

VILNIAUS UNIVERSITETAS
GAMTOS TYRYMŲ CENTRAS

Giedrius Bičkauskas

MINIJOS REGIONINIO AUKŠTO (SILŪRAS) KARBONATŲ
SEDIMENTOLOGIJA IR DIAGENEZĖ LIETUVOJE

Daktaro disertacijos santrauka
Fiziniai mokslai, Geologija (05 P)

Vilnius, 2017

Disertacija rengta 2003-2007 metais studijuojant doktorantūroje ir 2008-2017 metais dirbant mokslinį darbą Vilniaus universitete.

Disertacija ginama eksternu.

Mokslinis konsultantas – Vilniaus universiteto garbės daktaras dr. Nicolaas Molenaar (Vilniaus universitetas, fiziniai mokslai, geologija – 05P).

Disertacija ginama viešame disertacijos Gynimo tarybos posėdyje:

Pirmininkė – dr. Jurga Lazauskienė (Lietuvos geologijos tarnyba, fiziniai mokslai, geologija – 05 P).

Nariai:

Prof. habil. dr. Valentinas Baltrūnas (Gamtos tyrimų centras, fiziniai mokslai, geologija – 05 P);

Dr. Albertas Bitinas (Klaipėdos universitetas, fiziniai mokslai, geologija – 05 P);

Prof. habil. dr. Saulius Šliaupa (Gamtos tyrimų centras, fiziniai mokslai, geologija – 05 P);

Dr. Paweł Raczyński (Wroclavo universitetas, fiziniai mokslai, geologija – 05 P).

Disertacija bus ginama viešame disertacijos Gynimo tarybos posėdyje 2017 metų rugpjūčio 30 d. 15 val. „Didžiojoje auditorijoje“ Geomokslų institute, Vilniaus universitete.

Adresas: M.K. Čiurlionio g. 21/27, LT-03101, Vilnius, Lietuva.

Disertacijos santrauka išsiuntinėta 2017 m. liepos 28 d.

Disertaciją galima peržiūrėti Vilniaus universiteto, Gamtos tyrimų centro bibliotekose ir VU interneto svetainėje: www.vu.lt/lt/naujienos/ivykiu-kalendorius.

VILNIUS UNIVERSITY
NATURE RESEARCH CENTRE

Giedrius Bičkauskas

SEDIMENTOLOGY AND DIAGENESIS OF MINIJA REGIONAL STAGE
(SILURIAN) CARBONATES IN LITHUANIA

Summary of doctoral dissertation
Physical sciences, Geology (05 P)

Vilnius, 2017

Dissertation was on preparation during period of 2003-2007 years during study of PhD and during period of 2008-2017 years during working scientific work in Vilnius University.

Dissertation defends externally.

Scientific consultant – Vilnius University honor doctor dr. Nicolaas Molenaar (Vilnius University, Physical sciences, Geology – 05 P)

Dissertation will be defended at the public dissertation Defend board meeting:

Chairwoman:

Dr. Jurga Lazauskienė (Lithuanian Geological Surveys, Physical sciences, Geology – 05 P).

Members:

Prof. habil. dr. Saulius Šliaupa (Nature Research Centre, Physical sciences, Geology – 05 P);

Prof. habil. dr. Valentinas Baltrūnas (Nature Research Centre, Physical sciences, Geology – 05 P);

Dr. Albertas Bitinas (Klaipėda University, Physical sciences, Geology – 05 P);

Dr. Paweł Raczyński (Wrocław University, Physical sciences, Geology – 05 P).

Dissertation will be defended at the public dissertation Defend board meeting on August 30, 2017, at 15:00 in the ‘Great auditorium’ of Geoscience Institute of Vilnius University.

Address: M.K. Čiurlionio st. 21/27, LT-03101, Vilnius, Lithuania.

The summary of the dissertation was distributed on July 28, 2017.

Dissertation is available at the libraries of Vilnius University and the Nature Research Centre and at the web page: www.vu.lt/lt/naujienos/ivykiu-kalendorius.

IVADAS

Šiuolaikinė visuomenė vis dar stipriai priklauso nuo energetinių išteklių, kurie jos gyvenime vaidina vieną pagrindinių vaidmenų. Vystantis ekonomikai, tiek išsivysčiusiose, tiek besivystančiose trečiojo pasaulio valstybėse energetinių išteklių poreikis be paliovos auga. Kol alternatyvūs energetiniai ištekliai, tokie kaip bangų, potvynių, vėjo ar saulės energija, negalės atstoti tradicinių, tol šiuolaikinis pasaulis artimiausius dešimtmečius priklausys nuo iškastinio ar angliavandenilių kuro. Kitaip tariant, itin svarbu plėsti esamų naftos ir dujų išteklių gavybą bei ieškoti naujų technologijų.

Nemažai pagrindinių naftos telkinių pasaulyje susikaupę karbonatinėse uolienose. Tai ir gerai žinomi telkiniai Vidurio Rytuose, ir palyginus neseniai atrasti Kaspijos jūroje, ir nemaža dalis telkinių Šiaurės Amerikoje. Apskaičiuota, kad maždaug pusė naftos ir dujų telkinių Žemėje kaupiasi karbonatinėse uolienose (Mazzulo, 2004).

Moksle dažnai sakoma, kad dabartis – raktas į praeitį. Tačiau ne visada taip yra. Praeities cheminės ir aplinkos sąlygos galėjo skirtis nuo dabartinių. Viena pagrindinė to priežastis – organinio pasaulio, faunos ir floros, kuris sudaro nuogulas ir keičia sedimentacinę struktūrą, evoliucija. Tai ypač aktualu, kai kalbama apie karbonatines uolienas, nes dauguma karbonatinių komponentų yra biogeninės kilmės. Interpretuojant senesnes nuogulas, dažnai remiamasi dabartinėmis sedimentacijos sąlygomis ir nuogulomis. Tačiau abejotina, ar dabartinės platforminio tipo karbonatų sedimentacinės sistemos, kuriose vyrauja koralų ir raudonųjų dumblių rifai, atitinka mezozojaus ir juo labiau paleozojaus metu egzistavusias karbonatų sistemas, nes dabartinėms sistemoms didelės įtakos turėjo nesenų ledynmečių sukelti jūros lygio svyravimai. Geologinėje praeityje retai kada abu Žemės poliai buvo padengti ledynų. Pagrindiniai karbonatinės medžiagos šaltiniai kito fanerozojaus laikotarpiu (Kießling, 2009), kito jų mineralinė ir struktūrinė sudėtis bei pačių karbonatų įtaka aplinkai ir pačiai karbonatų sistemai.

Darbo aktualumas

Silūro karbonatinės uolienos Lietuvoje gali būti svarbios, nes spėjama, kad jose yra naftos. Viena tokių struktūrų – Kudirkos (Stentoft et. al., 2003, Jacyna et. al., 2004,

Kaminskas et. al., 2015). Lietuvoje praeito amžiaus antroje pusėje daug grėžinių, paimant kerną, buvo išgręžta per silūro uolienas. Šio darbo tyrimai daugiausia buvo sukonzentruoti į grėžinius, kurie yra šiek tiek šiauriau minėtos Kudirkos struktūros.

Manoma, kad, nepaisant tankių silūro karbonatinių uolienu, Pietų Lietuvoje yra naftos. Tai būtų Kudirkos rifinė struktūra, kurios uolienos turi antrinį tirpimo poringumą (Stentoft et. al., 2003). Šiame darbe analizuojami Lietuvos silūro uolienu diagenezės procesai ir jų įtaka naftos kolektoriaus savybėms. Šio darbo tyrimais bandoma pagrįsti karbonatinių uolienu potencialą naftos telkiniui. Reikėtų atkreipti dėmesį, kad darbe kalbama tik apie tradicinius telkinius.

Darbo tikslas

Darbo tikslas – sudaryti silūro karbonatų sistemos diagenetinį modelį ir savaip interpretuoti Minijos regioninį aukštą Lietuvoje. Toks modelis padėtų geriau suprasti karbonatų sedimentaciją ir petrofizines savybes, pavyzdžiui, poringumo ir skvarbumo ypatumus.

Ypatingas dėmesys buvo kreipiamas į vadinamąją silūro rifinę dalį. Tikrų rifų buvimas ar nebuvimas yra svarbus veiksnys, apibrėžiantis pačią karbonatų sistemą (platforma ar rampa), sedimentacinių facijų pasiskirstymą (rifai su hidrodinaminiais barjeru) ir poringumo raidą (dabartiniai rifai pasiekia jūros lygį, dėl to atsiranda antrinis poringumas).

Uždaviniai

- Aprašyti mikrofacijas remiantis R. Dunham (1962) sukurta ir A. Embry ir E. Klovan (1971) išplėsta karbonatinių uolienu klasifikacija bei jų pasiskirstymą silūro Baltijos sedimentaciniame baseine;
- interpretuoti facijas ir pateikti karbonatinių uolienu sedimentacinės sistemos modelį;
- aprašyti ir interpretuoti pagrindinius diagenetinius procesus bei jų įtaką petrofizinėms savybėms;
- aprašyti porų tipus bei susieti karbonatinių uolienu poringumą ir skvarbumą su mikrofacijomis.

Darbo naujumas

Iki šiol silūro karbonatų sistema buvo interpretuojama kaip platforma. Darbe pateikiami argumentai kitokiai karbonatų sistemai. Iki šiol buvo tik keletas publikacijų apie Lietuvos silūro karbonatinių uolienuų diagenezę. Šiame darbe pateikiamas kol kas išsamiausias Lietuvos silūro karbonatinių uolienuų diagenezės aprašymas.

Ginamos pozicijos

- Centrinė stromatorų facijos juosta greičiausiai yra biostroma, o ne klasikinis rifas.
- Karbonatų sistema interpretuojama kaip rampa, o ne platforma.
- Karbonatinių uolienuų poringumas ir skvarbumas buvo prarasti diagenezės metu, todėl kolektorinis potencialas yra labai mažas.
- Dauguma mikrofacijų, išskyrus sekiausias dolomito, nepasižymi geromis petrofizinėmis savybėmis.

1 SKYRIUS

Tyrimo objektas

Tyrimai apėmė Minijos regioninį aukštą, kuris priklauso silūro periodo pržidolio serijos apatinei daliai (1 pav.). Silūro uolienos Baltijos sedimentaciniame baseine yra puikus tyrimo objektas dėl savo pakankamai pilno stratigrafinio pjūvio (Paškevičius, 1997; Lapinskas, 2000) ir dėl gausios kerno medžiagos (nuo landoverio iki pržidolio). Silūro nuogulos daugelio mokslininkų buvo detaliam tyrinėtoms, buvo sukurta išsami jo stratigrafinė schema (Paškevičius, 1997; Brazauskas et al 2004). Silūro uolienos Baltijos sedimentaciniame baseine yra dalis Baltikos kontinento, kuris silūro laikotarpiu buvo pietiniame pusrutulyje (Cocks, Torsvic, 2005). Silūro uolienos Lietuvoje pasiekiamos tik grėžiniais, todėl visa tiriamą medžiagą yra kerno pavidalu. Praeito amžiaus antroje pusėje, vykdamas angliavandenilių paieškas, daug grėžinių kirto silūro uolienas. Nepaisant to, kad pagrindinis grėžimo tikslas buvo naftingi kambro kvarciniai smiltainiai, buvo imamas ir silūro bei ordoviko uolienų kernas, nes jose taip pat buvo aptikta naftos ir bitumo požymių. Manoma, kad silūro karbonatinėse uolienose gali būti susikaupę ekonomiškai naudingi naftos kiekiai (Вала, Коркутис, 1963; Сакалаускас, 1968; Лапинскас, 1970, 1972, 1973, 1977, 1983, 1987; Lapinskas 1998, 2000; Лапинскас, Чехавичюс, 1981; Lapinskas et al., 1994). Švedijoje, Gotlando saloje, kuri yra to paties sedimentacinio baseino dalis, silūro uolienose taip pat buvo aptikta naftos požymių (Paškevičius, 1997; Bojesen-Koefoed, 1997; Zdanavičiūtė, 1998, Lapinskas, 2000; Stentoft et al., 2003 Sivhed et al. 2004). Be retų naftos ir bitumo požymių, apatinio silūro skalūnai yra praturtinti organine medžiaga ir yra pagrindiniai šaltiniai kambro ir kitų sistemų naftai Baltijos regione (Zdanavičiūtė, Lazauskienė, 2004).

System Period	Series Epoch	Stage Age	Regional stage	Biozones		
				Graptolites	Conodonts	
DEVONIAN			TILŽĖ			
SILURIAN	PRIDOLI		JŪRA		O. e.remscheidensis	
			MINIJA	N.lochkovensis N.ultimus-N.parultimus	O. e.eosteinhornensis	
	LUDLOW	LUDFORDIAN	PAGĖGIAI	M.formosus M.valleculosus	O.crispa	
				M.balticus	R.dubia	
	GORSTIAN	DUBYSA		P.tauragensis	P.siluricus	O.tillmani
				L.scanicus	K.variabilis	
			L.progenitor			
			N.nilssoni	O.bohemica		

1 pav. Baltijos silūro stratigrafinė schema (pagal J. Paškevičių, 1997).

Minijos regioninio aukšto karbonatinės facijos silūro Baltijos sedimentaciniame baseine kinta nuo seklių rytinėje dalyje iki giliavandenių vakarinėje dalyje. Baltikos kontinentas dėl savo geografinės padėties santykinai buvo stabilus, tektoninis aktyvumas santykinai mažas. Būtent dėl to Minijos regioninio aukšto karbonatinės uolienos yra puikus tyrimo objektas tiriant jų diagenezę, nes tektoninė įtaka buvo minimali. Baltijos sedimentacinio baseino silūro uolienos paviršiuje slūgso šiaurinėje Estijos dalyje, Gotlando saloje (Švedija) ir Podolėje (Ukraina). Dėl santykinai lengvo prieinamumo šios uolienos buvo tiriamos daugelį dešimtmečių, ypač Gotlando saloje, tačiau bendros nuomonės apie Baltijos silūro karbonatų sistemos prigimtį nėra. Šiuo tyrimu bandoma įrodyti, kad tai buvo rampa.

Karbonatų rampa – nuožulnus sedimentacinis paviršius, kur be didelių kryžių seklias didelės energijos aplinkas pakeičia gilios mažos energijos aplinkos.

Karbonatų platforma – seklius jūrinių karbonatinių uolienų masyvas plokščiu paviršiumi ir stačiais šlaitais, susidaręs iš nuogulų šelfe ar vandenyne.

Dažnai minima, kad silūro karbonatinės uolienos gali turėti ekonominį potencialą kaip naftos kolektorius, nes silūro ir ordoviko uolienose aptinkama naftos bei bitumo pėdsakų ir dėl to, kad silūro organiniai skalūnai gali būti pagrindinis šaltinis, nafta užpildantis kambro smiltainius (Zdanavičiūtė, Lazauskienė, 2004). Dėl vis mažėjančių naftos išteklių, naujų telkinių atradimas tikrai būtų sveikintinas. Čia aprašomais tyrimais

bandyta įvertinti prielaidą, kad Lietuvoje silūro karbonatinės uolienos gali būti gerais angliavandenilių kolektoriais.

Nors tiriamo stratigrafinio intervalo storis nėra labai didelis (jis kinta nuo 15 m rytinėje šalies dalyje iki 144 m vakarinėje dalyje), sedimentacijos greitis tuo metu buvo didelis, todėl Minijos regioninio aukštas yra pakankamai pilnas ir geras tipinės paleozojaus karbonatinių uolienų sistemos pavyzdys.

Ankstesnių tyrimų apžvalga

Pirmuosius silūro sistemos tyrimus Baltijos regione XIX a. viduryje atliko F. Schmidt (1858) (Paškevičius, 1997). Jis Estijoje silūro nuogulas suskirstė į atskirus sluoksnius ir bandė juos koreliuoti su gretimų regionų silūro nuogulomis. Silūro nuogulų tyrimai Latvijoje pradėti vėliau. 1932 m. buvo išgręžtas pirmas gręžinys Daugpilyje (Paškevičius, 1997). Nauja silūro tyrimų era Lietuvoje prasidėjo 1949 m., kai buvo išgręžti pirmieji gilūs gręžiniai (Lapinskas, 2000). Iki tol silūro uolienų tyrimai apsiribodavo faunos iš riedulių aprašymu, nes Lietuvoje nėra atodangų, kur paviršiuje atsidengtų silūro uolienos. Pavyzdžiui, Gotlando saloje silūro uolienų tyrimai skaičiuojami amžiais, nes ten pakrantėje yra puikių atodangų. Po II pasaulinio karo, atsiradus seisminiams tyrimams ir giliajam gręžimui, silūro tyrimai Baltijos regione ypač suaktyvėjo. Turint gręžinių kerną, atsirado galimybė sistematiškai atpažinti ir aprašyti fauną, tirti silūro litologiją. Taip buvo sudarytos biostratigrafinės ir litostratigrafinės skalės, vėliau – ir regioninės stratigrafinės skalės. Pagrindinis akstinas tokiems tyrimams buvo naftos požymiai silūro, ordoviko uolienose ir ypač kambro kvarciniuose smiltainiuose.

Baltijos regione silūro sistemą tyrė daug žymių mokslininkų. Estijoje tai D. Kaljo, R. Einastor, H. Nestor, Latvijoje – L. Gailite, M. Rybnikova ir R. Ulst. Lietuvoje silūro sistemą įvairiais aspektais tyrė J. Dalinkevičius, J. Paškevičius P. Lapinskas, A. Brazauskas, N. Sidaravičienė, P. Musteikis, jaunesnės kartos atstovai D. Kaminskas, S. Radzevičius, A. Spiridonov, ir kt. J. Dalinkevičius daugiausia tyrė silūro uolienų litologiją, J. Paškevičius – litologiją ir graptolitus, P. Lapinskas – litologiją, A. Brazauskas – konodontus ir litologija, N. Sidaravičienė – ostrakodus, P. Musteikis – brachiopodus, S. Radzevičius – graptolitus, A. Spiridonov – konodontus, D. Kaminskas –

geochemiją. Kai kurie tyrėjai, tokie kaip T. Martma ar D. Kaljo, dirba su izotopais. E. Kadūnienė ir O. Zdanavičiūtė tyrė silūro uolienose randamas organines medžiagas. Remiantis visų šių tyrimų duomenimis, buvo sudaryta detali regioninė silūro biostratigrafinė ir litostratigrafinė schemas, paskelbta daugybė straipsnių.

Paskutiniaisiais metais visuomenė ir mokslo atstovai vėl atkreipė dėmesį į silūro uolienas, kurios sietinos su skalūninėmis dujomis, kaip spėjama, susikaupusiomis apatinėje šios sistemos nuogulų dalyje.

Geologinė padėtis

Šio darbo tyrimai atlikti išimtinai Lietuvos teritorijai, nors kai kurie apibendrinimai liečia ir Estijos teritoriją ar Gotlando salą, kurios yra to paties baseino dalis. Tyrimai apsiribojo Minijos regioniniu aukštu, priklausančiu silūro periodo pržidolio serijos apatinei daliai.

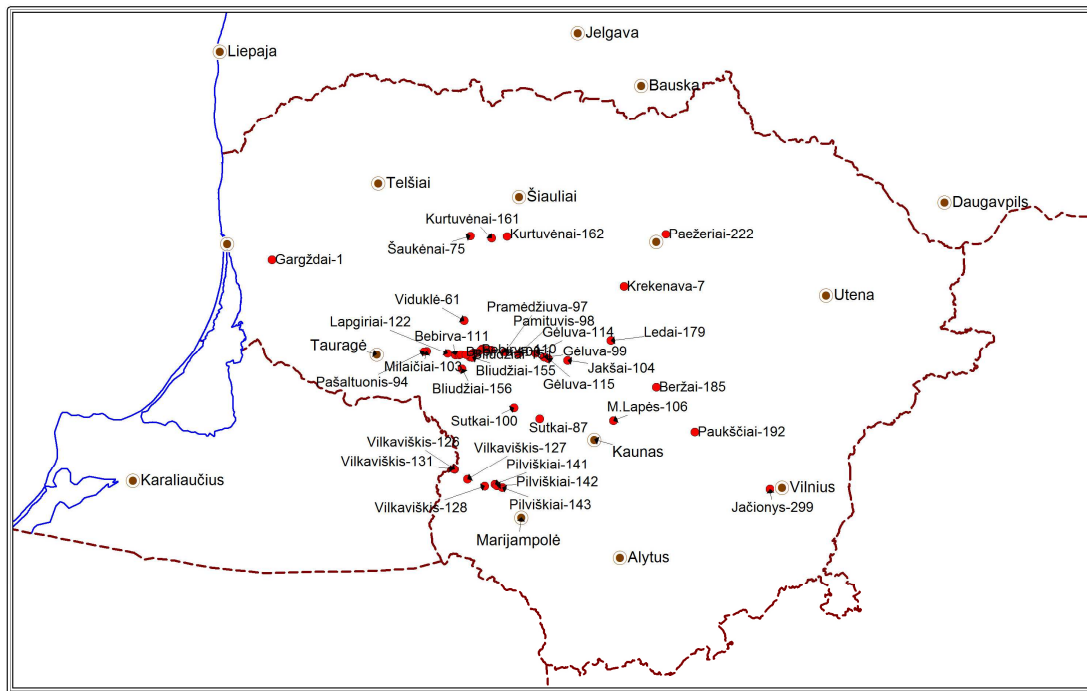
Silūro metu Baltikos kontinentas buvo Rytų Europos kratono pakraštyje, kuris tuo laikotarpiu egzistavo tropinėje klimato juostoje pietiniame pusrutulyje (Cocks ir Torsvic, 2005). Minijos regioninis aukštas apima santykinai mažą laiko intervalą, kuris, remiantis geologine laiko skale, truko 1,35 mln. metų (Gradstein, Ogg, Smith, 2004). Tačiau sedimentacijos greitis buvo pakankamai didelis ir Minijos regioninio aukšto nuogulų storis Lietuvoje kinta nuo 15,5 m seklojoje baseino dalyje iki 144,0 m giliojoje. Pažymėtina, kad pati sekliausia baseino dalis yra iš dalies eroduota. Sedimentacijos greitis pržidolio pradžioje buvo apie 0,1 m per 1000 metų. Palyginimui bendras landoverio, uenlokio ir ludlovio uolienuų storis – apie 429 m, sedimentacijos greitis – 0,021 m per 1000 metų, – tai gerokai mažiau negu pržidolio laikotarpiu.

Tektoninis aktyvumas tiriamajame regione buvo santykinai menkas, ypač kalbant apie jo įtaką nuogulų kaupimuisi, nes sedimentacija vyko santykinai pasyviame kratono pakraštyje. Tačiau sedimentacijos greičio kitimas rodo, kad tektoninis aktyvumas silūro pabaigoje suintensyvėjo dėl kolizijos: kaledoninės orogenezės metu Baltikos kontinentas susidūrė su Laurentijos kontinentu vakaruose ir su Avalonijos kontinentu pietuose. Dėl šios kolizijos ankstyvajame devone užsidarė Japečio vandenynas (Cocks ir Torsvic, 2005). Sekliausios facijos rytinėje baseino dalyje yra dalinai erduotos dėl posedimentacinio iškilimo vėlyvame devone (Lapinskas, 2000).

Minijos regioninis aukštas – puikus karbonatinių uolienu sistemų pavyzdys, kur vidurinėje dalyje vyrauja stromatorų–krinoidėjų–koralų karbonatinė medžiaga. Tiriamos karbonatinės uolienos atspindi sedimentacines aplinkas, kurios kito nuo seklių rytinėje Lietuvos dalyje iki giliavandenių vakarinėje Lietuvos dalyje. Minijos regioninis aukštas susideda iš lygiagrečių facijinių juostų, kurias rytinėje dalyje sudaro dolomitas, vakarų kryptimi pereinantis į detritinę klintį su dolomito tarp sluoksniais ir vis daugėjančiais ir storėjančiais mergelio ar molingo mergelio tarp sluoksniais. Detritinę klintį keičia gniutulinė klintis. Skalūnai ir juodieji skalūnai vyrauja centrinėje baseino dalyje. Remiantis regionine stratigrafine schema, Minijos regioninį aukštą (iš rytų į vakarus) sudaro šios svitos: Pabradės, Vievio ir Minijos. Minijos svita skirstoma į Šilalės ir Varnių sluoksnius. Šio tyrimo metu svitos nebuvo analizuojamos, bet remtasi sedimentacinių facijų horizontaliu ir vertikalium pasiskirstymu.

Metodai ir duomenys

Iš viso tyrimų metu, kad būtų atspindėtos skirtingos sedimentacinės facijos, buvo išanalizuoti autoriaus atrinkti 742 kerno mėginiai iš 47 gręžinių (2 pav.). Standartinei petrografinei analizei buvo panaudoti 323 šlifai (20 μm storio) iš 36 gręžinių. Didžioji dalis šlifų buvo pagaminta autoriaus, dalis jų autoriaus buvo tirti skenuojančiu elektroniniu mikroskopu (SEM). Kai kurie šlifai buvo iš dalies nudažyti alizarinu, kad būtų lengviau dolomitą atskirti nuo kalcito. Minijos regioninio aukšto karbonatinėms uolienoms išskirti autorius naudojo R. Danham (1962) sukurtą ir A. Embry ir E. Klovan (1971) išplėstą karbonatinių uolienu klasifikaciją. Pagal šią klasifikaciją uolienos skirstomos pagal sedimentacines struktūras, t.y. ar uolienos karkase vyrauja mikritas (matrica), ar dalelės. Iš kelių kerno mėginių, ypač iš vadinamosios rifinės dalies, buvo pagaminti antšlifiai, kurie padėjo uolienas analizuoti makroskopiškai.



2 pav. Gręžiniai, kurių kernas buvo naudotas tyrimams.

80 šlifų (20 μm storio) iš 16 gręžinių (nuo sekiausių iki giliausių facijų), buvo naudojami autoriaus atliktai katodoliuminescencinei (CL) analizei. Analizė atlikta šaltuoju liumineskopu (*TECHNOSYN*), pritvirtintu prie poliarizuotos šviesos mikroskopo su skaitmenine kamera.

Poringumui matuoti buvo naudojamas helio porisimetras HGP-100. Analizuojamo mėginio (cilindro) skersmuo – 2,54 cm, maksimalus cilindro ilgis – 7 cm. Prieš atliekant poringumo analizę, iš kerno mėginio išgręžtas cilindras 48 val. buvo džiovinamas 50 °C temperatūroje. Iš viso buvo atlikti 508 nauji poringumo matavimai. Tai buvo atliekama Danijos technikos universitete: dalį matavimų atliko autorius, dalį – šio universiteto studentai. Du mėginiai su santykinai dideliu (22,8 %) ir santykinai mažu (2,2%) poringumu buvo pasirinkti pakartotiniams (100 kartų kiekvienam) matavimams, siekiant nustatyti aparato patikimumą. Tyrimams taip pat buvo naudojami anksčiau atliktų poringumo matavimų (252) duomenys iš gręžimo darbų ataskaitų. Analizuojant skvarbumą, Danijos technikos universitete buvo atlikti 46 nauji skvarbumo matavimai bei iš gręžimo darbų ataskaitų panaudoti 209 jau atliktų skvarbumo matavimų duomenys.

16 šlifų iš 16 gręžinių ir autoriaus paruoštos 45 epoksidinės poliruotės su 3–7 uolienu mėginiais iš 24 gręžinių buvo naudojami cheminei (EMP elektroniniu

mikrozondų) kalcito ir dolomito mineralų analizei. Dalį geocheminių tyrimų autorius atliko Mančesterio universitete (Jungtinė Karalystė), dalį – Danijos technikos universitete.

Siekiant įvertinti karbonatinių dalelių, ankstyvojo kalcitinio cemento, vėlyvojo kalcitinio cemento, vėlyvojo dolomitinio cemento, intraporinio cemento, intradalelių matricos, tarp dalelių matricos, pakeistų bioklastų ir tarp dalelių esančių porų kiekį, buvo atlikta mikrofotografijų taškų skaičiavimo analizė. Tam buvo panaudotos 58 mėginių iš 15 gręžinių 174 mikrofotografijos (gręžiniai – iš skirtingų facijinių zonų).

Mikroskopinė šlifų analizė leido geriau suprasti pačias facijas. Tuo tarpu katodoluminescencinė analizė leido daryti prielaidas apie cementacijos eigą ir geochemiją. Atliekant elektronų mikrozondavimo (EMP) analizę, gauti kokybiniai ir kiekybiniai geocheminiai duomenys apie karbonatinius mineralus, taškų skaičiavimo analizę – duomenys apie pirminį uolienu poringumą, ankstyvąjį ir vėlyvąjį cementą.

2 SKYRIUS

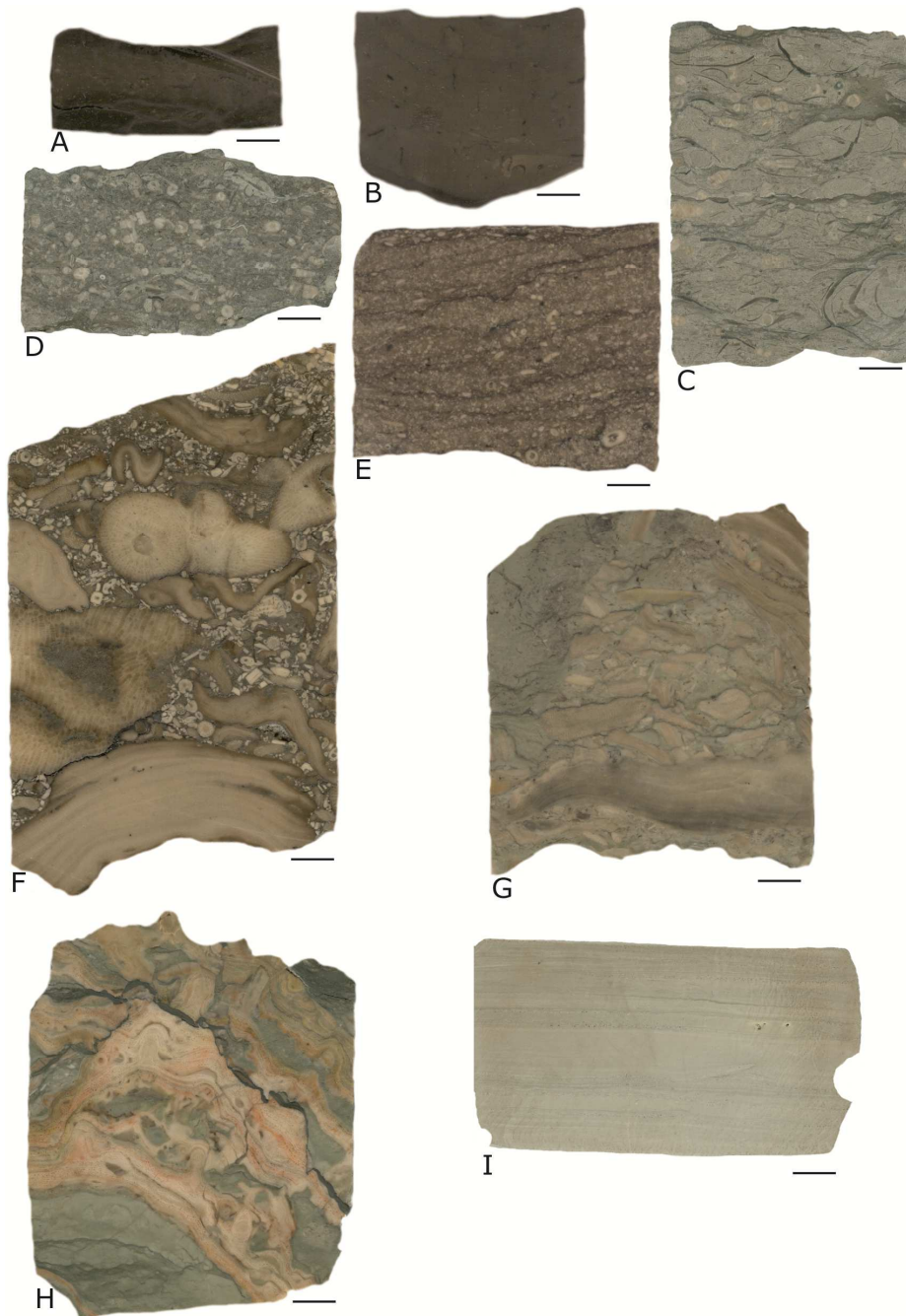
MIKROFACIJOS, LITOFACIJOS IR SEDIMENTACINIS MODELIS

Mikrofacija – tai visuma sedimentologinių ir paleontologinių duomenų, kuriuos galima aprašyti ir klasifikuoti apžiūrint šlifus, antšlifius ar pačias uolienas (Flügel, 2004). Litofacija – tai uolienos iš tam tikros sedimentacinės aplinkos tipas su fizinėmis ir organinėmis charakteristikomis.

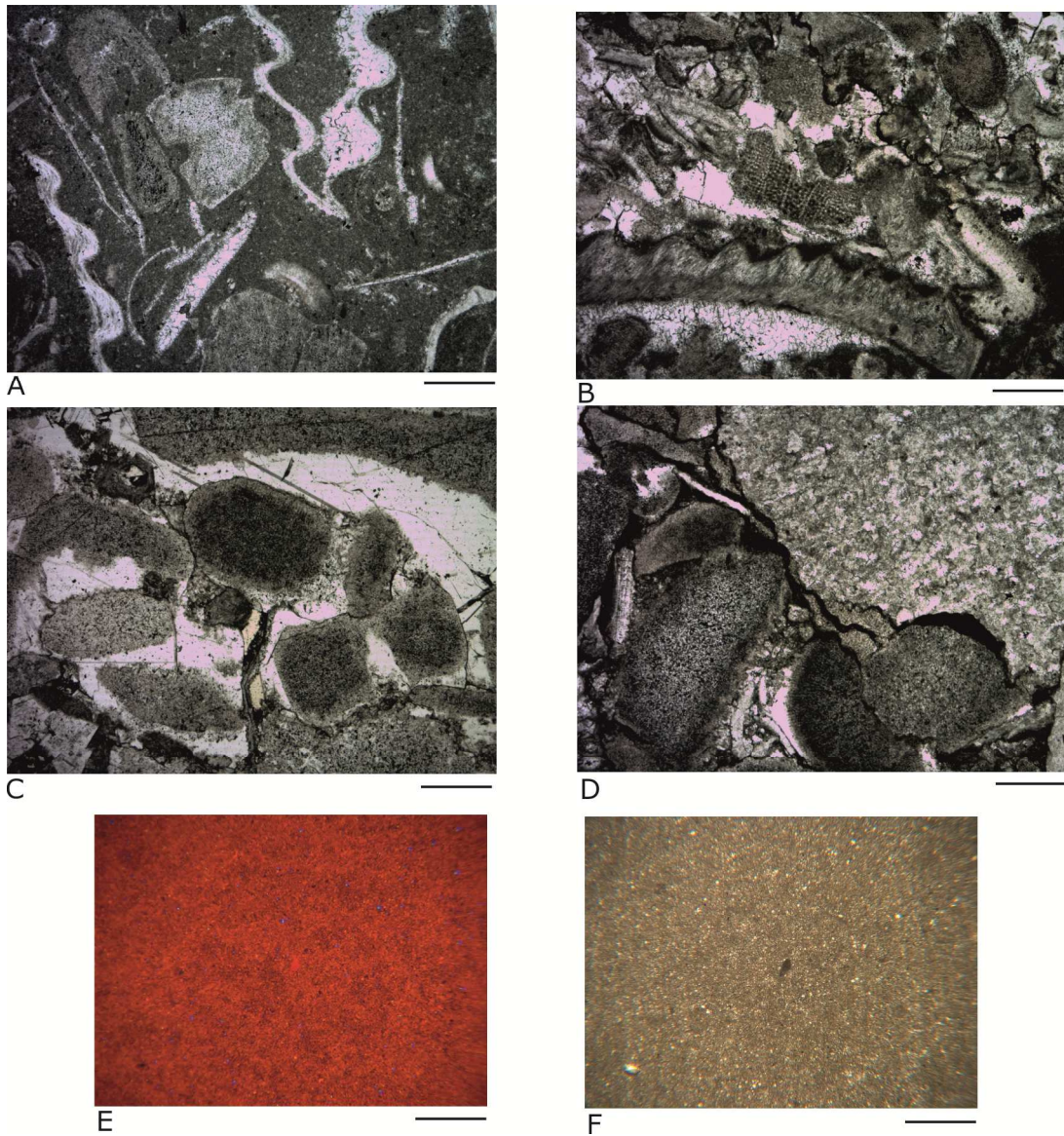
Tyrimo metu buvo išskirtos tokios mikrofacijos: molingi skalūnai, *mudstone*^{*}, brachiopodų–krinoidėjų *wackestone*^{*}, krinoidėjų–brachiopodų *packstone*^{*}, krinoidėjų *grainstone*^{*}, stromatoporų–krinoidėjų ar koralų–krinoidėjų *floatstone*^{*} arba *rudstone*^{*} ir *dolomudstone*^{*}. Tipiniai mikrofacijų pavyzdžiai pateikti 3 ir 4 paveiksluose, jų aprašymas – 2.1 lentelėje.

Stambi karbonatinė medžiaga yra išimtinai bioklastinė ir sudaryta iš stromatoporų, krinoidėjų, brachiopodų ar samangyvių. Šios faunos egzistavimas praeityje nepriklausė nuo jų gyvenimo specifinio gylio ar fotinės zonos. Kai kuriose baseino dalyse taip pat aptinkami koralai *tabuliata* ir *rugosa*. Dauguma koralų *rugosa* yra pavieniai, bet randama ir mažų kolonijų. Visi aptikti stromatoporai ir koralai yra sąlyginai maži (kelių cm dydžio, išimtiniais atvejais jų skersmuo siekia 5–10 cm) ir dažniausiai uolienoje, kur vyrauja mikritas. Tirtose uolienose taip pat rasta trilobitų, gastropodų, ostrakodų ar pelecypodų.

^{*} terminai, iki šiol nepatvirtinti Valstybinės lietuvių kalbos komisijos ir neturintys lietuviškų analogų. Šie terminai vartojami ir toliau tekste.



3 pav. Kerno su tipinėmis mikrofacijomis antšlifiai (mastelis – 1 cm): A – molingas skalūnas iš gręž. Viduklė-61 (gylis – 1048,1 m); B – *mudstone* iš gręž. Viduklė-61 (gylis – 1044,7 m), su detritu ir brachiopodų geldelių fragmentais; C – *wackestone* iš gręž. Bliūdžiai-157 (gylis – 935,25 m), su krinoidėjų ir brachiopodų fauna, kuri apsupta mikrito; D – *packstone* iš gręž. Bliūdžiai-158 (gylis – 95,05 m), vyrauja krinoidėjų ir brachiopodų dalelės ir mikrito priemaiša; E – *grainstone* iš gręž. Vadžgiris-95 gylis 971,9 m uoliena susideda vien iš krinoidų dalelių; F – *rudstone* iš gręž. Bliūdžiai-158 (gylis – 916,2 m), su didelėmis stromatoporų ir koralų dalelėmis ir mažesnėmis krinoidėjų dalelėmis; G – *floatstone* iš gręž. Šaukėnai-75 (gylis – 1153,9 m) su dideliais stromatoporų ir koralų fragmentais, apsuptais mikrito; H – *floatstone* iš gręž. Bliūdžiai-158 (gylis – 919,0 m), uolienoje vyrauja mikritas su stambiais stromatoporų dalėlėmis; I – *dolomudstone* iš gręž. Jačonyš-299 (gylis – 97,5 m), uoliena sudaryta iš horizontaliai sluoksniuoto mikrodolomito.



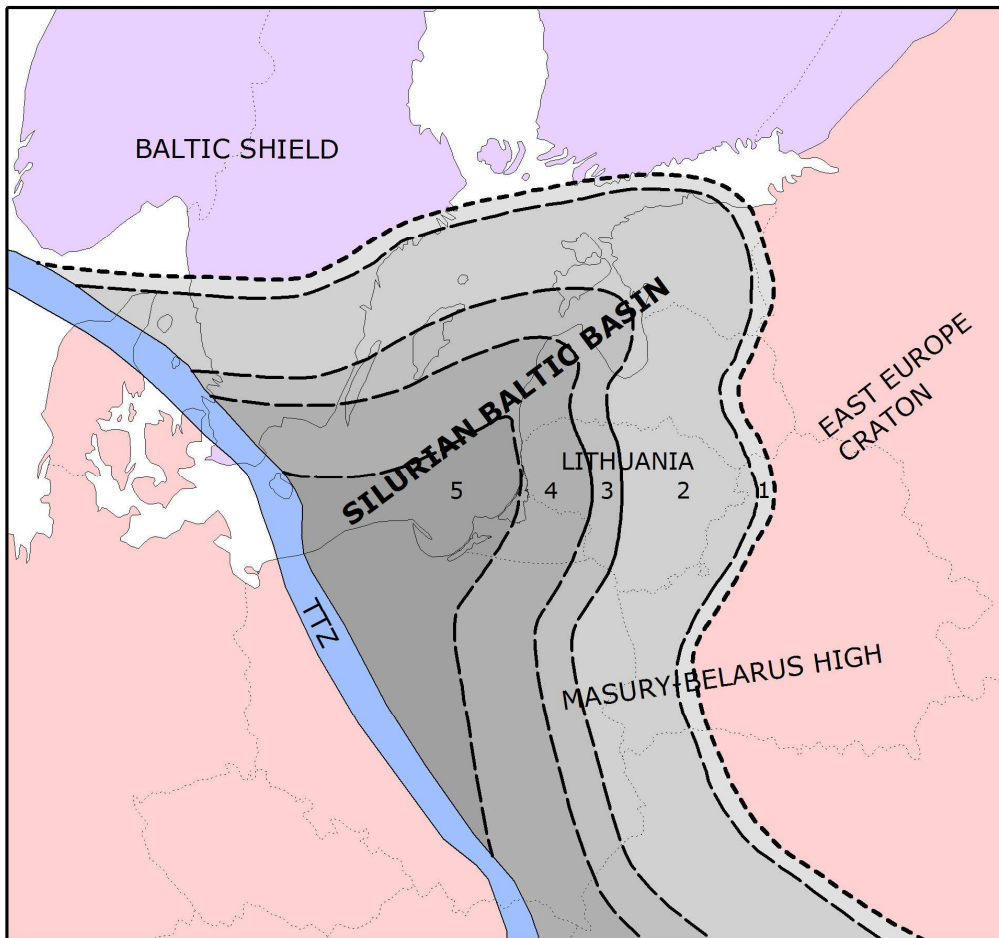
4 pav. Šlifų su tipinėmis mikrofacijomis mikrofotografijos (mastelis – 1 mm):
 A – *wackestone* iš grėž. Bebirva-111 (gylis – 986,6 m), vyrauja mikritas su krinoidėjų ir brachiopodų dalelėmis; B – *packstone* iš grėž. Bliūdžiai-157 (gylis – 914,7 m), uolieną sudaro krinoidėjų, brachiopodų ir trilobitų dalelės su mikrito priemaiša; C – *grainstone* iš grėž. Bliūdžiai-152 (gylis – 940,4 m), uolieną sudaro krinoidėjų dalelės, sucementuotos kalcitiniu cementu; D – *grainstone* iš grėž. Bliūdžiai-151 (gylis – 945,8 m), uolieną sudaro didelės stromatoporų dalelės ir mažesnės krinoidėjų dalelės; E – *dolomudstone* iš grėž. Beržai-185 (gylis – 434,2 m), uolieną sudaro tik mikrodolomito kristalai (katodoluminescencinė mikroskopija); F – *dolomudstone* iš grėž. Beržai-185 (gylis – 434,2 m), uolieną sudaro tik mikrodolomito kristalai

2.1 lentelė. Minijos regioninio aukšto karbonatinių uolienuų mikrofacijos

Mikrofacija	Karbonatinės dalelės	Dalelių dydis	Matrica	Fauna
Molingi skalūnai	nėra ar keli bioklastai	< 2 mm	vyrauja karbonatinis dumblas (mikritas) ir terigeninė silicioklastinė medžiaga	brachiopodai
<i>Mudstone</i>	nėra ar keli bioklastai	< 2 mm	vyrauja karbonatinis dumblas (mikritas)	krinoidėjos, brachiopodai, ostrakodai, dvigeldžiai moliuskai
Brachiopodų–krinoidėjų <i>wackestone</i>	bioklastai	< 2 mm	vyrauja karbonatinis dumblas (mikritas), sudarytas iš kalcito	krinoidėjos, brachiopodai, trilobitai, ostrakodai, samangyviai, pilvakojai, dvigeldžiai moliuskai, peletai
Krinoidėjų–brachiopodų <i>packstone</i>	bioklastai	< 2 mm	minimali karbonatinio dumblo (mikrito) priemaiša	krinoidėjos, brachiopodai, trilobitai, ostrakodai, samangyviai, peletai
Krinoidėjų <i>grainstone</i>	daugiausia gerai apzulinti bioklastai	< 2 mm	nėra	krinoidėjos, brachiopodai, trilobitai, ostrakodai, samangyviai
Stromatoporų–krinoidėjų ar koralų–krinoidėjų <i>rudstone</i>	įvairūs bioklastai, dalelės nuo neapzulintų iki gerai apzulintų	vyrauja > 2 mm, bet aptinkama ir mažesnių	minimali karbonatinio dumblo (mikrito) priemaiša	stromatoporai, koralai <i>tabuliata</i> ir <i>rugosa</i> , krinoidėjos, brachiopodai, samangyviai
Stromatoporų–krinoidėjų ar koralų–krinoidėjų <i>floatstone</i>	įvairūs bioklastai, dalelės nuo neapzulintų iki gerai apzulintų	įvairūs	vyrauja karbonatinis dumblas (mikritas)	stromatoporai, koralai <i>tabuliata</i> ir <i>rugosa</i> , krinoidėjos, brachiopodai, samangyviai
<i>Dolomudstone</i>	nėra arba labai blogai išlikusios	< 2 mm	vyrauja karbonatinis dumblas (mikritas), sudarytas iš dolomito	dvigeldžiai moliuskai, pilvakojai, dumbliai

Bioturbacijų dažniausiai aptinkama ten, kur vyrauja mikritas. Karbonatinis dumblas (mikritas) išplitęs visose facijinėse juostose. Galima spėti, kad jūros dugno hidrodinamika buvo lėta, gausiai kaupėsi karbonatinis dumblas. Nepaisant jo vyravimo, kai kur, ypač vidurinėje rampoje, aptinkama ir *grainstone*. Šis *grainstone* daugiausia sudarytas iš krinoidėjų, rečiau aptinkama brachiopodų dalelių. Geras dalelių rūšiuotumas ir apzulinimas bei mikrito nebuvimas *grainstone* sluoksniuose leidžia daryti prielaidą apie aktyvią hidrodinamiką ar/ir didelį karbonatinių dalelių produktyvumą. Dėl mechaninės infiltracijos į stambesnes nuogulas vėlesnė sedimentacinė matricos akumuliacija, bioturbacija ir faunos aktyvumas lėmė, kad kai kurie *grainstone* ar *rudstone* sluoksniai virto *packstone* ar *floatstone*.

Remiantis mikrofacijų, litofacijų ir faunos pasiskirstymu, Minijos regioniniam aukštui buvo sudarytas sedimentacinis facijų pasiskirstymo modelis (5 pav.). Sedimentacinė sistema padalinta į penkias dalis su tipinėmis litofacijų asociacijomis (sedimentacinės aplinkos (nuo priekrantinių iki giliavandenių) trumpai apibūdintos 2.2 lentelėje): 1 – plati priekrantinė facija su *dolomudstone*, kur fauna itin reta ir blogai išlikusi ar net ištirpusi; 2 – sekli facija daugiausia su *wackestone* ir *mudstone*, rečiau – su bioklastiniu *packstone*, *grainstone*, *rudstone* ar *floatstone*. Vyrauja dvigeldžiai, ostrakodai, gastropodais krinoidėjos ir brachiopodai; 3 – centrinė stambiagrūdė facijos juosta su *grainstone*, *rudstone* arba *floatstone*, sudaryta iš stromatoporų, koralų ir krinoidėjų; 4 – gilesniajame šlaite vyrauja smulkiagrūdė medžiaga (mikritas) su stambesnės medžiagos (bioklastinis *packstone*) tarp sluoksniais; 5 – giliausia facija, kur vyrauja mergelis su skalūnais bei organiniai juodieji skalūnai.



5 pav. Facijų pasiskirstymas silūro Baltijos sedimentaciniame baseine: ribos tarp facijų Lietuvos teritorijoje (ištisinė linija) pagrįstos tyrimų duomenimis, ribos už Lietuvos teritorijos ribų (punktyrinės linijos) – ekstrapoliuotos; 1 – seabkha; 2 – vidinė sekli rampa; 3 – vidurinė rampa; 4 – išorinė rampa; 5 – baseino dugnas.

2.2 lentelė. Pržidolio laikotarpio karbonatų rampos Lietuvoje litologinis aprašymas, klasifikacija ir fauna (pagal kerno ir šlifų aprašymus ir faunos pasiskirstymą)

Pagrindinė rampos facija	Litoralė – sublitoralė, sekli vidinė rampa	Sublitoralė, vidinė rampa	Vidurinė rampa	Išorinė rampa	Baseino dugnas
Litologija	dolomitas	klintis	klintis	klintis, mergelis ir skalūnas	mergelis ir skalūnas
R. Dunham klasifikacija	<i>mudstone</i>	bioturbuotas <i>wackestone</i> ir <i>mudstone</i> su trupučiu stambesnių dalelių <i>packstone</i> ir <i>grainstone</i>	daugiausia <i>rudstone</i> ir <i>floatstone</i> su <i>grainstone</i> , <i>packstone</i> , <i>wackestone</i> ir <i>mudstone</i>	bioturbuotas <i>mudstone</i> ir <i>wackestone-packstone</i>	<i>mudstone</i> su <i>wackestone</i> (<i>packstone</i>)
Fauna	brachiopodai, dvigeldžiai (?)	krinoidėjos, brachiopodai, ostrakodai, pavieniai koralai <i>tabuliata</i> , dvigeldžiai, gastropodai	stromatoporai, krinoidėjos, daugiausia pavieniai koralai <i>tabuliata</i> ir <i>rugosa</i> pagrinde, brachiopodai, samangyviai, trilobitai	krinoidėjos, brachiopodai, gastropodai, ostrakodai, dvigeldžiai	krinoidėjos, brachiopodai, ostrakodai

Centrinė facijinė juosta: rifas ar biostroma?

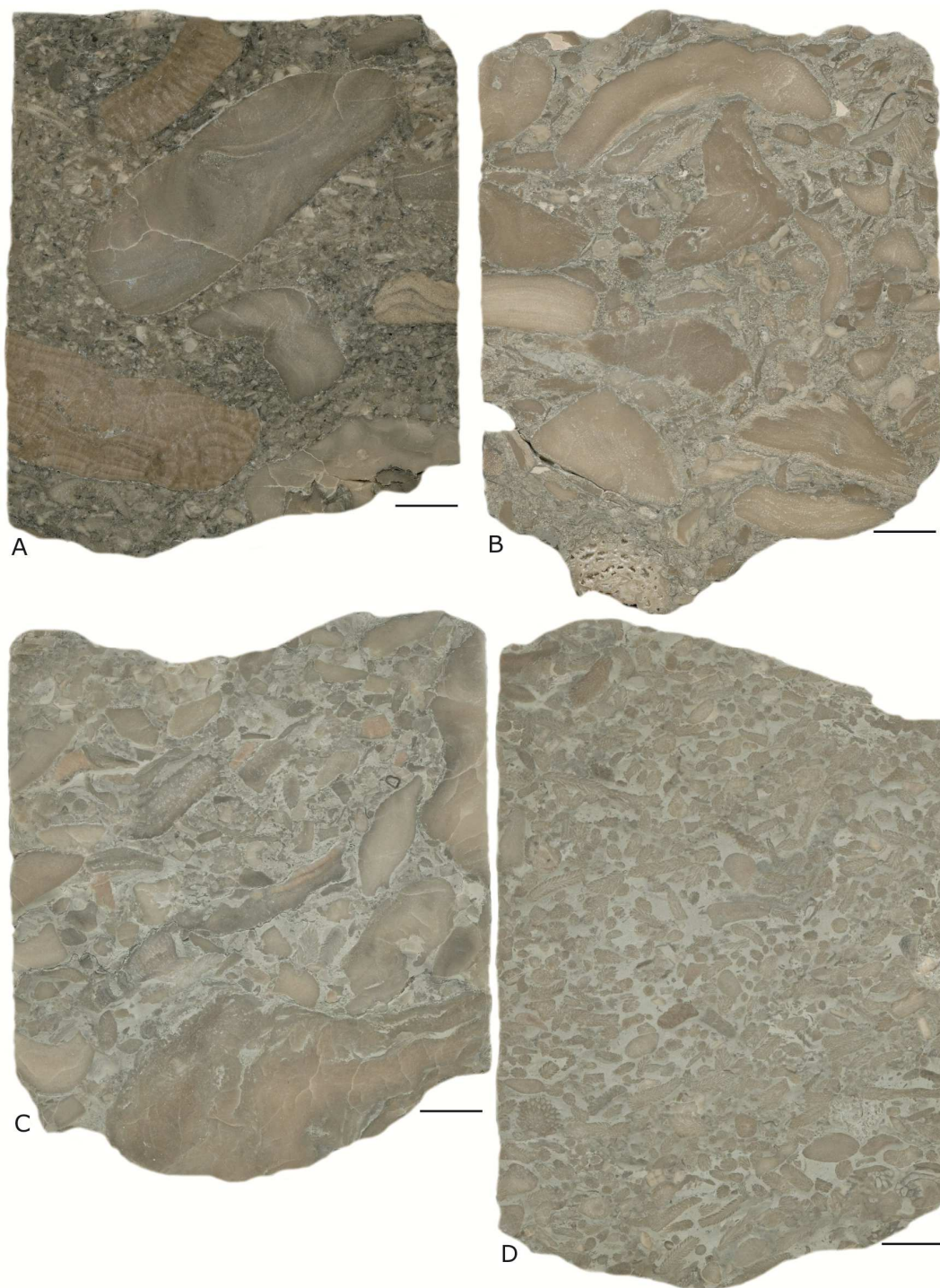
Tradiciškai centrinė facijinė juosta yra interpretuojama kaip rifų juosta arba barjerinis rifas, nes joje yra stromatorų ir/ar koralų (Laufeld, Bassett, 1981; Nestor, Einasto, 1997; Calner et al., 2004). Pagrindinis klausimas – ar tai rifas (bent jau bioherma) ar biostroma? Pats terminas „rifas“ literatūroje plačiai vartojamas, dėl to atsiranda tam tikrų nesusipratimų ar netikslumų. Šiame darbe *rifas* – tai karbonatinis skeletinių kolonijinių organizmų karkasas, litifikuotas ankstyvuoju jūriniu cementu su aiškia morfologija ir apsuptas *talus* nuogulų. *Bioherma* turi laisvą struktūrą su aiškia morfologija, joje nėra stabilaus karkaso. Biostromoje nėra nei stabilaus karkaso, nei aiškos morfologijos.

Remiantis literatūra (Kaljo, 1977; Paškevičius, 1997; Lapinskas, 2000), klintis centrinėje facijinėje juostoje silūro Baltijos sedimentaciniame baseine priklauso vadinamajai rifų juostai, kurioje vyrauja stromatorai, koralai *tabuliata* ar *rugosa*, samangyviai ir krinoidėjos.

Centrinės facijinės juostos nuogulas (vertikaliai) sudaro simetriški mergelio, gniutulinės klinties ir klinties sedimentaciniai–litologiniai ciklai. Klintis daugiausia yra *packstone* ir *grainstone* pavidalu. Stambiagrūdę klintį geriau vadinti *rudstone* arba *floastone*, rečiau – *wackestone* arba *mudstone*. Klintis visur yra sluoksniuota.

Dauguma *rudstone* ir *floastone* sudaryta iš stambiagrūdžių karbonatinių dalelių, tokių kaip stromatorų, koralų *tabuliata* ar *rugosa*, kurie daugiausia slūgso ne *in situ* (6 pav.). Skeletinių organizmų karkasą aptikti atodangose paprasčiau nei kerne. Tuo tarpu funkcinio jungimo organizmus, tokius kaip karbonatiniai dumbliai, aptikti tiek kerne, tiek ir šlifuose nėra sudėtinga, tačiau tyrimų metu tokių organizmų aptikta nebuvo.

Posakis ar greičiau išankstinė nuostata, kad jei rifams būdinga fauna yra tam tikroje baseino vietoje, tai toje vietoje turi būti barjeras ir karbonatų sistema interpretuojama kaip platforma. Tikrų rifų buvimas ar nebuvimas apsprendžia karbonatų sedimentacinę sistemą – platformą arba rampą.



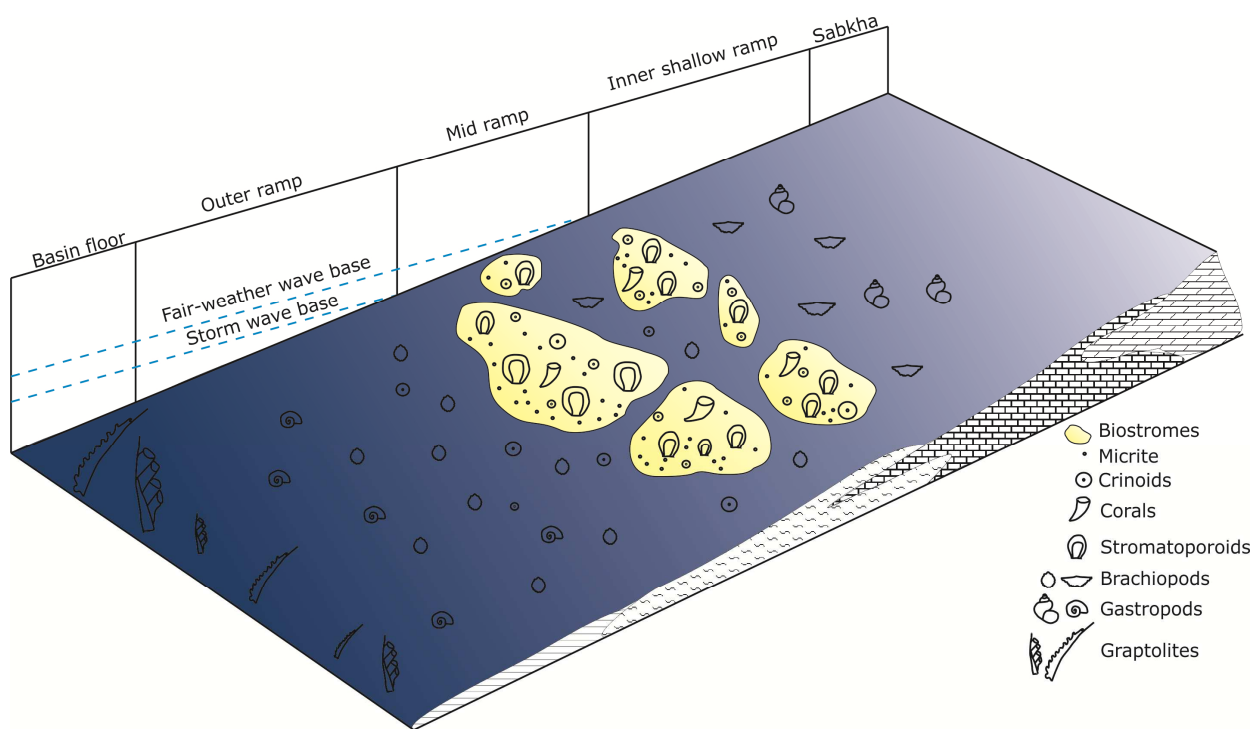
6 pav. A – kerno antšlifis iš grėž. Bliūdžiai-150 (gylis – 946,9 m), jame matyti *rudstone*, sudarytas iš įvairaus dydžio gerai apzulintų stambesnių stromatoporų ir koralų bei smulkesnių krinoidėjų dalelių; B – kerno antšifis iš grėž. Bliūdžiai-152 (gylis – 931,4 m), jame matyti *rudstone*, sudarytas iš įvairaus dydžio neapzulintų stromatoporų dalelių; C – kerno antšlifis iš grėž. Bliūdžiai-156 (gylis – 926,4 m), jame matyti *floatstone*, sudarytas iš įvairaus dydžio daugiausia neapzulintų stromatoporų dalelių, kurios inkorporuotos į mikritą; D – kerno antšlifis iš grėž. Bliūdžiai-156 (gylis – 930,5 m), jame matyti *floatstone*, sudarytas iš gerai apzulintų stromatoporų ar koralų dalelių, vyrauja mikritas.

Pastaba: visuose pavyzdžiuose dalelės yra ne *in situ*, – tai leidžia daryti prielaidą, kad dalelės buvo transportuojamos tam tikrą atstumą ir/ar laiką (mastelis – 1 cm).

Iki šiol silūro Baltijos sedimentacinis baseinas dažniausiai buvo interpretuojamas kaip platforma su centrine rifine juosta (Kaljo, 1977; Lapinskas, 2000; Stenoft et al., 2003). Dėl rifų barjerų formuojasi lagūnos su daugiau ar mažiau apribota vandens cirkuliacija, padidėjusiu druskingumu, dėl ko mažėja bioturbacijos mastai bei pati biotos įvairovė. Lagūnoms taip pat būdingas smulkus nuogulų sluoksniuotumas bei evaporitiniai mineralai, tokie kaip gipsas, anhidritas ar halitas. Visų šių paminėtų lagūnoms būdingų požymių tyrimų metu nustatyta nebuvo.

Pagrindiniai veiksniai, turintys įtakos facijų pasiskirstymui rampoje, yra vandens energija, t.y. normalaus bangavimo ir štormų lygis, topografija. Karbonatinė medžiaga transportuojama (ar perklostoma) bangu, štormų ar potvynių metu (Pomar, 2001; Flügel, 2004).

Remiantis tyrimais nustatytų sedimentacinių požymių ir procesų visuma, buvo sudarytas silūro Baltijos sedimentacinio baseino rampos modelis (7 pav.).



7 pav. Silūro Baltijos sedimentacinio baseino rampos modelis.

3 SKYRIUS

DIAGENEZĖ

Diagenezė dažniausiai skirstoma atsižvelgiant į gylį ir sąveiką tarp jūros ir požeminio vandens. Diagenezė apima visus vėlesnius po sedimentacijos procesus iki metamorfizmo. Skyriuje išskiriami sinsedimentaciniai (bioturbacija, mikritizacija ir matricos infiltracija) ir vėlesni sedimentaciniai, dar vadinami laidojimo diagenetiniai (cementacija, pseudomorfozė ar perkristalizacija, mechaninė ir cheminė kompaktacija, plyšiuotumas ir jo užpildymas) procesai. Visi šie procesai keičia nuogulų pirminę mineralinę sudėtį, turi įtakos uolienuų poringumui ir skvarbumui.

Pirminis seklių karbonatinių uolienuų tarpdalelinis poringumas yra apie 40–45 % (Machel, 2005). Remiantis taškų skaičiavimo analize, tarpdalelinis tūris nuogulose, kur vyrauja dalelės, vidutiniškai yra 42,8 %. Toks poringumas būtų tinkamas kauptis angliavandeniliams, tačiau diagenozės metu dauguma karbonatinių uolienuų praranda savo pirminį poringumą, ir tai vyksta daug greičiau nei silicioklastinėse nuogulose (Ehrenberg, Nadeau, 2005). Visa tai tikėtina dėl didesnio karbonatinių uolienuų mineralų tirpumo. Šiuo atžvilgiu silūro karbonatinės uolienos nėra išimtis.

Norint tiksliau įvertinti pagrindines karbonatinių uolienuų kolektorių petrofizines savybes, būtina suprasti nuogulų diagenozę, nes diagenozė – pagrindinis jas lemiantis veiksnys.

Rentgeno struktūrinė ir elektroninė mikrozondavimo (EMP) analizės parodė, kad visos silūro karbonatinės uolienos daugiausia sudarytos iš mažai magnio (Mg) turinčio kalcito ir šiek tiek iš dolomito. Tačiau kai kurie biogeniniai komponentai savo pirminį skeletą formavo iš aragonito ar daug magnio turinčio kalcito. Minėtos analizės taip pat parodė, kad netirpioje liekanoje vyrauja kvarcas, piritas, o iš molio mineralų vyrauja ilitas, kiek mažiau – chlorito ir kaolinito.

Bendrai paėmus, nuogulose vyrauja tik keli karbonatiniai mineralai. Tai – aragonitas, kalcitas ir dolomitas. Kalcitas dar skirstomas į mažai magnio turintį kalcitą ir daug magnio turintį kalcitą. Dėl specifinės šių mineralų reakcijos į diagenozę (slėgį, temperatūrą, tirpimą, fluidų cheminę sudėtį ir pan.), aragonitas ir daug magnio turintis kalcitas yra nestabilūs ir diagenozės metu virsta stabiliu mažai magnio turinčiu kalcitu

(Ali et al., 2010). Daugumos biogeninių karbonatų pirminė mineralinė sudėtis buvo aragonitinė ar daug magnio turinti kalcitinė. Kai kurių faunos grupių, tokių kaip echinodermatai (daug magnio turintis kalcitas) ar brachiopodai (mažai magnio turintis kalcitas), organinių skeletų mineralinė sudėtis gerai žinoma, tuo tarpu kitų faunos grupių mineralinė sudėtis fanerozojaus metu galėjo kisti ir būti įvairi.

Atlikus mikroskopinius tyrimus buvo nustatyta, kad kai kurios biogeninės karbonatinės dalelės buvo sudarytos iš pirminio mažai magnio turinčio kalcito (brachiopodų ar ostrakodų), nes geldelėse išlikusi pirminė mikrostruktūra su vis dar padidėjusiu stroncio (Sr) kiekiu. Tuo tarpu krinoidėjų pirminė mineralinė sudėtis – iš daug magnio turinčio kalcito. Tai patvirtina juose aptikti mikrodolomito kristalo inkluzai. Stromatoporai, koralai ir samangyviai taip pat buvo sudaryti iš pirminio daug magnio turinčio kalcito.

Paragenetinė seka

Visi diagenetiniai požymiai, procesai ir jų santykinis laikas pateikti 3.1 lentelėje.

3.1 lentelė. **Minijos regioninio aukšto karbonatinių uolienuų paragenetinė seka**

Požymis	Procesas	Santykinis laikas
Urvai, atsitiktinė dalelių orientacija	Bioturbacija	■
Mikrito apvalkalai	Mikrogrėžimas ir mikritizacija	■
Mikrito infiltracija geopetaliniame užpilde	Mikrito infiltracija (mechaninė ir bioturbacinė)	■
Cementacija aplink dalelės, apaugimo cementas ("kreivos tvoros" ir „tvorinis")	Ankstyvo jūrinio daug Mg kalcito cementacija	■
Skeletinių dalelių vidinės tektūros praradimas	Aragonito ir daug Mg kalcito tirpimas skeletinėse dalelėse	■
Dalelių sutankinimas, dalelių sulaužymas	Mechaninė kompaktacija	■
Dalelių prasiskverbimas, tarpdalelinė mikrostitilizacija, išsistinė stilolizacija palei molingus sluoksnelius	Cheminė kompaktacija (slėginis tirpimas - stilolizacija)	■
Mažai Mg kalcito cementacija aplink daleles, cemento ir bioklastų apaugimas bei dalinis pirminės struktūros praradimas	(Pseudomorfozė) ankstyvo jūrinio cemento ir bioklastų pakeitimas	■
Mikrodolomito kristalai bioklastuose ir cemente	Mikrodolomito susidarymas pasikeitimo metu	■
Porų užpildymas blokiniu kalcitiniu cementu	Vėlyvo mažai Mg kalcito cementacija	■
Dolomitas likusiose porose ir palei molingus sluoksnelius	Vėlyvo dolomito cementacija	■
Plyšių užpildymas kalcitu - dolomitu	Plyšiuotumas ir jų užpildymas kalcitu ir dolomitu	■

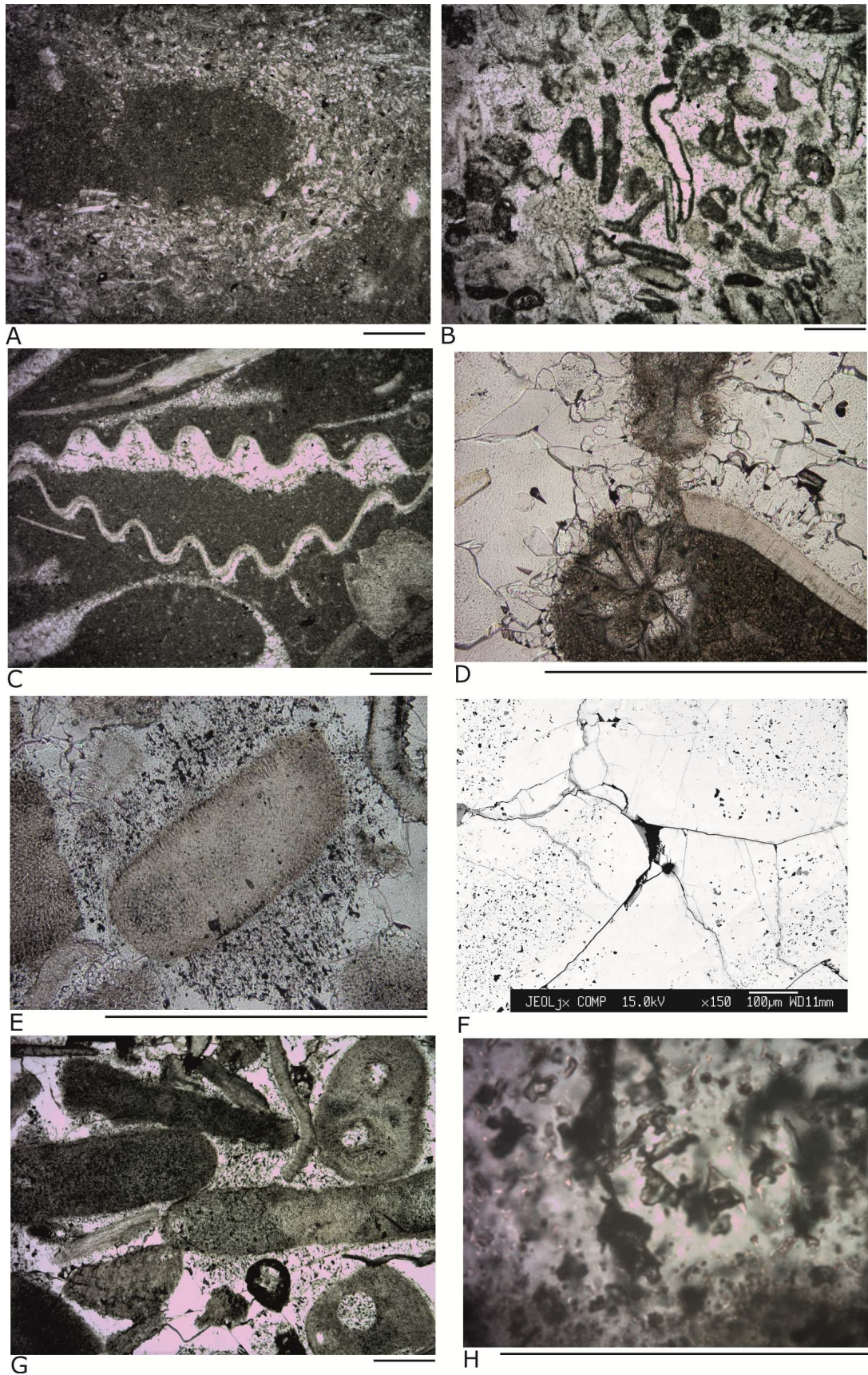
3.1 lentelėje parodyta *grainstone*, *rudstone/floatstone*, *packstone* ir iš dalies *wackestone* paragenetinė seka. Kalcitiniai ir dolomitiniai *mudstone* neįtraukti dėl kitos nuogulų sudėties ir kitos paragenetinės sekos. *Mudstone* paprasta mikroskopija nėra įmanoma atskirti pačios dalelės, apaugimo ir cemento. Tik aišku, kad visas mikritas buvo pakeistas mažai magnio turinčiu kalcitu. Pirminės poros taip pat buvo užpildytos mikrito dydžio mažai magnio turinčiu kalcito cementu.

Bioturbacija. Kerne ir šlifuose gausu „urvų“. Karbonatinės dalelės yra orientuotos atsitiktine tvarka, kitaip tariant, intensyvi bioturbacija būdinga daugeliui nuogulų (8 pav., A). Bioturbacija greičiausiai buvo vienas pirmųjų diagenetinių nuogulų pakitimų.

Mikritizacija. Mikritinių apvalkalų, kurie daleles paverčia kortoidais (8 pav., B), aptikta vidurinėje rampos dalyje. Dalelių, daugiausia brachiopodų ir dvigeldžių, geldelės yra suardytos mikroorganizmų. Dėl šios veiklos galėjo susidaryti mikritas, bet šis reiškinys nėra plačiai paplitęs. Kai kurie autoriai teigia, kad mikritizacija rodo normalią oksidacinę jūrinę aplinką (Berggren and van Couvering, 1984).

Matricos infiltracija. Mikrito akumuliacija geopetaliniuose užpilduose buvo aptikta tiek kerno antšifuose, tiek ir pačiuose šlifuose (8 pav., C). Tokia matricos infiltracija gali būti bioturbacijos arba mechaninės infiltracijos pasekmė. Šlifuose geopetalinių užpildų buvo aptikta tiek porose tarp dalelių, tiek intraporose, tiek ir dalelėse su ir be mikritinio apvalkalo.

Ankstyvoji jūrinė daug magnio turinčio kalcito cementacija. Kalbant apie cementaciją, ypač ankstyvąją, reikėtų atkreipti dėmesį į tai, kad skirtingos biogeninės dalelės į cementaciją reaguoja skirtingai. Pavyzdžiui, aplink krinoidėjų daleles formuojasi sintaksinio apaugimo cementas, tuo tarpu aplink brachiopodų – pluoštinis ar tvorinis cementas, – tai gali būti susiję su skirtinga pirmine dalelių mineraline sudėtimi. Pavyzdžiui, krinoidėjos sudarytos iš daug magnio turinčio kalcito, o brachiopodai – iš mažai magnio turinčio kalcito. Stromatoporai, koralai, dvigeldžiai, samangyviai, ostrakodai ir trilobitai į cementaciją „reaguoja“ panašiai kaip ir brachiopodai.



8 pav. Šlifų su skirtingais diagenetiniais požymiais nuotraukos (mastelis – 1 mm): A – grėž. Gargždai-1 (gylis – 1402,2 m), uolienoje matyti intensyvi bioturbacija, vyrauja mikritas; B – grėž. Bliūdžiai-151 (gylis – 951,6 m), matyti dalelės su mikritiniais apvaskalais (kortoidai) ir kai kurių dalelių visiška mikritizacija; C – grėž. Bebirva-111

(gylis – 986,6 m), matyti mikrogeopetalinis užpildas (mikrito infiltracija) brachiopodo geldelėje, likusi poros dalis brachiopodo geldelėje diagenozės metu užpildyta kalcitiniu cementu; D – gręž. Bliūdžiai-152 (gylis – 935,6 m), matyti trilobito, brachiopodo ir samangyvio dalelės, apaugusios tvoriniu ankstyvuojų kalcitiniu cementu, kuris pereina į špatinį (skaidrų kalcitinį) cementą; E – gręž. Bliūdžiai-150 (gylis – 935,3 m), matyti krinoidų dalelė, apaugusi sintaksinio apaugimo ankstyvuojų su inkluzais kalcitiniu cementu; F – SEM nuotrauka, gręž. Bliūdžiai-152 (gylis – 940,8 m), matyti ant krinoido dalelių sintaksinio apaugimo kalcitinis cementas su mikrodolomito inkluzais; G ir H – gręž. Bliūdžiai-152 (gylis – 935,2 m), matyti mikrodolomito inkluzai ankstyvajame jūriniame kalcitiniame cimente.

Tiesiai ant biogeninių dalelių, nepriklausomai yra mikritinis apvalkalas ar ne, aptinkama pakraščio ar apaugimo cemento. Toks pakraščio cementas yra pluoštinio ar tvorinio kristalo formos (8 pav., D ir E). Toks cementas auga ant brachiopodų, dvigeldžių ar trilobitų geldelių ir, remiantis literatūra, tai yra ankstyvasis jūrinis cementas (Flügel, 2004). Cemento kristalų forma, katodoluminescencinė mikroskopija ir geocheminiai duomenys parodė, kad tai yra kalcitas ir jis paplitęs centrinėje ramos dalyje, porose tarp dalelių ir intraporose. Mikroskopinė analizė ir SEM analizė taip pat parodė, kad cimente yra inkluzų (mikrodolomito). Taškų skaičiavimo analizė parodė, kad cementas sudaro 7,1 % visos sudėties. Cementas po katodoluminescencija švytėjo įvairiai ryškiai arba visai nešvytėjo. Remiantis tuo, kad dabar šiame mažai magnio turinčiame kalcite yra mikrodolomito inkluzų, galima daryti prielaidą, kad pirminė mineralinė sudėtis buvo jūrinio, daug magnio turinčio kalcito tipo. Šis ankstyvas jūrinis daug magnio turintis kalcitas turėjo lemiamos įtakos nuoguloms, kur vyrauja dalelės, nes, remiantis mikroskopine analize, buvo pastebėta, kad dalelės, kurios buvo apsuptos ankstyvuojų cementu, buvo silpniau paveiktos cheminės kompaktacijos. Tuo tarpu dalelės, kurios nebuvo apsuptos ankstyvuojų jūriniu daug magnio turinčiu kalcitiniu cementu, patyrė slėginį tirpimą ir stilolitizaciją.

Elektronų mikrozondo (EMP) ir rentgeno struktūrinė analizė parodė, kad daugiausia karbonatinė medžiaga susideda iš mažai magnio turinčio kalcito ir dolomito priemaišos. Tai reiškia, kad, nepaisant pirminės mineralinės sudėties (ar tai buvo aragonitas ar daug magnio turintis kalcitas), ji buvo pakeista mažai magnio turinčiu kalcitu ir/ar dolomitu.

Skeletinių dalelių, sudarytų iš aragonito ar daug magnio turinčio kalcito, tirpimas. Tyrimų metu buvo nustatytas vidinės skeletinių dalelių struktūros praradimas ar bioklastų, tokių kaip krinoidėjos, dvigeldžiai, samangyviai ar koralai, perkristalizacija (9 pav., B). Progresuojant diagenезei, nestabilūs mineralai, tokie kaip aragonitas ir daug magnio turintis kalcitas, tirpsta ir skeletinės geldelės netenka vidinės struktūros. Tirpimas suteikia ne tik požymių apie jo santykinį vykimo laiką diagenезės metu, bet ir apie pirminę mineralinę sudėtį. Skenuojančio elektroninio mikroskopo (SEM) duomenų analizė parodė, kad kai kuriuose bioklastuose, tokiuose kaip krinoidėjos, stromatoporai, samangyviai ir kai kurie koralai, buvo aptikta mikrodolomito, – tai leidžia daryti prielaidą, kad jų pirminė mineralinė sudėtis – daug magnio turintis kalcitas.

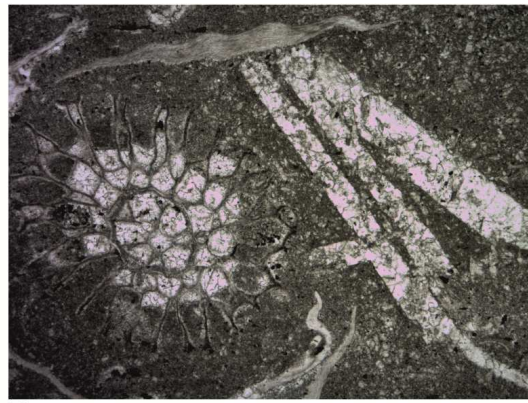
Mechaninė kompaktija. Tyrimų metu buvo nustatyta dalelių sutankinimas, trūčiai ir deformacijos (9 pav., C), kurie rodo vykusią mechaninę kompaktiją. Remiantis literatūra, karbonatinės nuogulos mechaninės kompaktijos metu gali netekti beveik pusės savo storio (Choquette and James, 1987). Mechaninė kompaktija – svarbus veiksnys, nes jis lemia tolesnę diagenезės eigą. Jeigu mechaninė kompaktija nebuvo intensyvi, reiškia porų liko pakankamai daug ir masių pasiskirstymas galėjo vykti didesniu atstumu nuo šaltinio. Jei mechaninė kompaktija buvo intensyvi, sistemoje liko mažai porų, skvarbumas sumažėjo ir masių pasiskirstymas vyko arti jo šaltinio.

Cheminė kompaktija. Šlifų tyrimų metu buvo nustatyta interpenetracija tarp dalelių, tarpdalelinė mikrotilolitizacija ir ištisinė stilolitizacija palei molingus sluoksnelius (9 pav., D) *grainstone*, *packstone*, *floatstone*, *rudstone* ir *wackestone*. Stilolitizacija labiausiai paplitusi centrinėje baseino dalyje (biostromoje). Krinoidėjos ir stromatoporai – pagrindinė fauna, kiek mažiau aptikta brachiopodų, turėjusių įtakos stilolitizacijai.

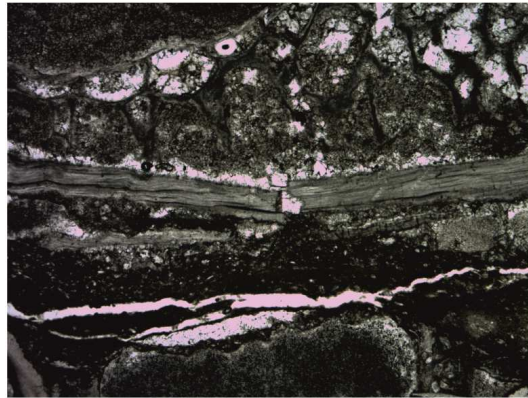
Pagrindinis cheminės kompaktijos požymis yra stilolitizacija, kuri susiformavo vykstant slėginiam tirpinimui. Taškų skaičiavimo analizė parodė, kad stilolitizacijos metu krinoidėjos prarado nuo 2,4 % iki 77,8 % (vidutiniškai – 27,7 %) tūrio. Dėl cheminės kompaktijos atsirado papildomas cementacijos šaltinis diagenetinei sistemai, pakito porinio vandens cheminė sudėtis. Vykstant cheminei kompaktijai, kai kurie nestabilūs karbonatiniai mineralai buvo ištirpinti. Kai kur susidarė netirpi liekana, vadinama stilolitine siūle arba tiesiog stilolitu. Šios siūlės dažniausiai būna horizontalios ir apsunkina vertikalų porinio vandens judėjimą.



A



B



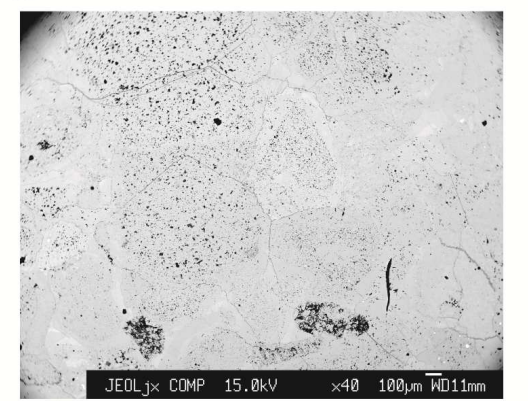
C



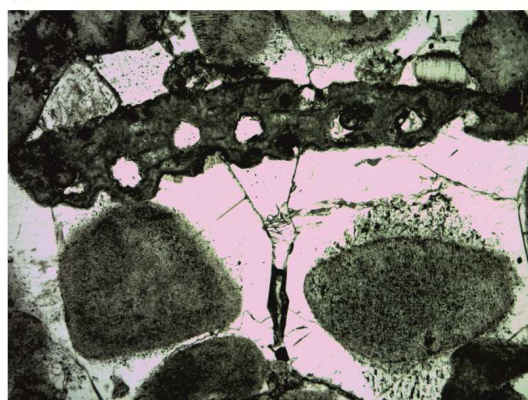
D



E



F



G



H

9 pav. Šlifų su skirtingais diagenetiniais požymiais mikrofotografijos (mastelis – 1 mm): A – grėž. Bliūdžiai-150 (gylis – 935,2 m), matyti ankstyvas kalcitinis cementas, perdengtas stilolitais; B – grėž. Bebirva-111 (gylis – 986,6 m), matyti geldelių

fragmentai su iš dalies prarasta vidine struktūra; C – grėž. Bliūdžiai-157 (gylis – 895,2 m), matyti pėdsakai mechaninės kompaktacijos, dėl kurios buvo sulaužyta brachiopodo geldelė; D – grėž. Bliūdžiai-150 (gylis – 942,7 m), matyti cheminė kompaktacija, kuri atrodo kaip sutūrinės linijos tarp krinoidėjų dalelių; E – grėž. Gargždai-1 (gylis – 1324,5 m), matyti bioklastų pakeitimas kalcito kristalais; F – grėž. Bliūdžiai-156 (gylis – 949,5 m), matyti mikrodolomito inkluzai krinoidėjų dalelėse; G – grėž. Bliūdžiai-150 (gylis – 935,2 m), matyti vėlyvas kalcitinis cementas, kuris užima didžiąją porų dalį; H – grėž. Bliūdžiai-156 (gylis – 917,5 m), matyti vėlyvas kalcitinis cementas, kuris užpildo plyšius, atsiradusius sulaužius brachiopodo geldelės fragmentą, ir likusią porų dalį. Toks požymis leidžia daryti prielaidą, kad vėlyvasis kalcitinis cementas susidarė po mechaninės kompaktacijos.

Ankstyvojo jūrinio cemento ir bioklastų pakeitimas. Tiriant šlifus paaiškėjo, kad mažai magnio turintis kalcitas sudaro pakraščio ar apaugimo cementą ir bioklastus, kurie iš dalies yra netekę savo vidinės struktūros (9 pav., E). Krinoidėjos, koralai *tabuliata* ir *rugosa* yra pagrindiniai bioklastai, netekę savo pirminės mineralinės sudėties ir virtę mažai magnio turinčiu kalcitu. Šio tipo pakitimai būdingi visoje rampe. Tik ostrakodų ir brachiopodų geldelės išlaikė savo pirminę struktūrą ir sudėtį.

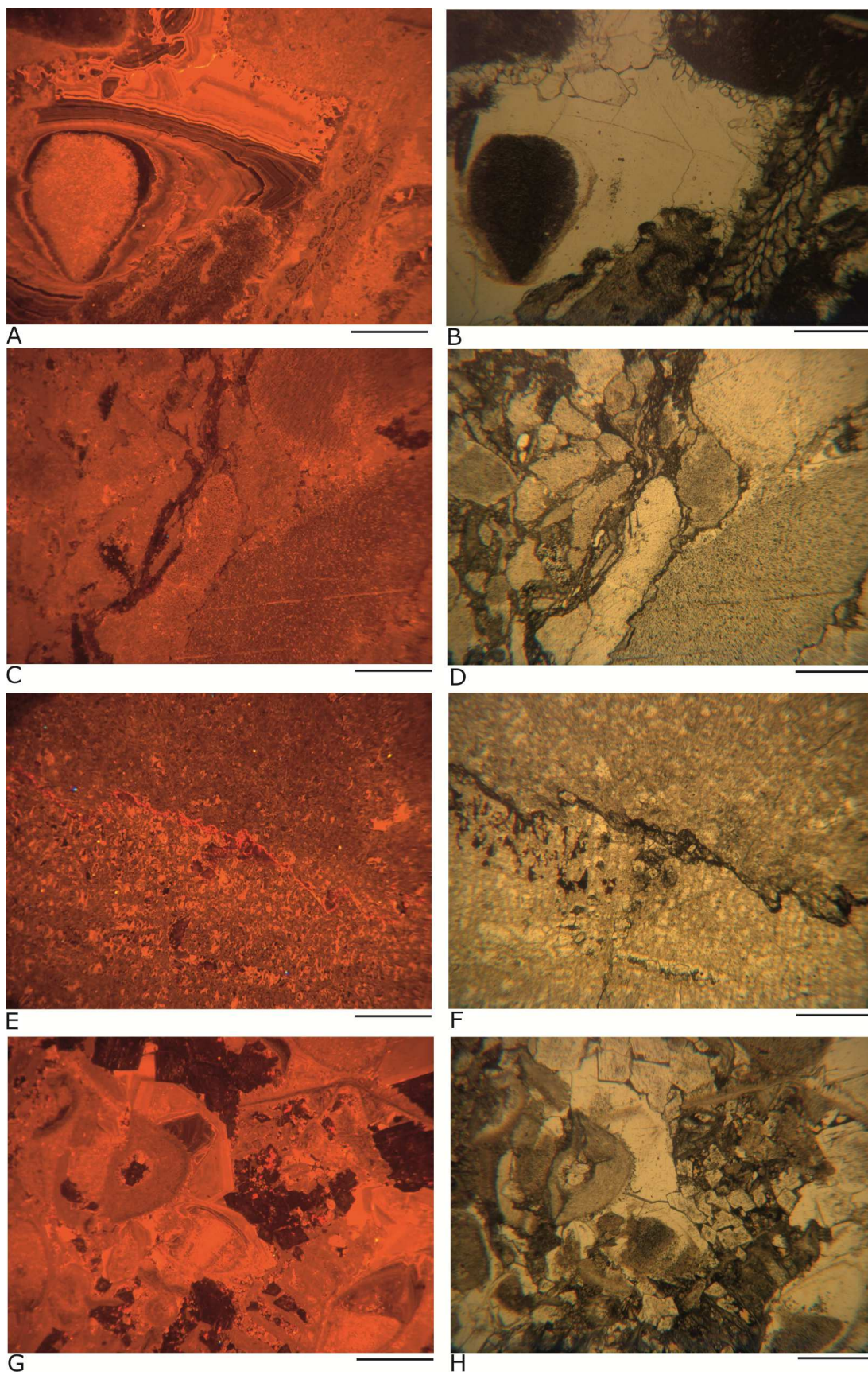
Mikrodolomito susidarymas persikristalizacijos metu. Atliekant analizę skenuojančiu elektroniniu mikroskopu (SEM), pakraščio ir apaugimo cimente (kaip ir kai kuriuose bioklastuose, t.y. krinoidėjų, ostrokodų, samangyvių ir koralų, kurie dabar sudaryti iš mažai magnio turinčio kalcito) buvo rasta mikrodolomito kristalų (9 pav., F). Mikrodolomitas susidarė dėl pseudomorfozės, kai ankstyvasis daug magnio turintis kalcitas persikristalizavo į labiau stabilų diagenetinėmis sąlygomis mažai magnio turintį kalcitą.

Vėlyvojo mažai magnio turinčio kalcito cementacija. Mažai magnio turintis kalcitinis cementas darniai, be jokių tirpimo požymių ar papildomų erdvių slūgso ant tvorinio, pluoštuoto ar pakraščio kalcitinio cemento ir užpildo didžiąją dalį likusios porų erdvės (9 pav., G). Taškų skaičiavimo analizė parodė, kad vidutinis mažai magnio turinčio kalcito cemento kiekis sudaro 12,3 %. Cementas užpildo poras tarp dalelių, intraporas, o bendros cemento savybės yra tokios pat. Katodoliuminescencinė analizė parodė, kad cementas dažniausiai yra blyškaus švytėjimo su tam tikru atspalviu, kuris priklauso nuo geležies ir mangano kiekio kalcito gardelėje (Adams & Mackenzie, 1998). Kai kur tarp nešviečiančio, pakeisto tvorinio ar pluoštinio kalcitinio cemento ir blyškiai švytinčio cemento yra ryškiai liuminescencuojanti juosta, kartais net pasikartojanti (10

pav., A). Šis cementas neturi substrato ar formuoja sintaksinį apaugimą aplink krinoidėjas. Cemente nėra inkluzų, kas leidžia daryti prielaidą, kad jis susiformavo iškart iš mažai magnio turinčio kalcito. Analizuojant šlifus buvo nustatyta, kad kai kurie porų plyšiai, susidarę mechaninės kompaktacijos metu, buvo užpildyti mažai magnio turinčiu kalcitu (9 pav., H), dėl ko galima sakyti, kad cementas tikrai nėra ankstyvasis. Taip pat buvo nustatyta ir naftos ar bitumo pėdsakų, kai kur ant vėlyvojo cemento pakraščio. Tai reiškia, kad naftos infiltracija buvo vėlyva, po vėlyvojo mažai magnio turinčio kalcitinio cemento susidarymo.

Vėlyvojo dolomito cementacija. Dolomitizacija plačiai paplitusi tiktai pačioje sekliausioje, rytinėje rampos dalyje, tuo tarpu vidurinėje ir išorinėje rampoje dolomito randama gerokai rečiau (12 pav., C). Daugiausia vidurinėje ir išorinėje rampoje dolomito yra likusiose porų dalyse ir palei molingus sluoksnelius (10 pav., C–F). Kai kur dolomito kristalų yra vėlyvojo kalcitinio cemento pakraščiuose. Rečiau nustatyti ir balninio dolomito kristalai (12 pav., A ir B), o tai, remiantis literatūra, rodo hidroterminių procesų įtaką (Flügel, 2004). Katodoluminescencinė analizė taip pat parodė dolomito sudėties nevienalytiškumą: vidurinėje rampoje dolomitas daugiausia praturtintas geležies ir neluminescencuoja su raudonai liuminescencuojančiais centrais (10 pav., G). Tuo tarpu rytinėje rampos dalyje dolomitas negeležingas ir liuminescencuoja raudonai (11 pav., A). Analizė SEM taip pat parodė, kad dolomito kristaluose yra tam tikras zoniškumas, kuris greičiausiai priklauso nuo skirtingo mangano ir geležies santykio jame (12 pav., D).

Plyšiai ir jų užpildymas kalcitu ar dolomitu. Tyrimų metu aptikti plyšiai buvo visiškai ar iš dalies užpildyti kalcitu ir/ar dolomitu (11 pav., C). Plyšiuotumas ir jo užpildymas nėra plačiai paplitęs ir nustatytas tik vidurinėje rampoje. Plyšiai kerta visus komponentus – daleles, ankstyvąjį ar vėlyvąjį cementus. Plyšiuose esančiame kalcite ir dolomite geležies daugiau nei kitose karbonatinėse uolienose. Katodoluminescencinė analizė taip pat parodė esant plyšiuotumą ir vėlyvajame dolomitiniame cemente, ir pačioje uolienoje, nors jo paplitimas buvo labai ribotas (11 pav., E ir G).



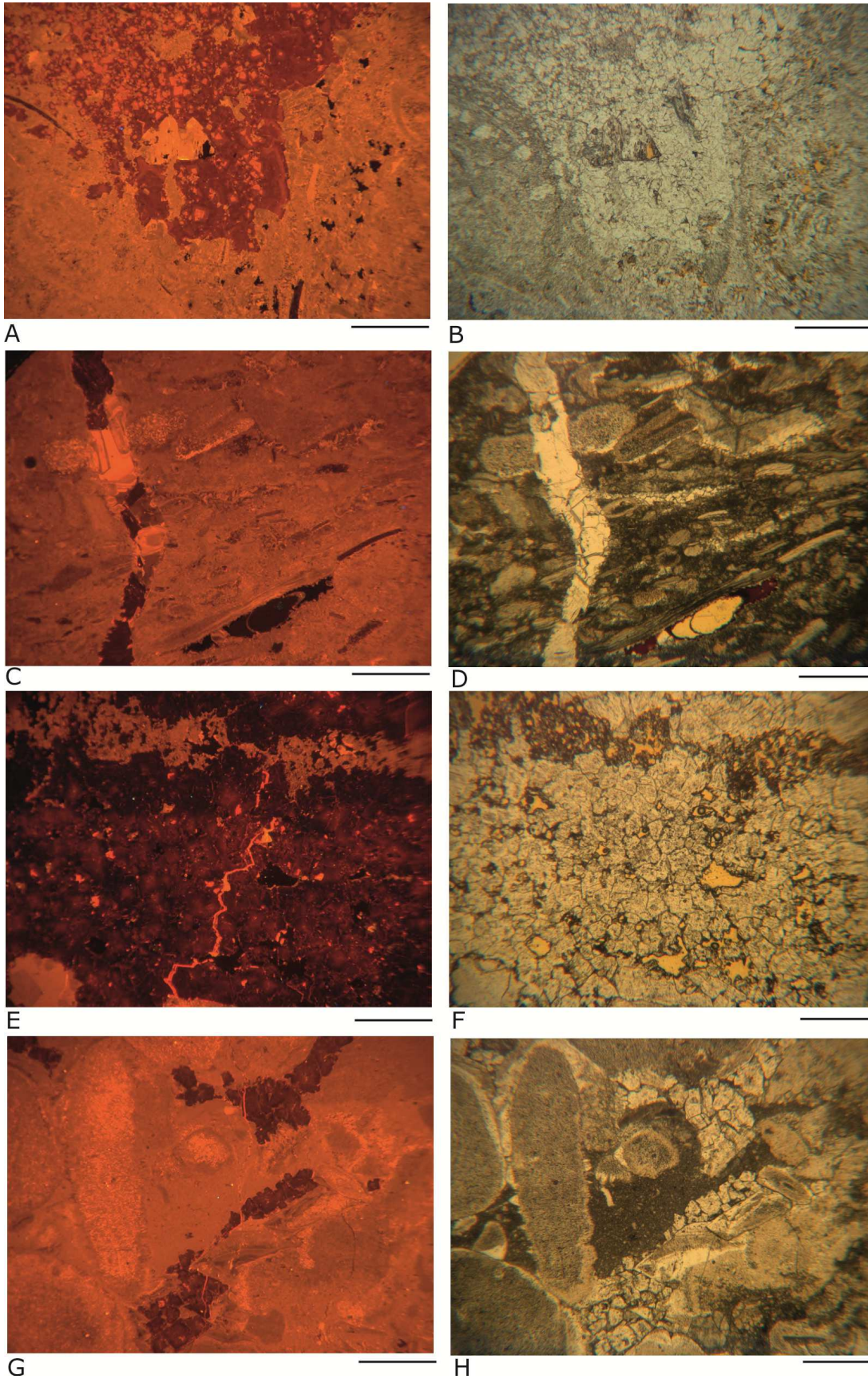
10 pav. Šlifų su katodoliuminescencine (CL) mikroskopija (kairėje) ir plokščiai poliarizuota mikroskopija (dešinėje) mikrofotografijos (mastelis – 1 mm): A, B – grėž. Bliūdžiai-152 (gylis – 935,6 m), CL nuotraukoje matyti skirtingo intensyvumo liuminescencija vėlyvajame kalcitiniame cemente, kas rodo geležies ir mangano santykio

skirtumą skirtingose kalcitinio cemento dalyse, – tai leidžia daryti prielaidą, kad cementacija vyko keliais etapais; C, D, E, F – vėlyvasis dolomitinis cementas vidurinėje ir gilesnėje rampos dalyse, jis dažnai sutinkamas arti ar net pačiuose stilolituose (CL mikroskopija padeda atskirti kalcito kristalus nuo dolomito, nes CL nuotraukose dolomito kristalai yra juodi ir/ar raudoni (C, D – grėž. Bliūdžiai-151 (gylis – 953,6 m); E, F – grėž. Sutkai-100 (gylis – 731,3 m); G, H – grėž. Bliūdžiai-152 (gylis – 934,0 m), matyti dolomito kristalai. Vidurinėje rampos dalyje daugeliu atveju dolomitas neliuminescencuoja (juodas CL mikroskopijoje) su raudonai liuminescencuojančiais inkluzais.

Diagenzės priežastys

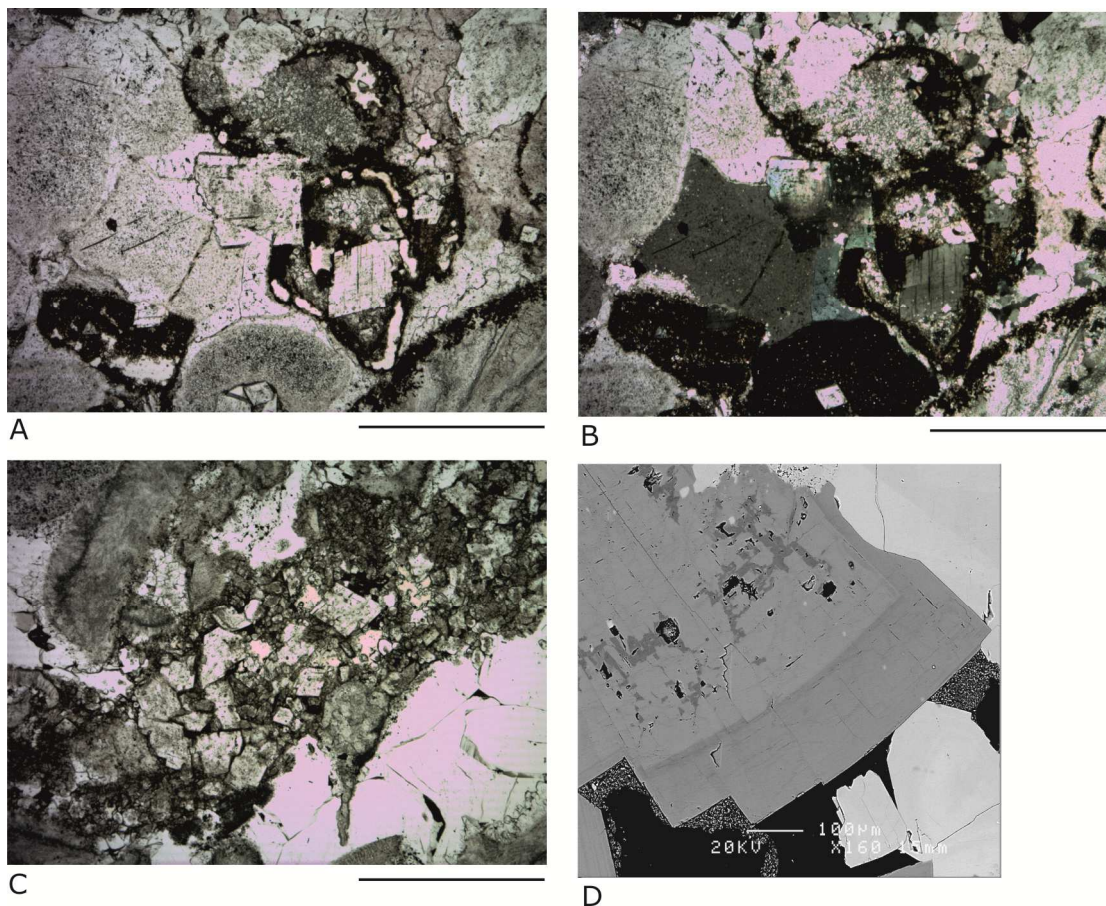
Akivaizdu, kad ankstyvoji jūrinė cementacija vyko, kai nuogulos kontaktavo su jūros vandeniu ir medžiaga cementacijai buvo iš jūros vandens. Vanduo turėjo būti prisotintas daug magnio turinčiu kalcitu. Kyla klausimas, kas galėjo turėti įtakos vėlyvos diagenzės procesams? Tikėtinos dvi galimybės: arba sistema buvo konservatyvi (medžiagos pasiskirstymas vyko pačioje sistemoje), arba veikiami išorinių veiksnių (pavyzdžiui, lietaus vandens prietaka). Lūžiai taip pat galėjo būti fluidų šaltiniai.

Tyrimų plote gausu mažai laidžių skalūnų ir mergelių bei mikritinių klinčių, kurios taip pat pasižymi sąlyginai mažu laidumu nuo pat jų susidarymo pradžios. Jei atsižvelgtume į tai, kad yra tiek daug cementacijos šaltinių, kad pati cementacija mažina porinio vandens cirkuliaciją ir kad cemento liuminescencija skirtinguose mėginiuose kinta nesistemiškai, galima daryti prielaidą, kad greičiausiai diagenzė sukėlė pati masė, o sistema buvo uždara.



11 pav. Šlifų su katodoliuminescencine (CL) mikroskopija (kairėje) ir plokščiai poliarizuota mikroskopija (dešinėje) mikrofotografijos (mastelis – 1 mm): A, B – grėž. Beržai-185 (gylis –407,8 m), matyti dolomito kristalai, kurie geriau pastebimi CL mikroskopijoje ir kurie rytinėje (seklojoje) rampos dalyje liuminescencuoja skirtingo

intensyvumo raudona spalva; C, D – grėž. Sutkai-100 (gylis – 731,7 m), matyti plyšys, užpildytas kalcitiniu ir dolomitiniu cementu. Pažymėtina, kad CL mikroskopija padeda atskirti kalcito ir dolomito kristalus; E, F, G, H – grėž. Sutkai-100 (gylis – 731,3 m), matyti “paslėpti” plyšiai, kurie matomi tik atliekant CL mikroskopiją.



12 pav. Mikrofotografijos: A, B – grėž. Sutkai-100 (gylis – 728,5 m), matyti balninio dolomito kristalas, kuris tyrimų metu fiksuotas itin retai (mastelis – 1 mm); C – grėž. Bliūdžiai-150 (gylis – 953,6 m), matyti vėlyvas dolomitinis cementas, dauguma dolomito kristalų yra su inkluzais (mastelis – 1 mm); D – SEM nuotrauka, grėž. Bliūdžiai-151 (gylis – 951,6 m), matyti dolomito kristalas su ryškiai išsiskiriančiu zoniškumu, priklausančiu nuo skirtingo Mn ir Fe santykio.

4 SKYRIUS

KOLEKTORIAUS POTENCIALAS

Porų tipai

Išmatuotos petrofizinės savybės (poringumas, skvarbumas ir dalelių tankis) skirtingose karbonatinėse facijose buvo susietos su pačiomis facijomis, pagrindinėmis sedimentacinėmis ir diagenetinėmis savybėmis bei struktūra. Daroma prielaida, kad pirminė mineralinė ir struktūrinė dalelių sudėtis ir sedimentacinė struktūra koreliuoja su poringumu bei skvarbumu. Šios pirminės charakteristikos apibrėžia karbonatinių komponentų polinkį diagenezei, o tai lemia specifines diagenezės reakcijas ir kartu jų įtaką petrofizinėms savybėms. Keliolika mikrofacijų buvo susietos su kerno aprašymu ir petrofizinėmis savybėmis.

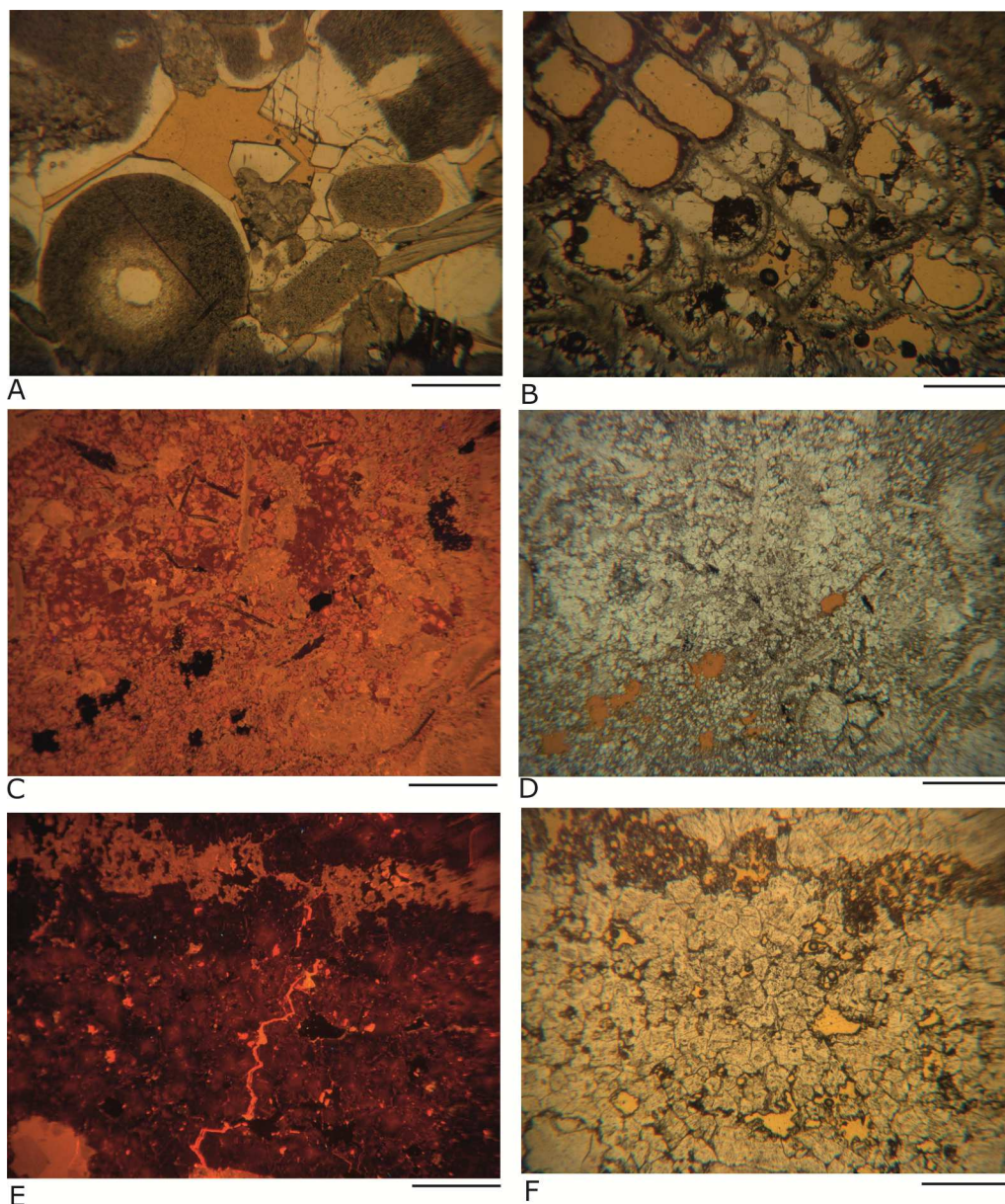
Uolienose, kur vyrauja dalelės, pirminės makroporos (jeigu jos neužpildytos kalcitiniu cementu) yra tarp dalelių. Tuo tarpu uolienose, kur vyrauja mikritas, vyrauja mikroporos. Taip pat uolienose aptikta ir intraporų bei tuštumų (aišku, jeigu jos neužpildytos mikritu ar kalcitiniu cementu). Visos sistemos poringumą sudaro pirminės poros tarp dalelių.

Tyrimų plote buvo nustatytas dviejų tipų poringumas: •tarp dalelių ir •intraporingumas (13 pav., A ir B). Tarpkristalinis poringumas paplitęs sekiausiose baseino dalyse (13 pav., C–F) ir būdingas labiau dolomitui negu kalcitui. Tyrimų metu buvo nustatyta pakankamai gera koreliacija tarp poringumo ir dalelių tankio: kuo didesnis dalelių tankis, tuo didesnis poringumas. Tačiau tarp poringumo ir skvarbumo koreliacijos nėra. Todėl tik pagal poringumą nuspėti uolienos skvarbumą yra neįmanoma.

Nepaisant to, kad kai kurių autorių sudarytoje paragenetinėje sekoje Lietuvos silūre yra nustatytas antrinis poringumas (Stentoft et. al., 2003), tyrimų rajone, Minijos regioninio aukšto klintyje, tokio poringumo nustatyta nebuvo.

Literatūroje teigiama, kad Lietuvos silūro Minijos regioninio aukšto karbonatinėse uolienose gali potencialiai kauptis angliavandeniliai (Jacyna et al., 2004; Zdanavičiūtė, Lazauskienė, 2007). Be jokios abejonės negalima atmesti galimybės, kad

čia nėra sluoksnių, pasižyminčių dideliu poringumu ir skvarbumu. Tačiau tyrimų metu išmatuotos vidutinės poringumo ir skvarbumo reikšmės buvo mažos. Turint omenyje diagenetinių procesų įtaką petrofizinėms savybėms, kolektoriaus perspektyvos yra miglotos. Jeigu ir yra didelio poringumo ir skvarbumo sluoksnių ar kūnų, jie yra nesusieti.



13 pav. A – šlifo mikrofotografija, grėž. Bliūdžiai-150 (gylis 942,7 m), matyti krinoidėjų *grainstone* su pirminėmis poromis tarp dalelių; B – šlifo iš grėž. Bliūdžiai-158 (gylis – 912,7 m) mikrofotografijoje matyti intraporos koraluose; C, D – šlifų iš grėž. Beržai-185 (gylis – 407,8 m) mikrofotografijos su katodoluminescencine mikroskopija (kairėje) ir plokščiai poliarizuota mikroskopija (dešinėje), tarp kristalų, matyti poros kurios daugiausia paplitusios sekloje baseino dalyje; E, F – šlifų iš grėž. Sutkai-100 (gylis –

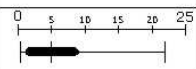
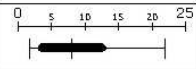
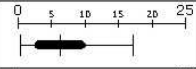
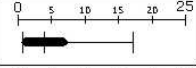
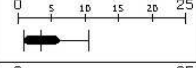
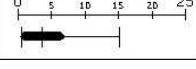
729,9 m) mikrofotografijos su katodoluminescencine mikroskopija (kairėje) ir plokščiai poliarizuota mikroskopija (dešinėje), matyti poros tarp kristalų dolomitizuotoje klintyje.

4.1 lentelė Diagenetiniai procesai ir jų įtaka poringumui.

Diagenetinis procesas	Įtaka poringumui	Pastabos
Bioturbacija	Nėra	
Mikritizacija	Nėra	gali turėti įtakos dalelės paviršiui, nuo kurio priklauso cemento tipas
Matricos infiltracija	Mažina	dalis porų užpildyta karbonatiniu mikritu su pirminiu mikroporingumu
Jūrinio daug magnio turinčio kalcito cementacija	Mažina	užpildo arba iš dalies užpildo poras tarp dalelių ir intraporas bei tuštumas <i>grainstone</i> , <i>packstone</i> ir <i>wackestone</i>
Skeletinių dalelių, sudarytų iš aragonito ar daug magnio turinčio kalcito, tirpimas	Laikina padidina	visos poros ar tuštumos vėliau užpildytos kalcitiniu cementu
Mechaninė kompaktacija	labai sumažina	padidina dalelių tankį, deformuoja ir laužo daleles
Cheminė kompaktacija	Mažina	tiesia karbonatus vėlyvajai mažai magnio turinčio kalcito cementacijai
Vėlyvoji mažai magnio turinčio kalcito cementacija	labai sumažina	užpildo intraporas ir poras tarp dalelių
Vėlyvoji dolomito cementacija	sumažina nedaug	užpildo poras tarp dalelių ir intraporas
Plyšiuotumas ir plyšių užpildymas kalcitu ar dolomitu	Nėra	plyšių užpildymas yra apribotas pačių plyšių ir įtakos aplinkai neturi

4.1 lentelėje pateikti diagenetiniai procesai ir jų įtaka uolienui poringumui. Pirminis poringumas parinktas remiantis literatūra, diagenozės procesų įtaka poringumui – taškų skaičiavimo analize. Reikėtų pažymėti, kad ankstyvųjų dolomitizacijos procesų paragenetinė seka rytinėje baseino dalyje yra kitokia.

Karbonatinių uolienui poringumo pasiskirstymas atskirose mikrofacijose pateiktas 14 paveiksle.

Carbonate type	Porosity %	Average	Min.	Max.	Standard Deviation	Number of analyses
Total		4.97	0.32	21.92	3.44	758
Mudstones		7.95	1.67	21.92	4.59	110
Wackestones		6.21	0.32	17.11	3.31	176
Packstones		3.93	0.63	17.12	2.89	100
Grainstones		3.45	0.90	10.46	2.15	46
Float/rudstones		3.62	0.55	15.04	2.70	76

14 pav. Poringumo pasiskirstymas skirtingose karbonatinėse uolienose (pastaba: *mudstone* apima tiek kalcitinį, tiek dolomitinį).

Dauguma tyrimų eigoje nustatytų procesų lėmė vis mažesnį karbonatinių uolienu poringumą ir skvarbumą. Pirmieji procesai, kurie gerokai sumažino porų erdvę, buvo mechaninė ar biogeninė matricos infiltracija. Nors mikritas užpildė poras, bet kartu stabdė cheminės kompaktacijos poveikį nuoguloms. Vidinės struktūros netekimas neturėjo reikšmingos tiesioginės įtakos uolienu poringumui, bet tai buvo papildomas šaltinis tolesnei cementacijai. Nestabilių mineralų, tokių kaip aragonito ar daug magnio turinčio kalcito, perkristalizacija ar pseudomorfozė turėjo mažai įtakos uolienu poringumui ir skvarbumui. Cheminė kompaktacija greičiausiai turėjo lemiamos įtakos poringumo mažėjimui, o slėginio tirpimo poveikis buvo dvejopas: jis lėmė pačią kompaktaciją, vėlyvą mažai magnio turinčio kalcito cementaciją, o galbūt ir vėlyvą cementaciją dolomitu.

Tyrimų metu nustatyta, kad sluoksnių, pasižyminčių geromis kolektoriaus savybėmis, sistemoje nėra. Žinoma, sistemoje gali būti keli sluoksniai ar kūnai, kurių poringumo ir skvarbumo reikšmės santykinai tinkamos naftos kolektoriui, bet jie tarpusavyje nesusiję ir išplitę lokaliai. Geriausiomis kolektoriaus savybėmis pasižymi pati sekiausia vidinės rampos dalis, kurioje vyrauja *dolomudstone*. Šių uolienu poringumas dėl ankstyvos dolomitizacijos išliko gana didelis. Naftos pėdsakai, aptikti kai kuriuose plonuose (dažniausiai 5–10 cm storio) sluoksniuose, yra heterogeniškumo pasekmė.

IŠVADOS

- Šiame darbe, naudojant aiškiai apibrėžtą rifo terminą, tyrimų metu nustatyta, kad Minijos regioninio aukšto karbonatinėse uolienose rifų nėra, o vidurinė stromatorų juosta yra biostroma. Pastoviai ir intensyviai veikiamą audrų sukeltų srovių, ji transformavosi į skeletinius *rudstone* ir *packstone*.
- Karbonatų sistema yra daugiau rampa nei platforma, nes joje rifų nėra. Biostromos virš jūros dugno gali būti iškilusios mažai arba lygios su juo.
- Tyrimų metu nustatyta, kad karbonatinės uolienos ženkliai pakitusios dėl diagenetinių procesų – ankstyvosios jūrinės ir vėlyvosios cementacijos, mechaninės ir cheminės kompaktacijos. Šie procesai lėmė mažą uolienu poringumą ir skvarbumą, todėl Minijos regioninio aukšto karbonatinių uolienu potencialas susikaupti naftai yra menkas.
- Geriausiomis kolektorių savybėmis pasižymi dolomitai, slūgsantys rytinėje, sekliausioje Baltijos sedimentacinio baseino dalyje.

Curriculum vitae

Vardas pavardė: Giedrius Bičkauskas

Gimimo data: 1978-02-14

Darbo adresas: Geologijos ir mineralogijos katedra, Geomokslų institutas, Chemijos ir geomokslų fakultetas, Vilniaus universitetas, M. K. Čiurlionio g. 21/27, LT-03101, Vilnius, Lietuva

Telefonas: +370 52398275 (darbo)

+370 8697001 (asmeninis)

El. paštas: giedrius.bickauskas@gf.vu.lt

Išsilavinimas:

2003–2007 Doktorantas (Geologija)
Vilniaus universitetas

2000–2002 Magistras (Geologija)
Vilniaus universitetas

1996–2000 Bakalauras (Geologija)
Vilniaus universitetas

Kalbos: lietuvių, anglų, rusų

Profesinė patirtis:

Vyr. inžinierius, Vilniaus universitetas (2001–2005)

Vyr. specialistas, Vilniaus universitetas (2005)

Lektorius, Vilniaus universitetas (2005– iki dabar)

Geologas, įmonė “Gelmių tyrimai“ (2008–2009)

Jaun. mokslo darbuotojas, Vilniaus universitetas (2010–2012)

Geologas, įmonė „LOTOS Geonafta“ (2012– iki dabar).

Stažuotės:

Danijos technikos universitetas, Danija (1 mėnuo, 2003)

Mančesterio universitetas, Jungtinė Karalystė (6 mėnesiai, 2005)

Danijos technikos universitetas, Danija (3 mėnesiai, 2006)

Danijos technikos universitetas, Danija (5 mėnesiai, 2007)

Mokslinės publikacijos:

Radzevičius S., Spiridonov A., Brazauskas A., Dankina D., Rimkus A., **Bičkauskas G.**, Kaminskas D., Meidla T., Ainsaar L. 2016. Integrated stratigraphy, conodont turnover and palaeoenvironments of the Upper Wenlock and Ludlow in the shallow marine succession of the Vilkaviškis-134 core (Lithuania). *Newsletters on Stratigraphy*. Vol. 49/2, 321-336.

Kamiskas D., **Bičkauskas G.**, Brazauskas A. 2010. Silurian dolostones of eastern Lithuania. *Estonian Journal of Earth Science*. Tallinn. **59**. No.2. P. 180-186.

Bičkauskas G., Molenaar N. 2008. Nature of the so-called ‘reefs’ in the Pridolian carbonate system of the Silurian Basin. *Geologija*. Vilnius. **50** No.2 (62). P. 94-104.

Bičkauskas G., Molenaar N. 2008. Facies and depositional environment of the Pridoli carbonate ramp in the Silurian Baltic Basin, Lithuania. *Geologija*. Vilnius. **50** No.4 (64). P. 264-274.

Knygų skyriai:

Bičkauskas G., Brazauskas A., Kleišmantas A., Motuza G. 2011. Bendrosios geologijos pratybos. Vilniaus universiteto leidykla.

Kiti tiriamieji straipsniai:

Bičkauskas G., Radzevičius S. 2014. The Stipinai Regional stage (Upper Devonian) in Petrašiūnai quarry. *Geologija*. Vilnius. **56** No.2 (86). P. 53-56.

Radzevičius S. **Bičkauskas G.**, 2008. 7-oji Baltijos Stratigrafijos konferencija, Talinas 2008. *Geologijos akiračiai*. Vilnius. Nr. 3-4. P 75-76.

Bičkauskas G., 2006. Belgija: karbonatinio dumblo kauburiai ir olos. *Mokslas ir gyvenimas*. Vilnius. Nr. 11. P. 48-49.

Pranešimai konferencijose:

The eighth Baltic Stratigraphical conference 28–31 August, 2011, Riga, Latvia ‘Implications from stable ^{13}C isotope stratigraphy for closed system carbonate diagenesis; An example from the Upper Silurian Baltic Basin’.

The seventh Baltic Stratigraphical conference 15–22 May, 2008, Tallinn, Estonia. ‘Nature of the so-called ‘reefs’ in the Pridolian carbonate system of the Silurian Baltic Basin’

Tarptautinė konferencija, Geologija Vilniaus universitete 2003 Spalis 8-9. “Litologiniai ir petrofizikiniai tyrimai”.

Dalyvavimas projektuose:

2012–2015 m. „Ankstyvojo ir vėlyvojo paleozojaus revoliucija“. Lietuvos mokslo tarybos (LMT) projektas. Vadovas dr. S. Radzevičius (Vilniaus universitetas). Projekto dalyviai: doc. dr. Antanas Brazauskas, dr. A. Aleksienė-Venckutė, A. Spiridonov, **G. Bičkauskas**.

Specialistas projekte „Paleogeografinių sąlygų raida Lietuvoje poledynmetyje Baltijos jūros ir sausumos sąveikoje“ 2010–2011 LNMP projekto Nr. LEK-10005

Vykdytojas projekte „Viršutinio silūro petrofizikinės savybės Lietuvoje“ 2009. VMSF Registracijos Nr. T-09073. Sutarties Nr. T-79/09.

Vykdytojas projekte „Viršutinio silūro uolienuų dolomitizacija Lietuvoje“ 2008. VMSF Registracijos Nr. T-08067. Sutarties Nr. T-26/08.

Vykdytojas biudžetinėje programoje: Vilniaus universiteto Gamtos mokslų fakulteto Geologijos ir mineralogijos katedra, „Silūro sedimentacinio baseino ypatumai Lietuvoje remiantis litologiniais, paleontologiniais, geocheminiais ir geofiziniais duomenimis“ 2006–2010

Vykdytojas biudžetinėje programoje: Vilniaus universiteto Gamtos mokslų fakulteto Geologijos ir mineralogijos katedra, „Įvykių stratigrafija Lietuvos silūro sedimentaciniame baseine“ 2010–2015