti saglabātas, līdz ar to precīzi organismu atliekas nav bijis iespējams noteikt. Pētījumu gaitā darba autors ievēroja, ka objektos Latvijas rietumu daļā gan fosilijas, gan iežu tekstūras ir vāji saglabājušās dolomitizācijas, iespējams, dolomīta pārkristalizēšanās rezultātā.

Savukārt virzienā uz Latvijas ziemeļaustrumiem un Igaunijas dienvidaustrumu daļā bija iespējams vērot vairāk sākotnējās tekstūras, organismu atliekas un dažviet arī ihnofosilijas, kuras nebija nosakāmas līdz ģintij, tomēr bija iespēja noteikt piederību tipam, klasei vai apakšklasei.

Kā būtisks sedimentācijas vidi reksturojošs elements ir jāatzīmē Pļaviņu svītas karbonātiežos sastopamās stromatoporu atliekas.

Stromatoporu diametrs pētījumu objektos variē no 2 cm līdz pat 30 cm. Pārsvarā atliekas vai to šķīšanas vietās esošās kavernas ir sfēriskas formas. Lielākajai daļai (gadījumos, kad varēja noteikt formu) pētīto stromatoporu ir raksturīga sīpolveida, jeb ieapaļa (no angļu val. – *bulbous*; skatīt 5.48. attēlu) forma (Garland, 1997), taču ieapaļo formu var izskaidrot arī ar neatrašanos dzīves pozīcijā un pārskalošānu. Gandrīz visos gadījumos konstatēts, ka stromatoporas ir pārvietotas, dažbrīd pat apveltas uz sāniem, jeb apgāztas. Stromatoporu karbonātieži (F5) nav konstatēti Kokneses ridas karbonātiežos, jo pēc autora ieskatiem, šajā laikposmā īslaicīgi bijis arīds klimats un bieži arī subaerāli sedimentācijas apstākļi, līdz ar to, nelabvēlīgi dzīves apstākļi šiem organismiem, ar palielinātu ūdens sāļumu. Sēlijas ridas karbonātiežos stromatoporas (to fosilijas, biežāk kavernas izšķīdušu stromatoporu vietās) sastopamas 15% Īvandes ūdenskritumu atsegumā (ieapaļas formas kavernas izšķīdušu stromatoporu vietās, līdz 6 cm diametrā, izkārtotas ķēdītēs), 22% Randātu klintīs (nenosakāmas formas un izmēri), kā arī 31% apmērā Kalamecu un Markuzu gravas atsegumā (kavernas izšķīdušu stromatoporu vietās, līdz pat 10 cm diametrā, ieapaļas formas). Atzeles ridas karbonātiežos stromatoporu slāņi, kas iedalīti kā fācija F5, konstatēti tikai pētījumu teritorijas galējos ziemeļaustrumos: 27% Kalamecu un Markuzu gravas atsegumā (kavernas izšķīdušu stromatoporu vietās, maza līdz pat liela izmēra – ap 20 cm diametrā, ieapaļas formas), 25% Grūbes dolomīta atsegumā (ieapaļas formas, līdz 30 cm diametrā, haotiski izkārtotas) un 23% Marinovas dolomīta atradnes atsegumā (nenosakāmas formas un izmēra). Apes ridas karbonātiežos fācija F5 sastopama 25 % Ventas rumbas atsegumā (maza izmēra, ieapaļas

formas kavernas, izkārtotas ķēdītēs), 13% Lauciņu (Cēsu) dolomīta atradnes atsegumā (konstatētas tikai atseguma 7. slānī – līdz 15 cm diametrā, sfēriskas, iepaļas formas), 14% Randātu klintīs (nenosakāmas formas un izmēri), 51% apjomā Apes pamestās dolomīta atradnes atsegumā (izmēros no 1 cm diametrā (1. slānis) līdz 7 cm diametrā, iepaļas formas; 7. slānī stromatoporu atliekas izkārtotas ķēdītēs) un 100 % apmērā Grūbes dolomīta atsegumā (konstatēts blīvs iepaļu stromatoporu sakopojums, līdz 5 cm diametrā, izkārtotas haotiski).

Gandrīz visos pētījumu objektos stromatoporas sastopamas kopā ar citām organismu atliekām, tādām kā – gliemeži, brahiopodi, aļģes u.c.. Jāatzīmē Ventas rumbas, Cēsu (Lauciņu) atradnes un Īvandes ūdenskritumu atsegums, kur visā griezumā, dažādos tā intervālos, tika konstatētas tikai un vienīgi stromatoporu atliekas. Piemēram, Grūbes atsegumā, stromatoporu atliekas konstatētas kopā ar citām organismu atliekām, izņemot atseguma 7. slāni, kur pētītas tikai stromatoporu atliekas. Apes pamestās dolomīta atradnes atsegumā, gandrīz visos griezumā slāņos, sastopamas tikai stromatoporu atliekas, izņemot 3. slāni, kur konstatētas arī brahiopodu fosilijas. Arī konstatētās brahiopodu atliekas visos gadījumos ir vai nu izkārtotas ķēdītēs, vai haotiski, kas norāda uz pārskalošanu un varbūtēju viļņu darbības ietekmi.



5.48. attēls. Stromatoporu fosiliju forma devona Pļaviņu svītas karbonātiēžos: (A) iepaļas formas, (B) lamināras formas (modificēta pēc: Kershaw un Motus, 2016).

Figure 5.48. Silhouettes of stromatoporoforms in devonian Pļaviņas time carbonate rocks: (A) bulbous shape, (B) laminar shape (modified after: Kershaw and Motus, 2016).

Arī brahiopodu un gliemežu atliekas galvenokārt bijušas pārskalotas, bieži sastopams šo organismu atlieku detrits. Lielā daļā pētījumu objektu organismu atliekas izkārtotas “ķēdītēs”. Izmēri verīe no 0,5 cm līdz aptuveni 4– cm. Vienā gadījumā (Marinovas atradnes atseguma 5. slānī) konstatēts arī jūras liliju kātiņu sakopojums, kura uzbūve arī liecina par šo dzīvnieku atlieku pārskalošanu. Vienā no Dārziema dolomīta atradnes atseguma slāņiem (4. slānis) konstatētas arī *Chaetocladus* aļģu atliekas. Šīs pašas ģints aļģu atliekas atklātas arī Vizulu ieža 4. slānī.

Bioturbācijas pazīmes (pēdu fosilijas) konstatētas Dārziema dolomīta atradnes atsegumā, gandrīz visos tā slāņos – ejas 1 līdz 2 mm platumā, tās ir pārsvarā vertikālas, neviendabīgas uzbūves, nelielas un ļoti traucētas, konkrētu piederību nav izdevies noteikt. Līdzīga rakstura (gan tāds pats eju platumš, gan uzbūve) bioturbācijas pazīmes konstatētas arī Īļaku ieža 1. slānī, Vizulu ieža divos slāņos (5. slānis un 7. slānis), Kalemecu un Markuzu gravas atseguma augšdaļā (9. slānis, 13. slānis un 14. slānis), arī Īvandes ūdenskritumu atseguma 1. slānī, 2. slānī, 2. slānī un 5. slānī. Visos iepriekš minētajos pētījuma objektu slāņos nav izdevies noteikt inofosiliju piederību. Bioturbācija konstatēta arī Kalkahju (Peetri) atseguma 12. slānī (šajā gadījumā tika noteiktas *Chondrites* pēdu fosilijas) un Dārziema dolomīta atradnes vairākos slāņos – 1. slānī, 3. slānī, 4. slānī, 5. slānī, 6. slānī un 9. slānī (visos gadījumos noteiktas *Planolites* pēdu fosilijas). *Planolites* pēdas noteiktas arī Kalamecu un Markuzu gravas atseguma 1. slānī. *Chondrites* pēdas veidojušās blīvās karbonātiskās nogulās, kopumā bijusi mierīga sedimentācijas vide (zema viļņu enerģija), sekls jūras baseins un nereti arī šo vidi ietekmējušas plūdmaiņas (Meškis, 2013). Arī *Planolites* ir tārpveidīgie organismi, kas dzīvojuši un veidojuši ejas seklos ūdeņos un nereti arī plūdmaiņu darbības zonā (Meškis, 2013).

6. DISKUSIJA

Šī promocijas pētījuma rezultāti apstiprina iepriekšējo pētījumu (Gravitis, 1967; Sorokin, 1978; Stinkulis, 1998; Pontén, Plink-Björklund, 2009; un citi) datus par to, ka devona Pļaviņu laikposmā bijuši mainīgi, pārsvarā sekla jūras apstākļi, taču ūdens dziļums vairākkārt ir mainījies, bijušas pat subaerālās atsegšanās epizodes.

Pļaviņu laikposma sedimentācijas baseins, šajā gadījumā, Baltijas paleobaseina centrālā daļa, iepriekšējos pētījumos ticis interpretēts kā sekla jūra (Gravitis, 1967; Sorokin, 1978).

Promocijas darba pētījumā iegūtie dati apliecina, ka Latvijas rietumu un ziemeļaustrumu un Igaunijas dienvidaustrumu daļai atbilstošā Pļaviņu laikposma baseina teritorija, pēc mūsdienu zinātniskajā literatūrā norādītās karbonātiežu platformu klasifikācijas, visticamāk atbilst epikontinentālai karbonātu platformai, mazāka iespējamība, ka tā ir bijusi epikontinentāla karbonātu nogāze (James, Jones, 2016).

Gan epikontinentālai karbonātu nogāzei, gan epikontinentālai karbonātu platformai ir raksturīgas divas pat simtiem kilometru platas zonas, kurās ir mierīgs hidrodinamiskais režīms: 1) pāreja starp sauszemi un baseinu, norobežotos apstākļos; 2) pāreja starp baseinu un atklātu okeānu. Šo zonu starpā ir desmitiem kilometru plaša zona, kurā ir aktīvs hidrodinamiskais režīms, ko galvenokārt nosaka plūdmaiņu un arī viļņu darbība (James, Jones, 2016).

Pētījumi, kas veikti par Bahamu salu arhipelāgu un Floridas pussalas piekrastes mūsdienu karbonātu sedimentācijas areālu iekšējām daļām, kas ir uzskatāmi par seno epikontinentālo karbonātu sedimentācijas baseinu analogiem, apliecina, ka karbonātisko nogulu uzkrāšanās vide kopumā ir bijusi mierīga un viļņu, kā arī plūdmaiņu ietekme uz karbonātisko nogulu sedimentācijas procesiem ir pavisam minimāla. Šajos areālos sedimentācijas procesus galvenokārt ietekmē tikai samērā retas vētru epizodes (Tucker, Wright, 1990).

Tomēr viedokļi par iespējamo plūdmaiņu ietekmi senajās un plašajās epikontinentālajās platformās atšķiras – Irvins savos pētījumos apliecina, ka to ietekme ir niecīga (Irwin, 1965), savukārt citi pētnieki uzskata, ka tā ir bijusi liela un pat plaši jūtama (Pratt, James, 1986). Domājams, tas atkarīgs no baseina atrašanās vietas un savienojuma ar pasaules okeānu.

Vairākos disertācijas pētījuma gaitā dokumentētajos ģeoloģiskajos griezumos karbonātiežus ar vāji saglabātām organismu atliekām, cikliski nomaina laminīti un/vai mālaini nogulumieži, kur vairākos pētījumu objektos ir atklātas plūdmaiņu pazīmes.

Plūdmaiņu ritmīti konstatēti Īļaku iezī, Vizulu iezī un, arī Kalkahju (Peetri) atsegumā, Dārzciema dolomīta atradnes atsegumā, kā arī Kalamecu un Markuzu gravu atsegumā. Pētījuma gaitā izdevies gūt liecības par plūdmaiņu ritmītiem arī Randātu klinšu atsevišķos intervālos (2. slānis, 5. slānis, 7. slānis un 8. slānis). Arī Marinovas atradnes atseguma 2. slānī pētīti karbonātieži, kur konstatētas “putna acs” tekstūras, jeb fenestras, kas ir tipiskas vidējās plūdmaiņu zonas pazīme (Tucker, Wright, 1990).

Dažas no izplatītākajām un autora novērotajām plūdmaiņu ritmītu pazīmēm Pļaviņu svītas nogulumiežos ir:

- Mikrīta un māla minerālu josliņas vai slānīši uz kārtainajiem karbonātiežiem;
- Plūdmaiņu kopas (no angļu val. – *tidal bundles*), kas norāda uz perodiskām ilgtermiņa izmaiņām (sezonālas) un nedēļas ilguma izmaiņām, kas saistītas ar mēness un saules gravitācijas ietekmi;
- Reaktivācijas virsmas, divvirzienu slīpslāņojums, kāpjošais ripsnojums, kas slāņojumā uzrāda dažādus straumju virzienus;

- Karbonātiskā un klastiskā materiāla mija, veidojot viļņotu slāņojumu – no angļu val. – *wavy bedding* (Guangquan, Lidong, 2021) – Īļaku ieža 1. slānī;

- Plūdmaiņu ritmīti mālainajās slāņkopās u.c.

Baltijas vēlā devona klastiskās sedimentācijas baseinos daudzos pētījumos ir plaši atzīmēta plūdmaiņu ietekme (Pontén, Plink–Björklund, 2009; Lukševičs *et al.*, 2011; Vasiļkova *et al.*, 2012).

Disertācijas pētījuma gaitā izteiktākie vētru slāņi tika atklāti un aprakstīti Atzeles ridā Marinovas atradnes atseguma augšdaļā, Igaunijā. Tomēr nav izslēgts, ka krietni vājākas un mazas vētras, to izraisīta vidēja un stipra viļņošana, ietekmēja stromatoporu, brahiopodu, jūras liliju kātiņu un gliemežu pārskalošanu, fragmentāciju, organismu atlieku detrīta pārskalošanu, kā arī haotiskas uzbūves slāņveida koncentrāciju veidošanu, kāda tika plaši novērota daudzos no 14 pētījumu objektiem, konkrēti Sēlijas un Atzeles ridās, it īpaši tajos objektos, kas atrodas pētījumu teritorijas centrālajā un ziemeļaustrumu daļās, kur pēc autora uzskatiem bijusi karbonātu platformas Z un Y zonas.

Visos disertācijas pētījuma objektos ir izdevies izveidot piesaisti konkrētām Pļaviņu svītas ridām, konstatēta gan Kokneses rida, gan arī Sēlijas, Atzeles un Apes rida. Vispilnākie griezumumi, kas aptver visas četras ridas pētīti Dārziema dolomīta atradnes atsegumā un Randātu klintīs. Vairākos no pētījuma objektiem konstatēta tikai pati augšējā Pļaviņu svītas rida – Apes rida (Ventas rumbas atsegumā, abos Riežupes atsegumos un Apes pamestās dolomīta atradnes atsegumā)

Autora dažviet konstatētie “metru biezuma cikli” ir raksturīgi karbonātu platformām (Tucker, Wright, 1990), kā arī par to veidošanās iemesliem citos pētījumos uzskata plūdmaiņu līdzenumu progradāciju (Pratt, James, 1986), eistatiskās ūdens līmeņa svārstības un pat reģionālus tektoniskos procesus (Tucker, Garland, 2010).

Izteikts cikliskums vērojams Kalamecu un Markuzu gravas atsegumā, kā arī Dārziema dolomīta karjera atseguma griezumā. Vājāk izsekojami cikli konstatēti arī Kalkahju (Peetri) atsegumā. Katrs cikls iesākas ar dolomītiem (ar fosilijām, ooīdiem, bez subaerālās atsegšanās pazīmēm), kas veidojušies atklāta tipa baseinā, savukārt beidzas ar laminētu veida kārtainiem dolomītiem un bieži vien ar subaerālās atsegšanās pazīmēm – žūšanas plaisām u.c. tekstūrām. Ciklu biezumi variē no 0,5–0,8 m Dārziema dolomīta atradnē, savukārt Kalamecu un Markuzu gravas atsegumā to biezumi mainās no 0,5 līdz pat 1,5 m biezumam. Arī Kalkahju (Peetri) atsegumā Igaunijā, konstatēti cikli, kas ir vēl plānāki – aptuveni 0,2-0,4 metru biezumā. Ja nav mainījies ūdens līmenis, cikla biezums ir tuvs ūdens dziļumam (Immenhauser, 2009). Tas liek domāt, ka baseins bijis izteikti seklāks virzienā uz ziemeļiem, nosacīti arī ziemeļaustrumiem.

Pētījuma gaitā atklāts, ka gandrīz visos pētījumu objektos atrodamas stromatoporu atliekas vai kavernas stromatoporu atlieku šķīšanas vietās. Stromatoporas norāda uz seklu, siltu ūdeni un aktīvu hidrodinamisko režīmu (Tosolini *et al.*, 2012), bet brahiopodi un gliemeži arī ir seklūdens jūru iemītnieki. Vietām vērojamie slāniski izkārtotie fosiliju un to detrīta sakopojumi liecina par organismu atlieku un to drupu materiāla pārskalošanu, tādēļ, domājams, norāda uz nogāzi, kas vērsta pret padziļinājumu baseinā (Shen *et al.*, 2008; Flügel, 2004; Machel, Hunter, 1994). Šo nogāzi gan nevar interpretēt kā visas karbonātu platformas nogāzi virzienā uz atklāto jūru, jo pētītie nogulumi ir veidojušies seklas epikontinentālas jūras iekšējā daļā (Brangulis *et al.*, 1998). Iespējams, ka organismu atlieku pārskalošana ir notikusi vētru ietekmē (Gutteridge, 1989). Pārskalotas augu un dzīvnieku atliekas un to detrīts gan var būt sastopams arī plūdmaiņu līdzenumos (Laya, Tucker, 2012), tomēr tas nav viennozīmīgs rādītājs sedimentācijas vides raksturošanā.

Svētā krusta kalnos Polijā (Luczynski, 1998), vairākos apkārtnes karjeros, devona stromatoporas galvenokārt ir konstatētas dzīves pozīcijā, nevis pārskalotas, kā Baltijas devona paleobaseinā, kas liecina, ka tagadējās Polijas dienvidu daļā bijuši nosacīti seklas jūras apstākļi, tomēr mierīgi un bez izteiktām straumēm, plūdmaiņu un viļņu darbības ietekmes, kas liecina

par rifa aizmugures (no angļu val. – *back-reef setting*) apstākļiem. Tikai vienā atsevišķā gadījumā konstatēts, ka stromatoporas bijušas pārskalotas – t.i., vētru ietekmētas.

Stromatoporas autora pētītajos objektos gandrīz visos gadījumos ir apgāztas, apveltas vai pārvietotas un nav dzīves pozīcijā (kad to var identificēt). Gandrīz vienmēr tās izkārtotas “ķēdītēs”, krietni retāk tās ir izkārtotas haotiski (Garland, 1997 un Tucker, Wright, 1990). Watkins savā pētījumā (Watkins, 1975) par silūra brahiopodiem un stromatoporām Visbijas salā (Baltijas jūras reģions, Zviedrija), norādījis, ka bieži vien brahiopodu atliekas un to detrīts ir izvietots starp citām organismu atliekām, haotiski, bet ne starp stromatoporām. Tas apstiprina autora ideju par viļņu darbības ietekmētu sedimentāciju. Kā norāda poļu paleontologs Gžegošs Rackis (Racki, 1993), brahiopodu kopas galvenokārt mīt seklas jūras, tai skaitā, lagūnu apstākļos, savukārt stromatoporas nedaudz dziļākā baseina daļā, bet arī seklā jūrā. Šajā gadījumā Racka secinājumi izdarīti par stromatoporām dzīves pozīcijā, kas ir pretēji autora pētītajam Pļaviņu svītas karbonātiežos, kur tās nav sastopamas dzīves pozīcijā. Promocijas pētījuma gaitā konstatēts, ka bieži vien stromatoporas ir ļoti maza izmēra – vietām tikai 1 cm līdz 7 cm diametrā. Sēlijas ridas karbonātiežos Īvandes ūdenskrituma atsegumā tās ir mazas, līdz 6 cm diametrā un izkārtotas ķēdītēs; Atzeles ridas karbonātiežos Ventas rumbas atsegumā tās ir mazas, līdz 2–3 cm diametrā, izkārtotas ķēdītēs; Apes ridas karbonātiežos Apes pamestās dolomīta atradnes atsegumā tās ir 1 līdz 7 cm diametrā, izkārtotas ķēdītēs un Grūbes dolomīta atsegumā tās ir līdz 5 cm diametrā, izkārtotas haotiski. Kā norāda Rackis, nelieli stromatoporu izmēri liecina par augstu mirstību jaunu organismu vidū, konkrēti tiek norādīta dzīve augsta stresa apstākļos, ko var izraisīt – cikliskas vides apstākļu izmaiņas (piemēram, baseina dziļuma izmaiņas un ūdens sāļuma izmaiņas) (Racki, 1993), kā rezultātā nav bijusi iespēja tām augt lielākām un attīstīties. Pamatojoties uz šo, autors var izdarīt pieņēmumu, ka izmēros mazās stromatoporu atliekas (līdz aptuveni 7 cm diametrā), domājams mitušas lagūnas apstākļos, kur periodiski samazinājies ūdens līmenis, kā rezultātā palielinājies jūras ūdens sāļums. Šī zona atbilst Z zonai pēc Irvina klasifikācijas (Irwin, 1965) un pret krastu vērsta rifa nogāzei, kas atbilst pārejai uz Y zonu. Savukārt lielāka izmēra stromatoporas (no 8 cm līdz pat 30 cm diametrā), mitušas rifa nogāzē, kas vērsta pret atklātu baseinu (Y zona). Visos gadījumos, neatkarīgi, no iedalījuma zonās, bijušas periodiskas vētru vai stipras viļņošanās epizodes, kā rezultātā ieapaļas formas (no angļu val. – *bulbous*) stromatoporas ir apgāztas, nereti arī pārvietotas. To dažkārt apstiprina arī kārtotie karbonātiežu slāņi, kas norāda uz sekla baseina apstākļiem – gadījumos, kad konstatētas mazā izmēra stromatoporu atliekas. Tomēr šajā gadījumā nav bijusi izteikta plūdmaiņu ietekme uz sedimentāciju – bijusi bimodāla jūras-krasta virzienā vērsta viļņu darbība, ūdens straumes (Luczynski, 2008). Iespējams, ka stromatoporas autora pētītajos karbonātiežos ir izkārtotas zemākās vietās starp karbonātisko nogulu sēkļiem, kas bijuši paralēli vai subparalēli krasta līnijai.

Garlande (Garland, 1997) norāda, ka sīpolveida (ieapaļie) stromatoporāti ir raksturīgi lagūnu (t.s., aizrifa) apstākļiem, bet rifa, jeb Y zonas apstākļos parasti ir tabulāri vai kupolveida stromatoporāti (Garland, 1997). Disertācijas pētījuma objektos no augšējā devonā konstatēts, ka izmēros lielākās sīpolveida stromatoporu atliekas izkārtotas arī rifa nogāzē, kas vērsta pret atklātu jūru (arī Y zona, pēc: Irwin, 1965).

Izvērtējot visus pētījuma gaitā iegūtos rezultātus secināms, ka teritoriālā mainība pētījuma objektos ir diezgan maza, kas apstiprina to, ka Baltijas paleobaseina centrālajā daļā Pļaviņu laikposmā bijusi epikontinentāla platforma.

Interpretējot iegūtos oglekļa un skābekļa stabilo izotopu rezultātus dolomītiem no Pļaviņu reģionālā stāva, un salīdzinot tos ar citiem pētījumiem, gan Baltijā, gan citviet (Kleesment *et al.*, 2013; Amthor *et al.*, 1993; Colombie *et al.*, 2010; Wendte, Uyeno, 2005 u.c.), secināts, ka, visticamāk, oglekļa izotopu ($\delta^{13}\text{C}$) vērtības galvenokārt pētījumu teritorijā ietekmējusi periodiska saldūdens un marīno ūdeņu sajaukšanās, domājams, nokrišņu rezultātā (atmosfēras ūdeņi). Jāatzīmē arī iespējamā saldūdens pieplūde no dienvidrietumu, dienvidu virziena, ko apstiprina stabilo izotopu rezultāti. Izvērtējot datus par skābekļa izotopu vērtībām ($\delta^{18}\text{O}$), konstatēts, ka tās bieži vien ir paaugstinātas – tas varētu norādīt uz palielinātu

atmosfēras ūdeņu ietekmi pēcsedimentācijas procesos. Kā norāda Šārps (Sharp, 2017), oglekļa izotopu avots galvenokārt ir tikai paši karbonātieži, organiskās vielas un CO₂, savukārt skābekļa izotopu avots ir gan karbonāta jons, gan ūdens (H₂O). Līdz ar to, pietiek ar daudz mazāku ūdens un ieža savstarpējo attiecību, lai mainītos skābekļa izotopu vērtības, salīdzinot ar oglekļa izotopu vērtībām. Lai varētu spriest par šo faktoru ietekmi plašākos mērogos, nepieciešams veikt turpmākus pētījumus, izmantojot apjomīgāku datu kopu.

Arī rentgenfluorescences spektrometrijas analīzes (XRF) rezultāti liek secināt, ka Pļaviņu svītas dolomītos samazinātās Sr vērtības varētu norādīt uz to, ka pētītie dolomīti ir attīrījušies no mazāk izplatītiem ķīmiskajiem elementiem pēcsedimentācijas procesu gaitā (Li *et al.*, 2015), tomēr jebkurā gadījumā, Sr klātbūtne norāda uz marīniem apstākļiem.

Visi pētījuma objekti, kas atrodas tālākajā pētījumu areāla ziemeļaustrumu daļā (Dārziema dolomīta karjers (Sēlijas un Azeles ridas), Apes pamestā dolomīta atradne (Apes rida), Kalamecu un Markuzu grava (Kokneses, Sēlijas un Atzeles ridas), Kalkahju (Peetri) atsegums (Kokneses un Sēlijas ridas) u.c.), izceļas ar izteikti lielu laminītu daudzumu (fācijas F1, F2 un F3), kas liek domāt, ka šajā virzienā, tas ir, uz tagadējās Latvijas teritorijas ziemeļaustrumiem, bijusi epikontinentālās platformas Z zona (atbilstoši James, Jones, 2016 un Irwin, 1965), kas ir lagūnas un plūdmaiņu līdzenuma apstākļu analogs šelfa jūru karbonātu platformās (5.27. attēls). Jāsecina, ka vislielākais laminītu daudzums konstatēts pētījumu teritorijas ziemeļaustrumu daļas atsegumu Sēlijas un Atzeles ridu karbonātiežos.

Arī Vija Hodireva savā promocijas darbā (Hodireva, 1997) norāda, ka Apes un Dārziema atradnēs (skatīt 5.49. attēlu) ir liels kārtaino (sīkslāņoto) dolomītu daudzums, pie tam šo iežu slāņi griezumā cikliski atkārtojas. Šie dolomīti atbilst autora pētītājiem laminītiem. Kopumā epikontinentālās platformas Z zona apliecina izvirzīto hipotēzi par plūdmaiņu līdzenuma tipa sedimentāciju.

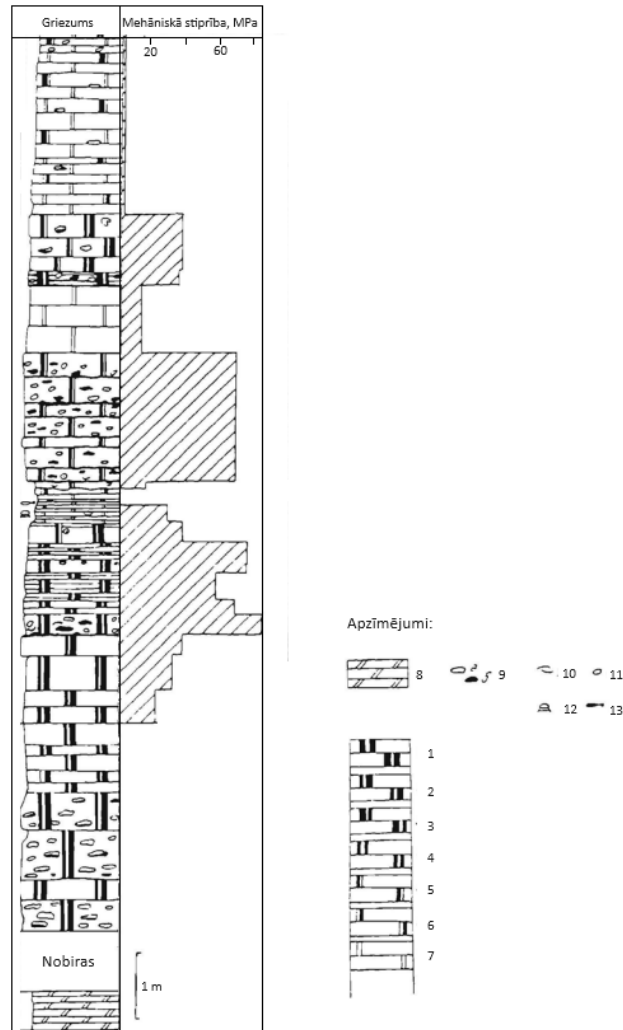
No vēlā karbona līdz agrajam permam mūsdienu Ķīnas ziemeļos veidojās plaša epikontinentāla jūra (Ordosas baseins) ar platību aptuveni 280 000 km², kur uzkrājās karbonātiskās nogulas, mijoties ar klastisko materiālu. Tur ir atklātas plūdmaiņu pazīmes (Guangquan, Lidong, 2021). liels. Īpaši izceļama tieši karbonātiskās pamatmasas un klastiskā materiāla savstarpēja mija ar viļņotu slāņojumu, kāda promocijas darba pētījumā tika konstatēta Pļaviņu svītas Sēlijas ridā – Īļaku ieža 1. slānī.

Citviet pasaulē, piemēram, Ķīnas dienvidos, Maojingas provincē, devona Franas stāva slāņkopas apakšdaļa sastāv pārsvarā tikai no rifu veidojošajiem organismiem – tie ir tīri organogēni karbonātieži. Tikai virzienā uz augšu pieaug tīru karbonātiežu, ar retām organismu un augu atliekām, īpatsvars (Shen *et al.*, 2017).

Arī Āfrikas kontinentā, Lībijā, Sirtes (*SIRT*) baseinā, paleogēnā veidojušās visai plašas seklas jūras karbonātu platformas, vietām sasniedzot pat 300 km² platību. Sirtes karbonātu baseina izmēri kopumā sasniedz gandrīz 230 000 km². Izgulsnējušās biezas karbonātiežu slāņkopas, jo sedimentācijas gaitā notikuši arī transgresijas procesi. Jāpiebilst, ka šī baseina izplešanās (gan vertikāli, gan laterāli) notikusi tektonisku procesu iespaidā, laika posmā no krīta līdz pat eocēna epochai. Šeit galvenokārt sastopami kaļķakmeņi un karbonātiskas izcelsmes slānekļi. Šajā pētījumā, papildus mūsdienu standarta karbonātiežu pētījumu metodēm, pielietota arī seismiskā izpēte, ar mērķi nodalīt seismiskās fācijas (Abdalla *et al.*, 2023). Laikā, kad notikusi karbonātisko nogulu sedimentācija šajā baseinā (paleocēns līdz vidējais eocēns), bijuši saunas (no angļu val. – *hothouse*) tipa klimatiskie apstākļi, līdzīgi, kā devona Pļaviņu laikposmā. Tomēr svarīgi minēt, ka Sirtes baseinā, sedimentācijas gaitā notikusi gan transgresija, gan arī pakāpeniska karbonātu platformas grimšana tektonisku procesu ietekmē (Abdalla *et al.*, 2023). Līdz ar to jāsecina, ka šie sedimentācijas apstākļi nav analogi devona Pļaviņu laikposmam.

Arī vidējā krīta periodā, Irānas dienvidu daļā, pētīta (Xu *et al.*, 2023) plaša karbonātu platforma. Šī, Kenomenas (no angļu val. – *Cenomanian*) karbonātu platforma atrodas Zagrosas kalnu masīvā un ir veidota no rifu organismiem – hermatipiskajiem koraļļiem, līdzīgi, kā mūsdienu karbonātu platformas Bahamās, Lielajā Barjerrifā u.c. Vidējā krīta laikposmā,

Kenomenas karbonātu platforma, veidojusies karbonātiskajām nogulām uzkrājoties, galvenokārt, seklā jūrā un lagūnas tipa sēkļos (Xu *et al.*, 2023), kas ir līdzīgi apstākļi Pļaviņu laikposmam Baltijas devona paleobaseina centrālajai daļai. Tomēr konstēta būtiska atšķirība, kas neļauj to salīdzināt ar Pļaviņu laikposma baseinu – Pļaviņu laikposma epikontinentālā baseina karbonātiežos disertācijas autors nav novērojis izteiktas pazīmes tik plašiem rifu veidojumiem, konkrēti, barjerrifiem. Konstatēti tikai reti organogēni slāņi, kurus iespējams klasificēt, kā rifu veidojumus – Marinovas atradnes atsegumā (Atzeles ridas augšdaļā), kā arī Apes pamestās atradnes atseguma augšdaļā, tā 6. slānī (Apes ridā).



5.49. attēls. Dārziema atradnes dolomīta atradnes ģeoloģiskais griezum (modificēts pēc: Hodireva, 1997).

Apzīmējumi. Dolomīta veidi: 1 – rupjkristāliskais; 2 - marmorveida; 3 - kvarcītveida; 4 – vienmērīgi graudainais mirdzošais; 5 – nevienmērīgais smilšakmens veida; 6 – joslainais smilšakmensveida; 7 – zemjainais; 8 – dolomītmergelis. Citi apzīmējumi: 9 – kavernas: a) tukšas, b) pildītas; 10 – bezmugurkaulnieku atliekas (gastropodu, brahiopodu un citu); 11- onkolīti; 12 – eripterīdu atliekas; 13 – zivju atliekas.

Figure 5.49. Geological section from Dārziems quarry exposure (modified after: Hodireva, 1997).

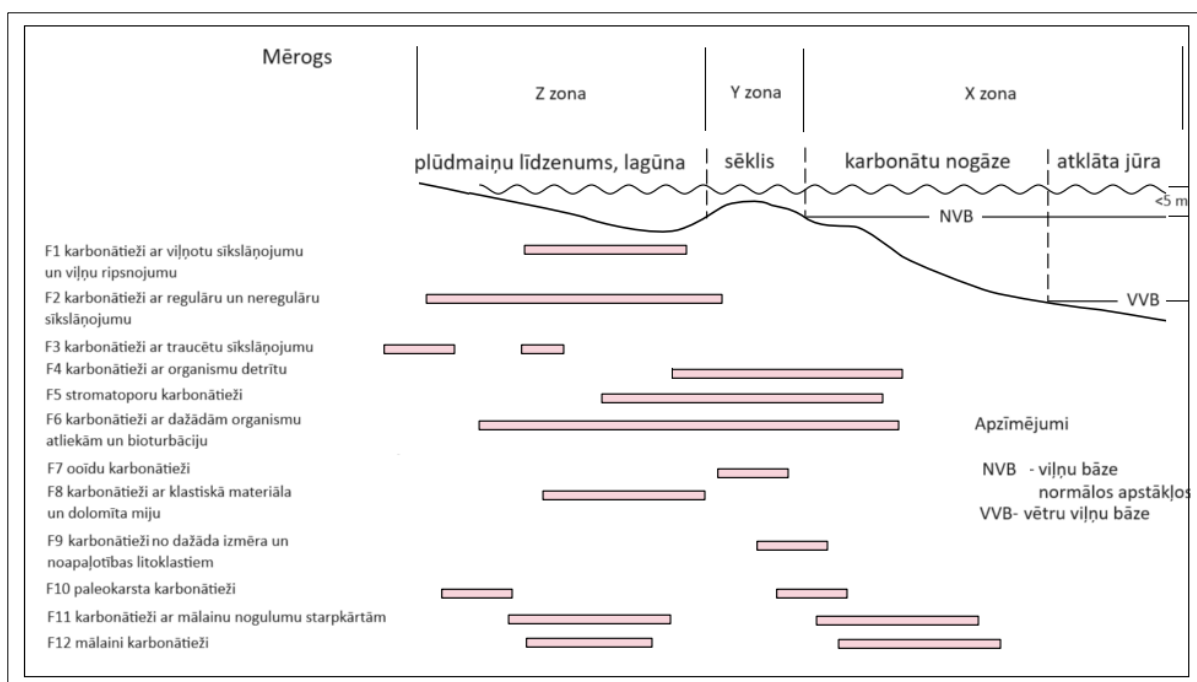
Legend. Dolomite types: 1 – coarse crystalline; 2 – marble-like; 3 – quartzite-like; 4 – evenly grained, sparkling; 5 – non-homogeneous sandstone-like; 6 – banded, sandstone-like; 7 – earthy; 8 – dolomitic

marl. Other legend: 9 – vugs: a) empty, b) filled; 10 – gastropod, brachiopod, and other invertebrate remains; 11 – oncoids; 12 – eurypterid remains; 13 – fish remains.

Kā viens nozīmīgs un tuvs analogs Baltijas devona paleobaseinam epikontinentālajai platformai ir jāmin Euklas (no angļu val. – *Eucla basin*) epikontinentālā platforma Austrālijas dienvidu daļā (O’Connell, *et al.* 2012), kur izplatīti samērā līdzīgi karbonātieži un to fācijas (gan laminītiski, gan arī bagāti ar organismu atliekām u.c.), kādi pētīti Pļaviņu svītā. Svarīgi pieminēt, ka Euklas baseina epikontinentālā platforma (platība 120 000 km²) pēc izmēriem ir līdzīga mūsdienu Lielajam barjerīfām un ievērojami lielāka nekā mūsdienu Bahamu baseins (78 000 km²). Euklas karbonātu platformas nogulumiežos sastopami galvenokārt subtropiskos apstākļos veidojušies kaļķakmeņi, kas ir maz pārveidoti vai nav vispār pārveidoti dolomitizācijas procesos, kas atvieglo sedimentācijas procesu interpretāciju, kas ir pretēji autora pētītajiem Pļaviņu laikposma karbonātiežiem.

Šī disertācijas pētījuma rezultāti nav tieši attiecināmi uz citiem karbonātu sedimentācijas baseiniem pasaulē, jo, lai gan devona periodā vairākus kontinentus klāja epikontinentālas jūras, tomēr ir zināmi arī visai atšķirīgi piemēri. Tā, piemēram, Apalaču baseinā (no angļu val. – *Appalachian Basin*), devona perioda Franas laikmetā bijuši galvenokārt dziļūdens apstākļi ar retiem izņēmumiem baseina austrumu daļā, kur bijusi seklāka jūra un vērojama arī neliela izmēra masu izmiršanas epizode (Bush *et al.*, 2015).

Pētījuma gaitā, apskatot citu karbonātiežu sedimentoloģisko pētījumu datus, kā arī izvērtējot iegūtos rezultātus, autoram izdevies izveidot Pļaviņu laikposma (Baltijas paleobaseina centrālā daļa) karbonātiežu sedimentācijas modeli ar nodalīto fāciju izvietojumu plaknē (5.50. attēls), kā arī sadalījumu pēc aptuveniem karbonātisko nogulu sedimentācijas dziļumiem seklas epikontinentālas jūras baseinā.



5.50. attēls. Karbonātiežu sedimentācijas divdimensionāls modelis ar nodalīto fāciju novietojumu Pļaviņu laikposma epikontinentālajam baseinam (Danefelds un Mešķis, 2024: *izdevniecībā*).

Figure 5.50. Carbonate depositional 2D model with distribution of distinguished facies for the Pļaviņas time epeiric basin (Danefelds and Mešķis, 2024: *in press*).

Promocijas darba gaitā veiktajos pētījumos ir noskaidrots, ka visvairāk kārtaino dolomītu un laminītu, kā arī lokālas plūdmaiņu pazīmes un vīļņu darbības pazīmes, ir

sastopamas pētījuma teritorijas ziemeļu un ziemeļaustrumu daļā Sēlijas un Atzeles ridā, savukārt dolomītu ar organismu atliekām un viendabīgo dolomītu ir salīdzinoši vairāk pētījumu teritorijas rietumu daļā.

Kokneses ridas karbonātieži pētījumu teritorijā konstatēti tikai ziemeļaustrumos, Dārzciema dolomīta atradnes atseguma apakšdaļā, Randātu klinšu apakšdaļā, Kalamecu un Markuzu gravas atseguma apakšdaļā un Kalkahju (Peetri) atseguma apakšdaļā. Galvenokārt konstatēti mālaini karbonātieži, nereti arī ar halīta pseidomorfozēm, kas norāda uz arīda klimata apstākļiem. Kokneses ridas karbonātieži klasificējami, kā Z zonas tipa (pēc Irwin, 1965).

Sēlijas laikposmā iesākusies baseina transgresija, līdz ar to, pakāpeniski palielinās karbonātiežu slāņkopu biezumi (gan ciklu, gan atsevišķu slāņu), kā arī organismu daudzveidība baseinā. Jāmin, ka kārtaini dolomīti un laminīti (bez organismu atliekām, vai to minimālu daudzumu un daudzveidību) biežāk sastopami pētījumu teritorijas ziemeļaustrumu daļā, savukārt biežāki slānīši, rietumu virzienā, kur arī pieaug organismu daudzveidība un daudzums. Sēlijas laikposma karbonātiežos vietām (piemēram, Kalamecu un Markuzu gravas atsegumā, Sēlijas ridā, un citviet) manāms cikliskums, kas iezīmē pakāpenisku, periodisku plūdmaiņu procesu ietekmi uz sedimentāciju. Sēlijas laikposma karbonātiežos nodalīta Z zona (ziemeļaustrumu virziens) un X zona (rietumu virziens). Cikliskums un plūdmaiņu ietekme (t.sk. plūdmaiņu ritmīti) uz karbonātu sedimentāciju, novērota tieši pētījumu teritorijas ziemeļaustrumu daļā. Par to, ka savienojums ar atklāto okeānu atradies ziemeļaustrumos un norobežots baseins rietumu virzienā liecina laminīti (Irwin, 1965).

Konstatēts, ka karbonātieži ar organismu atlieku detrītu ir biežāk izplatīti virzienā uz dienvidrietumiem un pētījumu teritorijas centrālajā daļā – Vizulu iezī (Sēlijas ridā), cikliski arī Randātu klintīs (Atzeles ridā). Šīs teritorijas atbilst lokālai Y zonai (Irwin, 1965). Pārskalotais materiāls liecina par rifa nogāzi, kas vērsta pret atklātu jūru, kas atradies rietumu virzienā. Savukārt izteikti vētru slāņi, tādi kā konglomerāti vai brekcijas, konstatēti pētījumu teritorijas ziemeļaustrumu daļā, kā arī vienā gadījumā, rietumu daļā, tas ir, Marinovas atradnes atseguma augšdaļā (atbilst Atzeles laikposma noslēgumam) un Īļaku ieža vidusdaļā (atbilst Sēlijas laikposma vidum). Kopsakarības starp Vizulu iezī konstatēto organismu detrītu un Īļaku iezī sastopamo vētru slāni (brekciju), norāda uz to, ka Sēlijas laikposmā šajā apvidū bijusi Y zona (Irwin, 1965), kas vērsta pret atklātu jūru. Tas gan neliecina par rifu, jo nav konstatētas rifa raksturojošas pazīmes – izteikti organogēni karbonātieži. Visticamāk, šo lokālo pacēlumu var klasificēt kā karbonātisku nogulu sēkli, tā nogāzi, kas vērsta pret atklātu jūru. Interpretējot Marinovas atradnes augšdaļā pētīto konglomerātu, var secināt, ka Atzeles laikposma noslēgumā, šajā apvidū bijis lokāls, neliels rifs, kas klāts ar karbonātiskām nogulām (organogēnie karbonātieži ir bagāti ar stromatoporu, gliemežu, barhiopodu, koraļļu, jūras liliju u.c. organismu atliekām). To pierāda tas, ka konglomerāts ir veidots no noapaļotiem kaļķakmens atlūzu fragmentiem. Ir novērojams arī gradācijas slāņojums, kur litoklastu izmēri pieaug virzienā uz leju (jāatzīmē arī tas, ka litoklasti uzguļ uz iepriekšējā slāņa virsmas). Marinovas atradnes atseguma augšdaļā pētītie konglomerāti norāda uz izteiktu Y zonas tipa sedimentāciju – bijusi rifa nogāze ar augstu hidrodinamisko režīmu.

Vietām Atzeles ridas apakšdaļā (pētījumu teritorijas ziemeļaustrumos) sastopami biežāki, masīva dolomīta slāņi, kuros ir mazāk organismu atlieku, kas sakrīt ar senāku pētījumu secinājumiem par to, ka Atzeles laikposma sākumā bijusi vēlā devona maksimālā transgresijas epizode (Sorokin, 1978; Sorokin, 1981), kas acīmredzami izpaudusies ar lokālu raksturu. Kā izņēmums, autora ieskatā, jāmin Marinovas apkārtnē, kur bijis jau iepriekš darbā minētais lokāla tipa rifs.

Domājams, ka Īļaku ieža un Vizulu ieža apkārtne Sēlijas laikposmā epizodiski ir attīstījušies ooīdu sēkli (Li *et al.*, 2019), par ko liecina vietām atrodamie bagātīgi ooīdu sakopojumi. Šajā pat laikposmā (Sēlijas rida), Kalamecu un Markuzu gravas atsegumā konstatētas brekcijas, kas liek domāt par, iespējamu, paleokarsta izplatību šajā apvidū – šie procesi norisinās vietās, kas ir pakļautas straujākām ūdens līmeņa izmaiņām baseinā – ūdens līmenis krities (domājams, arī bijuši ooīdu sēkli vai plūdmaiņu līdzenumi). Atzeles laikposma

karbonātiežos arī nodalīta Z zona un X zona, šo zonu iedalījums daļēji sakrīt ar Sēlijas laikposma karbonātiežu zonējumu, atbilstoši Irvina klasifikācijai (Irwin, 1965).

Apes laikposmā sedimentācijas apstākļi bijuši mierīgi (nav konstatēts nedz organismu atlieku detrits, nedz vētru slāņi u.c. aktīvu hidrodinamisko vidi raksturojošas tekstūras), bet laika gaitā baseinā ir mainījies ūdens dziļums, uz ko norāda kārtaino karbonātiežu izplatība dažviet, gan pētījumu teritorijas galējos ziemeļaustrumos (Apes pamestās dolomīta atradnes atsegums), gan arī rietumos (Riežupes klinšu mazajā atsegumā).

Kā norādīts vēl salīdzinoši nesenos literatūras datos par devona nogulumiežiem Latvijā (Lukševičs, Stinkulis, 2018b; Pontén, Plink-Björklund, 2007), tobrīd vēl nebija skaidras ūdens apmaiņas īpatnības starp Baltijas devona epikontinentālo baseinu un pārējo pasaules okeānu.

Promocijas darbā secināts, ka kārtainie dolomīti un tiem līdzīgie nogulumi (FA1) atbilst Z zonai (pēc Irwin 1965), kas ir vērsta iekšzemes virzienā no aktīva hidrodinamiskā režīma zonas (Y zonas, pēc Irwin 1965). Organismiem bagātīgo (galvenokārt, FA2) karbonātiežu izplatība kopumā pieaug virzienā uz rietumiem un dienvidrietumiem, kas klasificējuma, kā karbonātu platformas X zona. Līdz ar to, pretēji, kā to savos pētījumos pagājušajā gadsimtā minējis Sorokin un Brangulis (Sorokin, 1978 un 1981; Brangulis, 1998), ir secināms, ka baseina savienojuma atklātā daļa ar pasaules okeānu Pļaviņu laikposma Sēlijas un Atzeles periodos ir atradusies pētījumu teritorijas dienvidrietumu virzienā. Jau 2012.gadā Prof. Dr. geol. Ervīns Lukševičs ar kolēģiem (Lukševičs *et al.*, 2012) norādījis uz iezīmēm, kas liecina par savienojuma ar pasaules okeānu atrašanos dienvidrietumu un dienvidu virzienā (tagadējā Polijas teritorija). Promocijas darba pētījuma autora iegūtie rezultāti un izdarītā datu interpretācija to apstiprina.

SECINĀJUMI

Apkopojot promocijas darba pētījumā iegūtos rezultātus par sedimentācijas apstākļiem un to īpatnībām Pļaviņu laikposmā Baltijas paleobaseina centrālajā daļā, pētījuma laikā iegūtie dati un rezultāti ļauj izdarīt sekojošus secinājumus:

- Organismu asociācijas, ihnofosilijas, kā arī oglekļa un skābekļa stabilo izotopu dati norāda, ka Pļaviņu svītas karbonātieži Latvijā un Igaunijas dienvidaustrumu daļā ir veidojušies marīnos apstākļos;

- Pētītie Kokneses ridas un Sēlijas ridas apakšdaļas nogulumieži ir veidojušies vidējā un augšējā plūdmaiņu zonā. Šajā laikā baseinā pieplūda liels mālainā materiāla daudzums un vismaz Kokneses laikposma iesākumā bijis arī klimats, par ko liecina halīta pseidomorfozes;

- Sēlijas ridas augšējās un vidējās daļās, un Atzeles ridas nogulumu veidošanās laikā sedimentācijas apstākļi bijuši mainīgi, taču dominēja apakšējās plūdmaiņu zonas apstākļi. Tas norāda, ka Sēlijas laikposmā sākās un Atzeles laikposma sākumā turpinājās neliela ūdens līmeņa celšanās baseinā, ko uzrāda ciklu biezuma palielināšanās Kalamecu un Markuzu gravas atseguma ģeoloģiskajā griezumā, kā arī Dārziema dolomīta atradnes griezumā;

- Apes ridas nogulumiežu veidošanās laikā sedimentācijas apstākļi bijuši mierīgi, bijuši galvenokārt atklātas jūras apstākļi, domājams, ka attīstījusies periodiska rakstura baseina transgresija, kas iesākās jau Sēlijas laikposmā un turpinājās Atzeles laikposmā, bet tā bijusi mazāka apmēra, jo maksimālā transgresijas epizode norisinājās tieši Atzeles laikposma sākumā;

- Sedimentācijas procesus Pļaviņu laikposmā pētījumu teritorijā periodiski ietekmēja vētru darbība, tomēr bijuši galvenokārt mierīgi līdz samērā aktīvi sedimentācijas apstākļi. Izteiktākais vētru slānis konstatēts Marinovas atradnes atseguma augšdaļā, kur veidojies konglomerātisks vētru slānis (tempestīts) – šī lokālā teritorija atbilst Y zonai, atbilstoši Irvina (Irwin, 1965) klasifikācijai;

- Sedimentācijas procesus Pļaviņu laikposmā ietekmējušas arī īsas subaerālās atsegšanās epizodes, kad veidojušās žūšanas plaisas u.c. tekstūras, kas to apstiprina;

- Pētījumu teritorijas ziemeļaustrumu daļā novērotais nogulumu cikliskums Pļaviņu laikposmā liecina par ūdens dziļumu līdz apuveni 1,6 m. Cikli vistīcāmāk ir veidojušies karbonātu platformas daļu progradācijas rezultātā, jo pārējā baseina daļā nav pazīmju par cikliskuma saistību ar ūdens līmeņa svārstībām;

- Pētītajos karbonātiežos konstatētās ieapaļās stromatoporu fosilijas, to izmērs, novietojums, norāda uz sedimentāciju lagūnas, jeb aizrifa apstākļos (mazākā izmēra stromatoporu atliekas), vai rifa nogāzes, kas vērsta pret atklātu jūru apstākļos; abos gadījumos tās ir apgāztas vai apveltas un izvietotas ķēdītēs, citviet arī haotiski, kas liecina par viļņu (nereti, arī vētru epizožu) darbības ietekmi uz sedimentāciju;

- Dolomitizācijas procesi un dolomīta pārkristalizēšanās ir būtiski ietekmējuši pētīto karbonātiežu sākotnējās tekstūras, struktūras, ķīmisko un minerālo sastāvu, ko apstiprina ne tikai lauka pētījumu gaitā novērotais, bet arī XRD, XRF un oglekļa un skābekļa stabilo izotopu analīžu rezultāti;

- Sedimentācijas procesa gaitā Pļaviņu laikposma baseinā ir bijuši oksiski seklas jūras gultnes apstākļi un vidēja organiskā aktivitāte (oligotrofi apstākļi). Pētītā Randātu klinšu vidusdaļas un augšdaļas dolomīta slāņos, kā arī Riežupes lielā atseguma visa ģeoloģiskā griezuma dolomīta slāņos sākotnēji, bijis augstāks organisko vielu saturs, bet tas

samazinājies oksidācijas rezultātā;

- Sēlijas un Atzeles laikposmā virzienā uz ziemeļaustrumiem ir atradusies norobežota baseina daļa, bet tas neizslēdz to, ka norobežota daļa baseinam varēja būt arī dienvidrietumu virzienā. Tomēr virzienā uz dienvidiem un dienvidrietumiem izteikti pieaug atklāta baseina pazīmju kopums (dolomīti ar organismu atliekām u.c.);

- Nogulumiežu sastāvs, tekstūras un tajos sastopamie organismu kompleksi kopumā maz mainās to izplatības laukumā, kas liecina par to, ka Baltijas paleobaseina centrālajā daļā Pļaviņu laikposmā bijusi epikontinentāla platforma;

- Sēlijas, Atzeles un Apes ridas nogulumu veidošanās apstākļus ir būtiski ietekmējuši plūdmaiņu procesi.

Šī promocijas pētījuma izstrādes gaitā tika konstatētas vairākas problēmas, kuras pētījuma autors plāno risināt turpmākos pēcdoktorantūras sedimentoloģiska rakstura pētījumos, pēc doktora grāda iegūšanas. Iespējams arī paplašināt pētījuma teritoriju, pētot vēl ģeoloģiskos objektus Lietuvas ziemeļrietumu daļā, Kurzemē, Vidzemes ziemeļaustrumos un Igaunijas dienvidaustrumos.

IZMANTOTĀ LITERATŪRA

Publicētā literatūra

- Aderoju, T., Bend, S. 2018. Reconstructing the palaeoecosystem and palaeodepositional environment within the Upper Devonian – Lower Mississippian Bakken Formation: A biomarker approach. *Organic Geochemistry* 119 (2018), 91-100.
- Ahm, Anne-Sofie C., Bjerrum, C.J., Blattler, C.L., Swart, P.K., Higgins, J.A. 2018. Quantifying early marine diagenesis in shallow-water carbonate systems. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 236 (2018), 140-159.
- Algeo, T. J., Heckel, P., Maynard, J. B., Blakely, R., Rowe, H. 2008. Modern and ancient epicratonic seas and the superestuarine circulation model of marine anoxia. *In: Dynamics of Epeiric Seas: Sedimentological, Paleontological and Geochemical Perspectives*. Special Paper of the Geological Association of Canada 48, 7-38.
- Amthor, J.E., Mountjoy, E.W., Machel, H.G. 1993. Subsurface dolomites in Upper Devonian Leduc build-ups, central part of Rimbey-Medowbrook reef trend, Alberta, Canada. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, 41, 164-184.
- Azami, S. H., Wagreich, M., Mehrizi, M. M., Gharaie, M. H. M., Gier, S., Leckie, M. R. 2021. Sedimentology and sediment geochemistry of the pelagic Paryab section (Zagros Mountains, Iran): implications for sea level fluctuations and paleoenvironments in the late Paleocene to middle Eocene. *Arabian Journal of Geosciences*. 14: 1032.
- Brangulis, A., Kuršs, V., Misāns, J., Stinkulis, Ģ. 1998. *Latvijas ģeoloģija*. Rīga: Valsts ģeoloģijas dienests, 70.
- Buggisch, W., Mann, U. 2004. Carbon isotope stratigraphy of Lochkovian to Eifelian limestones from the Devonian of central and southern Europe. *International Journal of Earth Sciences*, 93, 521-541.
- Burt, R. 2004. *Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations Report, 42, Version 4.0*. United States Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Washington, 693-694.
- Bush, M.A., Csonka, J.D., DiRenzo, G.V., Over, D.J., Beard, J.A. 2015. Revised correlation of the Frasnian-Famennian boundary and Kellwasser Events (Upper Devonian) in shallow marine paleoenvironments of New York State. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 433 (2015), 233-246.
- Catuneanu, O. 2006. *Principles of sequence stratigraphy*. Elsevier, 375 p.
- Choquette, P.W., Cox, A., Meyers, W.J. 1992. Characteristics, distribution and origin of porosity in shelf dolostones: Burlington-Keokuk Formation (Mississippian), U.S. mid-continent. *Journal of Sedimentary Petrology*, 62, 167-189.
- Colombie, C., Lecuyer, C., Strasser, A. 2010. Carbon- and oxygen-isotope records of palaeoenvironmental and carbonate production changes in shallow-marine carbonates (Kimmeridgian, Swiss Jura). *Geological Magazine*, 148, 133-153.
- Da Silva, A.C., De Wleeschouwer, D., Boulvain, F., Crucifix, M., Claeys, P. 2011. Precessional and half-precessional climate forcing of Mid-Devonian monsoon-like dynamics. *Climate of the Past*, 8, 337-351.
- Da Silva, A.C., Boulvain, F. 2004. From palaeosols to carbonate mounds: facies and environments of the middle Frasnian platform in Belgium. *Geological Quarterly*, 2004, 48 (3): 253-266.
- De Winter, J.N., Claeys, P. 2016. Micro X-ray fluorescence (IXRF) line scanning on Cretaceous rudist bivalves: A new method for reproducible trace element profiles in bivalve calcite. *Sedimentology*, 1-21.

- Flügel, E. 2004. *Microfacies of carbonate rocks: analysis, interpretation and application*.
- Garland, J. 1997. *Middle to Upper Devonian (Givetian and Frasnian) Shallow-Water Carbonates of Western Europe: Facies Analysis and Cyclicity*. Doctoral thesis, University of Durham.
- Gravitis V. A. 1967. *O facial'nyh izmenenij karbonatnoj chasti franskogo jarusa v Gulbenskoj vpadine i na ee severnom i vostochnom obramlenii. Voprosy geologii srednego i verhnego paleozoja Pribaltiki*. Pod red. Egorova D.F. – Riga, s. 54-84.
- Guangquan, Z., Lidong, M. 2021. Sedimentary facies of clastic-platform carbonate sediment strata of epicontinental sea in the Daniudi Gasfield, Ordos Basin. *Natural Gas Industry B* 8 (2012), 239-251.
- Gutteridge, P. 1989. Controls on carbonate sedimentation in Brigantian intrasheld basin (Derbyshire). *Yorkshire Geological Society, Occasional Publications*, No. 6, p. 171–187.
- Hardy, R.G. and Tucker, M.E. 1988. X-ray powder diffraction of sediments. *Techniques in Sedimentology*, 121-122.
- Higgins, J.A., Blattler, C.L., Lundstrom, E.A., Santiago-Ramos, D.P., Akhtar, A.A., Cruger Ahm, A-S., Bialik, O., Holmden, C., Bradbury, H., Murray, S.T., Swart, P.K. 2017. Mineralogy, early marine diagenesis, and the chemistry of shallow-water carbonate sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 220 (2018), 512-533.
- Immenhauser, A. 2009. Estimating palaeo-water depth from the physical rock record. *Earth-Science Reviews*, 96 (2009), Elsevier, 107-139.
- Immenhauser, A., Porta, G.D., Kenter, J.A.M., Bahamonde, J.R. 2003. An alternative model for positive shifts in shallow-marine carbonate ^{13}C and ^{18}O . *Sedimentology*, 50, 953-959.
- Irwin, M. W. 1965. General theory of epeiric clear water sedimentation. *AAPG Bulletin*, 49, 4, 445–459.
- James, N. P., Jones, B. 2016. *Origin of Carbonate Sedimentary Rocks*. John Wiley & Sons, 320 p.
- Jones, B. 2005. Dolomite crystal architecture: genetic implications for the origin of the Tertiary dolostones of the Cayman Islands. *Journal of Sedimentary Research*, 75, 177-189.
- Kershaw, S., Mõtus, M. 2016. Palaeoecology of corals and stromatoporoids in a late Silurian biostrome in Estonia. *Acta Palaeontologica Polonica* 61 (1): 33-50.
- Kershaw, S., Munnecke, A., Jarochovska, E. 2018. Understanding Palaeozoic stromatoporoid growth. *Earth-Science Reviews* 187, 53-76.
- Kleesment, A., Urtson, K., Kiipli, T., Martma, T., Poldvere, A., Kallaste, T., Shogenova, A., Shogenov, K. 2013. Temporal evolution, petrography and composition of dolostones in the Upper Devonian Plavinas Regional Stage, southern Estonia and northern Latvia. *Estonian Journal of Earth Sciences*, 62, 3. 139–159.
- Kurik, E.M., Poldvere, A. 2012. Devonian stratigraphy in Estonia: current state and problems. *Estonian Journal of Earth Sciences*, 2012, 61, 1, 33-47.
- O'Connell, L.G., James, N.P., Bone, Y. 2012. The Miocene Nullarbor Limestone, southern Australia; deposition on a vast subtropical epeiric platform. *Sedimentary Geology*, 253-254. 1-16.
- Laya, J. C., Tucker, M. E. 2012. Facies analysis and depositional environments of Permian carbonates of the Venezuelan Andes: Palaeogeographic implications for Northern Gondwana. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 331, 1–26.
- Land, L.S., 1980. The isotopic and trace element geochemistry of dolomite: the state of the art. In: Zenger, D.H., et al. (Editor.), *Concepts and Models of Dolomitisation*, *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists (SEPM), Special Publication*, 28, 87–110, Tulsa, Oklahoma.
- Li, F., Gong, Q., Burne, R.V., Tang, H., Su, C., Zeng, K., Zhang, Y., Tan, X. 2019. Ooid factories operating under hothouse conditions in the earliest Triassic of South China. *Global and Planetary Change*, 172 (2019), 336-354.

- Li, Q., Jiang, Z., Hu, W., You, X. 2015. Origin of dolomite in the Middle Triassic Zhouchongcun Formation, central lower Yangtze region, Southeast China. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, **1**: 89–100.
- Liepin'sh P. P. 1963. *Usloviya formirovanija franskih otlozhenij Pribaltiki*. Franske otlozhenija Latvijas SSR. Riga, s. 311-337.
- Luczynski, P. 1998. Stromatoporoid morphology in the Devonian of the Holy Cross Mountains, Poland. – *Acta Palaeontologica Polonica* 43, 4, 653-663.
- Luczynski, P. 2008. Growth forms and distribution patterns of stromatoporoids exposed on Devonian palaeobottom surfaces; Holy Cross Mountains, central Poland. *Acta Geologica Polonica*, Vol. 58, 3, 303-320.
- Lukševičs, E., Ahlberg, P. E., Stinkulis, Ģ., Vasiļkova, J., Zupiņš, I. 2011. Frasnian vertebrate taphonomy and sedimentology of macrofossil concentrations from the Langsēde Cliff, Latvia. *Lethaia*, 45, pp. 356–370.
- Lukševičs, E., Stinkulis, Ģ. 2018a. Nogulumiežu segas stratigrāfiskais iedalījums, uzbūve, sastāvs un reģionālās atšķirības, II, 3.1., Grām.: Latvija. Zeme, daba, tauta, valsts. Nikodemus, O., Kļaviņš, M., Krišjāne, Z., Zelčs, V. (zin. red.). Rīga: LU Akadēmiskais apgāds, lpp. 38-58.
- Lukševičs, E., Stinkulis, Ģ. 2018b. Devona un karbona sedimentācijas baseini, II, 6.4. Grām.: Latvija. Zeme, daba, tauta, valsts. Nikodemus, O., Kļaviņš, M., Krišjāne, Z., Zelčs, V. (zin. red.). Rīga: LU Akadēmiskais apgāds, lpp. 154-160.
- Lukševičs, E., Stinkulis, Ģ., Mūrnieks, A., Popovs, K. 2012. Geological evolution of the Baltic Artesian Basin. In: Dēliņa, A., Kalvāns, A., Saks, T., Bethers, U., Vircavs, V. (eds.) *Highlights of Groundwater Research in the Baltic Artesian Basin*. Riga, University of Latvia, 7-52.
- Lumsden, D.N., Caudle, G.C. 2001. Origin of massive dolostone: the Upper Knox model. *Journal of Sedimentary Research*, 71, 400-409.
- Mackensen, A., Schmiedl, G. 2019. Stable carbon isotopes in paleoceanography: atmosphere, oceans, and sediments. *Earth-Science Reviews*, 197, 102893.
- Masse, J.P., Fenerci, M., Pernarcic, E. 2003. Palaeobathymetric reconstruction of peridial carbonates Late Barremian, Urgonian, sequences of Proence (SE France). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 200 (2003), Elsevier, 65-81.
- Messadi, A.M., Mardassi, B., Ouali, J.A., Tour, J. 2016. Sedimentology, diagenesis, clay mineralogy and sequential analysis model of Upper Paleocene evaporite-carbonate ramp succession from Tamerza area (Gafsa Basin: Southern Tunisia). *Journal of African Earth Sciences*, 118 (2016), 205-230.
- Milliman 1974. *Marine carbonates. Recent sedimentary carbonates*. Part 1. Springer Verlag.
- Nichols, G. 1999. *Sedimentology and Stratigraphy*. Blackwell Science. 229-240.
- Ozkan, A.M., Elmas, A. 2009. Petrographic characteristic of the Kiziloren Formation (Upper Triassic-Lower Jurassic) in the Acpinar (Konya-Turkey) area. *Ozean Journal of Applied Sciences*, 2, 451-464.
- Pemberton, S.G., Frey, R.W. 1982. Trace fossil nomenclature and the Planolites-Palaeophycus dilemma. *Journal of Paleontology*, 56, 843-881.
- Pontén, A., Plink-Björklund, P. 2007. Depositional environments in an extensive tide-influenced delta plain, Middle Devonian Gauja Formation, Devonian Baltic Basin. *Sedimentology*, 54, 969-1006.
- Pontén, A., Plink-Björklund, P. 2009. Regressive to transgressive transits reflected in tidal bars, Middle Devonian Baltic Basin. *Sedimentary Geology*, 218, 48–60. Reading, H. G., Collinson, J. D. 1996. Clastic coasts. In: Reading, H. G. (ed), *Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy*. Blackwell Science, 154-231.
- Pratt, B. R., James, N. P. 1986. The St George Group (Lower Ordovician) of western Newfoundland: tidal flat island model for carbonate sedimentation in shallow epeiric seas. *Sedimentology*, 33, 313 – 343.

- Purser, B. H., Tucker, M. E., Zenger, D. H. 1994. Problems, progress and future research concerning dolomites and dolomitization. *Dolomites. A volume in honour of Dolomieu*. 21st pub. Oxford, Blackwell Science. 3-44.
- Racki, G. 1993. Brachiopod assemblages in the Devonian Kowala Formation of the Holy Cross Mountains. *Acta Palaeontologica Polonica* 37 (2-4), 297-357.
- Reading, H.G. (ed.) 1996. *Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy. Third Edition*. Oxford. Blackwell Science.
- Richardson, C.A., Peharda, M., Kennedy, H., Kennedy, P., Onofri, V. 2004. Age, growth rate and season of recruitment of *Pinna nobilis* (L) in the Croatian Adriatic determined from Mg: Ca and Sr: Ca shell profiles. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 299, 1-16.
- Schieber, R. 2016. Mud re-distribution in epicontinental basins – Exploring likely processes. *Marine and Petroleum Geology*, 71, 119-133.
- Scotese, C. R., 2014. *Atlas of Devonian Paleogeographic Maps*, PALEOMAP Atlas for ArcGIS, volume 4, The Late Paleozoic, Maps 65-72, Mollweide Projection, PALEOMAP Project, Evanston, IL.
- Sharp, Z.D. 2017. *Principles of Stable Isotope Geochemistry*. Upper Saddle River, N.J.: Pearson/Prentice Hall.
- Shen, J.W., Webb, G.E., Jell, J.S. 2008. Platform margins, reef facies, and microbial carbonates; a comparison Devonian reef complexes in the Canning Basin, Western Australia, and the Guilin region, South China. *Earth-Science Reviews* 88 (2008), 33-59.
- Shen, J.W., Zhao, N., Young, A., Mao, Y.J., Wang, Y. 2017. Upper Devonian reefs in microbialite at Maoying, South China – implications for paleoenvironmental changes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 474 (2017), 98-112.
- Sorokin, V. S. 1978. *Etapy razvitija severo-zapada Russkoj platformy vo franskom veke*. Riga, 282 s.
- Sorokins, V. 1997. Pļaviņu svīta. Grām. : *Enciklopēdija Latvijas daba. 4.sējums*. Preses nams Rīga, 160-167.
- Stinkule, A., Stinkulis, Ģ. 2017. *Latvijas kvarca smiltis*. LU Akadēmiskais apgāds, 77 lpp.
- Stow, A.W.D. 2007. *Sedimentary Rocks in the Field*. Manson Publishing.
- Tänavsuu-Milkeviciene, K., Plink-Björklund, P. 2009. Recognizing tide-dominated versus tide-influenced deltas: Middle Devonian strata of the Baltic Basin. *Journal of Sedimentary Research*, 79, 887–905.
- Teedumae, A., Shogenova, A., Kallaste, T. Dolomitization and sedimentary cyclicity of the Ordovician, Silurian, and Devonian rocks in South Estonia. *Proc. Estonian Acad. Sci. Geol.* 55, 1, 67-87.
- Tucker, M.E., Garland, J., 2010. High-frequency cycles and their sequence stratigraphic context: orbital forcing and tectonic controls on Devonian cyclicity, Belgium. *Geologica Belgica* 13 (3), 213 - 240.
- Tucker, M. E., Wright, V. P., 1990. *Carbonate Sedimentology*. Blackwell Scientific Publications, 482 p.
- Ulst, R.Z. 1963. *Karbonatnīje porodi franskovo jarusa Latvijskoj SSR*. Franskije otlozhenie Latvijskok SSR. Trudi Instituta geologii. Riga, 143-200.
- Vasconcelos, C., and McKenzie, J.A. 1997. Microbial mediation of modern dolomite precipitation and diagenesis under anoxic conditions (Lagoa Vermelha, Rio de Janeiro, Brazil), *Journal of Sedimentary Research*, 67: 378-390.
- Veizer, J. 1983. Trace elements and isotopes in sedimentary carbonates. *Reviews in Mineralogy*, 11.
- Vincent, B., Rambeaur, C., Emmanue, L., Loreau, J. 2006. Sedimentology and trace element geochemistry of shallow-marine carbonates: an approach to paleoenvironmental analysis along the Pagny-sur-Meuse Section (Upper Jurassic, France). *Facies*, 52(1): 69–84.

- Warren, J. 2018. Stable isotopes in evaporite systems: Part II - d13C (Carbon). Salty Matters (saltworkconsultants.com).
- Watkins, R. 1975. Silurian brachiopods in a stromatoporoid bioherm. *Lethaia*, Vol. 8, 53-61.
- Wendte, J., Uyeno, T. 2005. Sequence stratigraphy and evolution of Middle to Upper Devonian Beaverhill Lake strata, south-central Alberta. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, 53, 250-254.
- Wright, V. P., & Burchette, T. P. 1996. Shallow-water carbonate environments. In: Reading, H.G. *Sedimentary environments: processes, facies and stratigraphy*. 3rd edn. Oxford, Blackwell Science. 325-394.
- Xu, Y., Hu, X., Garzanti, E., Sun, G., Jiang, J., Li, J., Zhang, S., Schlagintweit, F., Rao, Z. 2023. Carbonate factories and their critical control on the geometry of carbonate platforms (mid-Cretaceous, southern Iran). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 635 (2023), 111680.

Nepublicētie avoti

- Hodireva, V. 1997. *Latvijas Devona dolomītu litoloģiski rūpnieciskie tipi*. Promocijas darbs ģeoloģijas doktora grāda iegūšanai vispārīgās ģeoloģijas apakšnozarē. Rīga, LU.
- Meškis, S. 2013. Pēdu fosiliju kompleksi galvenā devona lauka Franas stāva nogulumos. Disertācija. *Disertationes Geologicae Universitatis Latviensis*, Nr.26.
- Stinkulis, Ģ. 1998. *Latvijas devona klastisko-karbonātiežu un kaļķakmeņu-dolomītu pārejas zonu sedimentoloģija un mineraloģija*. Promocijas darbs. Rīga, LU.
- Tovmasjana, K. 2013. *Depositional environment of the tidally - dominated transgressive succession: Rēzekne and Pārnu regional Stages, Baltic Devonian basin*. Summary of the Doctoral thesis. Riga, University of Latvia, 88 p.

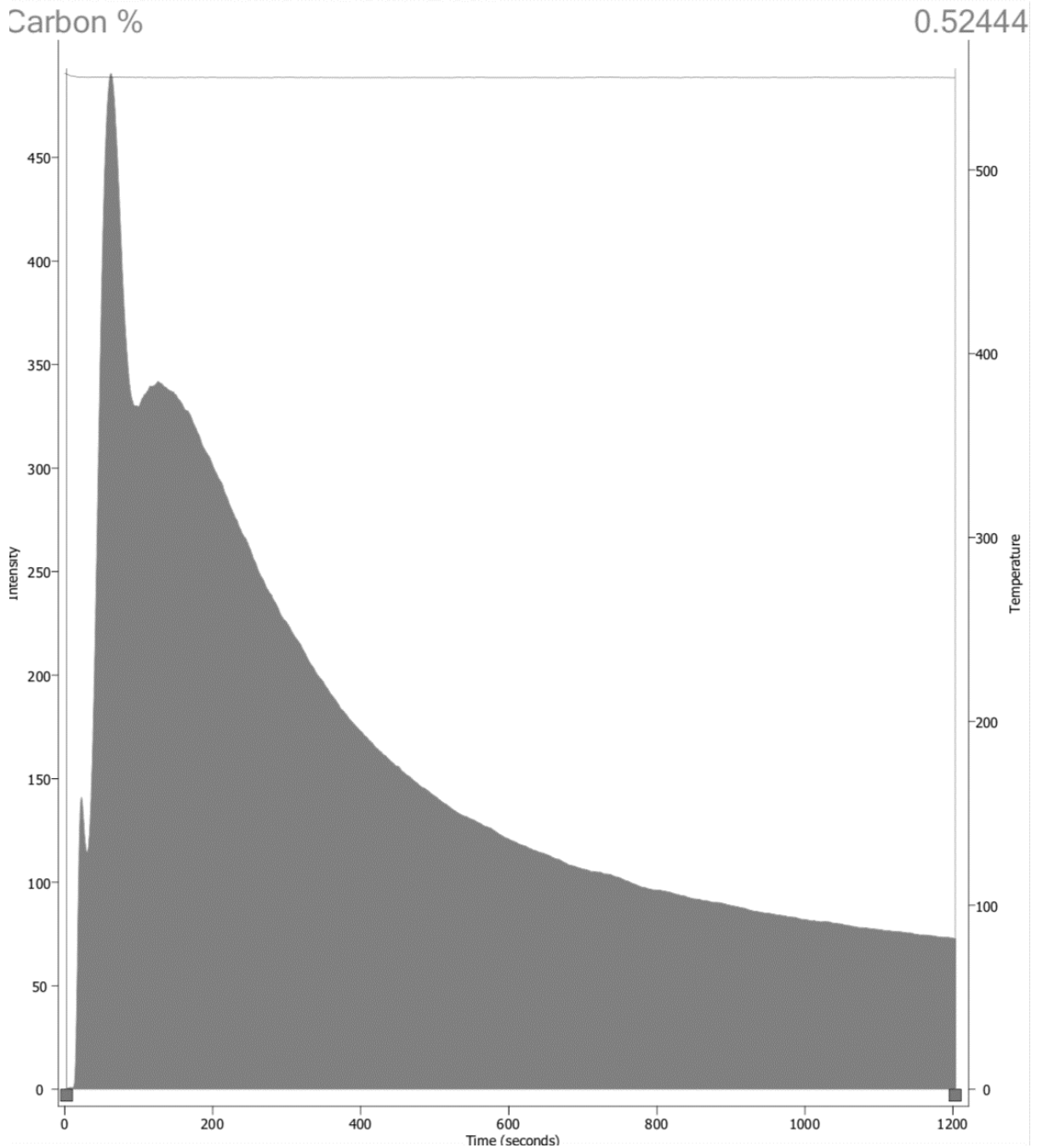
PIELIKUMI

1.Pielikums. TOC analīžu grafiki

Appendix 1. TOC analysis graphs

2/8/2018 2:28:20 PM

Sample	Mass	Furnace Method	TOC %	TIC %	Analysis Date
idgars 5	0.1551	TOC	0.0000	0.0000	2/8/2018 11:16:02 AM

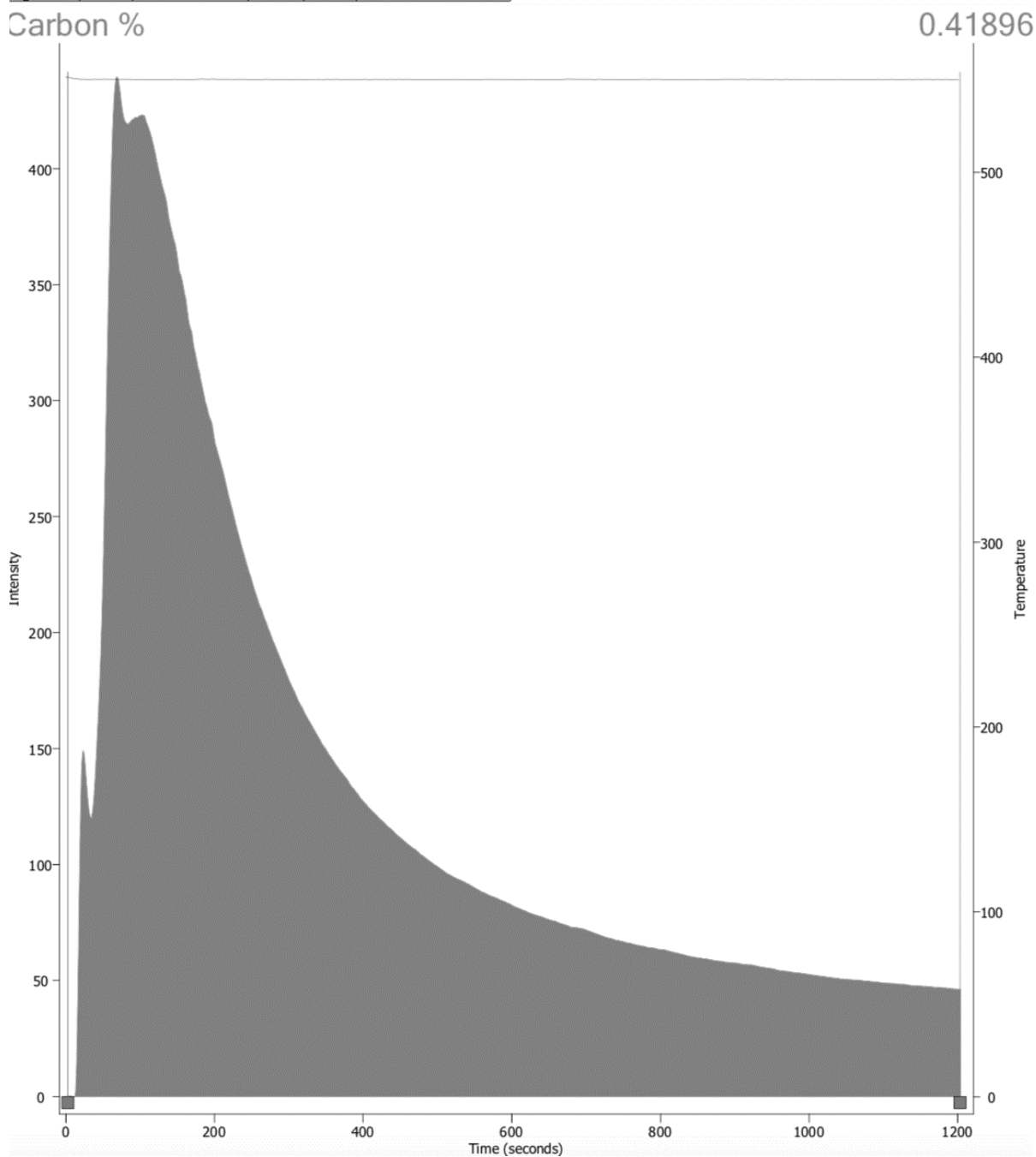


1. attēls. TOC analīzes grafiks paraugam no Randātu atseguma 5.parauga.

Figure 1. TOC graph for sample 5 from Randāti exposure.

2/8/2018 2:28:01 PM

Name	Mass	Furnace Method	TOC %	TIC %	Analysis Date
Edgars 9B	0.1581	TOC	0.0000	0.0000	2/8/2018 11:36:43 AM



2. attēls. TOC analīzes grafiks paraugam no Randātu atseguma 9B parauga.

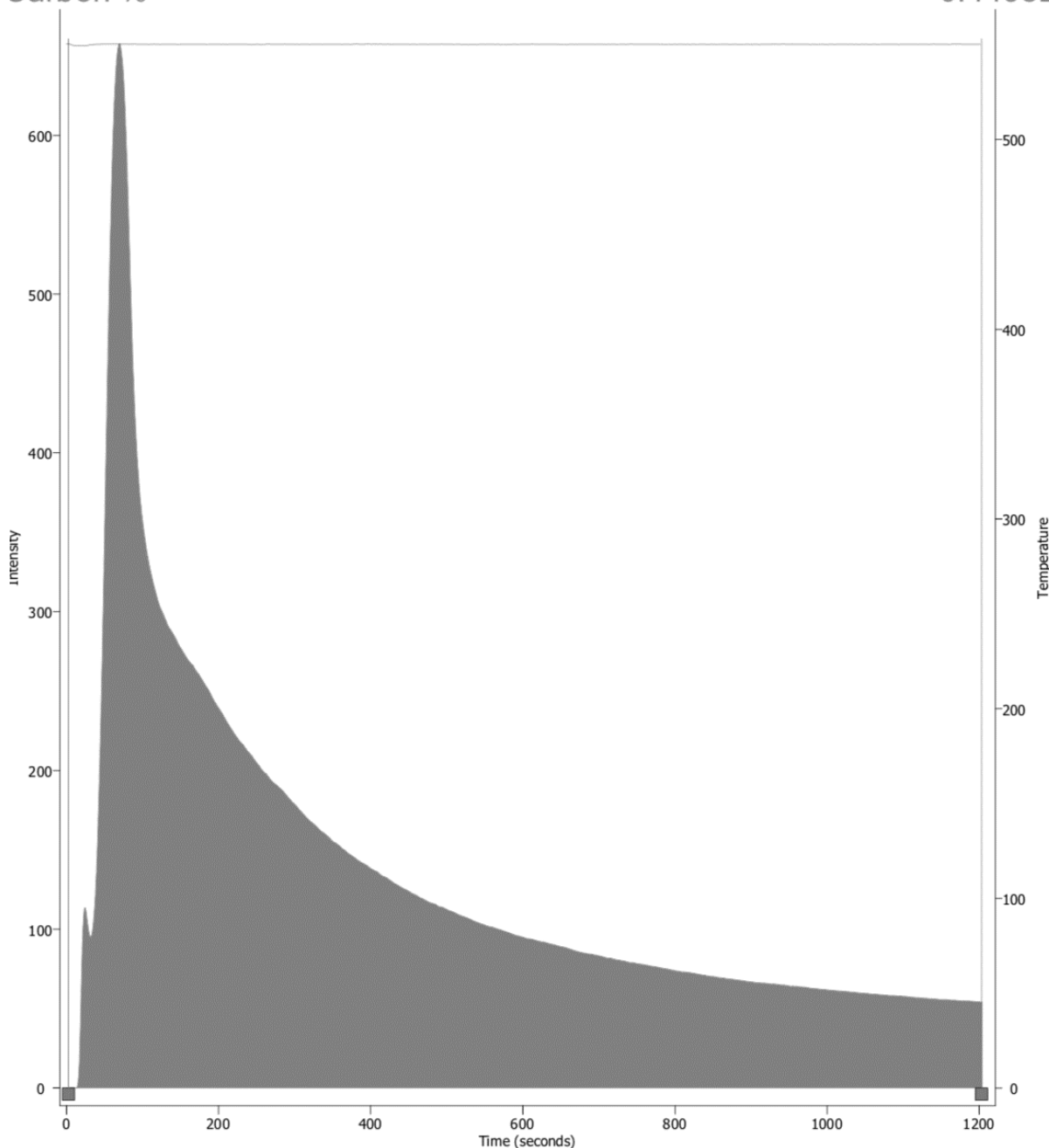
Figure 2. TOC graph for sample 9B from Randāti exposure.

2/8/2018 2:27:42 PM

Name	Mass	Furnace Method	TOC %	TIC %	Analysis Date
idgars R-0	0.1528	TOC	0.0000	0.0000	2/8/2018 11:57:59 AM

Carbon %

0.44932



3. attēls. TOC analīzes grafiks paraugam no Riežupes atsegumu R-0 parauga.

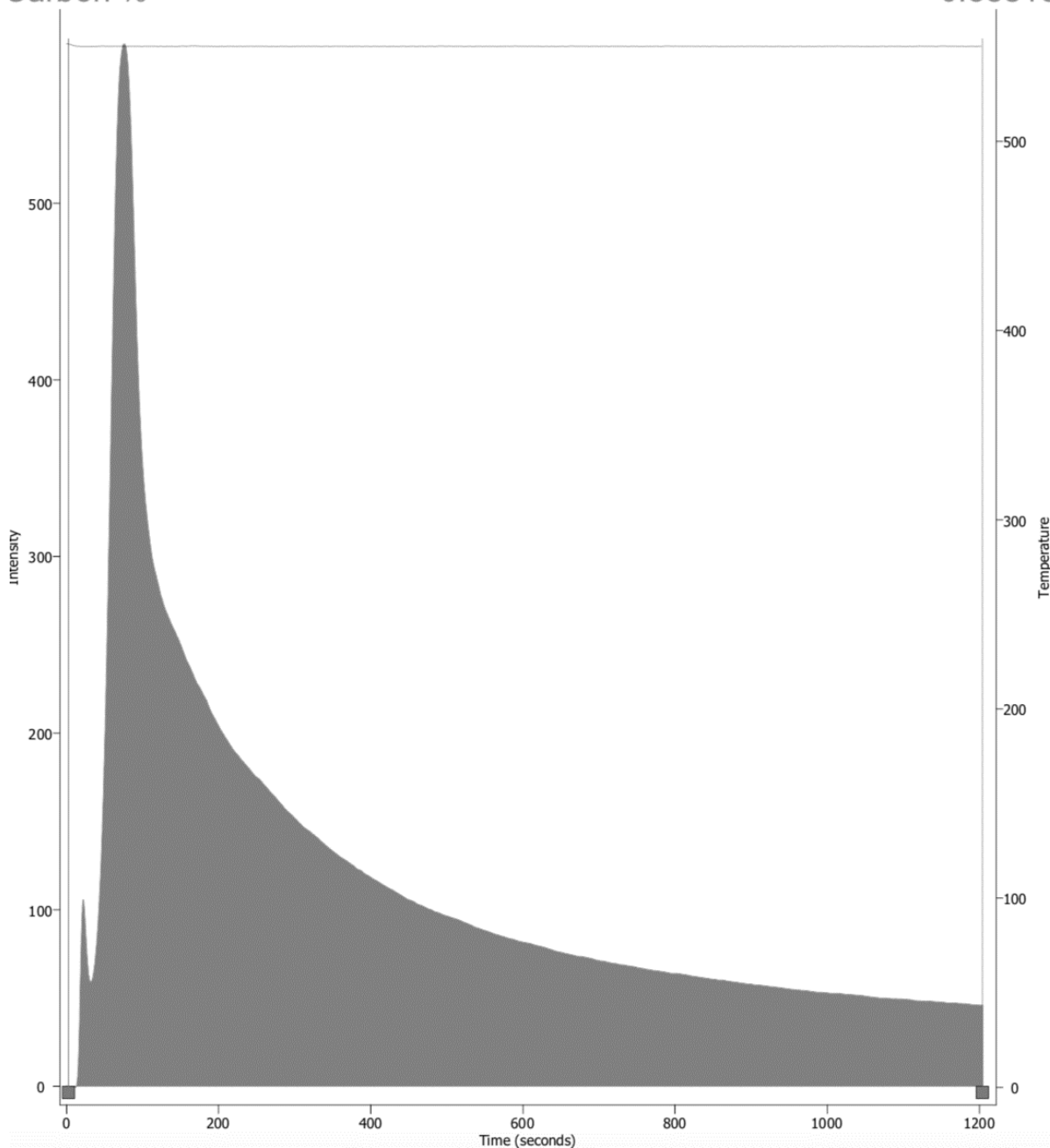
Figure 3. TOC graph for sample R-0 from Riežupe exposure.

2/8/2018 2:27:21 PM

Name	Mass	Furnace Method	TOC %	TIC %	Analysis Date
idgars R-2	0.1523	TOC	0.0000	0.0000	2/8/2018 12:18:40 PM

Carbon %

0.38818

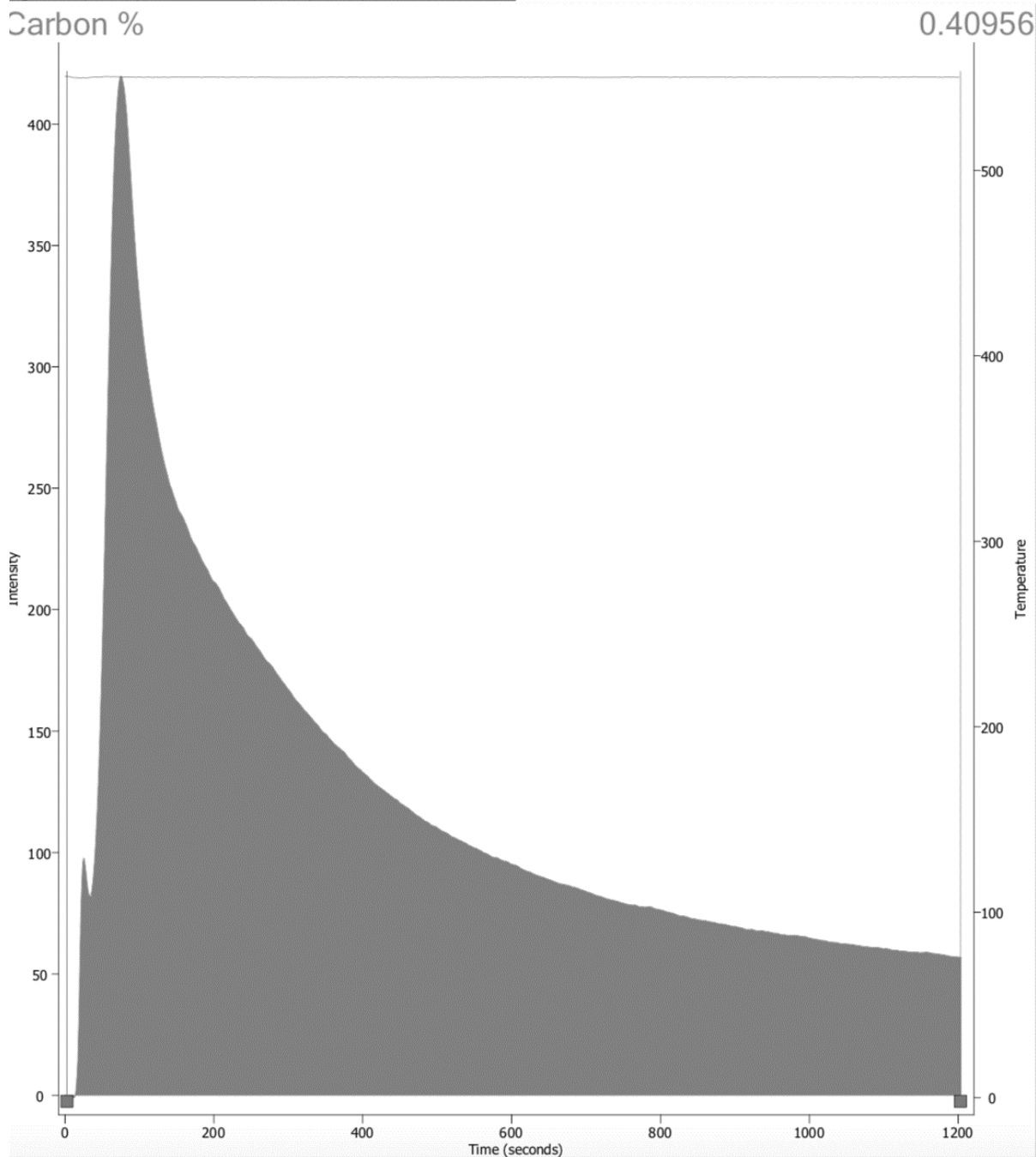


4. attēls. TOC analīzes grafiks paraugam no Riežuopes atsegumu R-2 parauga.

Figure 4. TOC graph for sample R-2 from Riežuope exposure.

2/8/2018 2:26:56 PM

Name	Mass	Furnace Method	TOC %	TIC %	Analysis Date
idgars R-3	0.1520	TOC	0.0000	0.0000	2/8/2018 12:39:51 PM



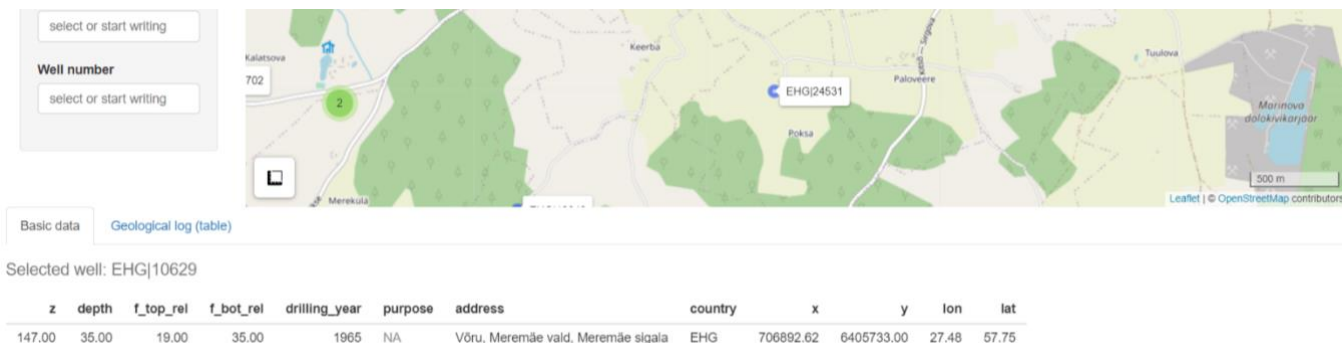
5. attēls. TOC analīzes grafiks paraugam no Riežupes atsegumu R-3 parauga.

Figure 5. TOC graph for sample R-3 from Riežupe exposure.

2.Pielikums. Pētījumu objektiem tuvāko urbumu dati

Appendix 2. Studied geological object nearest borehole data

Marinovas atsegums

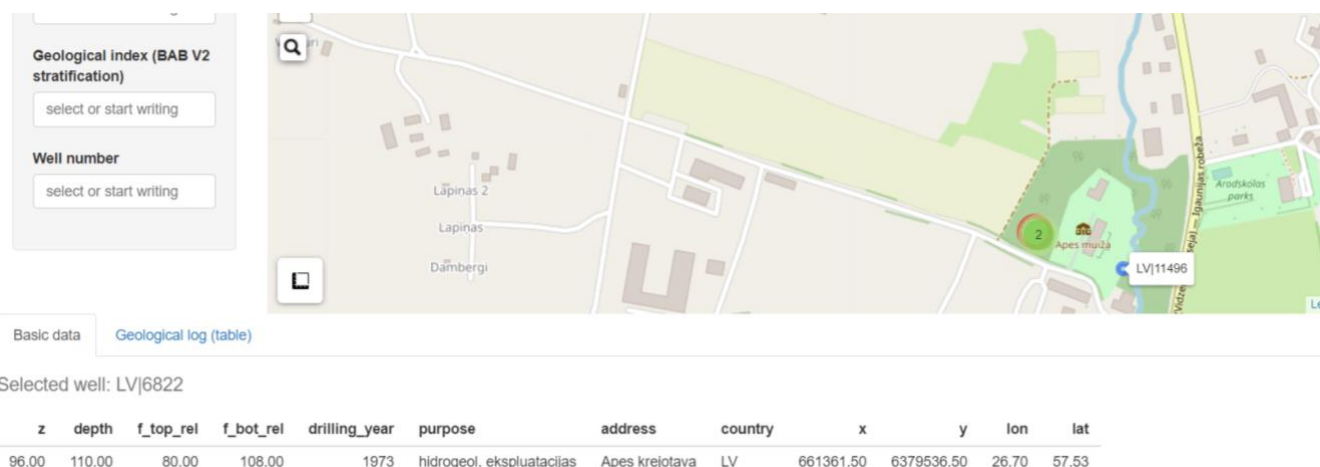


Tuvākais urbums: EHG|10629

Slāņa augšs	Slāņa apakšs	Ģeol.indeks	Ģeol.indeks ģeneralizēts	Litoloģija	Valsts
0.00	2.50	gQIII	Q	Smilts ar granti un dolomīta šķembām	EE
2.50	24.00	D3pl	D3pl	dolomīts	EE
24.00	31.00	D2am	D3amt	smilšakmens	EE
31.00	35.00	D2am	D3amt	aleirolīts	EE

D3 pl biezums 32,5-34,1 m

Apes pamestais dolomīta karjers



Tuvākais urbums: LV|6822

Slāņa augšs	Slāņa apakšs	Ģeol.indekss	Ģeol.indekss ģeneralizēts	Litoloģija	Valsts
0.00	4.00	g Q3 ltv	Q	Smilšmāls, morēnas	LV
4.00	10.00	D 3 pl	D3pl	Plaisains dolomīts	LV
10.00	12.50	D 3 pl	D3pl	Dolomītmerģelis	LV
12.50	22.00	D 3 pl	D3pl	Plaisains dolomīts	LV
22.00	25.00	D 3 pl	D3pl	Dolomītmerģelis	LV
25.00	31.00	D 3 am	D3amt	Smilšakmens, vidēji cementēts	LV
31.00	42.00	D 3 am	D3amt	Māls	LV
42.00	49.00	D 3 am	D3amt	Smilšakmens, vidēji cementēts	LV
49.00	82.00	D 3 gj	D3gj	Māls	LV
82.00	110.00	D 3 gj	D3gj	Smilšakmens, vidēji	LV

Ir vēl viens urbums – Pļaviņu svītas pamatne 71 m vjl. LAS, tuvākajā apkārtnē Pļaviņu svītas biežums ir 26 m.

Dārziema dolomīta karjers

Selected well: LV|6914

z	depth	f_top_rei	f_bot_rei	drilling_year	purpose	address	country	x	y	lon	lat
80.00	82.00	61.50	78.50	1968	hidrogeol. ekspluatācijas	Ciem. "Dārziems" (Gusti)	LV	644721.00	6373539.00	26.41	57.48

Tuvākais urbums: LV|6914

Slāņa augšs	Slāņa apakšs	Ģeol.indekss	Ģeol.indekss ģeneralizēts	Litoloģija	Valsts
0.00	0.50	Q	Q	Smilts, dažādgraudaina	LV
0.50	5.20	D 3 pl	D3pl	Dolomītmerģelis	LV
5.20	10.00	D 3 pl	D3pl	Plaisains dolomīts	LV
10.00	17.00	D 3 pl	D3pl	Dolomītmerģelis	LV

Tuvākais urbums: LV|6914

Slāņa augša	Slāņa apakša	Ģeol.indekss	Ģeol.indekss ģeneralizēts	Litoloģija	Valsts
17.00	21.00	D 3 am	D3amt	Smilšakmens	LV
21.00	25.50	D 3 am	D3amt	Aleirolīts	LV
25.50	26.00	D 3 am	D3amt	Smilšakmens	LV

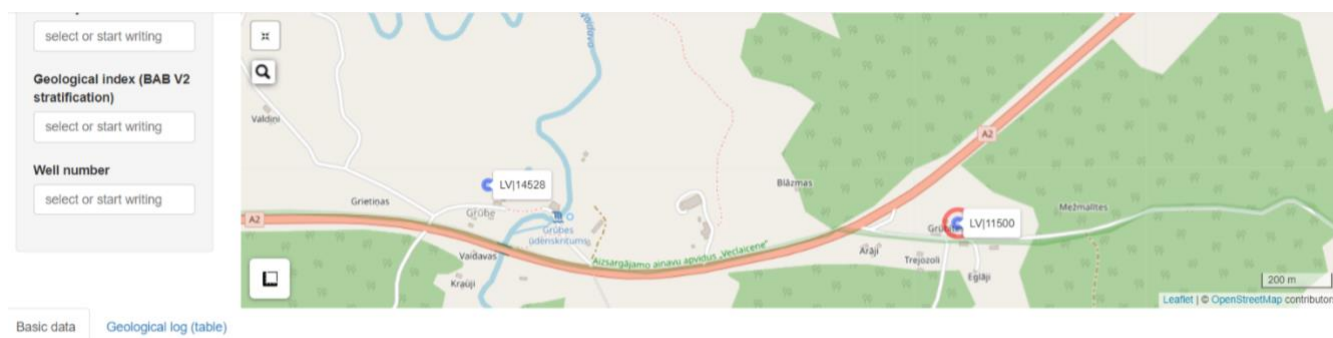
500 m uz austrumiem no karjera Pļaviņu svītas biezums ir 26 m

Randātu klintis

Tuvākajā apkārtnē sarežģīta ģeoloģiskā uzbūve, tādēļ tuvējos urbumos svītu kontakti būtiski atšķiras.

2 km no atseguma uz dienvidiem, Pļaviņu svītas biezums ir 24 m.

Grūbes atsegums



selected well: LV|11500

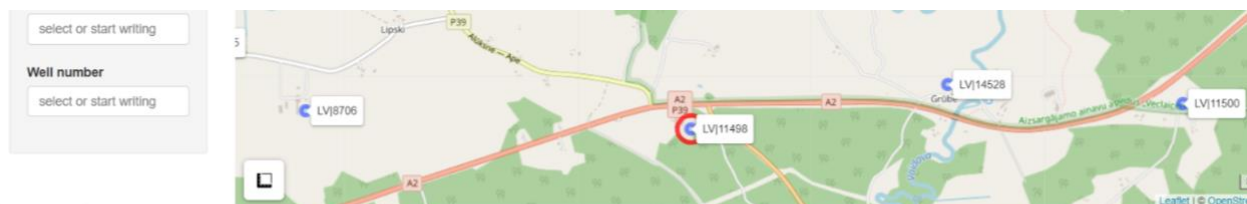
z	depth	f_top_rel	f_bot_rel	drilling_year	purpose	address	country	x	y	lon	lat
125.00	42.00	23.30	42.00	1970	hidrogeol. ekspluatācijas	Apdz. vieta "Gr-be" (Rudki), ražošanas uz-ēmums "SuvenErs";:00	LV	667523.00	6379416.00	26.80	57.53

Tuvākais urbums: LV|11500

Slāņa augša	Slāņa apakša	Ģeol.indekss	Ģeol.indekss ģeneralizēts	Litoloģija	Valsts
0.00	1.50	Q	Q	Smilts	LV
1.50	4.30	Q	Q	Smilšmāls, morēnas	LV
4.30	8.00	Q	Q	Smilts	LV
8.00	18.00	Q	Q	Māls	LV
18.00	28.40	D 3 pl	D3pl	Plaisains dolomīts	LV
28.40	32.80	D 3 pl	D3pl	Dolomītmerģelis	LV
32.80	36.00	D 3 pl	D3pl	Plaisains dolomīts	LV

Tuvākais urbums: LV|11500

Slāņa augša	Slāņa apakša	Ģeol.indekss	Ģeol.indekss ģeneralizēts	Litoloģija	Valsts
36.00	39.00	D 3 pl	D3pl	Dolomītmerģelis	LV
39.00	42.00	D 3 am	D3amt	Māls	LV



Selected well: LV|11498

z	depth	f_top_rei	f_bot_rei	drilling_year	purpose	address	country	x	y	lon	lat
105.00	100.00	80.50	88.00	1975	hidrogeol. eksploatācijas	Apdz. vieta "L-dukrogs" (restor/fns "Sengis")	LV	664751.62	6379161.00	26.75	57.52

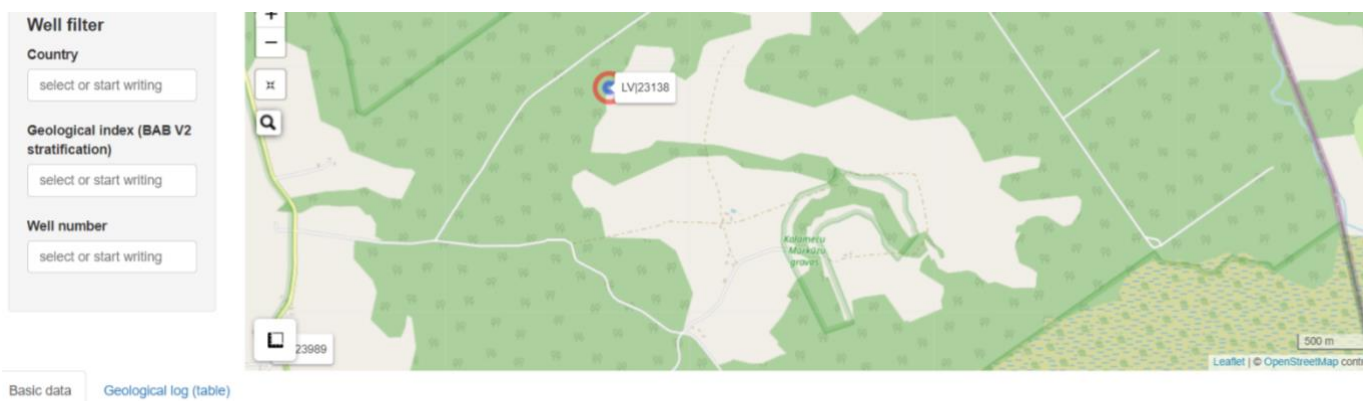
Tuvākais urbums: LV|11498

Slāņa augša	Slāņa apakša	Ģeol.indekss	Ģeol.indekss ģeneralizēts	Litoloģija	Valsts
0.00	9.00	g Q3 ltv	Q	Smilšmāls, morēnas	LV
9.00	29.00	D 3 pl	D3pl	Dolomīts	LV
29.00	33.00	D 3 pl	D3pl	Dolomītmerģelis	LV
33.00	39.00	D 3 pl	D3pl	Dolomīts	LV
39.00	41.00	D 3 pl	D3pl	Merģelis	LV
41.00	45.00	D 3 am	D3amt	Māls	LV
45.00	51.00	D 3 am	D3amt	Smilšakmens, smalkgraudains	LV

Pļaviņu svītas biezumu tuvākajā apkārtnē ir grūti novērtēt, bet augstāk minētajā urbumā (LV|11498) ir vismaz 32 m.

Apes apkārtnē Pļaviņu svītas biezums ir 26 m, tādēļ jāpieņem, ka 32 m ir pilnais biezums.

Kalamecu un Markuzu gravas atsegumi



Selected well: LVJ23138

z	depth	f_top_rel	f_bot_rel	drilling_year	purpose	address	country	x	y	lon	lat
76.00	83.00	70.00	83.00	1961	hidrogeol. eksploatācijas	Ferma "Vizuil", "00	LV	645169.00	6381228.00	26.43	57.55

Tuvākais urbums: LVJ23138

Slāņa augša	Slāņa apakša	Ģeol.indeks	Ģeol.indeks ģeneralizēts	Litoloģija	Valsts
0.00	27.00	Q	Q	Mālsmilts, morēnas	LV
27.00	33.00	D 3 pl	D3pl	Plaisains dolomīts	LV
33.00	35.00	D 3 pl	D3pl	Dolomītmerģelis	LV
35.00	65.00	D 3 am	D3amt	Smilšakmens	LV

Gaujienā vienā urbumā Pļaviņu svītas biezums ir vismaz 34 m, tālāk uz dienvidiem un dienvidaustrumiem pilns biezums 25-27 m. Līdz ar to jāpieņem 26 m.

Kalkahju (Peetri) atsegums

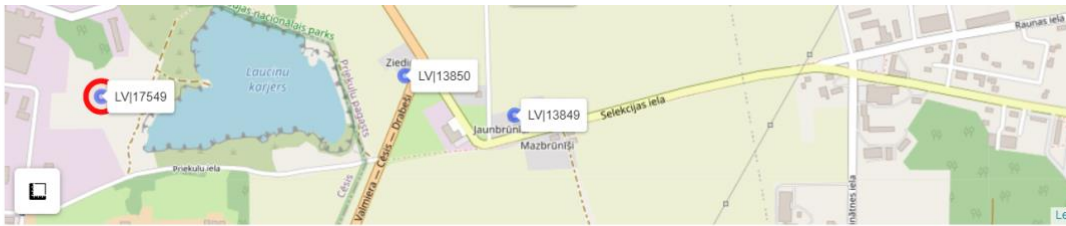
Pļaviņu svītas biezums 8 km uz dienvidiem no objekta ir 27 m (2 urbumos).

4 km uz dienvidaustrumiem no objekta Pļaviņu un Amatas svītu robeža 65,61 m LVS.

Pēc <https://geologia.info/locality/13572/kalkahju-paljand> datiem objekts atrodas praktiski uz Pļaviņu un Amatas svītas robežas.

Lauciņu (Cēsu) dolomīta karjers

Well number



Basic data

[Geological log \(table\)](#)

Selected well: LV|17549

z	depth	f_top_rel	f_bot_rel	drilling_year	purpose	address	country	x	y	lon	lat
113.00	136.50	NA	NA	1960	hidrogeol. ekspluatācijas	Cīšu b-vmateriflu r-pnĀcas dolomĀeta karjers	LV	578823.50	6353376.00	25.31	57.32

Tuvākais urbums: LV|17549

Slāņa augša	Slāņa apakša	Ģeol.indekss	Ģeol.indekss ģeneralizēts	Litoloģija	Valsts
0.00	2.00	Q	Q	Smilšmāls, morēnas	LV
2.00	20.00	D 3 pl	D3pl	Plaisains dolomīts	LV
20.00	21.80	D 3 pl	D3pl	Dolomītmerģelis	LV
21.80	23.80	D 3 am	D3amt	Smilšakmens	LV

Citur dati līdzīgi, var izmantot šo urbumu pl/am robežas augstumam.
 8 km uz dienvidaustrumiem Pļaviņu svītas biezums 15-17 m, citā apgabalā netālu 26 m (pēdējais ticamāks).

Īlaku – Vizuļu – Dolomīta krauja

Country

Geological index (BAB V2 stratification)

Well number



Basic data

[Geological log \(table\)](#)

Selected well: LV|17652

z	depth	f_top_rel	f_bot_rel	drilling_year	purpose	address	country	x	y	lon	lat
107.50	110.00	87.00	96.70	1967	hidrogeol. ekspluatācijas	Ciem. Bille	LV	574872.00	6342410.00	25.24	57.22

Tuvākais urbums: LV|17652

Slāņa augšs	Slāņa apakša	Ģeol.indekss	Ģeol.indekss ģeneralizēts	Litoloģija	Valsts
0.00	4.00	Q	Q	Smilšmāls, morēnas	LV
4.00	14.00	D 3 pl	D3pl	Plaisains dolomīts	LV
14.00	17.00	D 3 pl	D3pl	Dolomītmerģelis	LV
17.00	20.00	D 3 am	D3amt	Smilākmens	LV

Geological index (BAB V2 stratification)

Well number

Basic data [Geological log \(table\)](#)

Selected well: LV|7788

z	depth	f_top_rel	f_bot_rel	drilling_year	purpose	address	country	x	y	lon	lat
140.00	130.00	103.00	121.00	2000	hidrogeol. ekspluatācijas	11/26/2002	LV	575525.00	6343325.00	25.25	57.23

Tuvākais urbums: LV|7788

Slāņa augšs	Slāņa apakša	Ģeol.indekss	Ģeol.indekss ģeneralizēts	Litoloģija	Valsts
0.00	5.50	Q	Q	Smilts, dažādgraudaina, ar granti	LV
5.50	10.00	Q	Q	Smilts, dažādgraudaina, ar granti	LV
10.00	27.00	Q	Q	Smilšmāls, morēnas	LV
27.00	44.00	D 3 pl	D3pl	Plaisains dolomīts	LV
44.00	47.00	D 3 pl	D3pl	Dolomītmerģelis	LV
47.00	75.00	D 3 am	D3amt	Smilšakmens, smalkgraudains	LV

8 km uz dienvidaustrumiem Pļaviņu svītas biezums ir 23-25 m.

Ventas rumbas atsegums



Basic data [Geological log \(table\)](#)

Selected well: LV|2842

z	depth	f_top_rel	f_bot_rel	drilling_year	purpose	address	country	x	y	lon	lat
30.00	75.50	56.60	72.50	1956	hidrogeol. ekspluatācijas	KuldCEga Stendes ielā 12 SIA "Galdnieks",00	LV	377734.00	6315766.00	21.99	56.97

Tuvākais urbums: LV|2842

Slāņa augšā	Slāņa apakša	Ģeol.indekss	Ģeol.indeksa ģeneralizēts	Litoloģija	Valsts
0.00	3.00	Q	Q	Smilts	LV
3.00	10.30	Q	Q	Smilts	LV
10.30	13.60	Q	Q	Smilts, smalkgraudaina	LV
13.60	14.70	Q	Q	Grants	LV
14.70	18.00	D 3 pl	D3pl	Dolomītmerģelis	LV
18.00	23.00	D 3 pl	D3pl	Dolomīts	LV
23.00	25.80	D 3 pl	D3pl	Dolomītmerģelis	LV
25.80	51.00	D 3 am	D3amt	Smilšakmens	LV



Basic data [Geological log \(table\)](#)

Selected well: LV|2834

z	depth	f_top_rel	f_bot_rel	drilling_year	purpose	address	country	x	y	lon	lat
28.00	150.60	126.40	148.00	1956	hidrogeol. ekspluatācijas	KuldCEga Liepjas 15 Udensvada un kanalizāc. saimniec. p/rvaide (SIA "Urbšanas centrs" temp. 20.11.2003)	LV	376419.00	6315750.00	21.97	56.97

Tuvākais urbums: LV|2834

Slāņa augšs	Slāņa apakša	Ģeol.indekss	Ģeol.indekss ģeneralizēts	Litoloģija	Valsts
0.00	9.00	Q	Q	Smilšmāls, morēnas	LV
9.00	27.50	D 3 pl	D3pl	Plaisains dolomīts	LV
27.50	53.00	D 3 am	D3amt	Smilšakmens	LV



Selected well: LV|2845

z	depth	f_top_rel	f_bot_rel	drilling_year	purpose	address	country	x	y	lon	lat
33.00	129.00	102.00	124.50	1958	hidrogeol. ekspluatācijas	Kuldīga, bij. Gvardes iela 23	LV	376679.81	6314908.50	21.97	56.96

Tuvākais urbums: LV|2845

Slāņa augšs	Slāņa apakša	Ģeol.indekss	Ģeol.indekss ģeneralizēts	Litoloģija	Valsts
0.00	7.00	Q	Q	Smilšmāls, morēnas	LV
7.00	15.70	D 3 slp	D3slp	Dolomītmerģelis	LV
15.70	17.70	D 3 slp	D3slp	Māls	LV
17.70	37.00	D 3 pl	D3pl	Dolomīts	LV
37.00	38.00	D 3 pl	D3pl	Māls	LV
38.00	63.00	D 3 am	D3amt	Smilšakmens, smalkgraudains	LV

Plāviņu svītas biezums 800 m uz dienvidiem no Ventas rumbas ir 20,3 m, netālu 19 m.

Riežupes atsegumi

stratification)

Well number



Basic data [Geological log \(table\)](#)

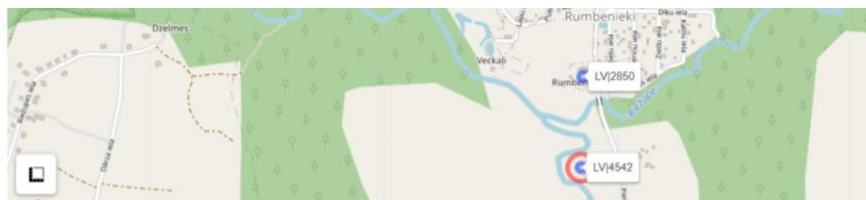
Selected well: LV|2850

z	depth	f_top_rel	f_bot_rel	drilling_year	purpose	address	country	x	y	lon	lat
32.00	52.50	41.80	49.40	1961	hidrogeol. eksploatācijas	NA	LV	381390.59	6317813.50	22.05	56.99

Tuvākais urbums: LV|2850

Slāņa augša	Slāņa apakša	Ģeol.indekss	Ģeol.indekss ģeneralizēts	Litoloģija	Valsts
0.00	5.50	Q	Q	Smilšmāls, morēnas	LV
5.50	27.00	D 3 pl	D3pl	Dolomīts	LV
27.00	32.00	D 3 am	D3amt	Māls	LV

Well number



Basic data [Geological log \(table\)](#)

Selected well: LV|4542

z	depth	f_top_rel	f_bot_rel	drilling_year	purpose	address	country	x	y	lon	lat
27.00	90.00	66.00	71.00	1974	hidrogeol. eksploatācijas	VĒna cehs, m. "Rumbeniekis";00	LV	381379.00	6317554.00	22.05	56.99

Tuvākais urbums: LV|4542

Slāņa augša	Slāņa apakša	Ģeol.indekss	Ģeol.indekss ģeneralizēts	Litoloģija	Valsts
0.00	8.00	Q	Q	Smilšmāls, morēnas	LV
8.00	26.00	D 3 pl	D3pl	Dolomīts	LV
26.00	30.00	D 3 pl	D3pl	Dolomītmerģelis	LV
30.00	50.00	D 3 am	D3amt	Smilšakmens, vāji cementēts	LV

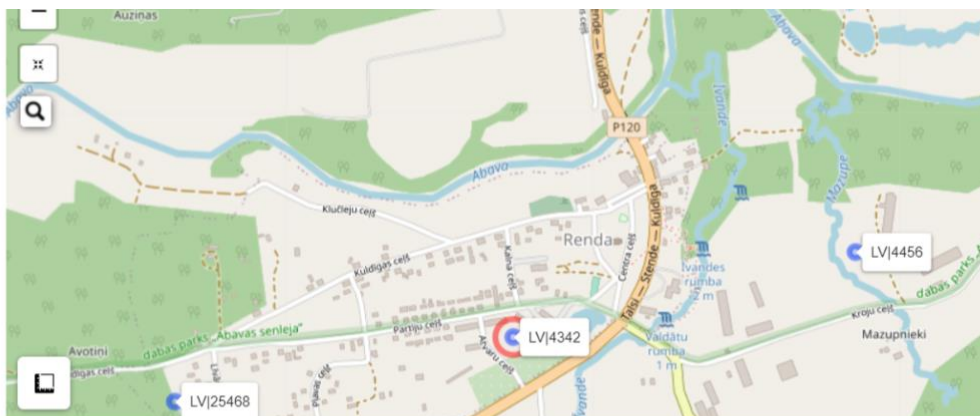
Tuvākajā urbumā Kuldīgā Pļaviņu svītas biezums ir 18 m

Īvandes ūdenskritumi

Country

Geological index (BAB V2 stratification)

Well number



Basic data [Geological log \(table\)](#)

Selected well: LV|4342

z	depth	f_top_rel	f_bot_rel	drilling_year	purpose	address	country	x	y	lon	lat
37.00	85.00	66.10	80.10	1965	hidrogeol. ekspluatācijas	Ciem. Renda	LV	396214.00	6326062.00	22.29	57.07

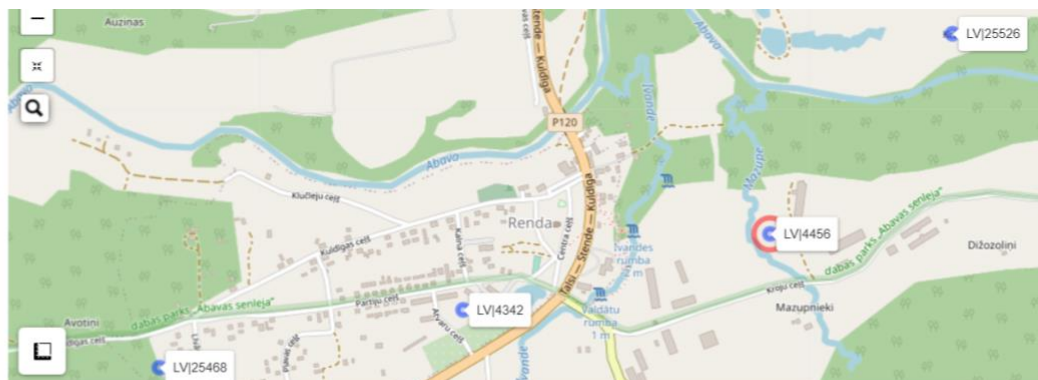
Tuvākais urbums: LV|4342

Slāņa augša	Slāņa apakša	Ģeol.indeks	Ģeol.indekss ģeneralizēts	Litoloģija	Valsts
0.00	8.50	Q	Q	Smilšmāls, morēnas	LV
8.50	15.00	D 3 pl	D3pl	Dolomīts ar merģeļa starpkārtām	LV
15.00	17.00	D 3 pl	D3pl	Merģeļa un māla mija	LV
17.00	40.00	D 3 am	D3amt	Smilšakmens ar māla un aleirolīta starpkārtām	LV

Country

Geological index (BAB V2 stratification)

Well number



Basic data [Geological log \(table\)](#)

Selected well: LV|4456

z	depth	f_top_rel	f_bot_rel	drilling_year	purpose	address	country	x	y	lon	lat
37.00	90.00	74.50	87.50	1968	hidrogeol. ekspluatācijas	Ferma "Ziedi-I",*00	LV	396963.00	6326226.00	22.30	57.07

Tuvākais urbums: LV|4456

Slāņa augša	Slāņa apakša	Ģeol.indekss	Ģeol.indekss ģeneralizēts	Litoloģija	Valsts
0.00	0.30	Q	Q	Smilšmāls, morēnas	LV
0.30	15.00	D 3 pl	D3pl	Plaisains dolomīts	LV
15.00	17.00	D 3 pl	D3pl	Dolomītmerģelis	LV
17.00	39.00	D 3 am	D3amt	Smilšakmens ar māla un aleirolīta starpkārtām	LV

3,5 km uz austrumiem, Pļaviņu svītas biezums ir 18 m.

3.Pielikums. Pētījumu objektus raksturojošie dati

Appendix 3. Characteristics of studied geological objects

Koordinātas	Atsegums	Aptuvenie atseguma pamatnes m vjl. LAS	Noteiktais ūdens līmenis pēc topogrāfiskās kartes	Komentāri
(57°26'54.1"N; 26°20'47.7"E);	1. Randātu klintis	82,0 m	Gaujas līmenis, aptuveni 63,0 m vjl. LAS	Svītas biezums 24,0 m, kraujas augstums 23,0 m. Griezums sākas 6,8 m virs upes līmeņa, kur zemāk atrodas Pļaviņu/Amatas svītas robeža. 9,5-23,0 m (13,5 m) ir daļa virs Kokneses ridas – tātad, vismaz līdz svītas vidusdaļas/augš daļas robežai.
(57°31'35.0"N; 26°46'44.3"E);	2. Grūbes dolomīta atsegums	92,5 m	Ūdenskrātuve 97,1 m vjl. LAS, kraujas augša ap 100,0 m vjl. LAS, apītu griezums ap 101,0 m vjl. LAS, Vaidavas līmenis ap 91,0 m vjl. LAS	Atseguma apkārtnē Pļaviņu/Amatas robeža 74,0 m vjl. LAS, tātad līdz apītu griezumam 27,0 m. Pilns svītas biezums apkārtnē ir 26,0-32,0 m. 27,0 m ir tuvu pilnam svītas griezumam, tātad, var uzskatīt, ka griezums ir līdz Pļaviņu svītas augšdaļai, praktiski līdz augšai, iespējams, apītu

				augša ir ap 5,0 m zemāk nekā svītas augšējā virsma.
(57°44'26.0"N; 27°31'21.6"E);	3. Marinovas karjera atsegums	Nav zināms, EE	Zemes virsma virs karjera ap 148,0 m vjl. LAS	Plaviņu/Amatas svītas robeža 123,0 m vjl. LAS, griezuma augša ir aptuveni 5,0 m zem zemes virsmas. Griezums ir 5,0 m, tātad, tas varētu būt 138,0-143,0 m vjl. LAS, ja svītas biezums vidēji ir 33,3 m, tad griezums ir svītas intervālā 15,0-20,0 m (vidusdaļa).
(56°59'16.7"N; 22°02'40.7"E);	4. Riežupes atsegumi	26,5 m	22,0 m vjl. LAS	Plaviņu/Amatas svītas robeža ir +5 - -3 m vjl. LAS, bet svītas biezums tuvējos urbumos ir 22,0 m (augša nav sasniegta). Tātad, griezums aptuveni atbilst svītas augšdaļai.
(56°58'04.7N; 21°58'40.2E);	5. Ventas rumbas atsegums	11,0 – 18,0 m	10,0-12,0 m vjl. LAS	Plaviņu/Amatas svītas robeža ir 2,3 m (samērā precīzi – vidējais starp diviem urbumiem katrā upes krastā). Svītas biezums tuvākajā urbumā 20,3 m, tātad Ventas rumba ir 7,7-

				9,7 m svītas intervālā (apakšdaļas augša – vidusdaļa).
(57°04'05.0"N; 22°17'43.0"E);	6. Īvandes ūdenskritumu atsegumi	26,5 m	25,0-32,0 m	Plaviņu/Amatas svītas robeža 20,0 m vjl. LAS, bet pilns svītas biezums 18,0 m (tālu no ūdenskritumiem). Ūdenskritumi ir ap 5,0-12,0 m svītas intervālā (vidusdaļa).
(57°29'32.9"N; 26°25'7.0"E);	7. Dārziema dolomīta atradne	75,0 m	Karjera pamatne ap 70,0 m	Plaviņu/Amatas svītas robeža 63,0 m vjl. LAS, bet pilns svītas biezums tuvu karjeram ir aptuveni 26,0 m. 1. slānis griezumā ir 0,5 m biezs, tas atbilst Kokneses ridai, pārējais augstākām ridām. Karjera pamatne ir 70,0 m vjl. LAS, bet tas ir neskaidri.
(57°31'52.6"N; 26°41'21.9"E);	8. Apes pamestā dolomīta atradne	93,0 m	Karjera sienas augša 98,0 m vjl. LAS	Plaviņu/Amatas svītas robeža 71,0 m, bet svītas biezums tuvākajā apkārtnē ir 26,0 m. Var uzskatīt, ka karjera griezuma augša ir svītas pati augša.
(57°19'4.6"N; 25°19'0.3"E);	9.Lauciņu (Cēsu) bijusī dolomīta atradne	111,0 m	Zemes virsma virs karjera ap	Plaviņu/Amatas svītas robeža 91,2 m, bet

			118,0 m vjl. LAS	svītas pilns biežums 26,0 m. Tātad, var uzskatīt, ka ģeoloģiskā griezuma augša (kraujas augša) ir svītas augša.
(57°32'48.9"N; 26°34'49.7"E).	10. Kalkahju (Peetri) atsegums	78,0 m	Upes līmenis 72,0 m vjl. LAS	Plaviņu svītas biežums 8 km uz dienvidiem no objekta ir 27,0 m (2 urbumos). 4 km uz dienvidaustrumiem no objekta Plaviņu/Amatas svītas robeža 65,61 m vjl. LAS.
(57°13'28.2"N; 25°13'32.8"E);	11. Īļaku iezis	90,5 m	Upe 90,0 m vjl. LAS, kraujas augša 110,0 m vjl. LAS	Amatas/Plaviņu svītas robeža un Kokneses/Sēlija s ridas robeža Īļaku iezī, Vizūļu iezī un Dolomītu kraujā atsedzas. Svītas biežums objektu tuvumā nav zināms, bet var pieņemt vidējo tālāk no tiem – 24,0 m.
(57°13'31.9"N; 25°13'25.3"E);	12. Vizūļu iezis	92,0 m	Upe 89,0 m vjl. LAS, kraujas augša 115,0 m vjl. LAS	Plaviņu/Amatas svītas robeža un Kokneses/Sēlija s ridas robeža Īļaku iezī, Vizūļu iezī un Dolomītu kraujā atsedzas. Svītas biežums objektu tuvumā nav zināms, bet var pieņemt vidējo tālāk no tiem – 24,0 m.

(57°32'30.6"N; 26°26'40.1"E).	13. Kalamecu un Markuzu gravas atsegumi	83,0 m	Griezuma pamatne ap 73,0 m vjl. LAS, griezuma augša ap 81,0 m vjl. LAS	Plaviņu/Amatas svītas robeža 1 km uz ziemeļrietumie m no objekta ir 49,0 m vjl. LAS, bet 4 km uz dienvidrietumie m (Gaujienā) 55,0 m vjl. LAS. Tas nozīmē, ka pie objekta ap 50,0 m vjl. LAS, svītas biezums tur apkārtņē ir 26,0 m. Spriežot pēc topogrāfiskās kartes un šiem datiem, griezums ir līdz svītas augšdaļai.
----------------------------------	-----------------------------------------------	--------	---------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------