

<https://doi.org/10.15388/vu.thesis.218>

<https://orcid.org/0000-0002-9068-2732>

VILNIAUS UNIVERSITETAS
GAMTOS TYRIMŲ CENTRAS

Saulius
LOZOVSKIS

Vakarų Lietuvos apatinio silūro molingų
uolienuų petrografinė sudėtis ir
petrofizinės savybės – dujų skalūnų
perspektyvų geologinis vertinimas

DAKTARO DISERTACIJA

Gamtos mokslai
Geologija (N 005)

VILNIUS 2021

Disertacija rengta 2015–2021 metais (Vilniaus universitete)

Mokslinis vadovas:

habil. dr. Saulius Šliaupa (Gamtos tyrimų centras, gamtos mokslai, geologija - N 005)

Mokslinė konsultantė:

dr. Jurga Lazauskienė (Vilniaus universitetas, gamtos mokslai, geologija - N 005)

<https://doi.org/10.15388/vu.thesis.218>

<https://orcid.org/0000-0002-9068-2732>

VILNIUS UNIVERSITY
NATURE RESEARCH CENTER

Saulius
LOZOVSKIS

Petrography and Petrophysical
Properties of the Lower Silurian Shales
of West Lithuania – Geological
Assessment of Gas Shale Prospects

DOCTORAL DISSERTATION

Natural Sciences
Geology (N 005)

VILNIUS 2021

This dissertation was completed between 2015 and 2021 at Vilnius University.

Academic supervisor:

dr. habil. Saulius Šliaupa (Nature Research Centre, Natural Sciences, Geology - N 005)

Academic consultant:

dr. Jurga Lazauskienė (Vilnius University, Natural Sciences, Geology - N 005)

Padėka

Noriu padėkoti kolegoms, kurie padėjo, palaikė ir įdėjo savo indėlį bei patirtį į šį tiriamąjį darbą. Norėčiau padėkoti Lietuvos geologijos tarnybos darbuotojams man dalyvaujant ir vykdant Lietuvos ir tarptautinius projektus,. Padėką norėčiau išreikšti vadovui habilituotų mokslų daktarui Sauliui Šliaupai, už vadovavimą, patirtį ir pastangas doktorantūros studijų metu. Taip pat noriu padėkoti mokslinio darbo konsultantei daktarei Jurgai Lazauskienei už atidumą, reiklumą ir pastangas planuojant tyrimus. Esu dėkingas Fizinių ir technologijų mokslų centrui ir jo mokslo darbuotojai daktarei Sandrai Stanionytei už Jos pagalbą ir apmokymus atliekant rentgenostrukūrinės difrakcijos tyrimus. Taip pat esu dėkingas Gamtos tyrimų centro m.dr. Laurynui Šiliauskui ir m.dr. Gailei Žalūdienei už pagalbą atliekant tyrimus skenuojančiu elektriniu mikroskopu. Norėčiau padėkoti dr. Jolantai Čyžienei ir dr. Sauliui Gadeikiui už vertingas pastabas baigiamajame disertacinio darbo rengimo etape.

TURINYS

Žymėjimai ir sutrumpinimai.....	7
Įvadas.....	9
1. Vakarų Lietuvos silūro uolienu ankstesnių tyrimų apžvalga.....	15
2. Tiriamosios teritorijos geologinė sandara.....	19
2.1. Baltijos nuosėdinio baseino geologinė raida.....	19
2.2. Trumpa silūro stovymės apžvalga.....	24
3. Apatinio silūro dujų skalūnų perspektyvų geologinės prielaidos.....	28
3.1. Apatinio silūro organinės medžiagos charakteristikos.....	28
3.2. Baltijos sedimentacinio baseino dujų skalūnų perspektyvų apžvalga.....	30
4. Darbo metodika.....	33
4.1. Petrografiniai tyrimai.....	33
4.2. Uolienu mechaninės savybės.....	35
4.3. Mineraloginis ir geofizinės diagrafijos trapumo indeksas.....	36
4.4. Uolienu petrofizinės savybės.....	37
5. Rezultatai.....	39
5.1. Mineraloginė apatinio silūro molingų uolienu sudėtis.....	39
5.2. Organinės medžiagos pasiskirstymas apatinio silūro molingose uolienose.....	51
5.3. Molingų uolienu poringumas	57
5.4. Trapumo indeksas.....	65
5.4.1. Mineraloginis trapumo indeksas.....	67
5.4.2. Geofizinės diagrafijos trapumo indeksas.....	71
5.5. Katijonu mainų geba.....	76
5.6. Molingų uolienu atsparumas hidraulinei erozijai	79
5.7. Molingų uolienu brinklumas.....	80
Diskusija.....	82
Išvados.....	87
Literatūros sąrašas.....	89
Publikacijų sąrašas.....	101
Tarptautinių ir Lietuvos konferencijų pranešimai ir tezės.....	102
Gyvenimo aprašymas.....	104

ŽYMĖJIMAI IR SUTRUMPINIMAI

SEM - skenuojantis elektroninis mikroskopas
XRD - rentgenostrukūrinė difrakcijos analizė
LGT - Lietuvos geologijos tarnyba
NGPC - Šiaurės Vokietijos – Lenkijos kaledonidai
TOC - bendras organinės anglies kiekis
OM - organinė medžiaga
Ro - organinės medžiagos terminė branda
PI - organinės medžiagos produktyvumo indeksas
PAV - Jungtinių Amerikos Valstijų energetikos informacijos agentūra
GIP - dujų geologiniai išteklių (gas in place)
OIP - naftos geologiniai išteklių (oil in place)
EUOGA - projektas: European Unconventional Oil and Gas Assessment
JRC-IET - apjungtas tyrimų centras ir energetikos ir transporto institutas (Joint research centre - Institute for energy and transport)
EGS - Europos geologijos tarnybos
EDX - energijos dispersijos rentgeno spindulių spektroskopija
ISRM - tarptautinės uolienu mechanikos draugijos metodika
CEC - katijonų mainų geba
CST - kapiliarų absorbcijos laikas
ROS - Roller krosnies stabilumo testas
I-S - illito-smektito mišinys
K - kaolinitas
Pi - piritas
I(S) - ilitas su smektitu
Chl - chloritas
Q - kvarcas
Cc - kalcitas
OM - organinė medžiaga
I - ilitas
A - ankeritas - dolomitas
G - gipsas
GR - gamtinė gama spinduliuotė
dT – išmatuotos akustinės bangos judėjimo greitis ($\mu\text{s/m}$)
lnR - elektrinė varža (omm-m) logaritmas
DT - apskaičiuotos akustinės bangos judėjimo greitis (tekste: pseudo greitis) ($\mu\text{s/m}$)
 ϕ - tankėjimo kreivės kampas
b - poringumas veikiant tam tikrai įtampai (pvz. 100 kPa)

BI - trapumo indeksas
MBI - mineraloginio trapumo indeksas
UCS - neapspausto mėginio gniuždymo stipris
IEAG – tarptautinė inžinerinės geologijos asociacija
 C_o - neapspausto mėginio gniuždymo stipris (UCS)
 σ_T - tempimo stipris
Qz – kvarcas
Ca – kalцитas
Cly – molio mineralai
Dol – dolomitas
TOC – bendras organinės anglies kiekis
Feld – feldšpatas
Plg – plagioklazas
Sid – sideritas
LBI – geofizinių tyrimų gręžinyje diagramų trapumo indeksas (diagrafijos trapumo indeksas)
DTC - akustinės bangos greitis (pėdos/m)
RSt - regioninis aukštas

IVADAS

Baltijos nuosėdinis baseinas yra perikratoninis įlinkis užpildytas fanerazojaus amžiaus nuogulomis, esantis vakarinėje Rytinėje Europos kratono dalyje. Sedimentacinio baseino nuogulų storis kinta nuo kelių - keliasdešimties metrų periferinėje dalyje (Švedijos priekrantėje, šiaurinėje Estijoje) iki daugiau nei 4 km centrinėje Lenkijoje. Visos fazerozojaus geologinės sistemos yra nustatytos Baltijos nuosėdiniame baseine. Taip pat paplitusios rifėjaus ir vendo nuosėdinės uolienos. Ilgalaikis Žemės putos grimzdimas buvo susijęs su skirtingais mechanizmais, kurie laikui bėgant kito, t.y. pasyvaus pakraščio stadija (kambras - ordovikas), fleksūrinio lenkimo aktyvaus kontinento pakraščio baseino stadija (silūras - ankstyvasis devonas), intrakratoninio baseino stadija, kurios mechanizmas nėra gerai suprantamas (devonas - ankstyvasis karbonas), šiluminio grimzdimo etapas - nuo vidurio permio iki paleogeno (Poprawa ir kt., 1999).

Baltijos nuosėdiniame baseine rasta kelios dešimtys nedidelių naftos ir dujų telkinių. Iš viso Lietuvos teritorijoje aptikta daugiau kaip 20 nafta užpildytų struktūrų. Taip pat apatinio paleozojaus uolienų storumėje yra aptikta keletas molingų organine medžiaga praturtintų molingų sluoksnių (toliau - molio skalūnų). Neretai kyla painiava naudojant molingų nuogulų terminologiją – argilitas, molis, molio skalūnas. Litologiniu požiūriu, tinkamiausias yra lietuviškoje literatūroje priimtas „argilito“ terminas (t.y. labai sutankėjęs molis, kuris beveik nebrinksta vandenyje). Skalūnas – tai angliavandenilių pramonėje naudojamas gamybinio pobūdžio uolienos pavadinimas (pvz. Estijos degieji skalūnai, kurių sudėtis labai įvairi – nuo molių iki klinčių). Iki šiol Lietuvos apatinio paleozojaus molingų uolienų storumės vakarų Lietuvoje buvo tirtos tik kaip potencialios naftos motininės uolienos analizuojant jų litofacinius ypatumus, organinės medžiagos sudėtį, naftos generacijos potencialą, angliavandenilių antrinės migracijos klausimus, tuo tarpu tiriamieji darbai, skirti apatinio paleozojaus molio skalūnų formacijų, galimai perspektyvių angliavandenilių potencialo požiūriu įvertinimui, Lietuvoje pradėti tik prieš kiek daugiau kaip 10 metų (Zdanavičiūtė, Lazauskienė, 2009). Silūro molingų uolienų tyrimai šiuo aspektu reikalauja naujų, specifinių, metodologijų. Darbe pateikti tyrimų rezultatai atliepia šiuos naujus vertinimo poreikius, kurie svarbūs ne tik sprendžiant apie Baltijos regiono perspektyvas, bet ir platesnį molio skalūnų, kaip galimo naujo angliavandenilių eksploatacijos formacijų, charakterizavimą.

Darbo problematika

Pagrindinės ligšiolinių silūro sistemos nuogulų tyrimų kryptys daugiausia buvo siejamos su litofacijų kaitos analize ir stratigrafija, paleontologiniais tyrimais, organinės ir izotopinės geochemijos tyrimais. Tačiau vis dar mažai žinoma apie silūro molių sudėtį, jų formavimosi sąlygas (tuo tarpu molio mineralai „atsineša“ svarbią informaciją apie aplinkui vykusius denudacijos procesus, eroduojamas uolienas, klimatą ir pan.), jų diagenetinę evoliuciją, kaitą įvairiose baseino dalyse ir pjūvyje. Apatinio silūro molinga storumė laikoma perspektyviausia gamtinių netradicinių dujų potencialo požiūriu dėl padidinto organinės medžiagos kiekio, aukšto terminio brandumo ir pakankamai didelio uolienų storio. Silūro skalūnų organinės medžiagos (OM) kiekis ir terminė branda pastaraisiais dešimtmečiais buvo išsamiai aptarti (Zdanavičiūtė ir Lazauskienė, 2007; 2009; Šliaupa ir kt., 2016, Chichon-Pupienis ir kt., 2020). Tačiau apie kitus molio skalūnų parametrus, kurie yra svarbūs nustatant tiek angliavandenilių kaupimosi, tiek ir, svarbiausia, eksploatavimo parametrus, yra nedaug duomenų (pvz., Jarzyna ir kt., 2017).

Darbo aktualumas

Netradicinių dujų eksploatacijos tinkamumo kriterijus atitinkantys molio skalūnai paplitę daugumoje Europos šalių. Lengviau išvardinti Europos valstybes, kur jie nebuvo klasifikuoti kaip perspektyvios geologinės formacijos – Čekija, Balkanų pusiasalio šalys, Šveicarija, Suomija, Norvegija, Baltarusija, Latvija, Estija. Tai susiję su specifinėmis geologinėmis kiekvieno regiono geologinėmis sąlygomis. Molio skalūnų amžius kinta nuo kambro (pvz. Skonė Švedijoje, vidurio Lenkija) iki paleogeno (eoceno Ebro baseinas Ispanijoje, oligoceno Vengrijos baseinas) ir neogeno (Transilvanijos baseinas Rumunijoje, smulkios riftinės įdubos Vengrijoje, Austrijoje, Slovėnijoje, Kroatijoje). Labiausiai Europoje paplitę karbono amžiaus organinė medžiaga praturtinti molio skalūnai. Taip pat gausūs sedimentaciniai baseinai, kuriuose dideliuose gyliuose randami molio skalūnai susiklostę silūro ir jūros laikotarpiais. Kito amžiaus skalūnai yra gerokai retesni ir smulkesnės apimties.

Didžiausiais ištekliais silūro skalūnai pasižymi Baltijos sedimentaciniame baseine ir piečiaus esančiame Poliesės-Liublino baseine pietrytinėje Lenkijos dalyje, jis pereina į Lvovo baseiną Ukrainos vakariniame pakraštyje. Taip pat tam tikros viltys siejamos su silūro molio skalūnais Ispanijoje (Kantabrijos masyve), viršutinio silūro molingoms uolienomis Rumunijoje (Moseno platforma). Apatinio silūro molio skalūnai turtingi organine medžiaga plačiai

paplitę Šiaurės Afrikoje, Arabijos pusiasalyje, Kinijoje. Visi šie baseinai atspindi ankstyvojo silūro staigų atšilimą po hirnančio (vėlyvojo ordoviko) apledėjimo, kas lėmė okeaninių srovių esminį persitvarkymą ir organinės medžiagos kaupimąsi kontinentų šlaitų nuosėdose (Šliaupa et al., 2020).

Platūs skalūnų dujų tyrimai buvo atlikti Lenkijoje 2011–2014 m. Tačiau pirminiai, prieš išgręžiant paieškos gręžinius, lūkesčiai buvo per daug optimistiniai, todėl pastaraisiais metais geologinio žvalgyimo veikla sumažėjo. Buvo nustatyta, kad ekonomiškai naudingam skalūnų dujų eksploatavimui reikia taikyti sudėtingesnius metodus, nei „pripažintuose“ baseinuose (JAV). Lietuvoje apatinio silūro skalūnų vertinimas daugiausia buvo pagrįstas gręžinių kerno tyrimais, pagrindinį dėmesį skiriant organinės medžiagos apibūdinimui (Kanev ir kt., 1994; Zdanavičiūtė ir Lazauskienė, 2009; Šliaupa ir kt., 2016; ir kt.).

Ankstesnis požiūris į apatinio silūro storymę buvo siejamas su jos dideliu angliavandenilių generacijos potencialu, kuris yra svarbus sprendžiant apie tradicinių telkinių pasiskirstymą baseine. Pasitvirtinus dujų molio skalūnų koncepcijos perspektyvumui (pirmiausiai, JAV pavyzdžiu) atsirado būtinybė praplėsti tyrimų spektrą, labiau atitinkantį eksploatacijos prognozės poreikius.

Todėl šioje disertacijoje yra aptariamos silūro molingų uolienų petrofizinės savybės vakarų ir vidurio Lietuvoje, suprantant, kad šios savybės yra esminės vertinant skalūnų dujų paieškos ir gavybos galimybes.

Trumpas tyrimų objekto apibūdinimas

Silūro nuosėdinės uolienos paplitusios visoje Lietuvos teritorijoje, išskyrus pačią pietrytinę dalį, kur jos buvo nudenuduotos karbono - ankstyvojo permometu kylant Mozūrijos - Baltarusijos anteklizei. Viso silūro uolienų storis Lietuvoje kinta nuo 100 m rytuose iki 850 m pačioje vakarinėje dalyje (Paškevičius, 1994). Tuo tarpu apatinio silūro nuogulų storiai Lietuvoje mažai kaitūs, kas siejama su „badavimo“ režimu sedimentacijos metu (į baseiną buvo prinešama tik nedidelė dalis terigeninės medžiagos iš gretimos sausumos).

Tirta teritorija apima vakarinę Lietuvos pusę. Apatinio silūro litofacijų paplitimo požiūriu - tai giliau vandeniai kontinento tolumojo pakraščio šelfe susiklostę juodi ir tamsiai pilki graptolitiniai moliai su retu mergeliu. Pado slūgsojimo gylis – nuo 1500 m iki 2000 m, temperatūrinės sąlygos kinta nuo 40°C iki 85°C. Jų storis čia yra 120–200 m. Būtent ši apatinė silūro storymės dalis yra labiausiai praturtinta organine medžiaga, kuri generavo angliavandenilius.

Praktinė darbo reikšmė

Molingų uolienu, praturtintų organine medžiaga, vertinant jas kaip angliavandenilių generavimo šaltinį ir angliavandenilių telkinius izoliuojančią dangą, tyrimų metodologija yra pagrįsta praktiniu patyrimu. Tuo tarpu vertinant molio skalūnų, kaip „kolektoriaus“ vaidmenį, taikomas kol kas mažai reglamentuotas ir nevieningas metodų kompleksas, kuris „įgauna brandą“ tik vystant tokių sluoksnių pramoninę žvalgybą ar eksploataciją. Tyrimų rezultatai gali būti taikomi ne tik sprendžiant apie Lietuvos dujų skalūnų perspektyvas, tačiau svarbūs ir prisidedant prie šių uolienu vertinimo gretimose valstybėse (Lenkijoje, Ukrainoje, Danijoje). Molingų uolienu mechaninių, petrofizinių ir trapumo savybių detalios analizės rezultatai taip pat gali būti labai vertingi vertinant molingas storymes ir kitų požeminių saugyklų, tokių kaip radioaktyvių medžiagų atliekų, požeminių energijos saugyklų dangų ir kt. potencialo vertinimui.

Disertacijoje naudotos metodikos gali būti panaudotos Vilniaus universiteto geomokslų tyrėjų ir studentų, Lietuvos geologijos tarnybos specialistų ir Gamtos tyrimo centro mokslininkų atliekant tolimesnius apatinio silūro ar kitų stratigrafinių padalinių tikslinius tyrimus. Gauti rezultatai gali būti efektyviai panaudoti ūkio subjektų veikloje, vystant netradicinių angliavandenilių (naftos ir/ar dujų) žvalgybos ir gavybos pramonę bei aukščiau minėtus požeminių saugyklų potencialo vertinimo klausimus.

Mokslinis naujumas

Šiame darbe pirmą kartą atliktas Lietuvos apatinio silūro argilitų kompleksinis mineralinės sudėties ir petrofizinių (bei mechaninių) savybių tyrimas, vertinant šią storymę ne tik kaip angliavandenilių šaltinį ir izoliuojančią dangą, kuri sudarė prielaidas naftos (ir dujų) telkinių susidarymui, o kaip eksploatacinį netradicinių angliavandenilių kompleksą, iš kurio būtų galima išgauti gamtines dujas naudojant netradicinius metodus.

Tyrimų tikslas

Šio darbo tikslas yra įvertinti anksčiau mažai tirtas ir kol kas netirtas apatinio silūros molingų uolienu charakteristikas, svarbias vertinant šių molio skalūnų dujų eksploatacines savybes, nustatant silūro molingų uolienu petrofizinių bei mechaninių parametrų kaitą bei pasiskirstymą vertikaliajame pjūvyje bei plote.

Darbo uždaviniai

Tiriamajam darbui buvo numatyti šie uždaviniai:

- 1) Susisteminti anksčiau atliktų Lietuvoje ir gretimuose regionuose tyrimų publikuotų rezultatų informaciją;
- 2) Atlikti naujus apatinio silūro molingų uolienu petrografinės sudėties ir petrofizinių savybių laboratorinius tyrimus.
- 3) Atlikti petrografinių tyrimų interpretaciją uolienu petrofizinių charakteristikų aspektu;
- 4) Interpretuoti diafragijos duomenis, praplečiant žinias apie eksploatacines tyrimų objekto charakteristikas visame apatinio silūro pjūvyje;
- 5) Susieti organinės geochemijos tyrimų rodiklius su petrofizinėmis charakteristikomis.

Ginamos pozicijos

Tiriamajam darbui buvo numatytos šios ginamos pozicijos

1. Vakarų Lietuvos apatinio silūro molingų uolienu pagrindinę dalį sudaro molio mineralai su didele detritinių mineralų dalimi. Molio mineralų sudėtyje vyrauja diagenetiniai mineralai - ilitas, chloritas, mažiau yra kaolinito, susidarę nuosėdinio baseino grimzdimo eigoje.

2. Molio skalūnų mineraloginė sudėtis yra pagrindinis faktorius lemiantis jų petrofizines ir mechanines charakteristikas. Detritiniai mineralai didina trapumo reikšmes, o molio mineralų kiekis mažina jas. Didelis trapumo indeksas, didelis poringumas, didelė CEC reikšmė, mažas CST dydis yra traktuojamos, kaip palankios eksploatacinio požiūriu.

3. Geofizinės diafragijos duomenų interpretacija leidžia žymiai praplėsti molio skalūnų apibūdinimą, ypač tose pjūvio vietose, kuriose nėra kerno. Naudojantis atitinkamomis diagramomis galime gauti TOC reikšmių pasiskirstymą plote, išskirti OM praturtintus sluoksnius pjūviuose, bei gauti trapumo indekso pasiskirstymą plote bei pjūviuose.

Duomenų šaltiniai

Rengiant disertacinį darbą buvo atlikti tiek teoriniai, tiek empiriniai tyrimai. Pirmiausia buvo apibendrinti tyrimai ir metodikos naudotos ankstesniuose darbuose, nuspręsta, kokia kryptimi turėtų būti vykdomi nauji tyrimai, parengtas optimalus metodų kompleksas. Buvo surinkta Lietuvos geologijos tarnybos fondinė medžiaga, kuri panaudota apibendrinant tiriamojo ploto sandarą bei pasirinkti perspektyviausi plotai tyrimams. Apibūdinta tiriamojo

ploto geologinė raida, silūro sandara, angliavandenilių išteklių perspektyvos, organinės medžiagos paplitimo tendencija ir koncentracija, storiųjų terminis brandumas bei kitos savybės. Petrofiziniams laboratoriniams tyrimams buvo atrinkti uolienų kerno mėginiai iš giluminių gręžinių. Tyrimai atlikti sertifikuotose laboratorijose.

Tyrimams taikyti petrografinių ir geofizinių tyrimų gręžiniuose duomenų interpretacijos metodai. Petrografinė analizė atlikta naudojant skenuojantį elektroninį mikroskopą (SEM) su energijos dispersijos rentgenostruktūrinės spektrometrijos (EDS) priedėliu, pasinaudojant laisva prieiga Gamtos tyrimų centre. Taip pat atlikti tyrimai naudojant rentgenostruktūrinę analizę (XRD) Vilniaus universitete, taip pat užsienio laboratorijose.

Tyrimų medžiaga ir asmeninis indėlis

Rengiant darbą buvo surinkti ir sistemizuoti anksčiau atliktų tyrimų, tiek publikuotų, o, ypač, nepublikuotų, duomenys. Peržiūrėtas atraminių gręžinių apatinio silūro uolienų kernas saugomas Vievio kerno saugykloje. Atrinkti uolienų kerno mėginiai. Įskaitmenintos geofizinių tyrimų gręžiniuose diagramos, atlikta jų interpretacija. Atlikti laboratoriniai tyrimai (SEM, XRD, mechaninių ir petrofizinių savybių), pateikti uolienų mėginiai užsienio laboratorijoms. Atlikta kompleksinė rezultatų analizė, svarbus yra palyginimas su kitais regionais.

Darbo mokslinė aprobacija

Mokslinių tyrimų rezultatai disertacijos tema pristatyti trijose tarptautinėse ir keturiuose nacionalinėse mokslinėse konferencijose.

Paskelbtos 3 publikacijos recenzuojamuose periodiniuose mokslo leidiniuose, 2 iš jų tarptautiniuose mokslo leidiniuose, turinčiuose cituojamumo rodiklį *Clarivate Analytics Web of Science (CA WoS)* duomenų bazėje.

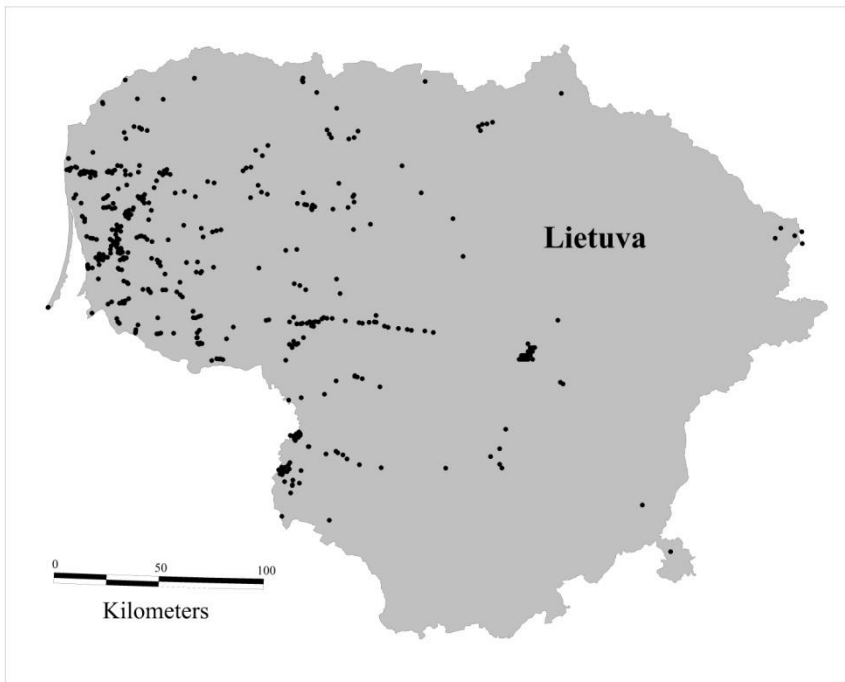
Darbo struktūra

Disertacijos darbą sudaro įvadas, 5 skyriai, išvados, literatūros sąrašas, autoriaus publikacijų sąrašas.

Disertacijos apimtis: 105 puslapių teksto, 51 paveikslų ir 8 lentelės. Literatūros sąrašas – 132 literatūros šaltiniai.

1. VAKARŲ LIETUVOS SILŪRO UOLIENŲ ANKSTESNIŲ TYRIMŲ APŽVALGA

Vakarų Lietuvos apatinio silūro uolienos buvo pragręžtos tankiu giliųjų gręžinių tinklu, dažniausiai vykdant naftos paieškos darbus (1 pav.). Šių darbų pagrindinis tikslas buvo pasiekti ir ištirti žemiau silūro uolienų slūgsančius vidurinio kambro smiltainius ir aptikti juose esančius naftos telkinius. Be to, antras, nors ir mažiau perspektyvus, naftingas sluoksnis buvo skiriamas pačio apatinio landoverio mikritinėse plyšiuotuose klintyse, kurių storis tesiekia kelis metrus (Apasčios ir Stačiūnų svitos). Vakarų Lietuvoje keliuose gręžiniuose buvo aptikti naftos pėdsakai. Buvo išgręžta kiek daugiau nei 250 giliųjų gręžinių (1 pav).

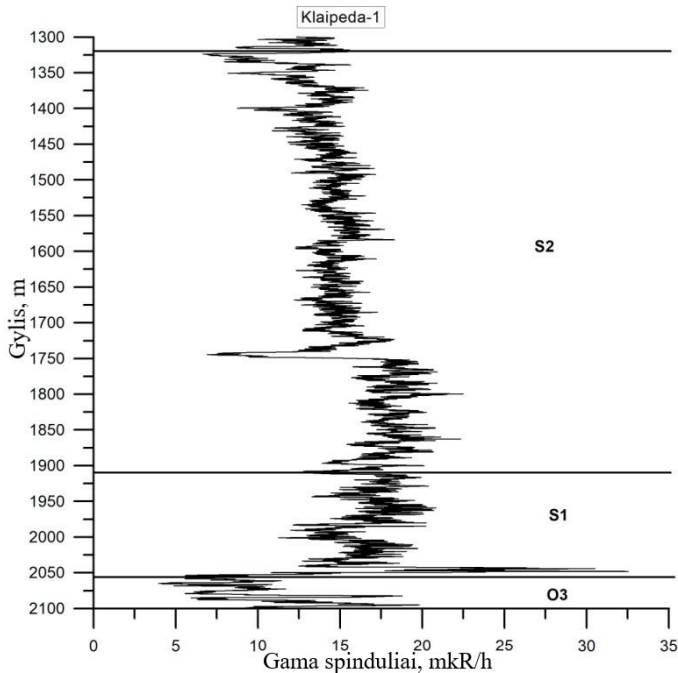


1 pav. Giliųjų gręžinių žemėlapis taškas gale

Seniausias Vakarų Lietuvoje – parametrinis Stoniskių-1 gręžinys, išgręžtas 1958 metais,. Gręžinys suteikė bazinės informacijos apie šios baseino dalies geologinį pjūvį, tai leido daryti pirmąsias prielaidas apie naftos perspektyvas.

Daug pirminės informacijos suteikė ir kiek vėliau išgręžtas Nidos-1 gręžinys. Pirmieji gilieji gręžiniai buvo gręžiami su kerno kėlimu iš visos silūro storumės, buvo aprašytas, ištirtas ir saugojimui paruoštas uolienų

kernas. Naftos geologų žvilgsniui nukrypus į kambro smiltainių kolektorinius smiltainius, gręžimo su kerneu per nuosėdinę dangą apimtys dramatiškai sumažėjo. Tarp su kerneu gręžtų senų gręžinių paminėtini Plungės-1, Gragždų-18, Akmenės-71 gręžiniai. Rytinėje dalyje tokių gręžinių buvo daugiau (pradedant Milaičių-103 gręžiniu), tai siejama su naftingų rifogeninių kūnų paieška viršutinio silūro stovymėje vidurio Lietuvoje. Deja, ši teritorija apatinio silūro uolienuų dujų perspektyvumo požiūriu nėra įdomi dėl mažo organinės medžiagos terminio brandumo. Labai svarbu, nors ir be kerneo, Vakarų Lietuvos gręžiniai buvo tirti geofiziniais metodais. Visuose naftos paieškų gręžiniuose buvo atliktas diafragijos metodų kompleksas, kuris, nors ir netiesiogiai, leidžia gan patikimai nustatyti kai kurias svarbias uolienuų charakteristikas, kaip poringumas, organinės medžiagos pasiskirstymas, litologinė kaita ir t.t. (2 pav.). Dalis šios informacijos buvo įskaitmeninta LGT, dalis šios informacijos buvo įskaitmeninta disertacinio darbo metu.



2 pav. Geofizinių tyrimų gręžinyje gama diagrama, gręžinys Klaipėda-1

Vakarų Lietuvos silūro uolienuų moksliniai tyrimai buvo plėtojami keliomis kryptimis. Patys pirmieji gręžiniai gręžti su kerneu buvo detaliam iširti paleontologiškai nustatant sluoksnių stratigrafinę priklausomybę, specifinį regionui paleofaunos kompleksą (Paškevičius, 1958). Šiuo požiūriu naujų gręžinių svarba buvo ribota, kadangi kerneo medžiaga apėmė dažniausiai tik

pačią apatinę silūro pjūvio dalį. Kiek daugiau informacijos suteikė ploto rytinio kontūro gręžiniai, kaip Milaičiai-103, Lagiriai-122, Viduklė-61–64. Be to čia gausenis paleofaunos kompleksas lyginant su vakariniais gręžiniais – be graptolitų, gauseni brachiopodai, konodontai ir kt. fauna (Paškevičius, 1997; Brazauskas, 1993; Radzevičius, 2014; Venkutė-Aleksienė et al., 2016). Pastaraisiais metais nemažas dėmesys skiriamas izotopų pasiskirstymui gręžiniuose tikslinant stratigrafines ribas bei globalius ekologinius ciklus (Martma et al., 2005; Kaljo et al., 2012; Radzevičius et al., 2014; Spiridonov et al., 2017). Išpopuliarėjo ir ciklostratigrafijos principų taikymas siekiant paaiškinti silūro pjūvio dėsninumus (Radzevičius et al., 2017).

Kadangi silūro uolienos, praturtintos organine medžiaga, buvo įvardintas kaip patvirtintas angliavandenilių šaltinis Baltijos sedimentaciniame baseine, didelis dėmesys buvo skiriamas organinės medžiagos tyrimams. Šių tyrimų pradininke buvo E. Kadūnienė, kuri nustatė tam tikras organinės medžiagos pasiskirstymo tiek plote, tiek ir pjūvyje dėsninumus (Kadūnienė, 1978; 2001). Nemažą įnašą tiriant Lietuvos organinės medžiagos silūro molingose uolienose charakteristikas padarė O.Zdanavičiūtė ir bendraautorai (Zdanavičiūtė, 1997, Zdanavičiūtė, Swadowska, 2002, Zdanavičiūtė, Lazauskienė, 2004, 2009). Organinė medžiagos pasiskirstymą silūro uolienose taip pat tyrė ir kiti tyrėjai (Gėlūnaitė ir Spiridonov, 2015).

2009 metais Lietuvos geologijos tarnyba įsijungė į tarptautinio projekto „Europos molio skalūnų dujų tyrimų iniciatyva (GASH)“ projektą. 2013 metais Lietuvos Mokslų Akademijos monografijoje „Komisijos dėl skalūnų dujų žvalgybos ir gavybos poveikio aplinkai bei žmonių sveikatai vertinimo išvados“ pateikiamas ekspertų grupės parengtas tyrimo dėl galimo skalūnų dujų žvalgybos ir gavybos poveikio aplinkai bei žmonių sveikatai Lietuvoje. Rezultatai: duomenys apie produktyvių uolienų geologines, geochemines sąlygas, apie skalūnų dujų žvalgyimo ir gavybos poveikį aplinkai.

2010–2014 metais Lietuvos geologijos tarnyboje (LGT) prie Aplinkos ministerijos buvo įvykdytas projektas „Ankstyvojo paleozojaus molingų uolienų stovyčių geologinės sandaros tyrimai“ (projekto atsakingos vykdytojos: J. Lazauskienė ir J. Čyžienė). Projekto tikslas – apatinio paleozojaus molio skalūnų formacijų, galimai perspektyvių skalūninių angliavandenilių potencialo požiūriu geologinės sandaros tyrimai, siekiant preliminariai įvertinti molio skalūnų dujų (ar naftos) potencialą. Projekto metu buvo nustatyti molingų formacijų išskyrimo kriterijai, išskirtos jų paplitimo ribos, nustatyti jų slūgsojimo bei storio dėsninumai; pagal turimus duomenis įvertintos organinės medžiagos bei kitų svarbiausių molingų uolienų savybių pasiskirstymo tendencijos.

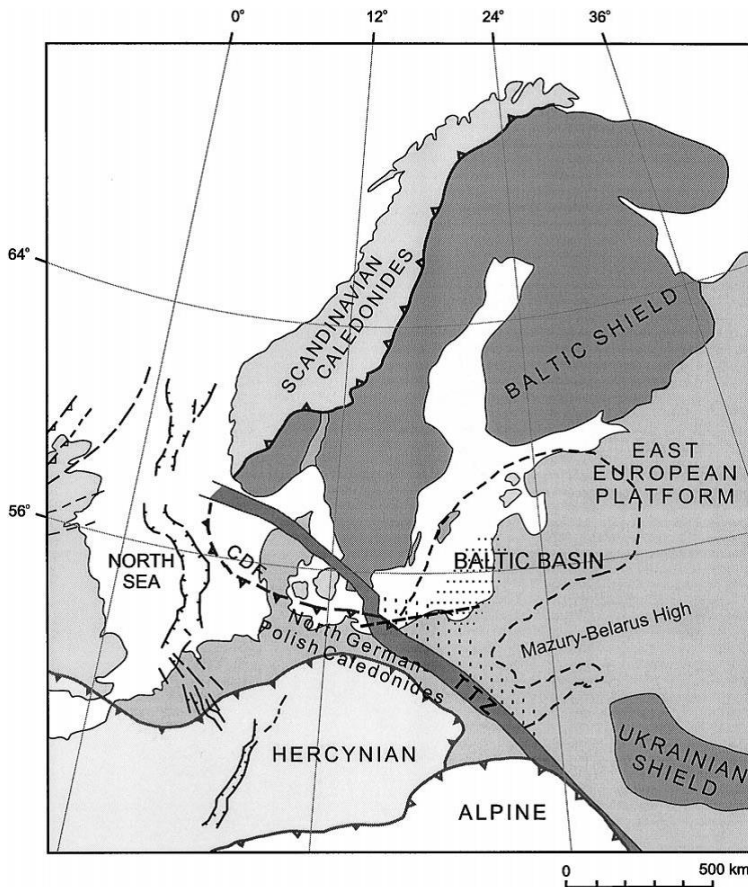
2015–2017 metais LGT dalyvavo Europos Komisijos Jungtinio tyrimų centro (JRC) ir Europos geologijos tarnybų (EGS) tarptautiniame projekte „Europos netradicinių angliavandenilių išteklių įvertinimas“ – EUOGA (European Unconventional Oil and Gas Assessment). Pagrindinis EUOGA projekto tikslas buvo – susisteminti EGS pateiktus geologinius ir kitus duomenis pagal vieningą kritinių parametrų sistemą, nustatyti vieningą netradicinių angliavandenilių (skalūnų ir tankių uolienu) išteklių vertinimo metodiką ir, ją taikant, įvertinti Europos netradicinių angliavandenilių išteklius – kiekvienos šalies bei nuosėdinių baseinų ribose

2016–2019 metais LGT buvo vykdomas projektas „Molingų uolienu savybių įtaka išsklaidytųjų angliavandenilių susikaupimui ir galimam naudojimui“. Projekto tikslas – nustatyti molingų uolienu savybių įtaka išsklaidytųjų angliavandenilių susikaupimui ir galimam naudojimui. Išsklaidytųjų angliavandenilių susikaupimo potencialo ir vietų įvertinimui buvo atlikti parametrų, kaip antai molio mineraloginės sudėties tyrimai, petrofizinių charakteristikų tiksliniai tyrimai. Siekiant gauti kompleksinę informaciją, buvo atlikti organinės medžiagos pasiskirstymo, vidurio Lietuvoje tyrimai.

2. TIRIAMOSIOS TERITORIJOS GEOLOGINĖS SANDARA

2.1. Baltijos nuosėdinio baseino geologinė raida

Lietuvos teritorija yra rytinėje ir centrinėje Baltijos nuosėdinio baseino dalyse Rytų Europos kratono vakarinėje dalyje (3 pav.). Baseine, nuo kambro iki kvartero, kaupėsi visų fanerozojaus geologinių sistemų nuosėdos. Vakarinėje baseino dalyje vyko pats intensyviausias grimzdimas, kuris formavo baseino geometriją nuo seklios rytuose iki gilos vakaruose. Prekambro kristalinio pamato gylis kinta nuo 0,2 km pietryčių Lietuvoje iki 2,3 km Vakarų Lietuvoje.

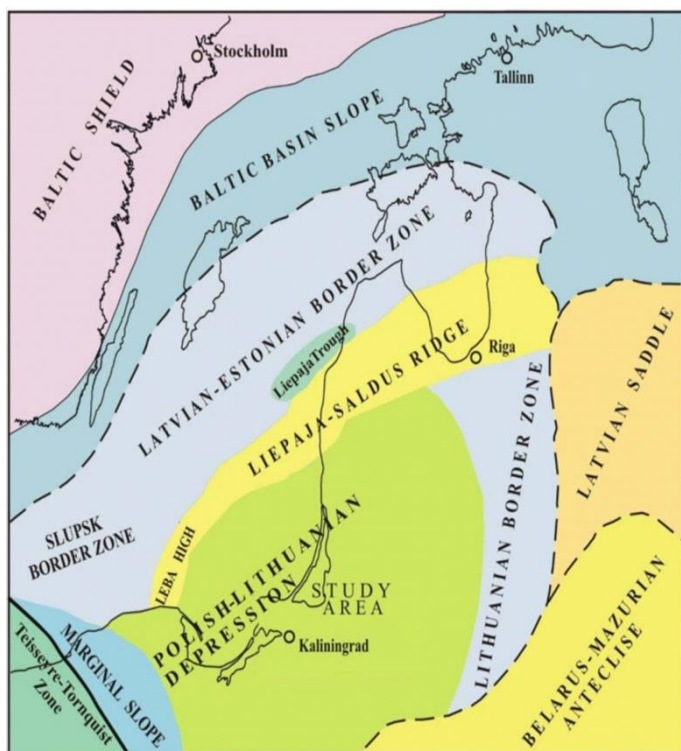


3 pav. Šiaurės ir Centrinės Europos tektoninis žemėlapis, punktyrinė linija žymi Baltijos baseiną (Poprawa et al., 1999)

Dabartinis Baltijos baseinas atspindi tik išsaugotą pradinio ankstyvojo paleozojaus baseino dalį, kuri vėlesniais laikotarpiais buvo smarkiai paveikta

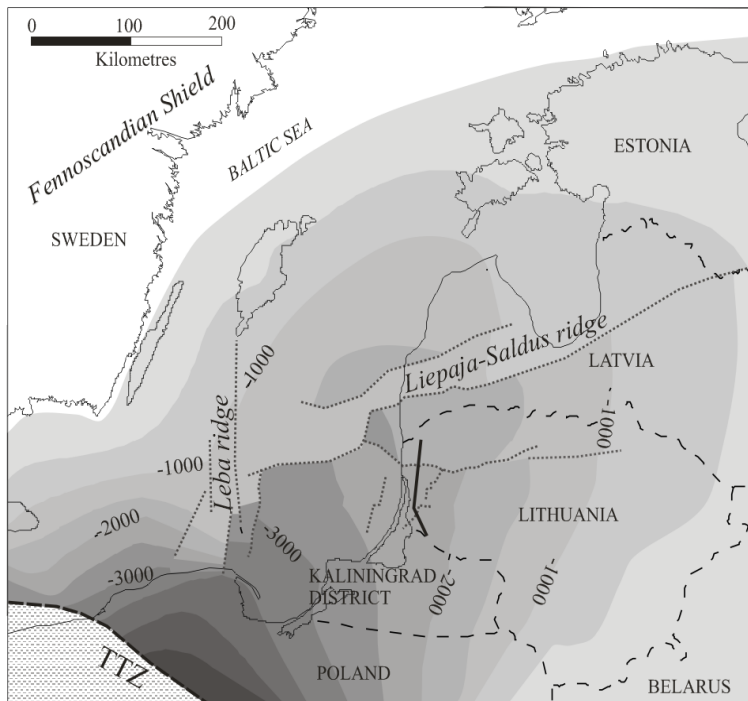
erozinių procesų, jie buvo ypač aktyvūs karbono - ankstyvojo permio laikotarpiais.

Baltijos baseinas yra didžiausias nuosėdinis baseinas, esantis Rytų Europos kratono vakarėje dalyje. Atsižvelgiant į kristalinio pamato struktūrą, nuosėdinės dangos stratigrafinį tęstinumą ir litofacijų pasiskirstymą, tradiciškai išskiriami Lenkijos-Lietuvos įlinkis, Latvijos balnas, Baltarusijos – Mazūrijos anteklizę, Baltijos skydo pietinį šlaitą (Suveizdis, 1979; Paškevičius, 1997) (4 pav.). Pietvakariuose Baltijos baseiną riboja Teisseyre – Tornquist zona, o šiaurėje - Baltijos skydas.



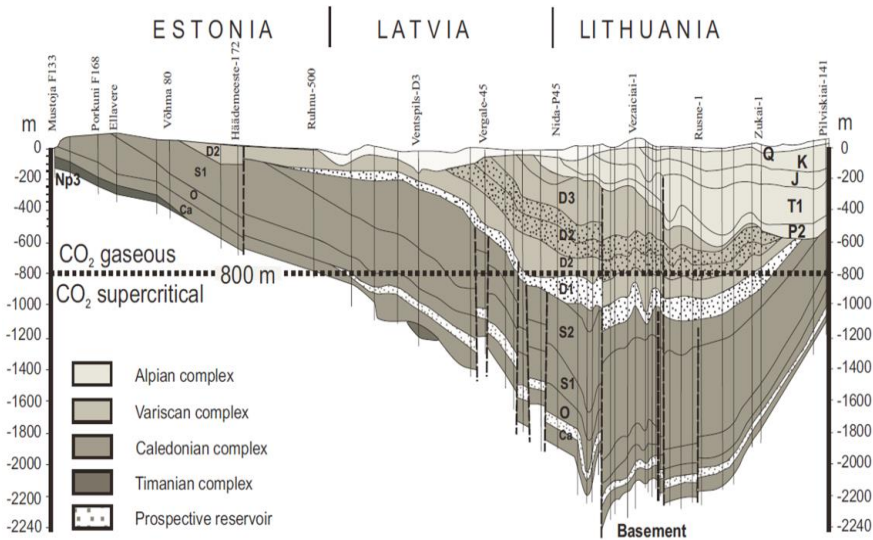
4 pav. Baltijos sedimentacinio baseino pagrindinės tektoninės struktūros (Paškevičius, 1994)

Baltijos baseino kristalinis pamatas baseino šiaurėje ir rytuose yra 200–1000 m gilyje, Vakarų Lietuvoje jis padidėja iki 2300 m ir iki 3000-5000 m į pietvakarius, artėjant prie Teisseyre – Tornquist zonos (Šliaupa ir Hoth, 2011) (5 pav.). Baseiną skaldo stambios lūžių sistemos (Šliaupa ir kt., 2002).



5 pav. Kristalinio pamato kraigo gyviai. (Šliaupa, Hoth, 2010). Pagrindiniai nuosėdines dangos lūžiai pažymėti taškinėmis linijomis

Baltijos baseino nuosėdinę dangą sudaro vėdo ir visų fanerozojaus sistemų bei kvartero nuogulos (6 pav.). Yra išskiriami baikalinis, kaledonidinis, hercininis ir alpinis struktūriniai-nuosėdiniai kompleksai. Kompleksai skiriasi nusėdinių uolienu sudėtimi ir struktūriniu planu, juos atskiria sedimentacijos pertraukos ir erozoniai paviršiai, kurie, savo ruožtu, atspindi pagrindinius orogeninius įvykius (Suveizdis, 2003).



6 pav. Geoloģinis pjūvis per Estiju, Latviju ir Lietuvu. Ca - kambras; O - ordovikas; S1- apatinis silūras (landoveris ir uenlokis); S2 - viršutinis silūras (ludlovis ir pridžolis); D1, D2 and D3 - apatinis, vidurinis ir viršutinis devonas; P2 - vidurinis permas; T1 - apatinis triasas; J - jūra; K - karbonas; Q - kvarteras (Shogenova et al., 2009)

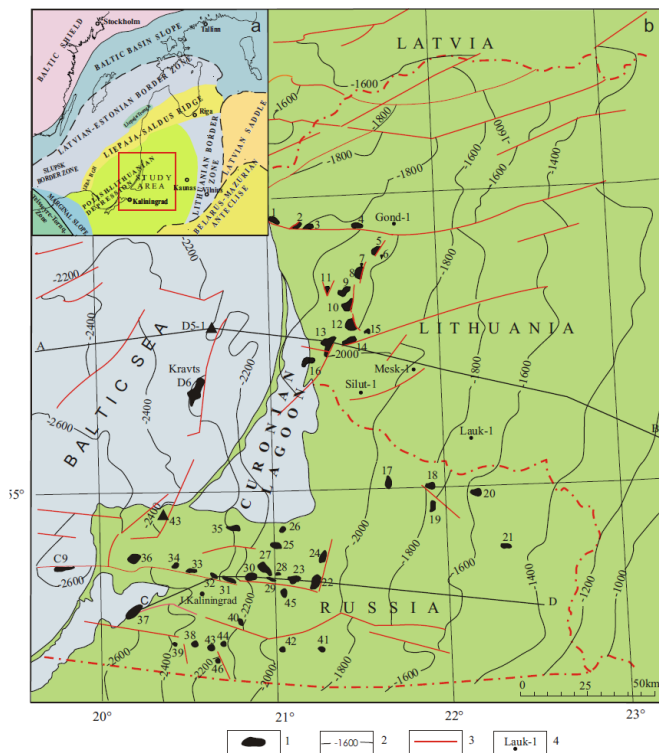
Pradinis Baltijos baseino vystymosi etapas buvo susijęs su prekambro Rodinijos superžemyno skilimu vėlyvojo vendo – ankstyvojo kambro laikotarpiais (Torsvik et al., 1992). Vėlyvojo vendo ir vidurio kambro grimzdimas yra aiškinamas kaip vientisas įvykis, susijęs su žemyno plyšimu išilgai dabartinės Teisseyre - Tornquist tektoninės zonos.

Vėlyvojo ordoviko ir silūro laikotarpiais geodinaminė padėtis pasikeitė iš pasyvaus kontinento pakraščio stadijos į konvergencinio pakraščio stadiją. Silūro metu pastebimas eksponentinis grimzdimo intensyvėjimas, būdingas baseinams, besivystantiems spaudimo tektoniniame režime, o maksimalus grimzdimo greitis nustatytas pradžios epochoje (Šliaupa ir kt., 1997; Poprawa ir kt., 1999).

Grimzdimas ir kolizija tarp Baltikos ir Rytų Avalonijos kontinentų įvyko vėlyvojo ordoviko metu (Torsvik et al., 1996), dėl to Šiaurės Vokietijos – Lenkijos kaledonidų (NGPC) pleštai užslinko ant vakarinės Baltikos pakraščio (Šliaupa et al., 1997; Poprawa et al., 1999). Tuo pačiu metu, viduriniame ordovike, Baltikos kontinentas dreifavo link Laurentijos kontinento (Torsvik et al., 1996) ir susidūrė su juo vidurinio - vėlyvojo silūro metu (apie 425–410 mln. m.) (Cocks ir kt., 1997).

Ankstyvojo paleozojaus angliavandenilių sistemos raida buvo glaudžiai susijusi su Baltijos baseino ir gretimų teritorijų grimzdimo istorija. Baltijos baseinas patyrė ilgalaikę tektoninę ir struktūrinę evoliuciją - pagrindinė lūžių susidarymo fazė pasireiškė vėlyvojo silūro - ankstyvojo devono metu, ji susijusi su tektoninių įtampų perdavimu iš Skandinavijos kaledonidų dėl Baltikos ir Laurentijos kontinentų kolizijos. Nors „minkštas“ susidūrimas palei Rytų Avalonijos susijungimo zoną su Baltikos kontinentu neturėjo reikšmingo vaidmens tektoniškai fragmentuojant baseiną, tačiau buvo svarbus baseino grimzdimui (Poprawa ir kt., 1999, Lazauskienė ir kt., 2002).

Angliavandenilių generacija pasireiškė kartu su pagrindine paleozojaus grimzdimo faze. Molingose uolienose susidarę angliavandeniliai susikauptė kambro lokaliuose pakilumose, susijusiose su vėlyvojo kaledoninio etapo lūžiais. Manoma, kad motininių uolienų organinės medžiagos terminio brandumo (angliavandenilių generacijos) pradžia sutampa su vėlyvojo devono grimzdimu (Zdanavičiūtė, Lazauskienė, 2004).



7 pav. Baltijos baseino pietrytinės dalies tektoninės struktūros ir kambro naftos telkiniai, vakarų Lietuvoje ir Kaliningrade (Zdanaviciute et al., 2012), 1-naftos telkinys, 2-kambro kraigo gylis, 3-lūžis, 4-gręžinys

Struktūrinė baseino evoliucija padarė didelę įtaką naftos kaupimuisi telkiniuose. Pagrindinės naftos perspektyvos yra susijusios su vėlyvojo keledoninio etapo ŠŠR-PPV ir V-R orientuotomis lūžių zonomis, kurios kontroliuoja lokalias pakilumas. Buvo nustatyta nemažai lokalių pakilimų. Jų amplitudės yra nedidelės ~ 35–50 m ir tik retais atvejais viršija 65–75 m. Angliavandeniliai vidurinio kambro kolektoriuje centrinėje Baltijos baseino dalyje susikaupė struktūrinio tipo gaudyklėse (Zdanavičiūtė, Lazauskienė 2004, 2009). Dauguma Baltijos baseino naftos telkinių yra tektoniškai paveikti kaledoninių lūžių (7 pav.). Pagrindinį lokalių pakilimų tipą būtų galima apibrėžti kaip asimetrines brachi-antiklininio tipo struktūras.

Naftos generacija Baltijos baseine prasidėjo silūro pabaigoje (Lenkijos Baltijos jūros sektoriuje), o pagrindinė naftos generacijos fazė pasireiškė devono pabaigoje ir karbono pradžioje. Naftos telkiniai Baltijos baseine susiformavo per ilgą geologinį laikotarpį ir ne kartą buvo papildomi nafta. Kambro kolektorius pasipildė angliavandeniliais ne tik iš silūros molingų nuogulų, bet ir iš kambro ir ordoviko organinės medžiagos (Zdanavičiūtė, Lazauskienė, 2004, 2007, 2009, Šliaupa et al., 2002).

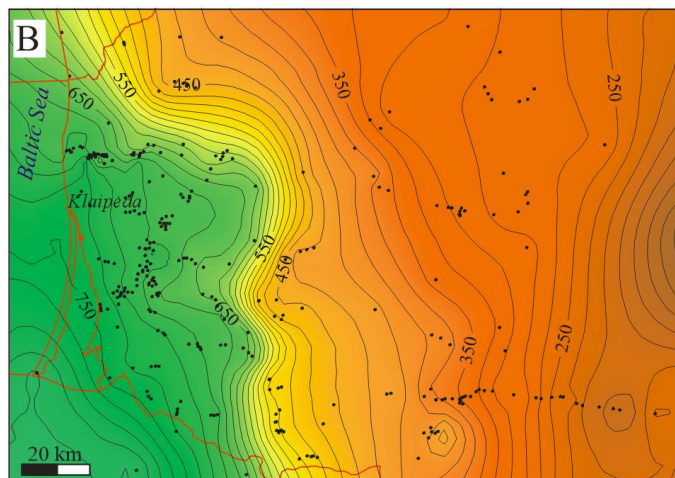
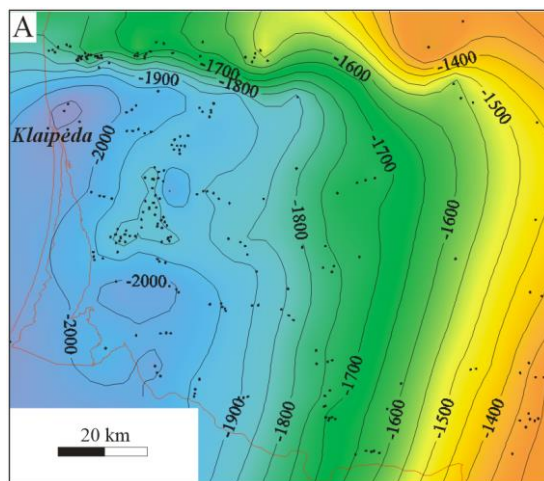
2.2. Trumpa silūro stormės apžvalga

Silūro periodu palaipsniškai intensyvėjo baseino grimzdimas. Silūro pjūvį sudaro graptolitiniai moliai (argilitai) su retais mergelio ir klinčių tarp sluoksniais centrinėje ir vakarinėje baseino dalyje. Dėl greito grimzdimo ir lėto detritinės medžiagos kaupimosi buvo palankios sąlygos kauptis organinei medžiagai gilaus dugno nuosėdose, o tai, savo ruožtu, lėmė anoksines sąlygas palankias OM išlikimui (Poprawa ir kt., 1999). Tai lėmė organinę medžiagą praturtintų molių susidarymą. Silūro sluoksniai Lietuvoje gilėja į pietvakarius: rytuose gylis siekia ~ 200 m, o vakaruose - apie 2050 m (8 pav.). Apatinio silūro sluoksnių storis didėja į vakarus nuo 120 iki 200 m.

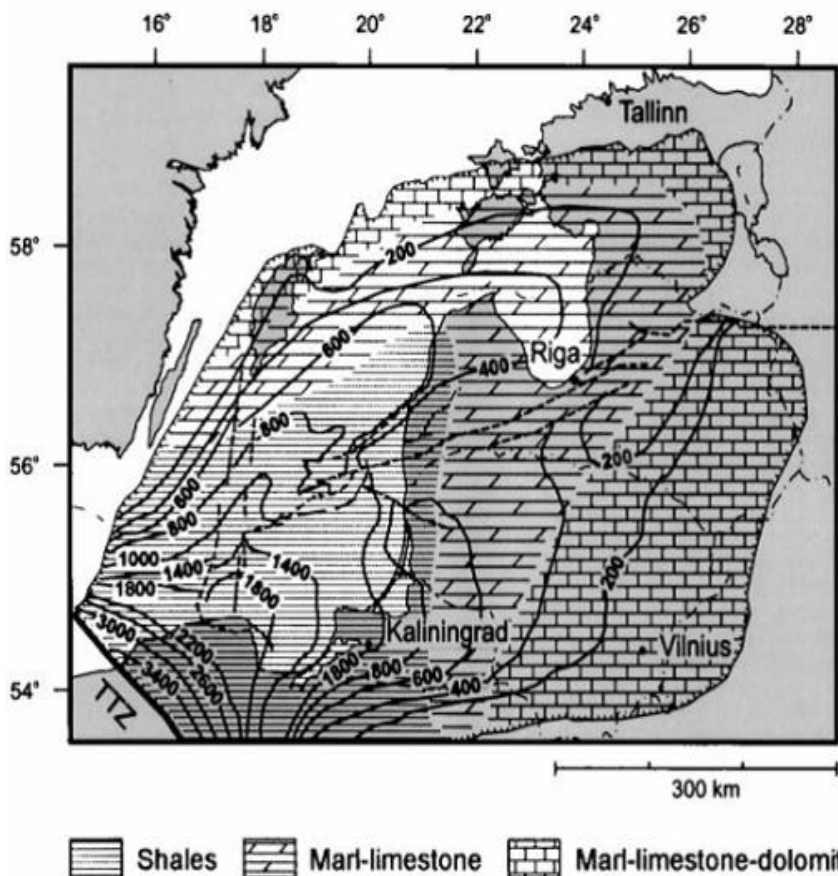
Silūro sistemos facinė sudėtis yra kaiti, tai susiję su kaičiu baseino dugno gyliu kas lėmė skirtingą paleoaplinką. Terigeninės litofacijos (graptolitiniai moliai ir mergeliai) vyrauja vakarinėje ir centrinėje Baltijos baseino dalyse (9 pav). Einant į rytus juos keičia mergelių tranzitinė zona (pereinamoji) kuri pereina į klintingų ir dolomitingų litofacijų juostą.

Ankstyvojo landoverio terigeninės - karbonatinės nuogulos susiformavo staigiai kylant jūros lygiui po hirnančio apledėjimo. 4–6 m storio apatinio landoverio bazalinės klintys susiklostė baseino vakarinėje dalyje (Lapinskas 2000; Lazauskienė et al., 2003) (10 pav.). Vakarų Lietuvoje vidurinio-

viršutinio landoverio pjūvis yra sudarytas iš sluoksniuotų tamsiai pilkų ir juodų graptolitinių molių su mergeliais.



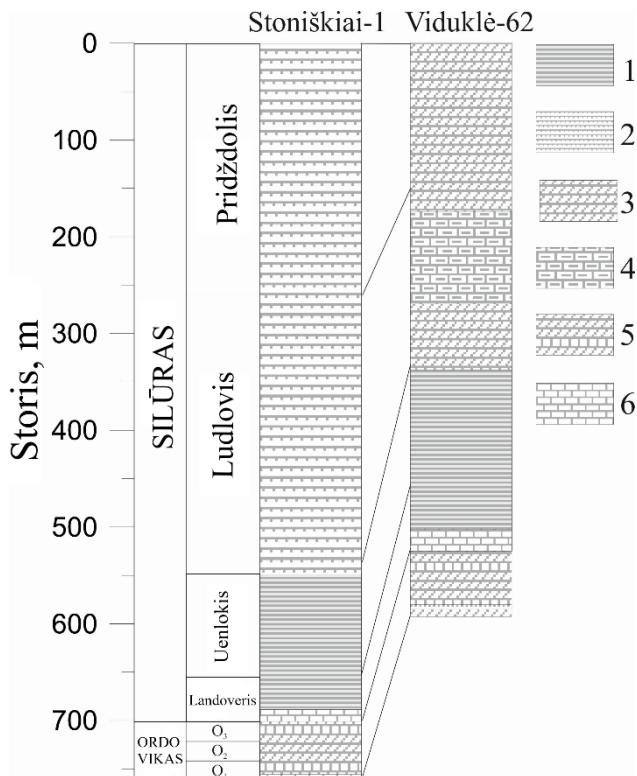
8 pav. Vakarų ir vidurio Lietuvos silūro sistemos: A) gylių (padas, m); B) izopachičių žemėlapis



9 pav. Silūro sistemos nuogulų dabartiniai storai bei facijos (Poprawa et al., 1999; Šliaupa et al., 2006)

Ankstyvojo silūro transgresija pasiekė savo maksimumą landoverio pabaigoje ir suklostė ankstyvojo uenlokio tamsiai pilkus graptolitinius argilitus bei mergelius su klintingais mergeliais vakarinėje baseino dalyje. Rytinėje ir centrinėje dalyse vyrauja dolomitiniai mergeliai ir smulkiagrūdžios organogeninės-detritinės klintys.

Apatinio ludlovio dolomitinius mergelius rytinėje dalyje keičia tamsiai pilki ir juodi mergeliai. Viršutinio ludlovio vakarinėje baseino dalyje slūgso pilkos molingos klintys, kurios persisluoksniavusios su šviesiomis organogeninėmis-detritinėmis klintimis, o centrinėje ir rytinėje randamos organogeninės-detritinės klintys ir dolomitai. Pridždolio sedimentacijos metu susidarė lagūniniai dolomitai, dolomitiniai mergeliai ir klintys (Lazauskienė ir kt., 2003).



10 pav. Litologinis suskirstymas gręžinio Stonišķiai-1 (vakarų Lietuva) ir Viduklė-62 (vidurio Lietuva). 1-argilitas, 2-karbonatinis argilitas, 3-mergelis, 4-molinga klintis, 5-klinties ir mergelio persisluoksniavimai, 6-klintis (Šliaupa et. al. 2020)

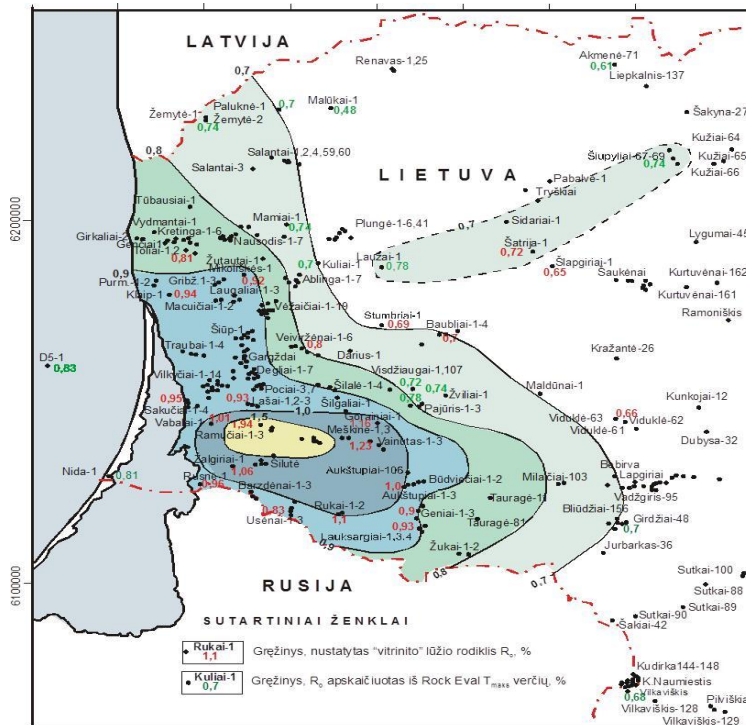
3. APATINIO SILŪRO DUJŲ SKALŪNŲ PERSPEKTYVŲ GEOLOGINĖS PRIELAIDOS

3.1. Apatinio silūro organinės medžiagos charakteristikos

Apatinio paleozojaus praturtinti organinė medžiaga – bendros organinės anglies (TOC) kiekis kinta nuo 0,2–3% iki 8–11% (kai kuriuose sluoksneliuose iki 21%). Visuose Vakarų Lietuvos gręžiniuose landoverio storymėje yra nestoras intervalas su labai gausiomis OM reikšmėmis (TOC=5–21 masės %), jis yra gerai matomas gama bei akustinės diafragijos kreivėse. Maksimalios TOC vertės (iki 21%) buvo užfiksuotos vidurio landoverio intervale (2-11 m storio).

OM daugiausiai priskiriama prie naftą generuojančio II tipo ir naftą ir dujas generuojančio II-III tipo. Pirolizės išeiga (32–76/100 kg uolienos) rodo aukštą angliavandenilių susidarymo potencialą (Zdanavičiūtė, Lazauskienė 2004, 2007; Šliaupa et al., 2016). Kalbant apie OM petrografinę sudėtį, vyrauja dumblių medžiaga. Detritinis sapropelis yra išbarstytas, kaip smulkios dalelės ir lęšiai. Dažnai randami gerai išsilaikę tasmanitų fragmentai, ypač sapropelinės kilmės nuosėdose, o sporinitas, kutinitas ir iš dervų bei vašku susidariusi medžiaga yra reta (Zdanavičiūtė, Swadowska 2002, Zdanavičiūtė, Lazauskienė, 2004, 2007, 2009).

Organinės medžiagos terminis brandumas Vakarų Lietuvoje didėja pietvakarių kryptimi nuo 0,6 iki 1,94% Ro (vitrinto atspindžio rodiklis naftoje) (11 pav.). Terminio brandumo lygis kinta nuo termiškai „nesubrendusių“ iki „subrendusių“ („naftos langas“).



11 pav. Organinės medžiagos terminis brandumas (R_o) centrinėje vakarinėje Lietuvos dalyje (Lietuvoje) (Lazauskienė ir kt., 2014)

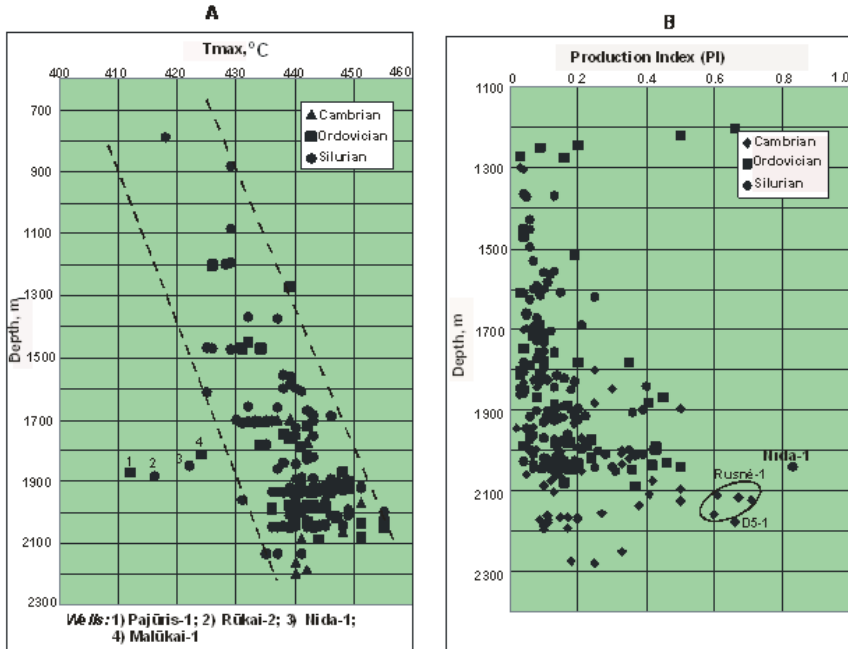
Kai kuriose vietose (grėžinys Ramučiai-1, Pajūris-1 ir kt.) anomaliai aukštas organinės medžiagos brandumas greičiausiai yra susijęs su lokalia geotermine paleoanomalija. Naftos lango riba tęsiasi nuo Bliūdžių grėžinių iki Paluknės-1 grėžinio (11 pav.). Labai aukštos 1,94% R_o atspindžio vertės priskiriamos prie dujų susidarymo stadijos ir gali būti paaiškintos, pavyzdžiui, magmos intruzijomis (Zdanavičiūtė, Lazauskienė, 2004, 2007).

Motininų uolienų terminis brandumas Baltijos baseine didėja su gyliu. Organinės medžiagos terminis skaidymasis prasidėjo maždaug 1500–1600 m gylyje (Zdanavičiūtė, Lazauskienė, 2004). Grimzdimas buvo dominuojantis OM kaitinimo mechanizmas, neatmetamas ir praityje padidėjęs Žemės šilumos srautas (pvz., Vakarų Lietuvoje buvo geotermine anomalija).

Fiksuojamos vertikalios terminio brandumo pokyčių tendencijos. Kambro, ordoviko ir silūro organinių liekanų (tirti moliai kuriuose $TOC > 1\%$) T_{max} (RockEval terminio brandumo indeksas) ir PI (produktyvumo indeksas) vertės didėja su gyliu (12 pav.). Centrinėje baseino dalyje 1700 m gylyje ir giliau motininės uolienos yra „ankstyvosios naftos“ ir „maksimalios naftos“ stadijoje (Zdanavičiūtė, Lazauskienė, 2004, 2007). PI vertės yra žemos ($< 0,2$

išskyrus atskiras lokalias anomalijas, kur įtakos turėjo padidinta paleo-temperatūra (Zdanavičiūtė, 1997; Zdanavičiūtė, Bojesen-Koefoed, 1997).

Apžvelgus atliktus senesnius tyrimus ir naujai gautus rezultatus, buvo nustatyta, kad didžiausia netradicinių angliavandenilių perspektyva siejama su Vakarų Lietuvos giliai nugrimzdusiais apatinio silūro moliais.



12 pav. Maksimalios pirolizės temperatūros (A), gavybos indeksas (B) (Lazauskienė et al., 2014)

3.2. Baltijos sedimentacinio baseino dujų skalūnų perspektyvų apžvalga

Baltijos nuosėdinio baseino naftos telkiniai yra susiję su kambro smiltainiais, ordoviko ir silūro karbonatinėmis uolienomis (Zdanavičiūtė, Sakalauskas, 2001; Zdanavičiūtė, Lazauskienė, 2004). 1991 m. Lietuvoje buvo pradėta naftos gavyba iš kambro smiltainių, bet nuo 2001 m. gavyba nuolat mažėja (nuo 580 000 m³ 2001 m. iki mažiau nei 50,0 m³ 2020 m.).

Kambro kolektorių sudaro 60–80 m storio smiltainiai Vakarų Lietuvoje (Zdanavičiūtė ir kt., 2012) ir Lenkijoje Baltijos jūros dalyje (Brangulis ir kt., 1993; Domžalski ir kt., 2004). Kambro moliai mažai praturtinti OM (TOC<1), išskyrus pačią vakarinę baseino dalį (alūniniai skalūnai). Ordoviko storumės storis Lietuvoje kinta nuo 35 m iki 200 m, molingos uolienos turi nedaug OM

(TOC<1). Išskiriami du “juodųjų“ skalūnų sluoksniai, kuriuose yra iki 20% OM, maždaug 4–5 m storio, priskiriami Mosseno (Oandų regioninis aukštas) ir Fjåkos (Vormsio regioninis aukštas) svitoms (Laškovas, 2000). Jie laikomi dviem perspektyviais netradicinių dujų skalūnų sluoksniais ordoviko stovymėje (Cichon-Pupienis et al., 2020). Lietuvoje ir Vakarų Latvijoje buvo nustatyti dažni naftos pėdsakai seklios jūros detritinėse ir oolitinėse klintyse (Laškovas, 2000). Viršutinio ordoviko rifogeniniai kupolai (biohermos), kurie gali būti tinkami naftos paieškoms, buvo atrasti seisminių darbu metu Baltijos jūroje tarp Gotlando salos ir Latvijos (Kanev ir Peregudov, 2000). Gotlando saloje eksploatuojami keli naftos telkiniai, susiję su viršutinio ordoviko rfigeniniais kupolais, išgaunama daugiau nei 12 000 barelių naftos per dieną (Sivhed ir kt., 2006).

Silūro pjūvio storis yra apie 100 m Rytų Lietuvoje ir viršija 800 m Vakarų Lietuvoje (Paškevičius, 1997, 2019). Storių kitimas siejamas su žymia litofacijų kitimo tendencija, nuo vyraujančių seklios jūros klinčių ir dolomitų (pagrindiniai diagenetinių) rytuose iki giliavandenių argilitų vakaruose (Lapinskas, 2000; Lazauskienė ir kt., 2003). Didžiausias silūro stovymės pado gylis Lietuvoje siekia ~2100 m. Keletas naftos telkinių buvo atrasti perėjimo zonoje tarp karbonatingų ir molio facijų, jie susiję su 35–90 m storio biohermomis ir biostromomis (vyrauja *crynoidea* ir *stromatopora*) viršutinio ludlovio ir apatinio priešdolio pjūvyje. Keletas naftos pėdsakų taip pat rasta apatinio landoverio klintyse Vakarų Lietuvoje (Lapinskas, 2000).

Baltijos baseino apatinio paleozojaus stovymė yra viena stambiausių dujų skalūnų formacijų. Apatinio silūro giliavandeniai graptolitiniai moliai yra pagrindinė perspektyvi stovymė (Poprawa, 2010; Zdanavičiūtė, Lazauskienė, 2009; Šliaupa et al., 2016). Be to, viršutinio kambro ir apatinio ordoviko alūniniai skalūnai taip pat laikomi žvalgyimo objektu vakarinėje Baltijos baseino dalyje (Baltijos jūroje).

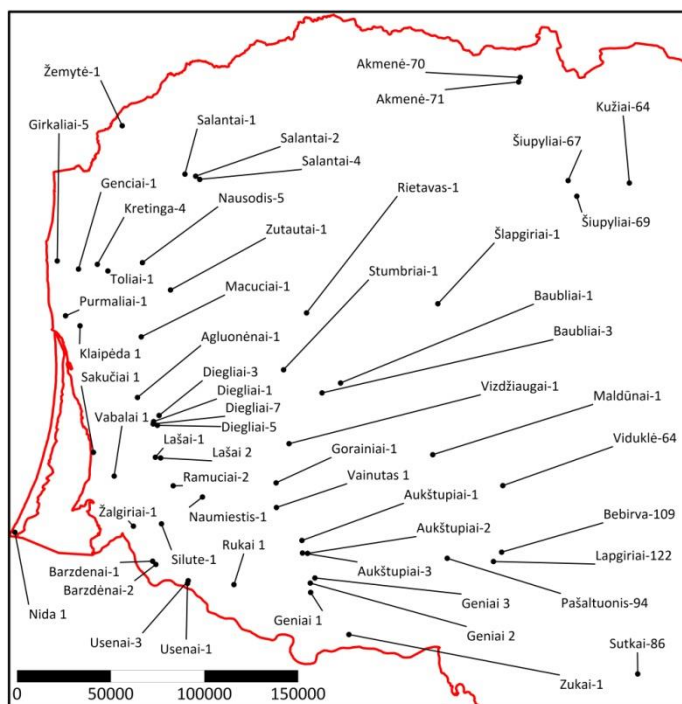
Pirmąjį netradicinių angliavandenilių potencialo vertinimą Lietuvoje paskelbė Zdanavičiūtė ir Lazauskienė (2009). Jungtinių Amerikos Valstijų energetikos informacijos agentūra (PAV) atnaujino Lietuvos skalūnų dujų / naftos išteklių vertinimus 2011, 2013 ir 2015 metais. Lietuvos geologijos tarnyba atliko skalūnų dujų vertinimą remiantis 2011–2014 metų geologiniais, geofiziniais ir geocheminiais duomenimis (neskelbta Lietuvos geologijos tarnybos ataskaita, Lazauskienė et al., 2014). Skalūnų naftos ir dujų ištekliai (atitinkamai naftos GIP ir dujų OIP) buvo įvertinti viršutinio ordoviko ir apatinio silūro skalūnams, kurių bendras storis yra apie 110 m. Apskaičiuoti susidarantių netradicinių angliavandenilių tūriai buvo įvertinti: OIP - 3,6–18,3 mlrd. m³ (~ 1 134–5 691 km² plotui) ir GIP - 1,03–5,13 trln. m³ (~ 1 134–5 691 km² plotui) (Lazauskienė et al., 2014). Be to, Lietuvos Mokslų akademijos

užsakymu Lietuvos specialistai įvertino vėlyvojo ordoviko ir ankstyvojo silūro skalūnų potencialą Vakarų Lietuvoje: ordoviko sluoksnių OIP - 6 mlrd. m³ (išgaunama skalūnų nafta - 37–1832 mln. m³), silūro GIP - 1,6 trln. m³ (išgaunama skalūnų dujos - 14–741 mlrd. m³) 2013–2014 m. (Grigelis, 2014). Europos netradicinių naftos ir dujų vertinimo projektas (EUOGA) JRC-IET užsakymu, apibendrinio skalūnų dujų ir skalūnų naftos geologinių išteklių vertinimus visose Europos šalyse. Lietuvos teritorijoje dujų apimtys, skaičiuojant tikimybei P90, siekia 187 mlrd. m³ (tikimybė P50 - 256 mlrd. m³, o tikimybė P10 - 391 mlrd. m³). Apskaičiuota, kad bendras naftos kiekis – 143 mln. m³ skaičiuojant tikimybei P90 (atitinkamai 323 mln. m³ tikimybei P50 ir 617 mln. m³ tikimybei P10).

4. DARBO METODIKA

Apatinio silūro uolienų kerno mėginiai buvo paimti iš 26 giliųjų gręžinių gręžtų Vakarinėje Lietuvos dalyje (13 pav.). Taip pat buvo panaudotos geofizinių tyrimų gręžiniuose diagrafijos kreivės tikslinant stratigrafinį pjūvio suskirstymą bei apskaičiuojant OM kiekį uolienoje ir molio skalūnų trapumo indeksą.

Kerno mėginiai buvo išsiųsti į skirtingas akredituotas laboratorijas (pvz. Core Laboratories, Weatherford Laboratories, taip pat Lietuvos geologijos tarnybos laboratoriją, Fizinių mokslų ir technologijų centro laboratoriją Vilniuje). Taip pat buvo bendradarbiauta su Gamtos tyrimų centru tiriant uolienas su skenuojančiu elektronų mikroskopu.

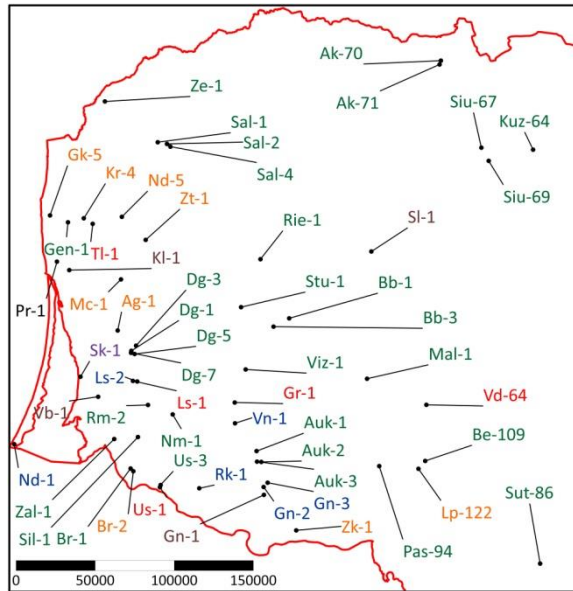


13 pav. Gręžiniai, kuriuose imti molingų uolienų mėginiai tyrimams

4.1. Petrografiniai tyrimai

Rentgenostruktūrinės difrakcijos (XRD) duomenys buvo gauti bendradarbiaujant su Core Laboratories (<https://www.corelab.com>) ir papildyta matavimais, atliktais Fizinių mokslų ir technologijų centro laboratorijoje Vilniuje. Tirti 73 mėginiai paimti iš 16 gręžinių (14 pav.).

Kiekybinė duomenų interpretacija remiasi metodika, kurią pasiūlė Srodon et al., 1992, 2001; Mystkowski et al., 2002. Mineralų identifikavimas buvo pagrįstas eksperimentinių d-verčių atitikimais su diagnostiniais hkl/atspindžiais, gautais iš Tarptautinio difrakcijos duomenų centro (1993).



14 pav. Tirtų gręžinių žemėlapis. Gręžiniai: geofizinių tyrimų gręžiniuose diagramų interpretacija - Ag-1 – Agluonai-1, Br-2 – Barzdėnai-2, Gk-5 – Girkaliai-5, Kr-4 – Kretinga-4, Zt-1 – Žūtautai-1, Nd-5 – Nausodis-5, Mc-1 – Macučiai-1, Lp-122 – Lapgiriai-122, Zk-1 – Žukai-1; gręžinio kerno XRD tyrimai - Sk-1 – Sakučiai-1; geofizinių tyrimų gręžiniuose diagramų interpretacija ir kerno XRD tyrimai - Gn-2 – Geniai-2, Gn-3 – Geniai-3, Ls-2 – Lašai-2, Nd-1 – Nida-1, Rk-1 – Rūkai-1, Vn-1 – Vainutas-1; kerno XRD tyrimai ir petrofiziniai tyrimai - Gr-1 – Gorainiai-1, Tl-1 – Toliai-1, Ls-1 – Lašai-1, Us-1 – Usėniai-1, Vd-64 – Vidukė-64; petrofiziniai tyrimai - Sil-1 – Šilutė-1, Rie-1 – Rietavas-1, Br-1 – Barzdėnai-1, Gen-1 – Genčiai-1, Nm-1 – Naumiestis-1, Rm-2 – Ramučiai-2, Us-3 – Usėnai-3, Ak-70 – Akmenė-70, Ak-71 – Akmenė-71, Auk-1 – Aukštupiai-1, Auk-2 – Aukštupiai-2, Auk-3 – Aukštupiai-3, Bb-1 – Baubliai-1, Bb-3 – Baubliai-3, Dg-1 – Diegliai-1, Dg-3 – Diegliai-3, Dg-5 – Diegliai-5, Dg-7 – Diegliai-7, Mal-1 – Maldūnai-1, Sal-1 – Salantai-1, Sal-2 – Salantai-2, Sal-4 – Salantai-4, Siu-67 – Šiupyliai-67, Siu-69 – Šiupyliai-69, Ze-1 – Žemytė-1, Be-109 – Bebirva-109, St-1 – Stumbriai-1, Viz-1 – Vizdžiaugai-1, Zal-1 – Žalgiriai-1, Kuz-64 – Kužiai-64, Sut-86 – Sutkai-86, Pas-94 – Pašaltuonis-94; geofizinių tyrimų gręžiniuose diagramų interpretacija, kerno XRD tyrimai ir petrofiziniai tyrimai - Gn-1 –

Geniai-1, SI-1 – Slapgiriai-1, KI-1 – Klaipėda-1, Vb-1 – Vabalai-1; geofizinių tyrimų gręžiniuose diagramų interpretacija ir petrofiziniai tyrimai - Pr-1 – Purmaliai-1.

Mėginiai susmulkinami ir sumalami iki $<2 \mu\text{m}$, 3 g mėginio proporcijoje naudojant 4 ml metanolio. XRD analizė atlikta „Bruker X-ray D8 Advance“ difraktometru esant 50kV elektros įtampai ir 40 mA srovei. Ne molio mineralai tirti 2 s per $0,02^\circ 2\theta$ žingsniu, o molio mineralai papildomai „nuskaityti“ 5 s per $0,01^\circ 2\theta$ pakopą $59\text{--}64^\circ 2\theta$ intervalu. Empirinės kalibravimo kreivės naudojamos norint susieti „organinio piko“ plotą XRD pėdsakuose su OM kiekiu. Analizės metu gautos kreivės kalibruojamos naudojant mėginių XRD modelius, kurie siejami su standartu (Mandile ir Hutton, 1995).

Silūro skalūnų mėginių petrografinė sudėtis tirta skenuojančiu elektroniniu mikroskopu QUANTA 250 su EDX (SEM) (1,0 nA elektros srovė esant 15–20 kV įtampai). Šie tyrimai buvo derinami su rentgeno spindulių difrakcijos (XRD) analizės rezultatais. Nustatyta mineralų sudėtis buvo naudojama apskaičiuojant skalūnų trapumo indeksą taikant koreliacijos lygtis nustatytas skirtingiems regionams (Jarvie at al, 2007; Wang, Gale, 2009, Pachytel et al., 2016). Skaičiavimo metodika pateikta kitame skyriuje aptariant uolienu trapumą.

4.2. Uolienu mechaninės savybės

Vienas iš naudojamų metodų uolienu trapumui įvertinti yra pagrįstas gniuždymo ir tempimo stiprumo sąsajos nustatymu (Altindag, 2003). Silūro molingų uolienu stiprumo parametrai buvo išmatuoti Lietuvos geologijos tarnybos laboratorijoje. Išmatuoti vienašiai gniuždymo ir tempimo stipriai, naudojant „Pilot 4“ įrangą, pritaikant Tarptautinės uolienu mechanikos draugijos metodiką (ISRM, 2007). Tyrimų metodika yra ši: mėginiai supjaustomi į cilindrus, kurių aukščio ir skersmens santykis 2,5, o skersmuo yra maždaug 56 mm, mėginių šonai lygūs. Uolienos mėginys 10 minučių veikiamas apkrovos (spaudimas arba tempimas), esant 0,5 MPa/s įtempio didėjimo greičiui.

Naudojantis žemiau pateikta priklausomybe, galima apskaičiuoti uolienos mechaninio trapumo indeksą:

$$BI = \frac{C_0 - \sigma_T}{C_0 + \sigma_T} \quad [1]$$

čia C_0 yra neapspausto gniuždymo stipris (UCS) ir σ_T yra tempimo stipris.

4.3. Mineraloginis ir geofizinės diagrafijos trapumo indeksai

Praktikoje dažniausiai yra naudojamas mineraloginis trapumo indeksas, siejantis uolienos trapumą su jos mineralogine sudėtimi (pvz. Jarvie et al., 2007; Wang, Gale, 2009; Kias et al., 2015; Gloriosor, Rattia, 2012; Rybacki et al., 2016):

$$MBI = \frac{Qz}{Qz + Ca + Cly} \quad [2],$$

$$MBI = \frac{Qz + Dol}{Qz + Dol + Ca + Cly + TOC} \quad [3],$$

$$MBI = \frac{Qz + Dol + Ca + Feld + Plg}{Qz + Dol + Ca + Feld + Plg + Clay + Sid + TOC} \quad [4],$$

[2] – Jarvy et al. lygtis, [3] – Wang and Gale lygtis, [4] – Pachytel et al., čia Qz – kvarco kiekis, Ca – kalcito kiekis, Cly – molio mineralų kiekis, Dol – dolomito kiekis, TOC – bendras organinės anglies kiekis, Feld – feldšpato kiekis, Plg – plagioklazo kiekis, Sid – siderito kiekis.

Vakarų Lietuvoje retas gręžinys gręžtas per silūro storyme su kerno pakėlimu. todėl trapumo indeksas buvo apskaičiuotas remiantis geofizinių tyrimų gręžiniuose duomenimis (Jin ir kt., 2014). Karbono amžiaus Barnett skalūnams (Jin et al., 2014), globali koreliacija, nustatyta bendrai Barnett, Woodford ir Eagle Ford (“globaliems“) skalūnams (Jin et. al., 2014), ir devono Woodford lygtis (Jin et al., 2014):

$$\text{Woodford LBI} = -0.012 \times \text{DTC} + 1.4921 \quad [5],$$

$$\text{Barnett LBI} = -0.01104 \times \text{DTC} + 1.4941 \quad [6],$$

$$\text{Globali LBI} = -0.0142 \times \text{DTC} + 1.7439 \quad [7],$$

čia LBI (*logging brittleness index*) yra diafragijos trapumo indeksas (bedimensis), DTC yra akustinės bangos sklidimo lėtumas ($s^2/pėda$).

4.4. Uolienu petrofizinės savybės

Katijonų mainų gebos (CEC), uolienu brinklumo ir stabilumo hidraulinei erozijai tyrimai buvo atlikti bendradarbiaujant su „Core Laboratories“ (<https://www.corelab.com>) ir Weatherford Laboratories (<https://www.weatherford.com>). Buvo tirti 72 mėginiai paimti iš 8 gręžinių.

CEC matavimams buvo naudojama Co (III) -heksamino 3 + katijonų mainų spektrofotometrinė metodika (Bardon et al.1993). Mėginiai yra susmulkinami ir išdžiovinami, po to sijojami ir mažesnė nei 2 mm frakcija mechaniškai padalijama į dalis. Tiriamieji mėginiai sumaišomi su 50 ml Co (III) -heksamino 3 + chlorido tirpalu, kratomi 60 minučių ir 20 minučių centrifuguojami 4000 r / min greičiu. Po bandomojo tirpalo mėginys perkeliamas į spektrofotometrą ir optinė absorbcija matuojama 475 nm ilgio bangai.

Remiantis išvadomis, kad vidutinis bentonitų ir skalūnų smektito sluoksnio krūvio tankis yra artimas reikšmėms 0,4 per O10 (OH) 2, nustatytos CEC reikšmės buvo konvertuotos į smektito ekvivalentą (SmEq), darant prielaidą, kad teorinė CEC reikšmė yra 95–100 meq / 100 g smektito illito-smektito ir gryno smektito sudėtyje (Srodon ir kt., 1992, 2009; Srodon, McCarty, 2008). Todėl smektito ekvivalentas yra gryno virtualaus smektito kiekis mėginyje, apibrėžtas kaip gryno smektito ir mišraus sluoksnio illito-smektito suma.

Uolienu mėginio brinklumas buvo matuotas taikant kapiliarų absorbcijos laiko (CST) metodiką. Buvo tirti 9 mėginiai (2 uenlokio amžiaus mėginiai, 7 landoverio amžiaus mėginiai), atrinkti iš 7 gręžinių. CST testas buvo atliekamas naudojant „Fann model 440 CST“ laikmatį: CST testo matuoklis fiksuoja fluido sulaikymo dalį skiedinyje, kuris yra sudarytas iš uolienos ir testuojamo fluido. Skiedinys dedamas į piltuvą ant chromatografinio popieriaus. Laikmatis matuoja laiką, per kurį skystis turi būti pašalinamas iš skiedinio absorbuojant jį chromatografiniu popieriumi. Jutikliai paleidžia laikmatį, kai skystis pasiekia maždaug 0,635 cm nuo piltuvėlio ir sustabdo laikmatį 2,54 cm atstumu nuo piltuvėlio. Uolienu mėginys su ištirpstančiais arba brinkstančiais moliais turėtų turėti mažesnę pseudo pralaidumą ir ilgesnį CST laiką.

Molių uolienu stabilumo erozijai charakteristikos buvo nustatytos naudojant „Roller“ krosnies įrangą, pritaikius metodiką, kurią pasiūlė American Petroleum Institute (2004). Buvo analizuoti 9 mėginiai, surinkti iš

7 gręžinių. Molingos uolienos dalelių reakcijos su reaguojančiais skysčiais įvertinimui naudojama modifikuota API RP 13i procedūra. Uolienu mėginiai sumalami iki dalelių mažesnių nei 2 mm, ir didesnių nei 0,425 mm. Po to jie padalijami po lygiai ir paskirstomi į 10 mg mėginius. Mėginiai pasveriami ir įdedami į buteliuką kartu su 50 ml skysčio. Fluido dalelių cirkuliacija 16–24 valandų laikotarpyje esant 100oC ir 200oC temperatūrai imituojama „Roller“ krosnyje. Dalelių dydžio sumažėjimas dėl mechaninio dilimo reaguojančiame skystyje nustatomas prasiavus mėginius per 70 akių sietą (0,269 mm), nuplovus, išdžiovinus ir dar kartą pasvėrus.

Iš naftos žvalgybos ataskaitų buvo surinkti 258 Vakarų Lietuvos ankstyvojo ir vėlyvojo silūro molingų uolienu poringumo matavimo duomenų. Bendras ir efektyvus poringumas buvo tirtas Vilniaus geologijos ir geografijos institute, daugiausia aštuntajame dešimtmetyje. Poringumas buvo matuotas ant 2 cm skersmens kerno kamščių su helio porozimetru HGP 100. Skalūnų sutankėjimas (kompakcija) buvo nustatytas remiantis geofizinių tyrimų gręžiniuose diagramomis ir jų koreliacija.

5. REZULTATAI

5.1. Mineraloginė apatinio silūro molingų uolienuų sudėtis

Vakarų Lietuvoje molingų uolienuų mineraloginės analizės nustatymui buvo panaudotas 15 gręžinių kernas. Tirta 120 mėginių, kurie buvo atrinkti iš landoverio argilitų. Mineralų nustatymui buvo taikytas rentgeno difrakcijos (XRD) metodas, kurio rezultatai vėliau patikslinti skenuojančiu elektriniu mikroskopu (SEM). XRD analizės metu gauti rezultatai pateikti 1 lentelėje.

1 lentelė. XRD analizės rezultatai (%), gręžiniai: Gn-1 – Geniai-1, Gn-2 – Geniai-2, Gn-3 – Geniai-3, Gor-1 – Gorainiai-1, Kl-1 – Klaipėda-1, Ls-1 – Lašai-1, Ls-2 – Lašai-2, Nd-1 – Nida-1, Ru-1 – Rusnė-1, Sak-1 – Sakučiai-1, Sl-1 – Salantai-1, Tl-1 – Toliai-1, Us-1 – Usėnai-1, Vab-1 – Vabalai-1, Vai-1 – Vainutas-1, Vd-64 – Viduklė-64

Gręžinys	Gylis (m)	Kvarcas	Lauko špatas	Plagioklazas	Kalcitas	Sideritas	Dolomitas	Piritas	Kaolinitas	Chloritas	Ilitas+I-S	TOC
Gn-1	1753	32.1	3.9	2.4	13.6	0.3	4.5	0.8	1.2	8.9	29.1	3.3
Gn-2	1757	20.1	1.4	0.9	44.8	0.2	0.4	1.2	1.3	7.7	20.4	1.9
Gn-3	1759	30.5	4.8	2.4	4.1	0.3	1.1	2.8	2.9	11.5	29.4	10.3
Gor-1	1915	30	3	4	2	0.1	1	0.3	2	9	49	0.2
Gor-1	1917	29	2	3	7	0.1	4	0.8	2	9	44	5.59
Gor-1	1917.5	31	3	4	6	0.3	1	0.9	5	9	41	7.66
Gor-1	1918	30	1	2	8	0.1	0.9	0.6	3	11	44	5.55
Gor-1	1918.6	32	3	3	15	0.2	2	1	2	9	34	8.86
Gor-1	1918.75	16	0.3	1	47	0.1	0.5	0.5	2	5	29	4.49
Gor-1	1919	25	1	2	24	0.1	2	0.5	2	8	38	4.9
Gor-1	1920	32	4	2	7	0.1	0.7	1	1	10	42	10.1
Gor-1	1920.5	29	4	0.4	3	0.1	0.7	0.7	2	12	49	5.96
Gor-1	1920.75	30	3	0.6	2	0.1	0.7	2	1	10	51	6.45
Gor-1	1921	30	2	1	3	0.1	0.6	1	2	8	52	8.53
Gor-1	1921.25	26	4	0.1	15	0.1	1	0.8	0.4	8	45	4.35

Gręžinys	Gylis (m)	Kvarcas	Lauko špatas	Plagioklazas	Kalcitas	Sideritas	Dolomitas	Piritas	Kaolinitas	Chloritas	Ilitas+I-S	TOC
Gor-1	1921.75	27	5	0.1	9	0.1	0.5	2	2	7	49	7.69
Gor-1	1922	29	4	0.1	7	0.1	0.4	1	2	11	47	7.52
Gor-1	1922.5	31	4	0.5	3	0.1	0.8	2	3	12	44	9.71
Gor-1	1922.8	20	5	2	3	0.1	0.4	3	3	8	36	7.86
Gor-1	1923.5	8	0.9	1	77	0.1	2	0.5	2	3	7	0.13
KI-1	2025	32.2	2.8	6	3.4	0.4	2.3	1.4	2.1	16.9	30.7	1.9
KI-1	2028	32.5	1.9	4.4	6.6	0.5	4	0.7	2	18.3	28.6	0.5
KI-1	2037	33.8	1.9	6.3	0.7	0.4	2.5	0	3.3	21.6	28.4	1
KI-1	2039	35.1	2.6	4.1	0.2	0.6	1.7	0.5	1.6	20.7	32.9	0.1
KI-1	2041.5	29	4	3	17	0.1	1	1	1	9	36	8.53
KI-1	2041.9	29	3	3	2	0.1	2	2	3	12	45	5.44
KI-1	2042.5	26	5	2	3	0.1	3	5	3	12	41	5.88
KI-1	2043	25.7	2.8	2.3	35.6	0.3	1.3	1.6	1.4	5.9	21.8	1.4
KI-1	2043.3	33	2	2	7	0.1	1	2	2	10	42	6.8
KI-1	2043.7	29	3	2	6	0.1	0.7	2	2	12	44	8.22
KI-1	2044.3	21	3	2	30	0.4	2	3	3	11	25	5.46
KI-1	2044.8	30	4	3	4	0.1	0.4	1	3	11	45	9.81
KI-1	2045	31.2	4.5	3	3.1	0.3	0.7	2.8	5.3	4.8	36.7	7.7
KI-1	2045.3	31	2	2	4	0.2	0.7	3	2	12	44	9.1
KI-1	2046	27	5	1	10	0.1	0.6	1	1	9	46	8.05
KI-1	2046.3	29	6	2	3	0.1	0.7	3	3	11	44	8.85
KI-1	2047	30	5.1	1.7	6.7	0	1.1	5.7	1.6	6.7	33.4	7.9
KI-1	2047.25	31	6	0.1	2	0.2	1	4	3	7	48	8.07
KI-1	2047.5	34	6	0.2	2	0.3	1	5	3	6	44	8.06
KI-1	2047.7	29	7	1	2	0.1	0.5	4	4	6	47	9.27
KI-1	2048.25	30	5	0.8	0.7	0.2	0.4	8	4	5	47	7.4
KI-1	2049	31	6	0.6	2	0.2	1	6	3	7	44	7.22
KI-1	2049	29.5	3.7	2.1	0.3	0.3	0.5	8.3	1.5	7.2	40.3	5.9
KI-1	2052	10.1	0.9	0.8	44.7	0	11	3.1	0.8	4	16.1	9
Ls-1	1984.5	32	5	0.2	0	0.1	0.7	2	1	11	49	2.54
Ls-1	1985	29	4	0.3	1	0.1	3	3	1	14	46	3.62

Gręžinys	Gylis (m)	Kvarcas	Lauko špatas	Plagioklazas	Kalcitas	Sideritas	Dolomitas	Piritas	Kaolinitas	Chloritas	Ilitas+I-S	TOC
Ls-1	1985.7	30	5	0.6	0.7	0.1	2	2	1	9	51	3.48
Ls-1	1988.5	14	0.4	0.5	64	0.1	0	0.3	1	3	17	0.12
Ls-2	1973	37.6	3.8	6.1	0	0.3	1.7	0.4	1.6	22.3	25.9	0.3
Ls-2	1975	31.8	4.1	3	5.5	0.3	4.4	1.8	2	12.5	32	2.6
Ls-2	1979	33.5	4.6	1.7	8.7	0.4	1.3	1.8	1.9	15.4	25.5	5.2
Nd-1	1968	37.8	3.1	4.6	0	0.3	1.9	0	2	17.5	32.2	0.8
Nd-1	2036	33	2.5	5.6	8	0.4	9.4	3	1.4	13.5	23.1	0.2
Ru-1	1882	16.4	1.6	2.2	6.8	0	0	30.2	6.5	3.7	30.9	1.5
Ru-1	1885	31.1	2.5	2.3	20.2	0.5	1.1	2.4	1.6	9	24.1	5.3
Ru-1	1889	21.8	2.2	1.5	37.5	0.3	1.1	2.8	0.6	9.3	20.4	2.6
Sak-1	1905	39.2	2.7	1.4	1.4	0.8	0.7	1.7	1.5	17.2	32.4	1.2
SI-1	1702	26	5	3	17	0.4	3	2	4	7	33	15.3
SI-1	1704	24	6	2	12	0.1	0.4	1	2	8	44	6.95
SI-1	1704.8	26	4	3	20	0.1	0.6	0.6	3	9	35	3.31
SI-1	1706.75	29	6	3	10	0.2	0.5	3	3	6	41	9.81
SI-1	1707	24	5	4	19	0.2	1	1	3	11	33	6.01
SI-1	1707.75	28	5	3	12	0.1	4	1	2	7	39	7.58
SI-1	1708.5	25	4	3	18	0.3	4	1	2	9	35	5.08
SI-1	1709	27	5	3	13	0.1	3	1	3	10	36	9.58
SI-1	1710.6	23	5	3	12	0.1	0.9	1	4	12	40	16.3
SI-1	1711.2	24	5	3	14	0.2	1	1	3	9	41	6.49
TI-1	1929.8	17	2	2	40	0.1	1	0.4	0.9	11	27	0
TI-1	1931.2	27	5	2	5	0.1	2	2	1	13	42	10.7
TI-1	1931.5	32	5	2	2	0.1	0.7	1	3	10	45	12
TI-1	1932.7	29	5	3	8	0.3	1	1	3	10	41	9.06
TI-1	1932.9	29	5	2	9	0.1	0.7	1	2	8	43	8.66
TI-1	1933.2	27	5	1	10	0.2	2	3	1	9	42	7.66
TI-1	1933.5	26	5	2	22	0.2	1	2	2	8	33	8.78
TI-1	1933.75	31	4	2	7	0.2	1	1	3	10	42	8.82
TI-1	1934.5	31	5	2	5	0.1	0.5	4	3	10	40	10
TI-1	1934.6	30	4	3	6	0.1	0.6	1	3	11	42	9.64
TI-1	1935	37	5	3	1	0.1	0.2	0.7	4	9	40	15.1

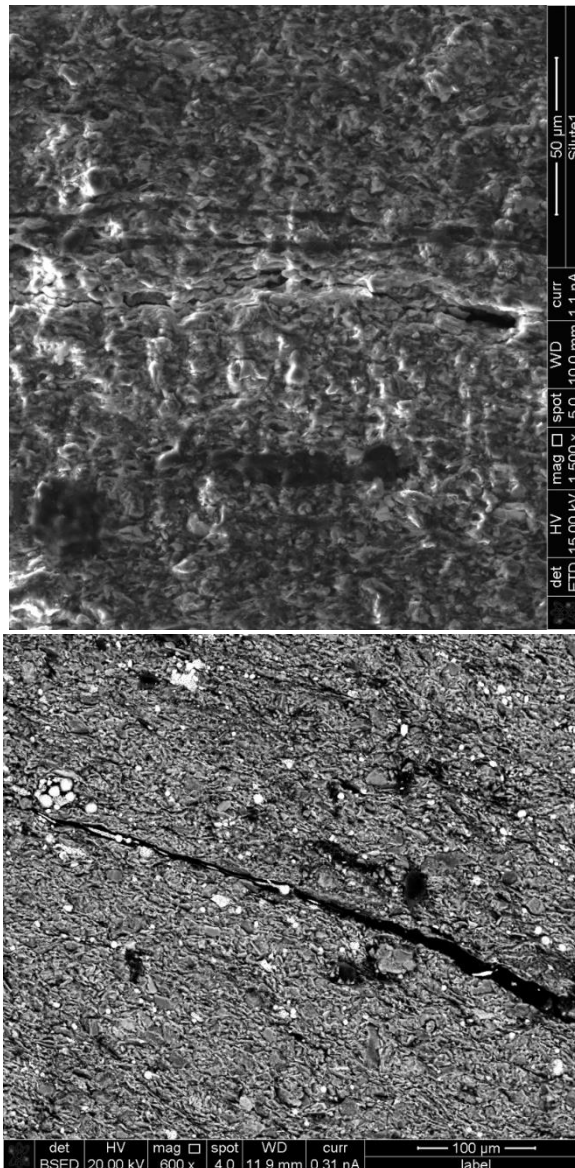
Gręžinys	Gylis (m)	Kvarcas	Lauko špatas	Plagioklazas	Kalcitas	Sideritas	Dolomitas	Piritas	Kaolinitas	Chloritas	Ilitas+I-S	TOC
Tl-1	1935.2	22	4	2	35	0.5	0.7	0.9	2	6	29	9.56
Tl-1	1935.4	31	6	2	10	0.1	0.5	2	3	7	39	10.3
Us-1	1919	30	4	5	7	0.2	4	2	0.5	9	40	1.5
Us-1	1931.5	12	0.5	0.8	63	0.1	0.9	0.3	1	5	18	2.66
Us-1	1932	22	5	5	4	0.1	2	2	4	13	44	2.72
Us-1	1934.5	26	3	1	14	0.1	3	1	1	8	43	3.82
Us-1	1935.3	28	4	3	7	0.1	1	6	2	6	43	9.84
Us-1	1935.8	26	5	2	10	0.1	0.4	2	2	5	48	7.85
Us-1	1936	28	4	0.6	12	0.1	0.6	2	2	6	45	7.56
Us-1	1937.8	29	5	2	8	0.2	0.7	2	2	7	45	8.17
Us-1	1938.8	24	7	0.7	15	0.1	1	3	3	6	42	8.56
Vab-1	1996	34	2.9	5.2	4.7	0.5	4.5	0	2.2	17	28.8	0.2
Vab-1	1999	34	2.7	3.8	0	0.4	1.7	0	2.7	27.5	27	0.2
Vab-1	2010	29	5	1	7	0.1	2	6	2	8	42	10.5
Vai-1	1895	26.8	2.7	1.6	27.3	0	1.8	0	2.5	10.2	23.8	3.4
Vai-1	1900	32.8	3.4	1.5	16.8	0.3	2.6	0.8	1.9	13	25.5	1.5
Vai-1	1905	39.3	2.7	1.4	1.4	0.8	0.7	1.7	1.5	17.2	32.5	0.9
Vd-64	1468	26	6	2	9	0.2	1	0.9	3	11	42	15.8
Vd-64	1470	23	7	3	12	0.2	1	0.8	3	9	41	11.6
Vd-64	1472.2	27	7	4	13	0.2	0.7	1	4	6	37	15.4

Apatinio silūro skalūnuose OM kiekis gana kaitus (Šliaupa et al., 2016). Kaip rodo XRD tyrimai, TOC kiekis apatinio silūro moliuose yra apie 2%, o apatiniame juodo molio sluoksnyje siekia net iki 21% (Lazauskienė et al., 2014; Šliaupa et al., 2016).

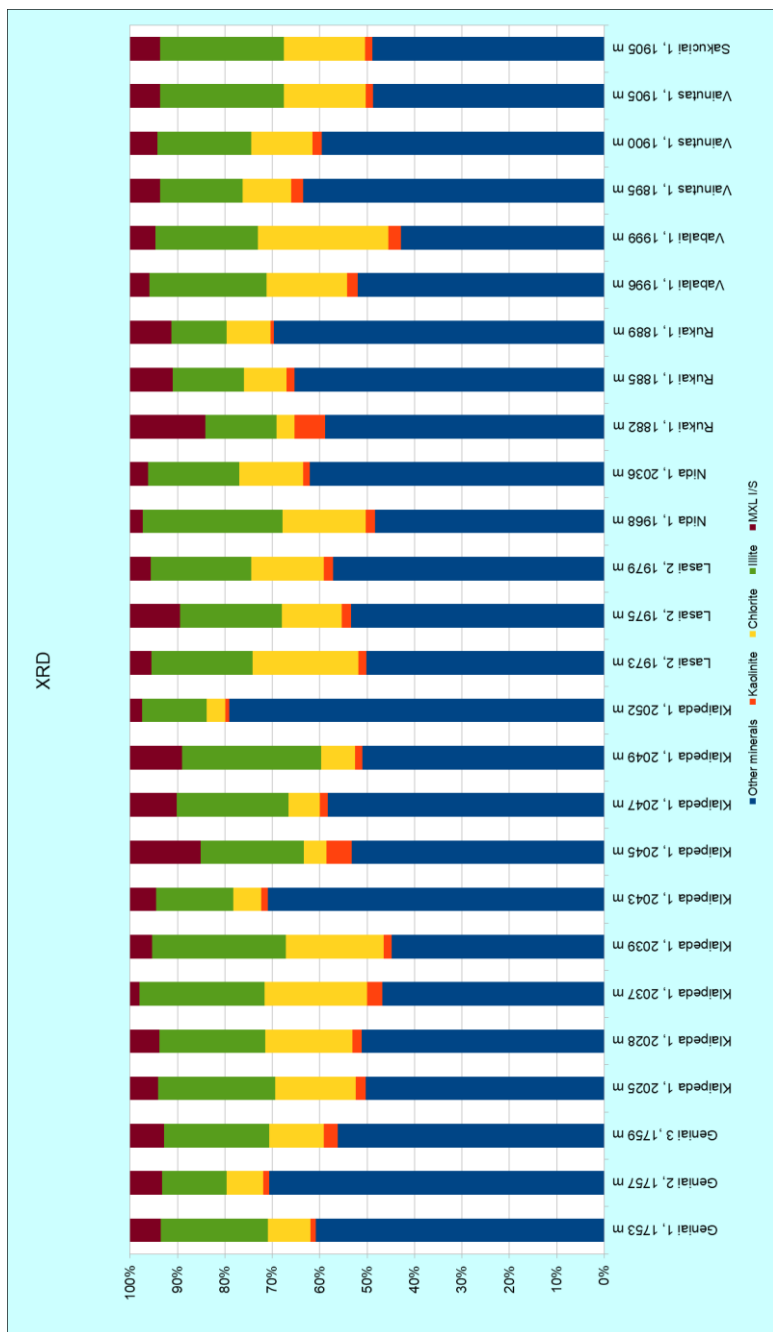
SEM petrografinė analizė rodo, kad OM daugiausia koncentruojasi ant sluoksniavimosi paviršių ir sudaro skirtingo storio mikrometrų linzes (laminas), taip pat yra smulkiai išbarstyta uolienoje (15 pav.).

XRD duomenys, kurie pateikti 1 lentelėje rodo, kad molio mineralų kiekis Vakarų Lietuvos apatinio silūro moliuose kinta nuo 37% iki 57%. SEM ir XRD tyrimais molio mineraluose vyrauja ilitas ir mišrus ilito-smektito (I-S) mišinys (16 pav.). Ilito dalis molio frakcijoje kinta nuo 36% iki 69%, o I-S

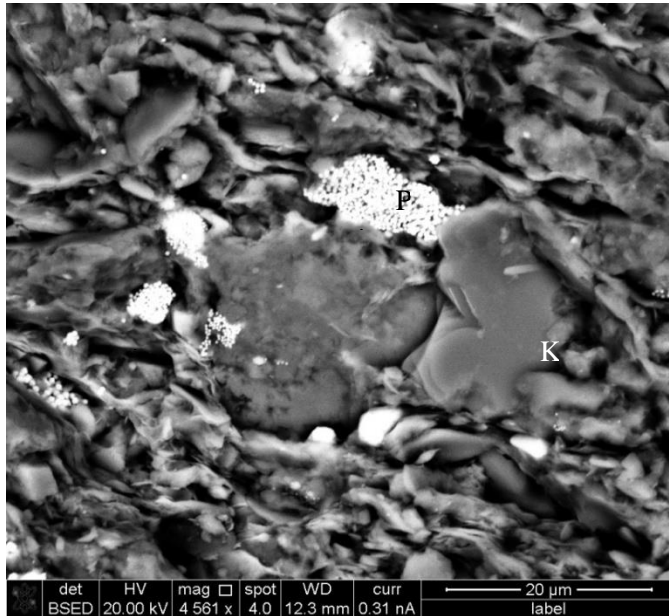
dalis yra 5–35%. I-S moliuose yra 5–10% smektito dalies (19, 20 pav.). Chloritas taip pat sudaro didelę molio mineralų dalį (12–51%) (18 pav). Kaolinitas sudaro tik nedidelę molio mineralų dalį (2–7%, dviejuose mėginiuose yra 14% ir 21% kaolinito) (17 pav.).



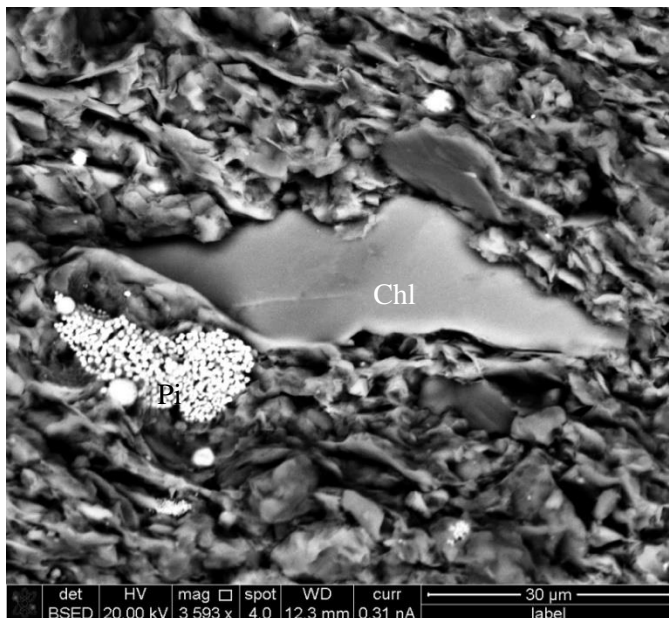
15 pav. SEM mikrografija, organinės medžiagos pasiskirstymas, gręžiniai: Šilutė-1 (viršuje), Klaipėda-1 (apačioje)



16 pav. XRD analizių molio mineralų procentiniai kiekiai gręžiniuose: Geniai-1, Geniai-2, Geniai-3, Klaipėda-1, Lašai-2, Nida-1, Rukai-1, Vabalai-1, Vainutas-1, Sakučiai-1. Raudona – ilitas-smektitas, žalia – ilitas, geltona – chloritas, orandžinė – kaolinitas, mėlyna – kiti mineralai (ne moliai)

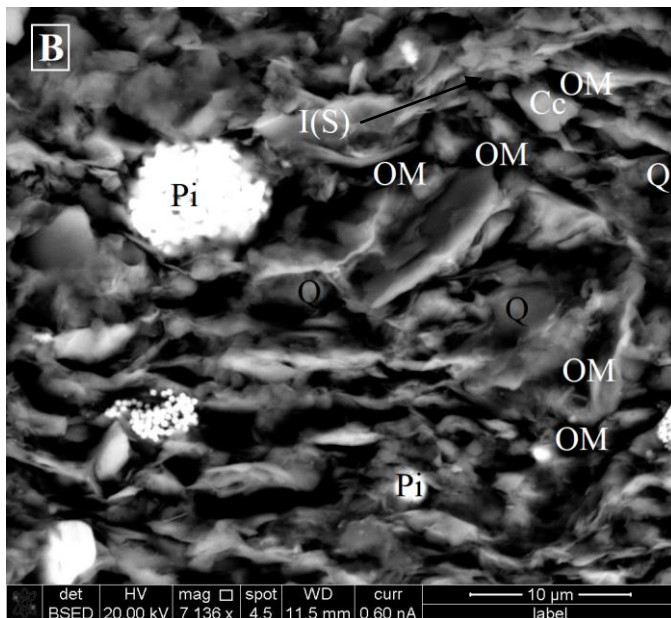


17 pav. SEM mėginio paviršiaus (vertikaliai sluoksniavimuisi) mikrografija, landoverio skalūnas, gylis 2041,9, grėžinys Klaipėda-1. Centrinėje dalyje kaolinitas (K), šalia antrinis piritas (fromboidas) (Pi), ilito (su smektitu) masė (I(S))



18 pav. SEM mėginio paviršiaus (vertikaliai sluoksniavimuisi) mikrografija, landoverio skalūnas, gylis 2041,9, grėžinys Klaipėda-1. Centrinėje dalyje

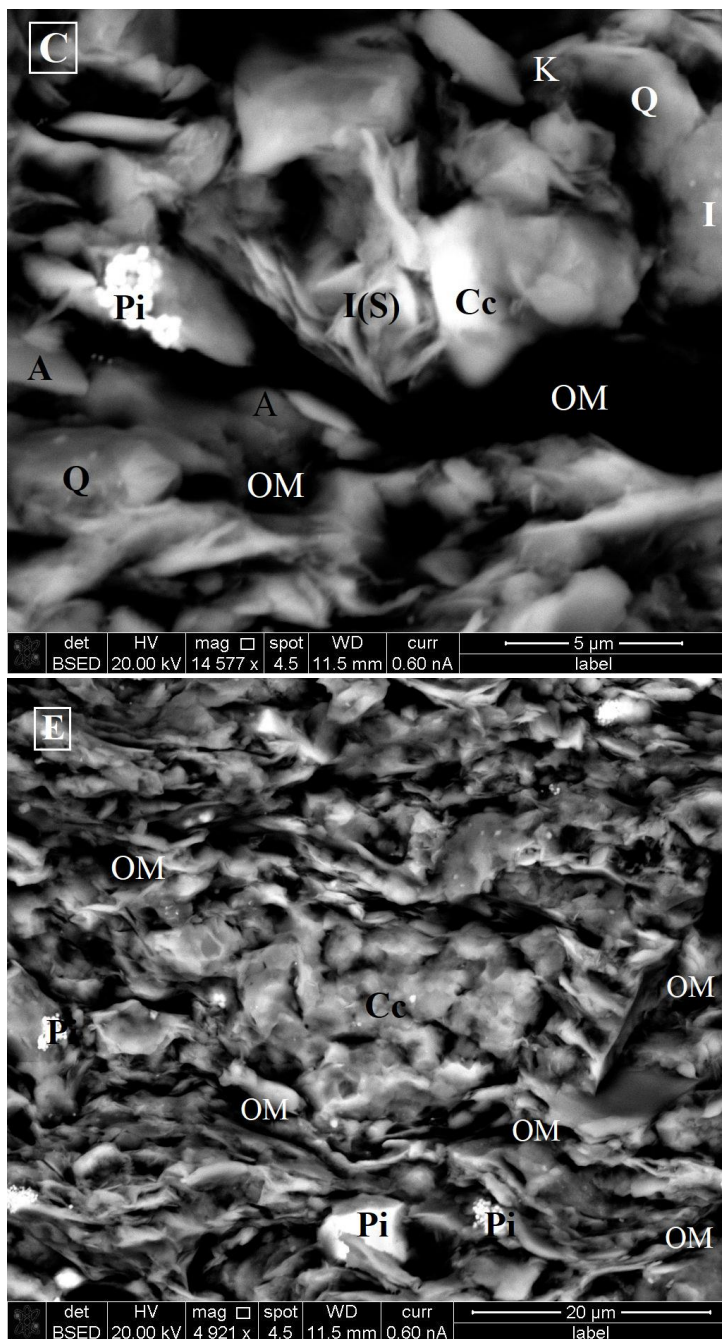
chloritas (Chl), šalia ir pavieniai antriniai piritai (fromboidas) (Pi), ilito (su smektitu) masė (I(S))



19 pav. SEM mėginio paviršiaus (vertikaliai sluoksniavimusi) mikrografija, landoverio skalūnas, gylis 2041,9, grėžinys Klaipėda-1. Iltas su smektito tarpsluokniais (I(S)), fromboidinis piritas – susikonglomeravęs į mažus ir didelius gniužulus (Pi), kvarco kristalai (Q), reti maži kalcito kristalai (Cc), organinė medžiaga pasiskirsčiusi molinėje masėje (OM)

Molio skalūnuose gausu detritinio kvarco ir feldšpatų (1 lentelė). Pastebima nuosėdų grūdelių korozija, tai rodo, kad laidojimo metu vyko diagenetiniai pakitimai, dėl kurių mineralai buvo veikiami „agresyvaus“ porų vandens (19, 20 pav.). Kvarco kiekis yra 11–40%, o feldšpatų 2–10% (kalio feldšpatų 1,5–5,5% ir plagioklazų 0,9–6,4%). Kvarco ir feldšpatų santykis kinta 3,8–9,7, bet daugiausia yra 5–6. Bendras detritinio kvarco ir feldšpatų kiekis svyruoja nuo 13–48%, o pagrindinis - nuo 35–45%.

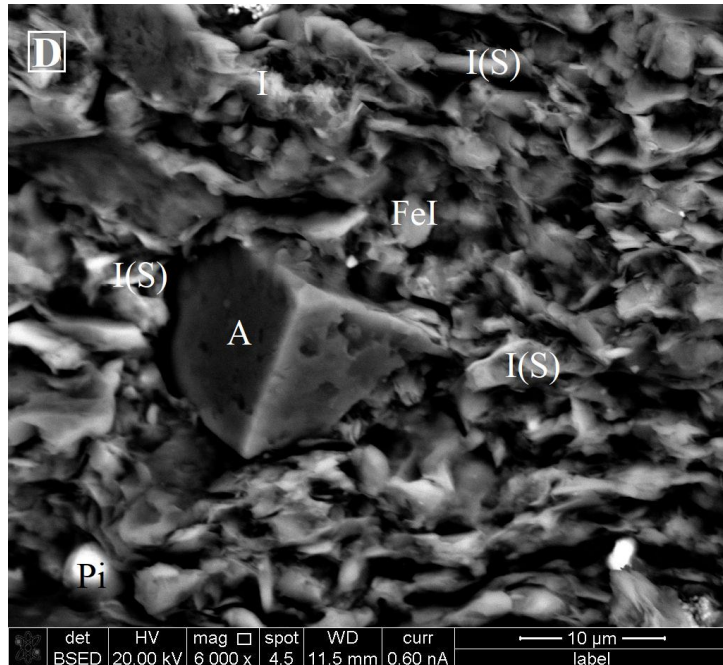
Kalcitas yra dažnas mineralas apatinio silūro moliuose. Galima rasti ankstyvą ir vėlyvą diagenetinio kalcito generacijas. Dažniausiai ankstyvasis diagenetinis kalcitas sudaro mikrometrų dydžio linzes (20 pav.). Rečiau kalcitas randamas vėlyvosios diagenozės kristalų pavidale.



20 Pav. SEM mėginio paviršiaus (vertikaliai sluoksniavimuisi) mikrografija, landoverio molis, gylis 2041,9 m, grėžinys Klaipėda-1. Viršuje - ilitas su smektitu I(S) apsupa tirpdyimo porą (buvęs kalcitas?), kalcito (Cc) ir ankerito (A) kristalai, maži kvarco grūdai (Q) gausus OM kiekis, ilitas (I), kaolinito

plokštelės (K); Apačioje-mikritinis kalcitas (Cc) ilitinėje (su smektitu) molingoje masėje, gausu OM, reti piritokristalai (Pi)

Skalūnuose dažnai pasitaiko idiomorfinių vėlyvosios diagenozės dolomito kristalų. Greičiausiai šie kristalai yra susiję su I-S molio mineralų transformacija, kuri siejama su magnio ir kalcio katijonų išsiskyrimu į porų vandenį. Didžiausia 9,4% koncentracijos vertė buvo nustatyta gręžinyje Nida-1, o paprastai kinta nuo 1% iki 2% (21 pav.).

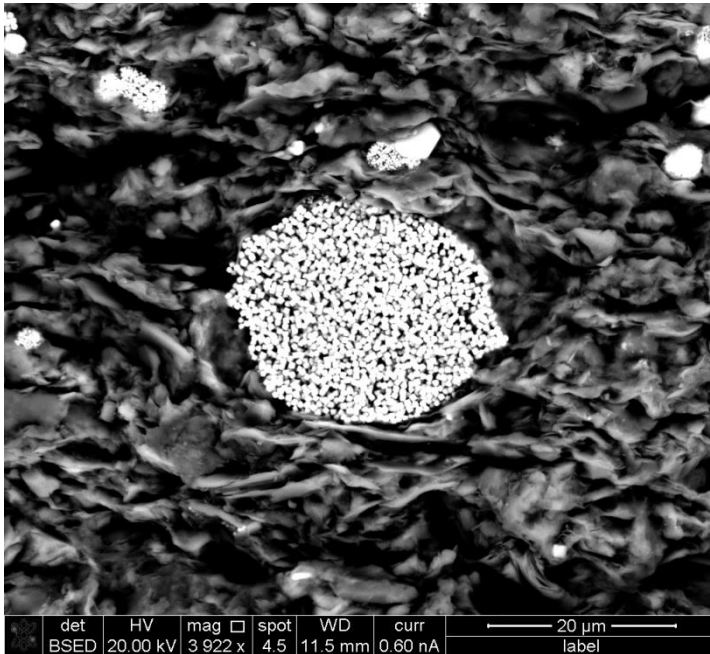


21 pav. SEM mėginio paviršiaus (vertikaliai sluoksniavimusi) mikrografija, lamprofito skalūnas, gylis 2041,9, gręžinys Klaipėda-1. Idiomorfinis ankeritas (A) ilitinėje (su smektitu) masėje (I(S))

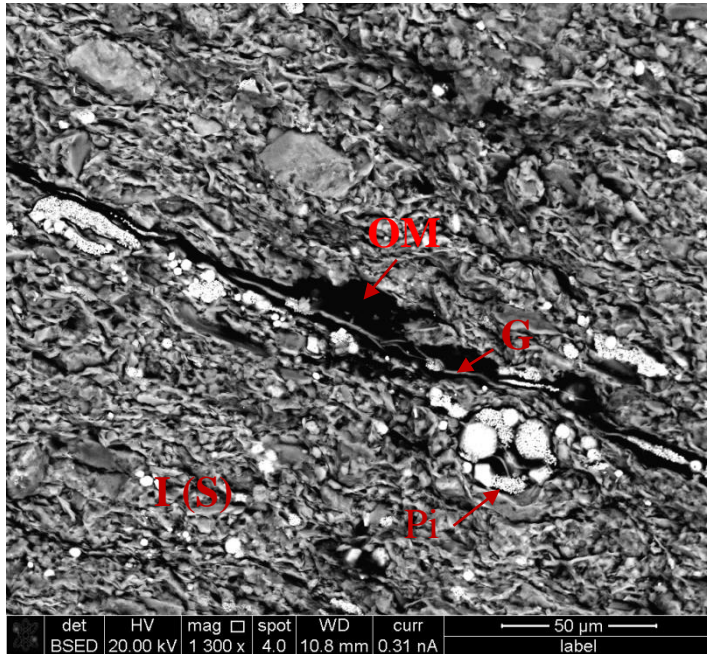
Pirito yra daugelyje skalūnų mėginių, jo kiekis kinta nuo 0,4% iki 8,8% (1 lentelė). Framboidai, kurie dažniausiai susiformuoja ankstyvosios skalūnų diagenozės metu (Taylor, Macquaker, 2000), yra gausiai aptinkami mėginiuose (22 pav.). Vėlyvasis diagenetinis piritas yra plačiai paplitęs mažų lęšių pavidalu išilgai sluoksniavimosi plokštumoms. Piritokiekis yra glaudžiai susijęs su OM pasiskirstymu, o tai reiškia sieros išsiskyrimą grimzdimo metu dėl OM terminio skilimo.

SEM ir XRD tyrimai nustatė gipso buvimą kai kuriuose gręžiniuose. Gipso kristalai yra 10–50 µm skersmens, jie yra orientuoti lygiagrečiai

sluoksniavimosi paviršiui (23 pav.). Gali būti įvairių procesų, kurie prisideda prie gipso susidarymo skalūnuose. Yra nustatyta, kad dėl sąlyčio su oru (denudacijos metu) dažnai susidaro gipsas dėl sieros rūgšties ir geležies sulfato reakcijos (Giles, Jones, 1931). Taip pat tai būdingas hidroterminių procesų indikatorius. Nėra jokių požymių, kad Vakarų Lietuvoje apatinio silūro nuosėdose būtų veikiamos denudacijos procesų. Kiti mechanizmai yra hidroterminis pakitimas ir mikrobu aktyvumas (Tang et al., 2014). Visgi, daugiausiai tikėtina galimybė, kad gipso kristalai susidarė vykstant reakcijai tarp uolienos ir gręžimo skiedinio (pinito oksidacija ir kalcito tirpinimas).

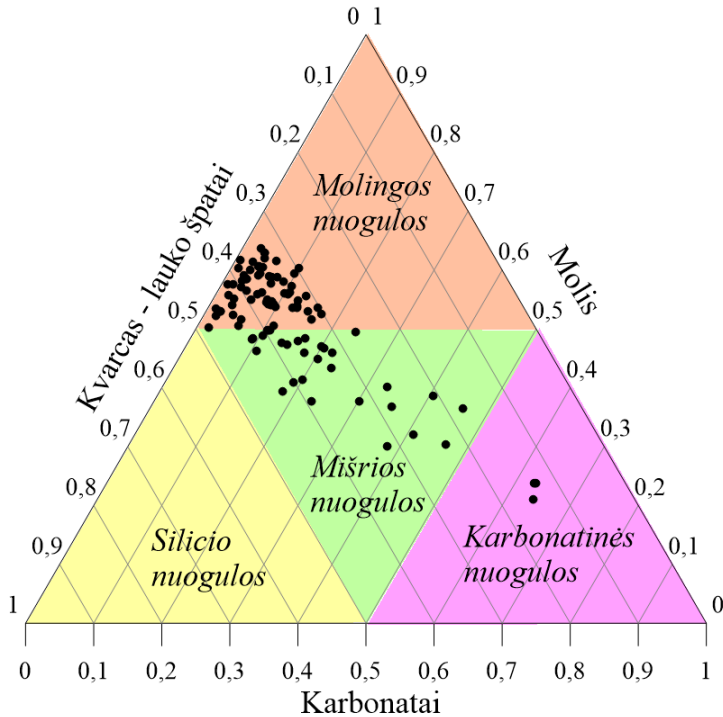


22 pav. SEM mėginio paviršiaus (vertikaliai sluoksniavimuisi) mikrografija, landoverio skalūnas, gylis 2041,9, gręžinys Klaipėda-1. Centrinėje dalyje antrinis piritas (fromboidas) (Pi), ilito (su smektitu) masė (I(S))



23 pav. SEM mėginio paviršiaus (vertikaliai sluoksniavimuisi) mikrografija, landoverio skalūnas, gylis 2041,9, grėžinys Klaipėda-1. Gipso plokštelės centre (G) apgaubtos organine medžiaga (OM), pavieniai antrinio piritto mineralai (fromboidai) (Pi), ilito (su smektitu) masė (I(S))

Pagal uolienu mineralinės sudėties klasifikaciją, dauguma tirtų molio skalūnų priskiriami molingoms nuoguloms, nemaža dalis yra mišrios sudėties, keli mėginiai klasifikuojami kaip karbonatinė molinga medžiaga (24 pav.). Kaip matyti trikampio grafike, taškų debesis išsidėstę vieninga juosta, tai rodo vieningą uolienu sedimentacijos aplinką. Tiek detritinių grūdelių, tiek molio mineralų kiekio mažėjimas uolienoje susijęs su santykinai didėjančia karbonatinės medžiagos priemaiša.

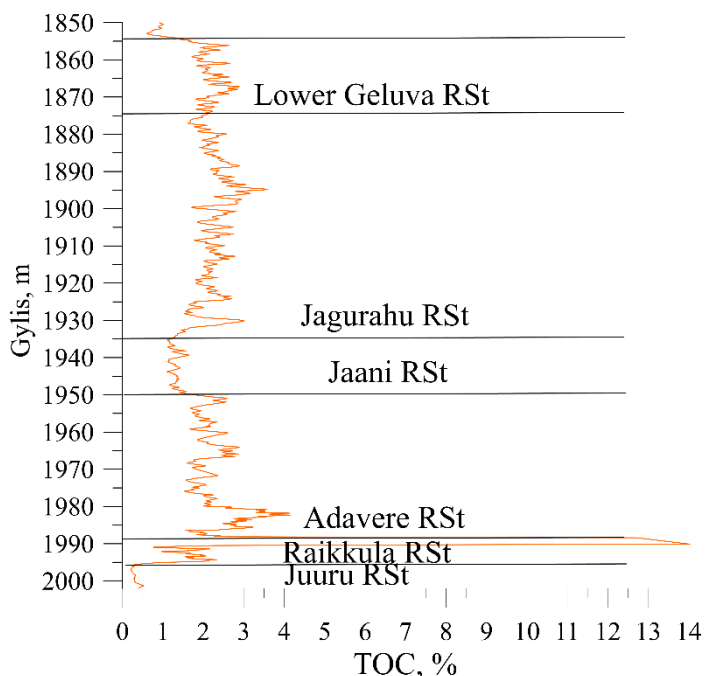


24 pav. Apatinio silūro (pagrindiniai landoverio) molio skalūnų mineralinė sudėtis klasifikacija

5.2. Organinės medžiagos pasiskirstymas apatinio silūro molingose uolienose

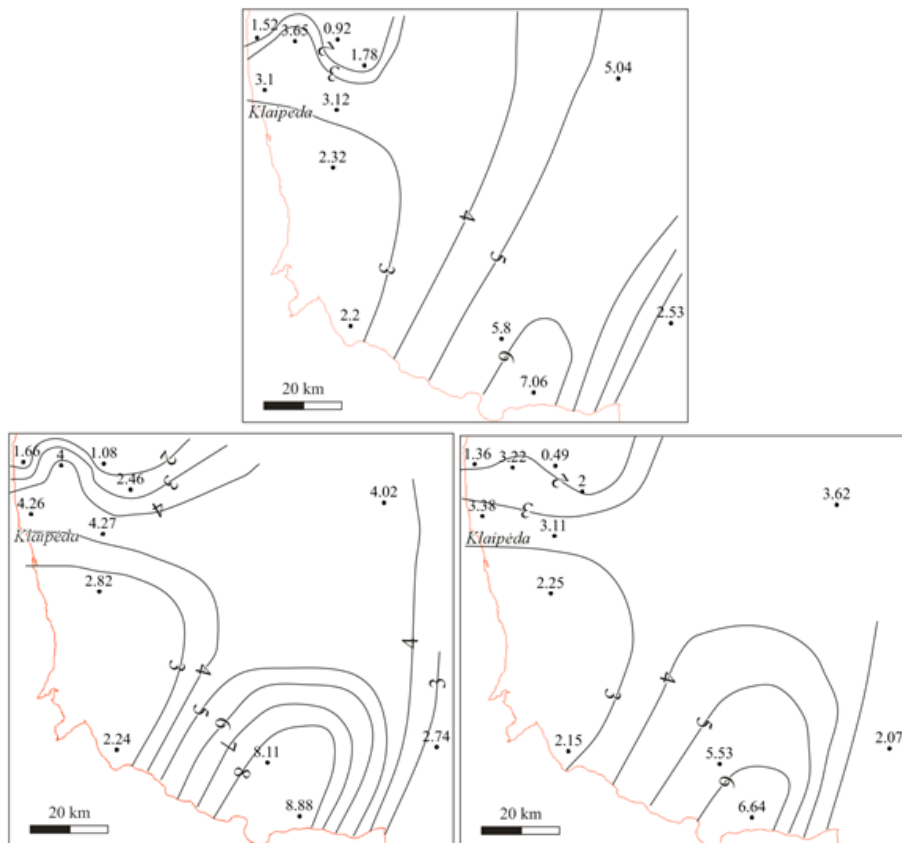
Organinės medžiagos kiekis yra pagrindinis parametras vertinant skalūnų perspektyvumą (Wand, Gale, 2009; Lu et al., 2012). Ankstesni OM kiekio tyrimai atskleidė tam tikras vertikalias ir lateralias silūro storumės tendencijas (Kadūniene, 1978; 2001). Bendras organinės anglies (TOC) kiekis daugiausia yra mažesnis nei 1% viršutinio silūro moluose (Šliaupa et al., 2016), tuo tarpu apatinio silūro molų TOC kiekis viršija 1–2%. Buvo nustatyta glaudi gama diafragijos ir TOC kiekio statistinė koreliacija (Šliaupa et al., 2016). Tai leido detaliam tirti OM pasiskirstymą apatinio silūro pjūvyje gręžiniuose.

Nustatyta Vakarų Lietuvos apatinio silūro moliams OM koreliacija buvo taikoma interpretuojant 8 gręžinių Vakarų Lietuvoje diafragijos duomenis. Pavyzdyje, pateiktame Barzdėnų-2 atraminiam gręžinyje, didžiausios TOC vertės paskaičiuotos Raikkūla regioniniame aukšte ir siekia 14%, vietomis iki 21%. Aukščiau slūgsantys Adavere regioninio aukšto ir uenlokio moliai rodo sistemingus, nors ir nedidelius pasiskirstymus (25 pav.). Vidutinis TOC kiekis yra apie 2% Adavere bei vidurinio ir viršutinio uenlokio skalūnų.



25 pav. TOC kiekis apatinio silūro skalūnuose, gręžinys Barzdėnai-2. Apskaičiuotas iš gama diagramos, pagal formulę: $TOC\% = \exp(0.12 \cdot GR_{mkr}/h \cdot 0.15)$, (Šliaupa et al., 2016)

Buvo sudaryti TOC pasiskirstymo žemėlapiai atskiriems apatinio silūro regioniniams aukštams Vakarų Lietuvoje (26 pav.). Nepaisant skirtingo stratigrafinio lygio ir skirtingo vidutinio TOC kiekio, Vakarų Lietuvoje yra stebimas panašus lateralus (plote) pasiskirstymas. Didžiausias OM kiekis apskaičiuotas gręžiniuose išilgai ŠŠR-PPV maksimumo rytinėje Vakarų Lietuvos dalyje. Anomalus kiekis konstatuojamas pietinėje šios juostos dalyje (Žukų-1 gręžinys), vidutiniškai 6,64–8,88%. OM koncentracija žymiai sumažėja į rytus (Lapgirių-122 gręžinys). Šis Vidurio Lietuvos gręžinys turi gerą kerno išėigą, konstatuojamas apatinio silūro molių praturtinimas karbonatiniais mineralais. Vakaruose OM kiekis sistemingai mažėja. Labiausiai vakariniuose gręžiniuose TOC vertės nesiekia 3%. Mažiausia TOC koncentracija apskaičiuojama šiaurės vakaruose, ji yra mažesnė nei 2%.

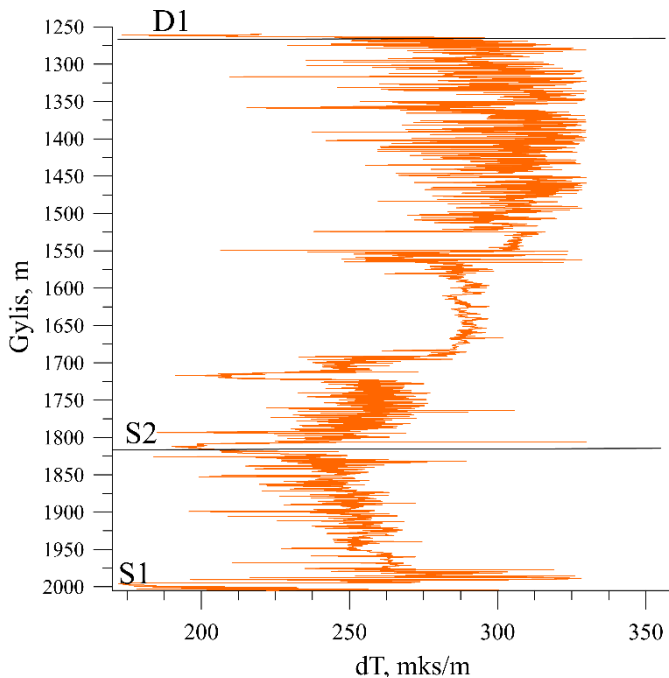


26 pav. Horizontalus TOC (%) reikšmių, apskaičiuotų iš gama diagrafijos kreivių, pasiskirstymas Adavere, Jagurahu ir Gėluvos regioninių aukštų moluose

Gama intensyvumas jautriai atspindi OM kiekio kitimą molio skalūnuose. Tačiau gama diagrafijos intensyvumas taip pat nemažai priklauso nuo molio kiekio uolienoje, jis nebūtinai yra tiesiogiai susijęs su OM kiekiu. Todėl nuoseklesnei OM pasiskirstymo analizei vertikaliame apatinio silūro intervale taikytinas alternatyvus geofizinių tyrimų gręžinyje metodų kompleksas. Akustinių bangų sklaidimo greičio diagrafijos ir gama diagrafijos derinys efektyviai naudojamas nustatyti OM kiekio pokyčius.

Vertikali akustinės bangos greičio (lėtumo) tendencija yra artima visuose gręžiniuose Vakarų Lietuvos. Viršutinio silūro intervalui būdingas didesnis akustinių bangų sklaidimo greitis viršutinėje dalyje ir mažesnis apatinėje dalyje (27 pav.). Ši tendencija būdinga skalūnams, kurie buvo ilgai palaidoti nuosėdiniam baseine (Magara, 1976; Heasler ir Kharitonova, 1996; Tassone, 2014; Baig ir kt., 2016). Akustinės bangos sklaidimo lėtumo su gyliu

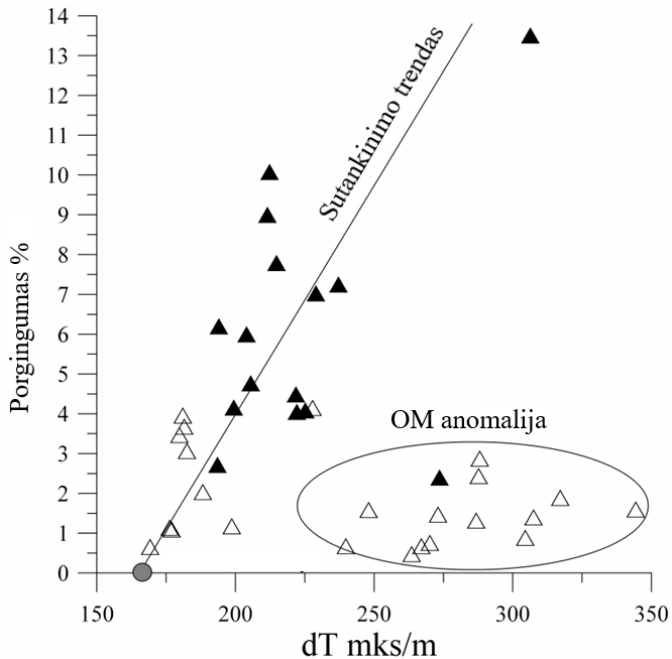
mažėjimas atspindi didėjantį molių tankėjimą ir mažėjantį poringumą su gyliu (Athy, 1930).



27 pav. Akustinės bangos sklidimo lėtumas silūro uolienose, Barzdėnų-2 grėžinys

Apatinio silūro intervale stebima priešinga tendencija. Akustinės bangos sklidimo lėtumas didėja su gyliu, tai reiškia, kad kiti parametrai, nei poringumas, daro įtaką akustinio signalo greičių (27 pav.). Anomalios akustinių bangų judėjimo greičio vertės nustatytos labiausiai organine medžiaga turtinguose Raikkula regioninio aukšto skalūnuose.

Akustinių bangų diafragija dažnai naudojama nuogulų poringumui apskaičiuoti (Nelson, 2010). Tačiau jos nėra taikytinos apatinio silūro skalūnams Vakarų Lietuvoje dėl stipraus OM poveikio akustinių bangų greičiams. Palyginus d_T (akustinio lėtumo) reikšmes ir išmatuoto poringumo reikšmes išskiriamos dvi grupės (28 pav.). Pirmoji grupė atspindi molių tankėjimo tendenciją. Molių matricos akustinių bangų greitis yra apibrėžtas tankėjimo tendencijos trendo linija, kuri susikerta su nuline poringumo ašimi 163 μs/m. Antroji grupė pasižymi anomaliai didelėmis d_T vertėmis. Ši grupė yra susijusi su molio skalūnais, praturtintais OM. Todėl akustinių bangų diagramas galima naudoti apskaičiuojant OM kiekį tik silūro molio skalūnams, kurių OM kiekis yra nedidelis (foninis).



28 pav. Išmatuotų akustinių bangų reikšmių palyginimas su išmatuotomis poringumo reikšmėmis. Tuščiaviduriai trikampiai - apatinio silūro mėginiai, juodi trikampiai - viršutinio silūro mėginiai

Akustinio greičio ir elektrinės varžos kryžminės diagramos dažnai naudojamos skalūnų dujų žvalgybos perspektyviems intervalams nustatyti (Passey ir kt., 1990). Jis taip pat žinomas kaip „D log R“ metodas. Koreliacija apibūdinanti „fonines“ silūro molio skalūnus, gali būti aprašyta:

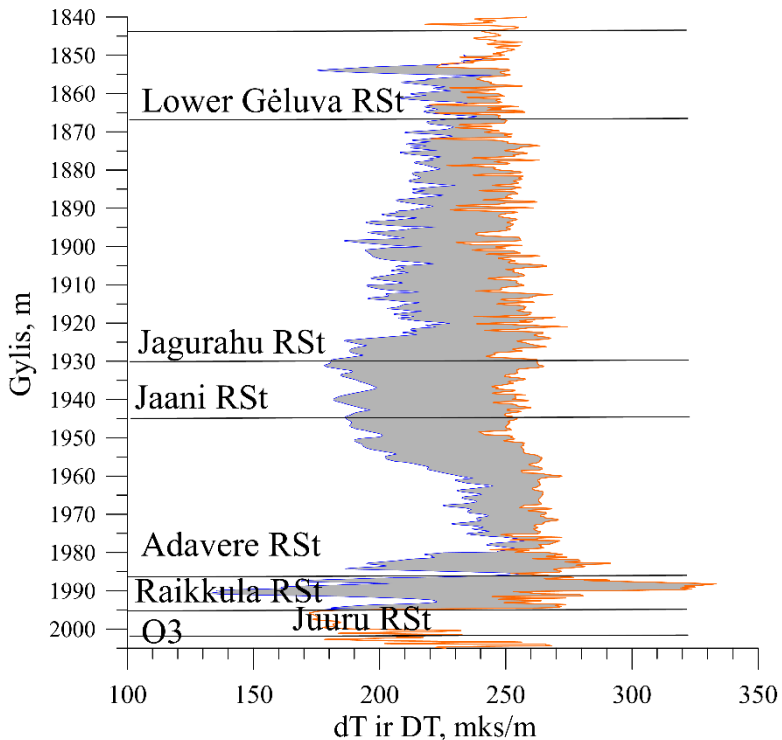
$$DT=3522-63.102 \times \ln R \quad [8]$$

čia DT – akustinės bangos judėjimo greitis ($\mu\text{s/m}$), $\ln R$ – elektrinė varža (omm-m).

Koreliacinės linijos kampas ir susikirtimas su nuline ašimi leidžia paskaičiuoti pseudoakustinių bangų greičius, vadinamus DT, iš elektros varžos. Bendras išmatuotų akustinių bangų greičių grafikas palygintas su pseudo-greičių grafiku leidžia spėti apie santykinę OM pasiskirstymą molio skalūnuose. Dėl turimų uolienu mėginių trūkumo gautos diagramos negali būti konvertuotos į TOC (%) reikšmes. Vis dėlto šis metodas yra efektyvi priemonė

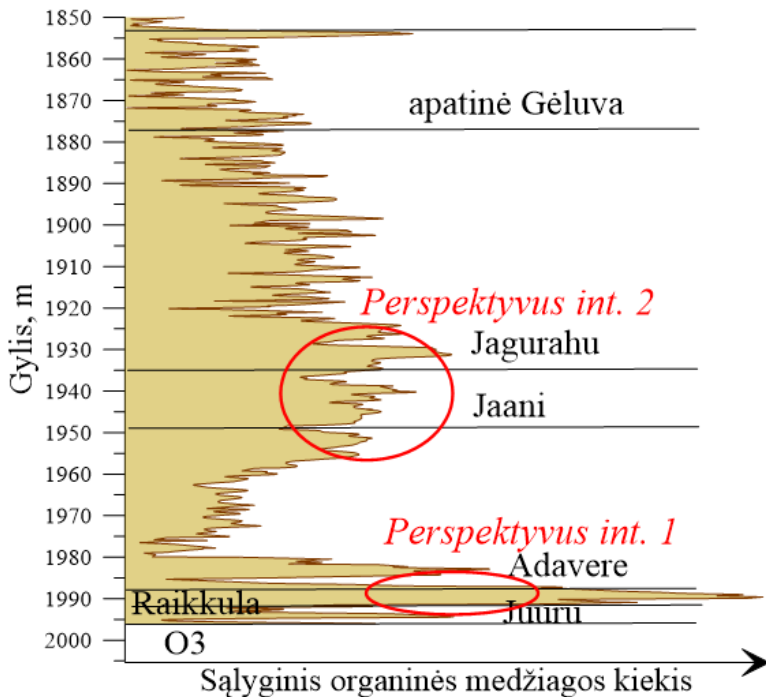
nustatant santykinę OM pasiskirstymą vertikaliame apatinio silūro skalūnų intervale.

Grėžinyje Barzdėnai-2 matomas didelis nuokrypis tarp išmatuotos garso diagramos ir apskaičiuotos DT diagramos, naudojant formulę [8] (29 pav.). Jagurahu ir Gėluvos regioniniuose aukštuose matomas laipsniškas skirtumo tarp dviejų kreivių mažėjimas, o tai rodo laipsnišką OM kiekio mažėjimą į viršų. Ši tendencija skiriasi nuo tos, kuri gaunama analizuojant gama spindulių diagramas.



29 pav. Akustinės bangos sklidimo greičio (lėtumo) diagrama ir apskaičiuotos akustinės bangos sklidimo greičio diagrama (pagal [8] formulę), grėžinys Barzdėnai-2

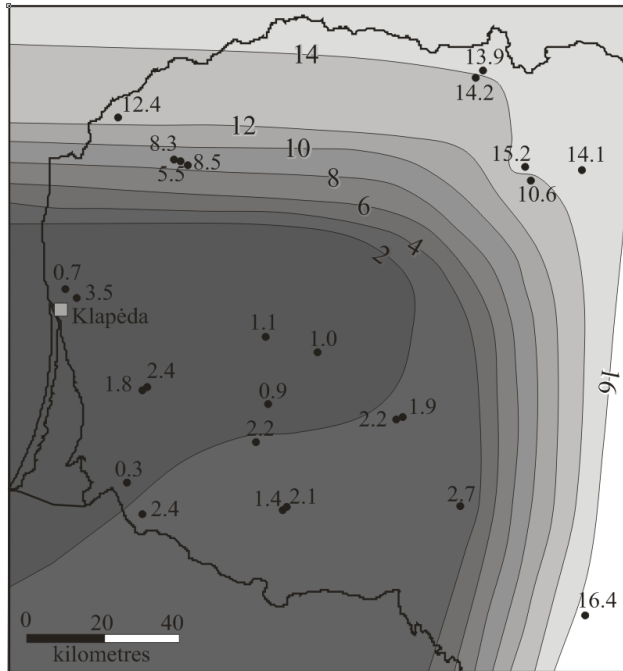
30 pav. pateiktas išmatuoto ir paskaičiuoto akustinių bangų greičių skirtumas atspindintis OM pasiskirstymą molio skalūnuose. Yra išskiriami du anomalūs intervalai, jie rodo anomaliai padidintą OM kiekį šiuose lygiuose. Ryškiausias intervalas yra susijęs su Raikkula regioniniu aukštu, Antrasis OM turtingas intervalas yra susijęs su Jaani regioniniu aukštu.



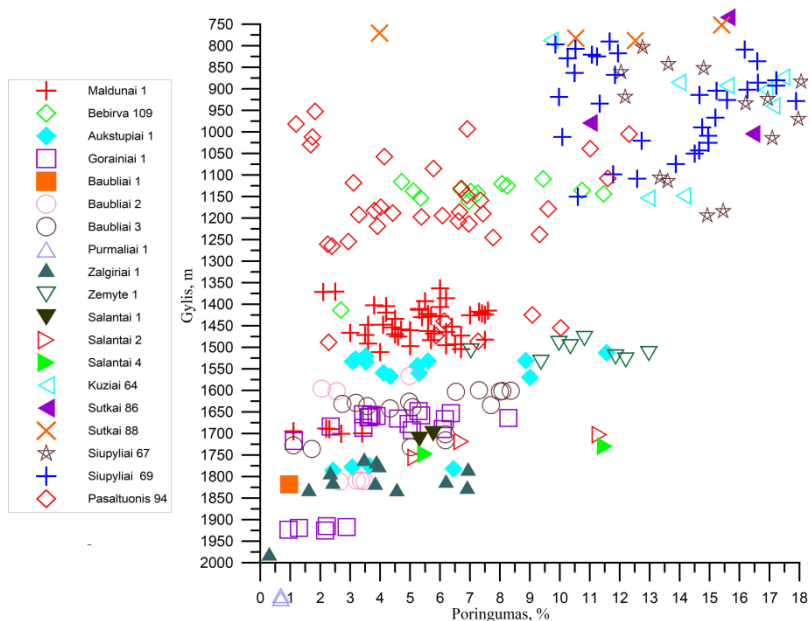
30 pav. Skirtumas tarp išmatuoto akustinės bangos sklidimo greičio ir pseudo-akustinio greičio DT (apskaičiuoto, pagal formulę [8]), atvaizduoja sąlyginį OM pasiskirstymą. Stratigrafinis pjūvio suskirstymas pažymėtas, Šlapgirių-1 gręžinys

5.3. Molingų uolienu poringumas

Nuosėdinių uolienu poringumas giliai nugrimzdusiuose sluoksniuose yra mažas. Apatinio ir viršutinio silūro skalūnų poringumo duomenys buvo susisteminti iš gamybinių ataskaitų, mėginių gylis kinta nuo 900–1200 m Vidurio Lietuvoje ir iki 1900–2100 m Vakarų Lietuvoje. Poringumas mažėja į vakarus. Vidurio ir šiaurės Lietuvoje apatinio silūro skalūnų poringumas yra 12–16% (31, 32 pav.). Vakarų Lietuvos dalyje jis sumažėja iki mažiau nei 3%. Poringumo sumažėjimo perėjimo zonos plotis yra tik 30–40 km (31 pav.). Didžiausios poringumo reikšmės kinta nuo 14 iki 18% ir didžioji dalis šių reikšmių yra priskirtos gylio intervalui nuo 750 m iki 1000 m. Mažiausios poringumo reikšmės iki 2% matomos intervale nuo 1700 m iki 2100 m. Pastebima, kad likusios poringumų reikšmės nuo 2% iki 14% yra pastebimos beveik visame intervale nuo 750 m iki 1950 m. Taip pat įdomus pastebėjimas, kad ~2% poringumo reikšmės matomos intervale 950–1050 m, o tai parodo, kad poringumas labai priklauso ir nuo uolienu mineraloginės sudėties.



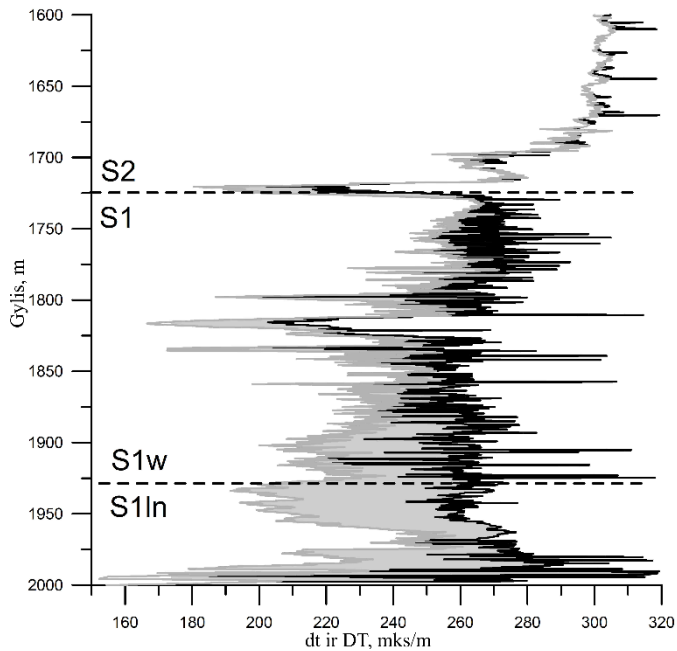
31 pav. Silūro landoverio argilitų poringumo pasiskirstymo žemėlapis



32 pav. Silūro argilitų poringumas su gyliu

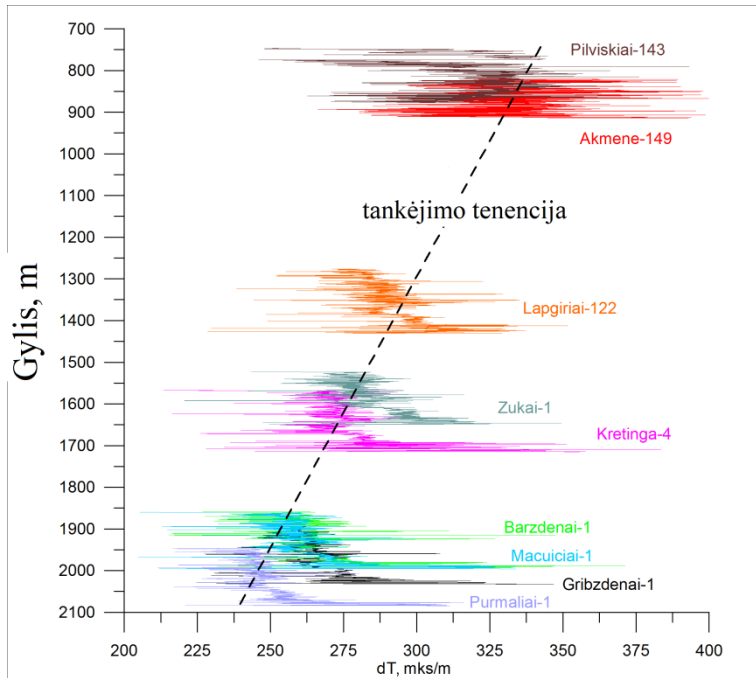
Akustinio greičio (dT), kuris labai priklauso nuo molio skalūnų poringumo bei organinės medžiagos kiekio, buvo interpretuoti 9 gręžiniuose. Buvo

interpretuojamos dT diagramų kreivės nustatant perspektyviausius labiausiai praturtintus OM intervalus(33 pav.).



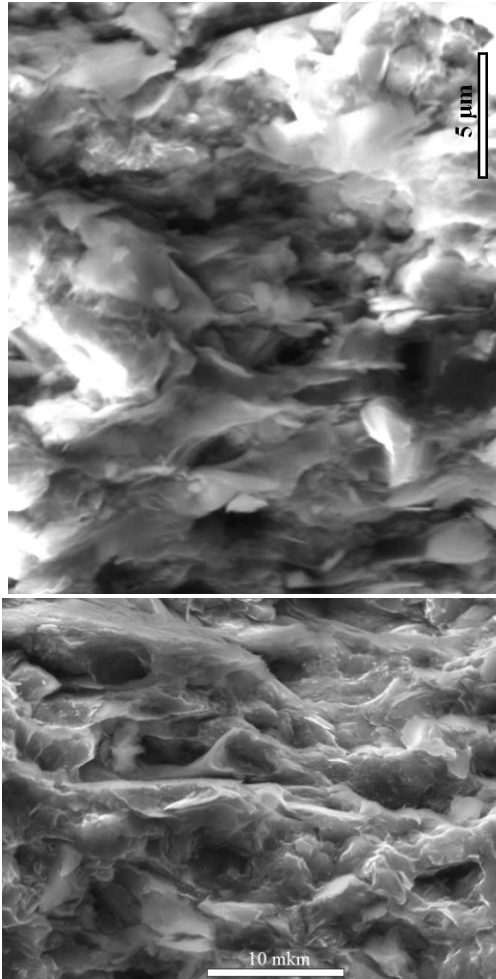
33 pav. Akustinių diagramų palyginimas: juoda linija - išmatuotos akustinių bangų greičio (lėtumo) reikšmės (dT), pilka linija - apskaičiuotos reikšmės (DT). Gręžinys – Barzdėnai-1

DT reikšmės rodo atvirkštinę koreliaciją su gyliu (34 pav.). Vidutinė landoverio skalūnų vertė yra apie 250 $\mu\text{s/m}$ giliausioje Vakarų Lietuvos dalyje ir 330 $\mu\text{s/m}$ Vidurio Lietuvoje. Yra bendra tendencija apatinio silūro pjūvyje, kad atskiruose gręžiniuose dT vertės didėja einant gilyn (34 pav.). Tai greičiausiai susiję su OM ir molio mineralų dalies uolienoje didėjimu.



34 pav. Landoverio argilitų akustinių bangų diagramų suvestinė schema

Akustinių bangų greičiai atspindi ne tik uolienu mineraloginę sudėtį, bet ir yra jautri nuosėdinių uolienu sutankėjimui – grimztant po naujai besiklostančiais sluoksniais, nuogulos tankėja. Pradinis molingas dumblas paprastai yra 70–80% poringumo, tačiau tarp grūdinė ertmė su gyliu greitai mažėja, o 2 km gylyje poringumas paprastai tesiekia 5–8%. Atitinkamai, mažėja ir tuštumų, kuriose gali kauptis gamtinės dujos. Tad, poringumas yra svarbus parametras vertinant eksploatacines molio skalūnų charakteristikas. Tiriant uolienu mėginius skenuojančiu elektroniniu mikroskopu lengva pastebėti, jog vidurio Lietuvos apatinio silūro molingos uolienos yra labiau poringos, lyginant su vakarų Lietuvos mėginiais (35 pav.). Tai yra susiję su baseino grimzdimu dėl kurio vyko uolienu diagenėzė.

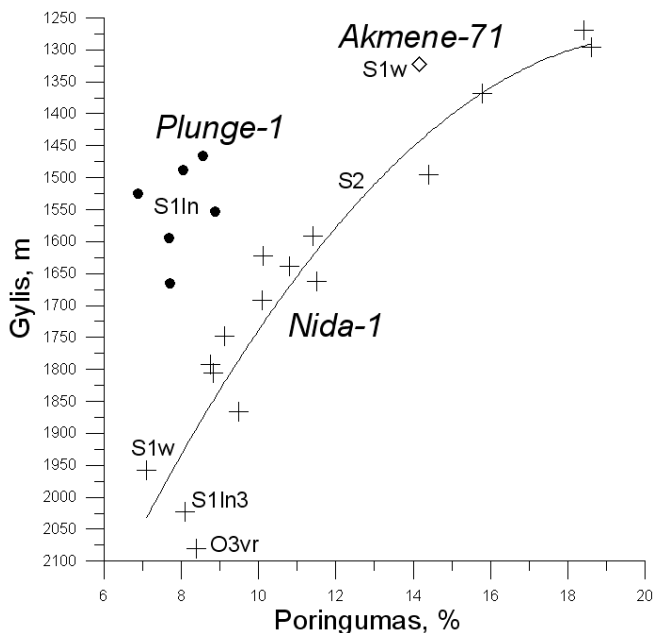


35 pav. SEM mikrografijos iliustruojančios skirtingą apatinio silūro molio skalūnų poringumą (kairėje – Vilkaviškio-131 gręžinys vidurio Lietuvoje (poringumas apie 15%, dešinėje – Barzdėnai-2 gręžinys vakarų Lietuvoje, poringumas 5–6%). Mėginiai orientuoti horizontaliai sluoksniuotumui

Vakarų Lietuvoje yra tik keletas gręžinių, kuriuose poringumas būtų matuotas laboratorijoje visame silūro storemės pjūvyje. Vienas tokių gręžinių yra Nidos-1 struktūrinis gręžinys (36 pav.). Matoma poringumo mažėjimo tendencija didėjant gyliui (ir temperatūrai, kuri skatina diagenetinius pakitimus). Taip pat, grafike pateikti ir kitų gręžinių duomenys, papildantys bendrą poringumo-gylio grafiką. Įdomu, kad poringumas Plungės-1 ir Akmenės-71 gręžiniuose yra 3–4% mažesnis (tuose pačiuose gyliuose), lyginant su Nidos-1 gręžiniu. Tai gali būti susiję su didesne karbonatinės

medžiagos priemaiša šiauriniame Telšių lūžio sparne, kuriuose išgręžti šie gręžiniai.

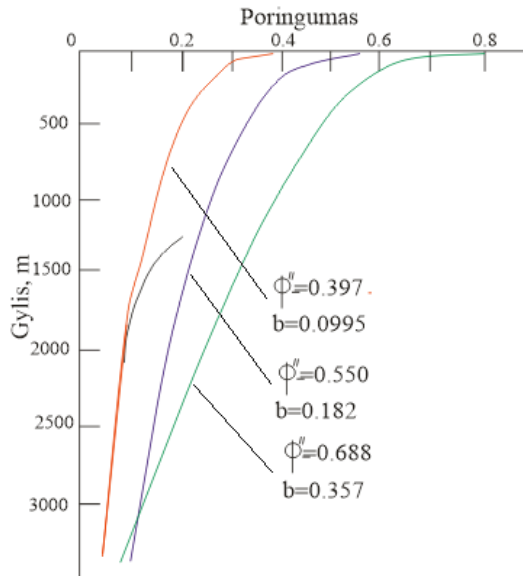
Apatinio silūro molingų uolienu 6–8% poringumas yra teigiamas eksploatacijos rodiklis. Šios reikšmės artimos plačiai aprašytiems Barnett (JAV) molio skalūnams – 3–6%, Woodford (JAV) skalūnams (~2500 m gylio) – 3,5–6,5%. Tad, remiantis šiuo palyginimu galima tvirtinti, jog Lietuvos vakarinės dalies vidurinio silūro molio skalūnai yra pakankamos eksploatacinės kokybės.



36 pav. Argilitų poringumas. Taškai - Plungės-1 gręžinio apatinio silūro landoverio argilitas; kryžiuikai – Nidos-1 gręžinio viršutinio silūro argilitai (giliausi mėginiai – apatinio silūro uenlokis ir landoveris, viršutinis ordovikas).; rombas – Akmenės-71 gręžinio apatinio silūro uenlokio argilitas. Linija rodo antro laipsnio koreliacinę kreivę Akmenės gręžinio argilito poringumo nustatymui

Poringumo charakteristikos leidžia spręsti ir apie kitus molingų uolienu parametrus. Mechaninis tankėjimas dažnai aprašomas santykiu tarp poringumo ir efektyvių įtempių (įtempiai susidarantys matricos dalelių kontaktuose). Šią priklausomybę aprašo du parametrai – ϕ (tankėjimo kreivės kampas) ir b poringumas veikiant tam tikram įtempiui (pvz. 100 kPa). Palyginus su teoriniu grafiku (Applin et al., 1995), Vakarų Lietuvos silūro molingos uolienos pagal tankėjimo tendenciją apibūdinamos kaip aleuritinis

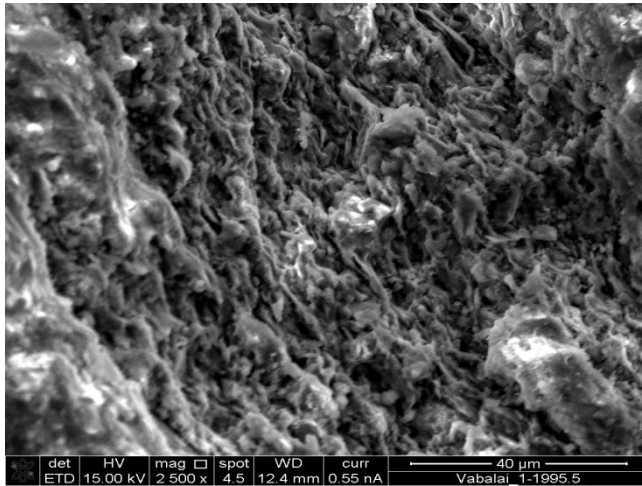
molis (37 pav.). Tai atitinka ir aukščiau pateiktus mineraloginės sudėties tyrimų rezultatus. Taikant Yong ir Aplin (2004) formulę $b=0.0407+0.2479*\text{molis}+0.3684*\text{molis}^2$, b parametras 40% molingumo skalūnams paskaičiuotas 0.199 (esant 100 kPa apkrovai), tai artima aleuritingiems moliams. 60% molingumo skalūnams b reikšmė yra 0,322.



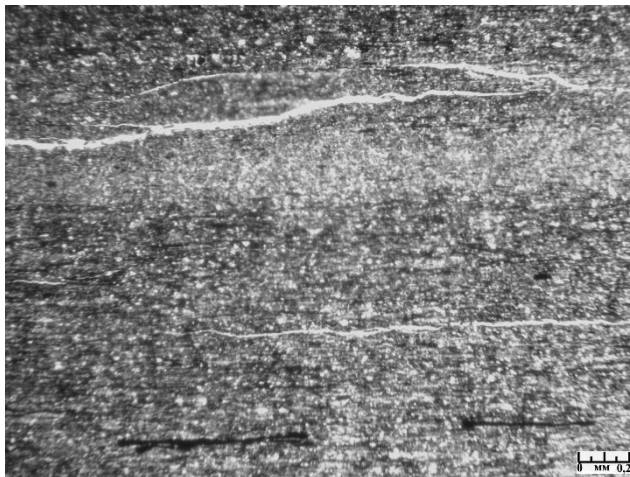
37 pav. Molingų uolienu poringumo kitimo su gyliu kreivės. b – tankėjimo koeficientas, ϕ'' – poringumas esant 10kPa efektyviam įtempimui (Aplin et al., 1995). $\phi'' = 0.397$, $b = 0.0995$ – aleurolitinis molis, $\phi'' = 0.550$, $b = 0.182$ – aleuritingas molis, $\phi'' = 0.688$, $b = 0.357$ – molis, nepažymėta linija – Nidos-1 gręžinio silūro molingų uolienu poringumo grafikas.

Molio mineralai yra orientuoti horizontaliai dėl molio grimzdimo tankėjimo (38 pav.). Apatinio silūro molio skalūnams būdinga tekstūra nuo sub-milimetrinių sluoksnelių iki metrinės skalės sluoksniavimosi. Tą lemia netolygus karbonatinių mineralų, detritinių grūdelių ir molio mineralų pasiskirstymo molio skalūnuose. Kaip buvo minėta, karbonatinių mineralų sudėtyje vyrauja kalcitas ir dolomitas. Kvarcas ir feldšpatai yra pagrindiniai molio skalūnų detritiniai mineralai. Netolygus šių mineralų pasiskirstymas kontroliuoja skalūnų mechaninių savybių anizotropiją. Atitinkamai uolienose yra paplitę sub-horizontalūs mikroplyšiai (39 pav.). Taip pat gausu sub-vertikalių mikroplyšių (40 pav.). Paprastai uolienu mėginiuose nustatomos kelios mikroplyšių sistemos, kurios, greičiausiai, yra susijusios su skirtingais geologiniais įvykiais. Mikroplyšiai dažniausiai yra užpildomi karbonatiniais

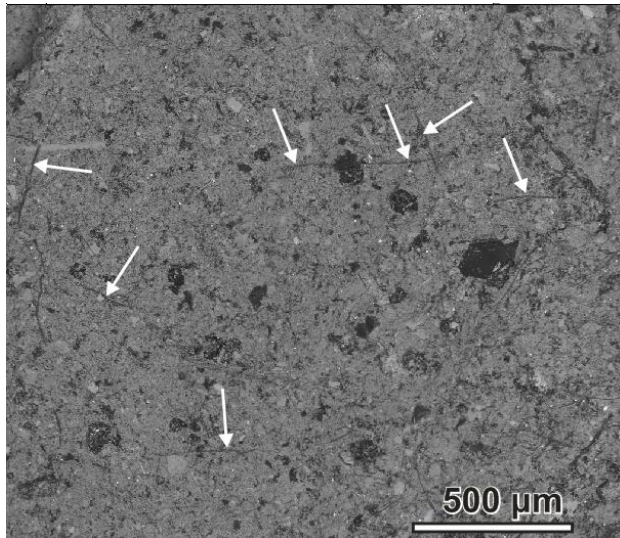
mineralais ir bitumu. Tai yra svarbus kolektoriaus našumo parametras, nes mikroplyšiai yra jautrūs hidrauliniui ardymui (Gale ir kt., 2006).



38 pav. SEM mikrografija, gręžinys Vabalai-1, gylis 1997 m. Ryškus argilito skalūnuotumas



39 pav. SEM mikrografija, gręžinys Ablinga-1, gylis 2003,6 m. Raikkūla regioninio aukšto molio skalūnuose matomi sub-horizontalūs mikroplyšiai, orientuoti išilgai milimetro skalės sluoksniuotumo (šviesiai pilki sluoksniai – detritinės medžiagos gausa, tamsiai pilki sluoksniai – molingos medžiagos gausa). Mikroplyšiai užpildyti karbonatiniais mineralais



40 pav. SEM mikrografija, gręžinys Paluknė-1, gylis 1659,3 m. Baltomis linijomis pažymėti mikroplyšiai sluoksniavimosi paviršiuje. Raikkūla regioninio aukščio skalūnai. Mikroplyšiai daugeliu atveju užpildyti bitumu, tad formavosi vykstant pirminei angliavandenilių migracijai

5.4. Trapumo indeksas

Trapumas yra parametras aprašantis mechanines uolienu savybes (Tiryaki, 2006) ir yra svarbus netradicinių kolektorių eksploatacinių savybių rodiklis. Pažymėtina, kad šis parametras turi skirtingus apibrėžimus, priklausomai nuo taikomų metodų ir kt.

Trapumas yra svarbi mechaninė skalūnų savybė. Tačiau nėra visuotinai priimtos trapumo koncepcijos ar nustatymo metodo. Trapumo indeksui (BI) apskaičiuoti siūloma įvairių metodų. Išsami įvairių BI skaičiavimo metodų santrauka pateikta (Jin et al., 2014; Bai, 2016).

BI yra proporcingas Youngo moduliui ir Puasono santykiui ir linijiniam šių parametru deriniui (Coates and Parsons, 1966; Hajiabdolmajid, Kaiser, 2003; Waters et al., 2011). Trapumo indeksas gali būti efektyviai įvertintas naudojant triašius spaudimo ir tempimo eksperimentus (Sone, Zoback, 2013) arba laboratorinius ultragarsinius matavimus (Rickman et al., 2008). Elastingumo modulio padidėjimas ir Puasono santykio sumažėjimas koreliuoja su didėjančiu BI, todėl jie yra geras molio skalūnų trapumo rodiklis. Be to, akustinių bangų greičių V_p/V_s ir Puasono santykis rodo jų gebėjimą paskaičiuoti BI (Guo et al., 2013).

Trapumo indeksas apytiksliai atspindi uolienu atsparumą plyšimui (ardymui) veikiant išorinėms įtempiams ir yra svarbus parametras nustatant perspektyvius skalūnų dujų intervalus. Trapumo indeksą galima nuosekliausiai įvertinti naudojant laboratorinius tempimo ir gniuždymo stiprumo matavimus (Altindag, 2003). Tačiau šio metodo naudojimas yra ribotas, nes yra ypač sudėtinga išmatuoti skalūno tempiamąjį stiprį.

Yra keletas alternatyvių būdų apibūdinti uolienu trapumą. Mineraloginė sudėtis daro didelį poveikį skalūno trapumui, todėl dažnai naudojama praktikoje. Viena mineralų grupė veikiant apkrovai elgiasi trapijai, o kiti mineralai reaguoja į apkrovą plastiškai. Siūlomos skirtingos koreliacijos lygtys apskaičiuoti MBI (mineraloginį trapumo indeksą) pagal mineraloginę uolienos sudėtį (pvz., Jarvie et al., 2007; Wang, Gale, 2009; Kias et al., 2015; Gloriosor, Rattia, 2012; Rybacki et al., 2016). Kita metodų grupė remiasi uolienos elastingumo savybių vertinimu. Šis metodas buvo patobulintas siekiant, pavyzdžiui, įvertinti Šiaurės Lenkijos silūro molio skalūnų trapumą (Cyz et al., 2018).

Vienas iš dažnai naudojamų metodų uolienu trapumui įvertinti yra pagrįstas gniuždymo ir tempimo stiprumo sąsajos nustatymu, atliekant triašio įrenginio bandymus (Altindag, 2003). Pagrindinė problema taikant šį metodą yra susijusi su skalūnų tempiamojo stiprio įvertinimu (Williams-Stroud et al., 2012).

Atliekant uolienu mechaninių savybių laboratorinius tyrimus, iš uolienu kerno buvo atrinkti apatinio silūro molio skalūnų mėginiai. Buvo nustatyta, kad neapspausto mėginio gniuždymo stipris (UCS) kinta nuo 6,6 MPa iki 10,8 MPa (2 lentelė). Šie mėginiai klasifikuojami kaip mažo stiprumo uolienos pagal (IEAG, 1979; ISRM, 1981; Bieniawski, 1989). Žemos UCS vertės laikomos tinkamomis skaldyti molio skalūnus hidraulinio ardymo būdu (Josh et al., 2012). Vieno mėginio atsparumas tempimui buvo išbandytas laboratorijoje - 4,1 MPa.

2 lentelė. Apatinio silūro skalūnų gniuždymo ir tempimo stipris bei poringumas (mėginys neapspaustas)

Gręžinys	Gylis, m	Amžius	Gniuždymo stipris	Tempimo stipris	Poringumas, %
			Co, kPa	σ_T , kPa	
Šilutė-1	1958.9	Uenlokis	6604.77	--	2
Šilutė-1	1992.1	Adavere	10756.73	--	10
Rietavas-1	1940.9	Uenlokis	8218.31	4137.53	

Vienam uenlokio molio skalūnų mėginiui buvo apskaičiuotas BI 0,33, gręžinyje Rietavas-1 (formulė [1]). Ši vertė yra atitinkamo MBI trapumo reikšmėms, kurios aptariamose 5.4.1. ir 5.4.2. poskyriuose.

5.4.1. Mineraloginis trapumo indeksas

Skalūnų hidraulinio ardymo efektyvumas priklauso nuo jų mineraloginės sudėties (Breyer ir kt., 2010). Detritinių mineralų priemaiša didina uolienos trapumą, o molio mineralai ir OM - mažina (Sone, Zobeck, 2013).

Mineraloginis trapumo indeksas (MBI) buvo apskaičiuotas naudojant kelias koreliacijos lygtis. Šios koreliacinės lygtys buvo nustatytos regionams, kuriuose yra skirtingos geologinės sąlygos, todėl skirtingų regionų skalūnų sudėtis skiriasi. Tai paaiškina kai kuriuos MBI reikšmių skirtumus, gautus naudojant skirtingas koreliacines lygtis.

Molio skalūnų trapumui apibūdinti literatūroje dažniausiai naudojamos dvi koreliacijos lygtys. Jarvie et al. (2007) ir Wang and Gale (2009) nustatė karbono Barnett skalūnų, turinčių 1–3% TOC, koreliacijos lygtis, šie skalūnai yra artimi Lietuvos apatinio silūro skalūnams. Taip pat (Pachytel et al., 2017) paskelbė šiaurės Lenkijos apatinių paleozojaus skalūnų vakarinėje Baltijos nuosėdų baseino dalyje MBI lygtį. Ši lygtis taip pat buvo taikoma šiame darbe. Minėtos lygtys yra pateiktos 4.2. poskyriuje (formulės [2], [3] ir [4]).

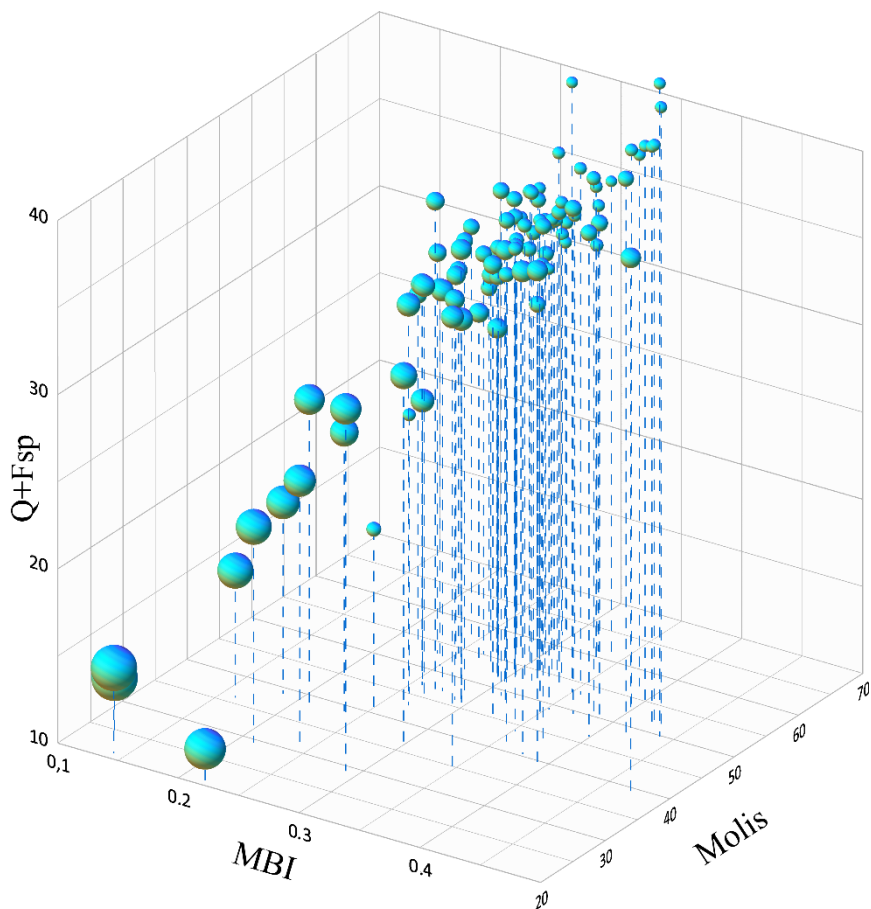
Skaiciavimo rezultatai pateikti 3 lentelėje. MBI vertės, gautos naudojant Jarvie et al. (2007) [2] ir Wang and Gale (2009) [3] koreliacijos lygtys rodo nedaug skirtumų ir paskaičiuotos reikšmės daugiausia kinta tarp 0,28–0,35 (pikas 0,32) (Jarvie) ir 0,25–0,31 (pikas 0,29) (Wang and Gale). Kalbant apie šiaurės Lenkijos skalūnų lygtį [4], MBI vertės yra didesnės ir siekia 0,35–0,42, o kai kurie pogrupiai yra apie 0,47.

Kai kurie MBI dydžiai paaiškinami netolygiu karbonatų ir detritinių grūdų pasiskirstymu, tačiau skalūnų ir mergelių MBI reikšmės nevienareikšmiškai koreliuojasi su mineralogine sudėtimi (41 pav.).

3 lentelė. Apskaičiuoti trapumo indeksai pagal [2], [3] ir [4] lygtis.

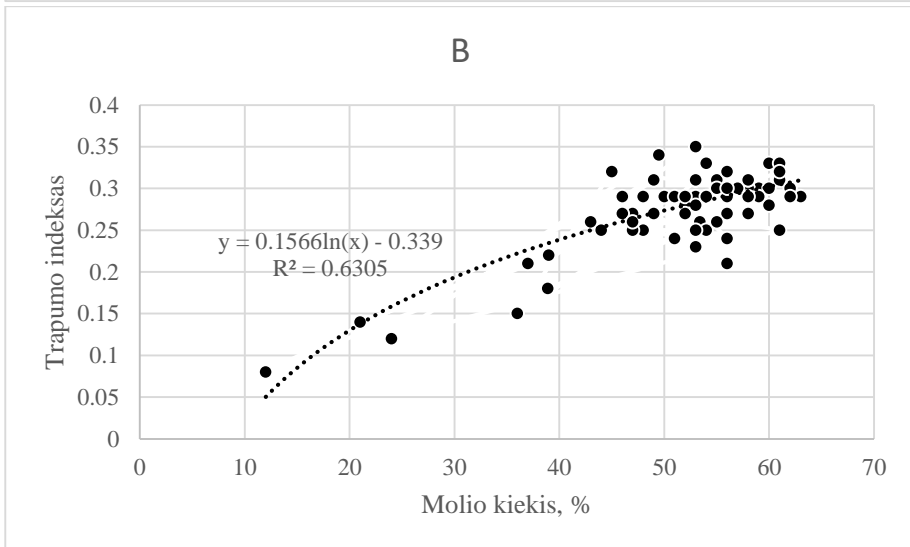
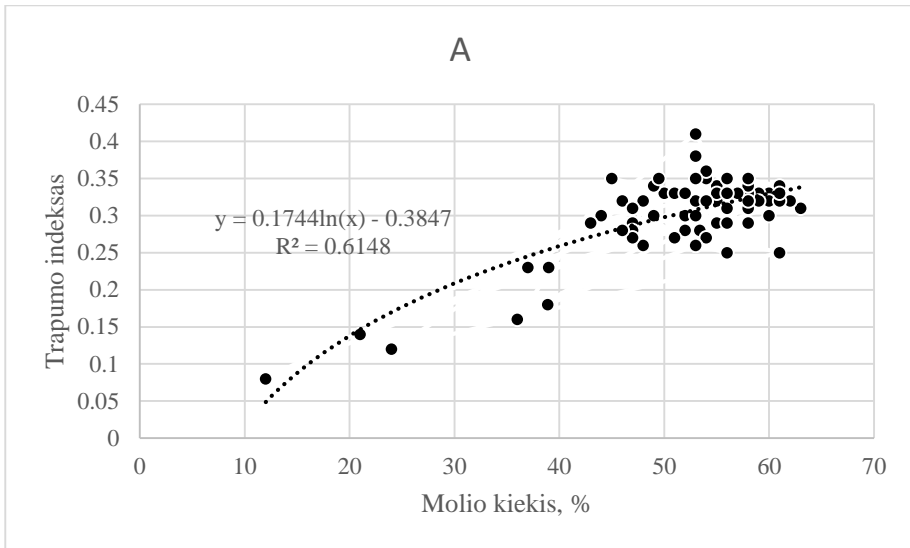
Gylis (m)	Gręžinys	MBI_Jarvi	MBI_Wang_Gale	MBI_Poland	Gylis (m)	Gręžinys	MBI_Jarvi	MBI_Wang_Gale	MBI_Poland
1915	Gor-1	0.33	0.33	0.39	1702	SI-1	0.3	0.25	0.46
1917	Gor-1	0.32	0.3	0.4	1704	SI-1	0.27	0.25	0.42
1917.5	Gor-1	0.34	0.31	0.41	1704.8	SI-1	0.28	0.27	0.51

1918	Gor-1	0.31	0.3	0.39	1706.75	Sl-1	0.33	0.29	0.44
1918.6	Gor-1	0.35	0.32	0.5	1707	Sl-1	0.27	0.25	0.49
1918.75	Gor-1	0.16	0.15	0.61	1707.75	Sl-1	0.32	0.29	0.46
1919	Gor-1	0.26	0.25	0.5	1708.5	Sl-1	0.28	0.27	0.49
1920	Gor-1	0.35	0.31	0.42	1709	Sl-1	0.3	0.27	0.45
1920.5	Gor-1	0.31	0.29	0.35	1710.6	Sl-1	0.25	0.21	0.37
1920.75	Gor-1	0.32	0.3	0.34	1711.2	Sl-1	0.26	0.25	0.44
1921	Gor-1	0.32	0.29	0.34	1929.8	Tl-1	0.18	0.18	0.61
1921.25	Gor-1	0.28	0.26	0.44	1931.2	Tl-1	0.31	0.27	0.37
1921.75	Gor-1	0.29	0.27	0.38	1931.5	Tl-1	0.35	0.31	0.37
1922	Gor-1	0.3	0.28	0.37	1932.7	Tl-1	0.32	0.29	0.42
1922.5	Gor-1	0.33	0.3	0.36	1932.9	Tl-1	0.32	0.29	0.42
1922.8	Gor-1	0.29	0.26	0.35	1933.2	Tl-1	0.3	0.28	0.42
1923.5	Gor-1	0.08	0.08	0.88	1933.5	Tl-1	0.29	0.26	0.51
2041.5	Kl-1	0.32	0.29	0.49	1933.75	Tl-1	0.33	0.3	0.41
2041.9	Kl-1	0.32	0.3	0.36	1934.5	Tl-1	0.35	0.31	0.41
2042.5	Kl-1	0.31	0.29	0.37	1934.6	Tl-1	0.33	0.3	0.4
2043.3	Kl-1	0.35	0.33	0.42	1935	Tl-1	0.41	0.35	0.4
2043.7	Kl-1	0.31	0.29	0.38	1935.2	Tl-1	0.23	0.21	0.57
2044.3	Kl-1	0.23	0.22	0.56	1935.4	Tl-1	0.34	0.31	0.45
2044.8	Kl-1	0.32	0.29	0.37	1919	Us-1	0.35	0.34	0.47
2045.3	Kl-1	0.33	0.3	0.37	1931.5	Us-1	0.12	0.12	0.74
2046	Kl-1	0.29	0.27	0.4	1932	Us-1	0.25	0.25	0.36
2046.3	Kl-1	0.32	0.29	0.37	1934.5	Us-1	0.28	0.27	0.44
2047.25	Kl-1	0.34	0.31	0.37	1935.3	Us-1	0.33	0.29	0.41
2047.5	Kl-1	0.38	0.35	0.41	1935.8	Us-1	0.29	0.26	0.41
2047.7	Kl-1	0.33	0.3	0.37	1936	Us-1	0.3	0.28	0.42
2048.25	Kl-1	0.35	0.32	0.36	1937.8	Us-1	0.32	0.29	0.41
2049	Kl-1	0.36	0.33	0.39	1938.8	Us-1	0.27	0.24	0.44
1984.5	Ls-1	0.34	0.33	0.37	2010	Vb-1	0.33	0.29	0.4
1985	Ls-1	0.32	0.31	0.35	1468	Vd-64	0.29	0.24	0.37
1985.7	Ls-1	0.33	0.32	0.36	1470	Vd-64	0.26	0.23	0.41
1988.5	Ls-1	0.14	0.14	0.79	1472.2	Vd-64	0.31	0.26	0.45



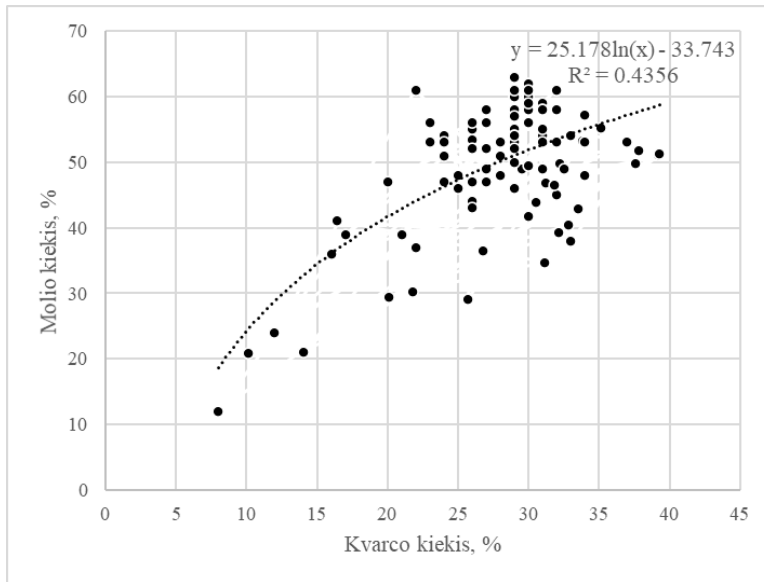
41 pav. XYZ diagrama tarp mineraloginės sudėties ir MBI reikšmių (apskaičiuotų pagal Woodford lygtį [5]). Simbolių dydis parodo santykinį kalcito ir dolomito kiekį mėginyje

Pagal formules [2] ir [3] kalcito didėjimas turėtų didinti MBI reikšmes, o ne atvirkščiai. Molio kiekis buvo palygintas su MBI reikšmėmis (42 pav.). MBI Jarvie neturi tiksliai apibrėžtos tendencijos, bet MBI Wang atveju, galima konstatuoti teigiamą priklausomybę. Tai būtų galima paaiškinti tuo, kad MBI Wang and Gale formulė [3] apima didesnę skirtingų mineralų skaičių. Pagal [2] ir [3] lygtis didėjantis molio kiekis turėtų mažinti MBI.



42 pav. Trapumo indekso koreliacija su molio mineralų kiekiu. A – trapumo indeksas apskaičiuotas pagal Jarvie et al., 2007 [2] formulę, B – trapumo indeksas apskaičiuotas pagal Wang ang Gale, 2009 [3] formulę

Ši neatitikimą galima paaiškinti tiesioginiu molio ir kvarco kiekio silūro molio skalūnuose ryšiu (43 pav.). Kvarcas padidina molio skalūnų trapumą, priešingai nei molio mineralai, turintys atvirkštinį poveikį. Todėl daroma išvada, kad kvarco kiekio kitimas turi didesnę poveikį MBI pokyčiams, nei molio frakcija.



43 pav. Kvarco ir molio mineralų kiekių priklausomybė.

5.4.2. Geofizinės diafragijos trapumo indeksas

Molio skalūnams būdingas mažas hidraulinis skvarbumas. Todėl norint pasiekti komercinę gamybos normą, būtina naudoti hidraulinį ardymą (Sondergeld et al., 2010). Laboratoriniams tyrimams yra tik ribotas uolienų mėginių kiekis. Lietuvoje tik Juru regioninio aukšto (klintys) ir Raikkūla regioninio aukšto (daugiausiai organinės medžiagos praturtinti juodi graptolitiniai skalūnai) uolienos gręžtos su keru, o likusi (pagrindinė) apatinio silūro pjūvio dalis tebėra mažai ištirta (tik keletas senų gręžinių gręžti su keru). Kaip paaiškinta aukščiau, Juru regioninio aukšto klintys buvo laikomi antruoju potencialiu tradicinių angliavandenilių kolektoriumi Vakarų Lietuvoje ir todėl buvo išgręžti imant uolienų mėginius.

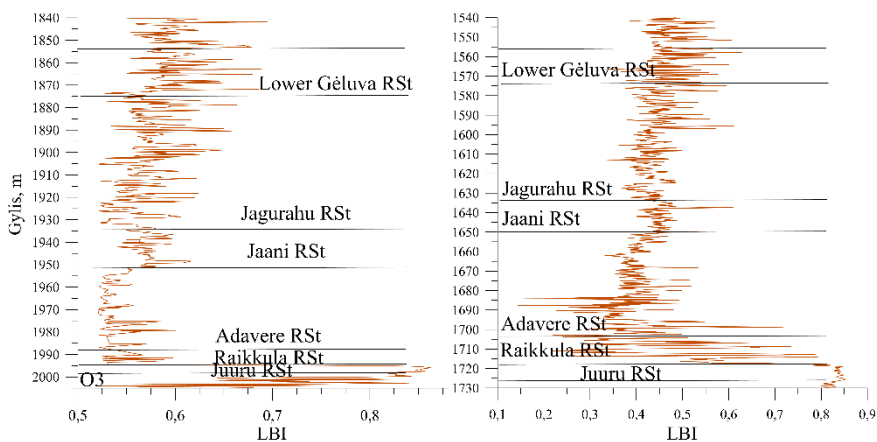
Geofizinių tyrimų gręžiniuose diagramos yra dažnai naudojamos, kaip alternatyvi technika apibūdinant molio skalūnus, išgręžtus be keru. Akustinių bangų diafragija apatinio silūro intervale Vakarų Lietuvoje buvo atlikta aštuoniuose gręžiniuose. Šie duomenys buvo panaudoti apskaičiuoti skalūnų akustinių diagramų trapumo indeksą (LBI). Lygtys, kurios buvo taikomi šiame moksliniame darbe pateiktos 4.2. poskyriuje (formulės [5], [6] ir [7]).

Nepaisant taikytos konkrečios lygties, yra aiškiai matoma bendro LBI didėjimo į viršų tendencija (44 pav.). Juuru regioninio aukšto klintyse yra didžiausios LBI vertės, kaip ir tikėtasi. Daug organinės medžiagos turinčių

Raikkūla regioninio aukšto molio skalūnų vidutinis trapumas panašus į Adavere regioninio aukšto juodųjų skalūnų LBI. Aukščiau trapumo vertės neturi aiškios vertikalios tendencijos. Janni regioninio aukšto skalūnai yra padidino trapumo. Jagarahu ir Gėluvos regioninių aukštų molio skalūnai yra trapesni einant į viršų.

Gręžinių geofizinių diagramų interpretavimo rezultatai buvo apibendrinti atskiriems regioniniams aukštams siekiant nustatyti LBI lokalius pokyčius Vakarų Lietuvoje (4-6 lentelės). Raikkūla regioninio aukšto skalūnų trapumo indeksas yra santykinai mažiausias, lyginant su aukščiau slūgsančiais molio skalūnais. Tačiau Adavere molio skalūnai, kai kuriuose gręžiniuose yra mažiau trapūs (gręžiniai Šlapgiriai-1, Lapgiriai-122, Nausodis-5, Žūtautai-1). Jaani ir Gėluvos regioninių aukštų molio skalūnai turi santykinai didžiausią LBI. Jaani regioninis aukštas turi padidėjusį trapumą, o Gėluvos regioninis aukštas vainikuoja apatinio silūro pjūvį didėjančiu LBI dydžiu.

Lyginant taikomas lygtis, santykinai didžiausios LBI vertės buvo apskaičiuotos naudojant Barnetto skalūnų lygtį [6], nors jos yra gana artimos LBI dydžiams, apskaičiuotiems pagal globalią skalūnų koreliacijos lygtį [7], LBI kinta nuo 0,48 iki 0,72. Woodford skalūnų lygtis paskaičiuoja santykinai mažesnes LBI vertes [5].



44 pav. Akustinių diagramų trapumo indeksas apskaičiuotas naudojantis Woodford skalūnų koreliacija [5]. Kairėje – gręžinys Barzdėnai-2, dešinėje – gręžinys Šlapgiriai-1. Diagramų smaigaliai (spikes) yra sukelti zondavimo įrangos techninių (elektrinių) sutrikimų

4 lentelė. Vidurkinis LBI (Barnett skalūnų koreliacinė lygtis [6]) apatinio silūro skalūnuose, skirtinguose tirtuose gręžiniuose

Regionis aukštas	Gėlu va	Jagurahu	Jaani	Adavere	Raikkūla
Šlapgiriai-1	0.55	0.52	0.54	0.48	0.57
Barzdėnai-2	0.67	0.64	0.64	0.59	0.57
Kretinga-4	0.59	0.58	0.59	0.54	0.48
Macuciai-1	0.63	0.63	0.64	0.59	0.50
Purmaliai-1	0.68	0.67	0.68	0.64	0.57
Agluonėnai-1	0.67	0.66	0.67	0.64	0.53
Geniai-3	0.56	0.53	0.55	0.5	0.49
Girkaliai-5	0.61	0.60	0.61	0.58	0.53
Lapgiriai-122	0.53	0.52	0.54	0.48	0.52
Nausodis-5	0.68	0.66	0.81	0.65	0.67
Zukai-1	0.57	0.55	0.56	0.49	0.56
Zutautai-1	0.57	0.7	0.63	0.69	0.80

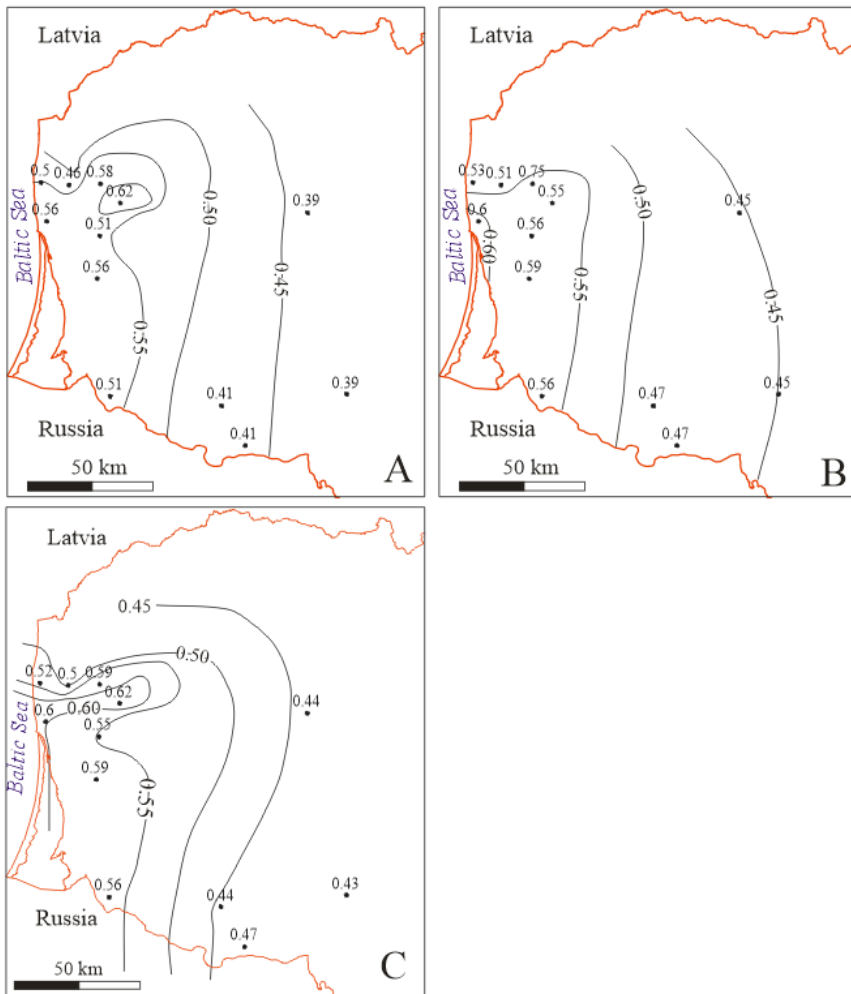
5 lentelė. Vidurkinis LBI (pasaulinių skalūnų koreliacinė lygtis [7]) apatinio silūro skalūnuose, skirtinguose tirtuose gręžiniuose

Regionis aukštas	Gėlu va	Jagurahu	Jaani	Adavere	Raikkūla
Šlapgiriai-1	0.53	0.50	0.51	0.44	0.56
Barzdėnai-2	0.68	0.65	0.65	0.58	0.56
Kretinga-4	0.58	0.57	0.59	0.52	0.44
Macuciai-1	0.64	0.63	0.64	0.59	0.47
Purmaliai-1	0.69	0.68	0.69	0.64	0.56
Agluonėnai-1	0.69	0.67	0.68	0.64	0.51
Geniai-3	0.55	0.5	0.53	0.47	0.46
Girkaliai-5	0.61	0.6	0.61	0.57	0.5
Lapgiriai-122	0.51	0.49	0.51	0.45	0.49
Nausodis-5	0.70	0.67	0.87	0.66	0.68
Zukai-1	0.55	0.53	0.54	0.46	0.55
Zutautai-1	0.55	0.72	0.63	0.71	0.86

6 lentelė. Vidurkinis LBI (Woodford skalūnų koreliacinė lygtis [5]) apatinio silūro skalūnuose, skirtinguose tirtuose gręžiniuose

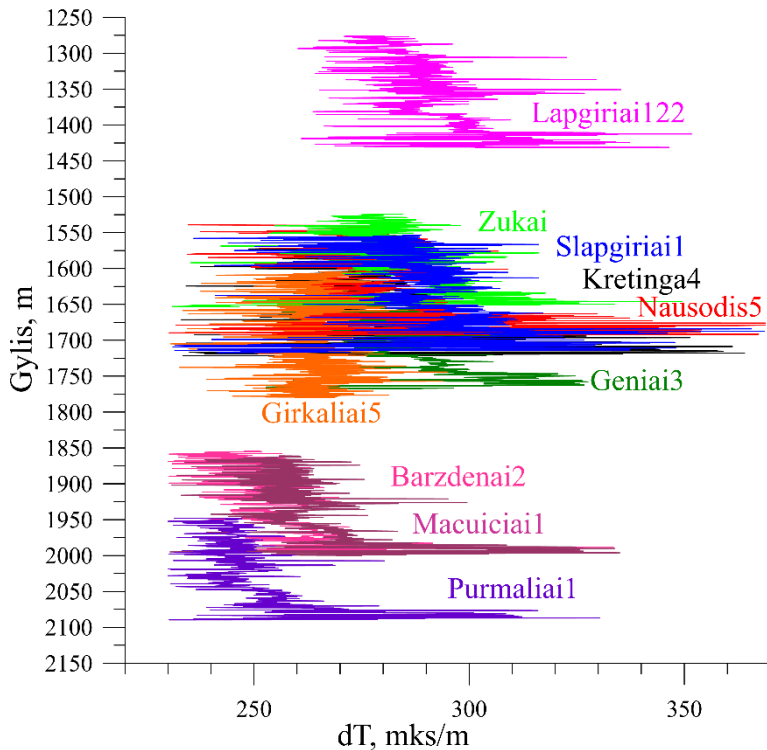
Regionis aukštas	Gėlu va	Jagurahu	Jaani	Adavere	Raikkūla
Šlapgiriai-1	0.47	0.44	0.45	0.39	0.49
Barzdėnai-2	0.59	0.56	0.56	0.51	0.49
Kretinga-4	0.51	0.50	0.51	0.46	0.39
Macuciai-1	0.56	0.55	0.56	0.51	0.41
Purmaliai-1	0.60	0.60	0.60	0.56	0.49
Agluonėnai-1	0.60	0.59	0.59	0.56	0.45
Geniai-3	0.48	0.44	0.47	0.41	0.4
Girkaliai-5	0.53	0.52	0.53	0.50	0.44
Lapgiriai-122	0.45	0.43	0.45	0.39	0.43
Nausodis-5	0.61	0.59	0.75	0.58	0.59
Zukai-1	0.49	0.47	0.47	0.41	0.48
Zutautai-1	0.48	0.62	0.55	0.62	0.74

Buvo sudaryti trys Jaani, Adavere ir Jagurahu regioninių aukštų LBI reikšmių pasiskirstymo žemėlapiai, kurie iliustruoja lokalų molio skalūnų trapumo kitimą. Tos pačios tendencijos stebimos tirtiems stratigrafiniams lygiams, neatsižvelgiant į konkrečią taikomą koreliacijos lygtį. LBI sistemingai didėja į vakarus nuo 0,39 rytuose iki daugiau nei 0,55 vakaruose (45 pav.). Be to, yra akivaizdus, maždaug 200 m amplitudės, regioninio masto V-R krypties Telšių lūžio zonos poveikis (lūžis nenurodytas žemėlapiuose). Skalūnai yra mažiau trapūs pakeltoje siaurinėje lūžio puseje, lyginant su molio skalūnais esančiais nuleistame lūžio sparne.



45 pav. Horizontalus trapumo indekso pasiskirstymas (Woodford koreliacija [5]) apskaičiuotas (A) Adavere regioniniam aukštui, (b) Jaani regioniniam aukštui ir (C) Jagurahu regioniniam aukštui

Į vakarus didėjantis uolienuų trapumas koreliuoja su molio skalūnų tankėjimu ir gylio didėjimu (apatinio silūro pado gylis kinta nuo 1435 m gręžinyje Lapgiriai-122 iki 2085 m gręžinyje Klaipėda-1). Dėl didėjančio tankumo ir porų erdvės mažėjimo, akustinės bangos greitis didėja (46 pav.). Vidutinis akustinių bangų lėtėjimas vidutiniškai siekia 290 $\mu\text{s}/\text{m}$ sekliausiame Lapgirių-122 gręžinyje, o giliausiame Purmalių-1 gręžinyje (netoli Klaipėdos) yra apie 245 $\mu\text{s}/\text{m}$. Pažymėtina, kad akustinių bangų lėtėjimas rodo labai aiškia priklausomybę nuo gylio, nepaisant to, kad atskirų gręžinių apatinio silūro intervale ryški priešinga vertikalė tendencija. Tai rodo bendrą didėjančio grimzdimo poveikį akustinių bangų greičiui (jis, savo ruožtu, labiausiai priklauso nuo poringumo, tačiau nemažą korekciją daro ir mineralinė sudėtis bei OM kiekis).



46 pav. Sudėtinė akustinių bangų sklidimo greičių schema pagal gylį, tirtuose gręžiniuose

5.5. Katijonų mainų geba

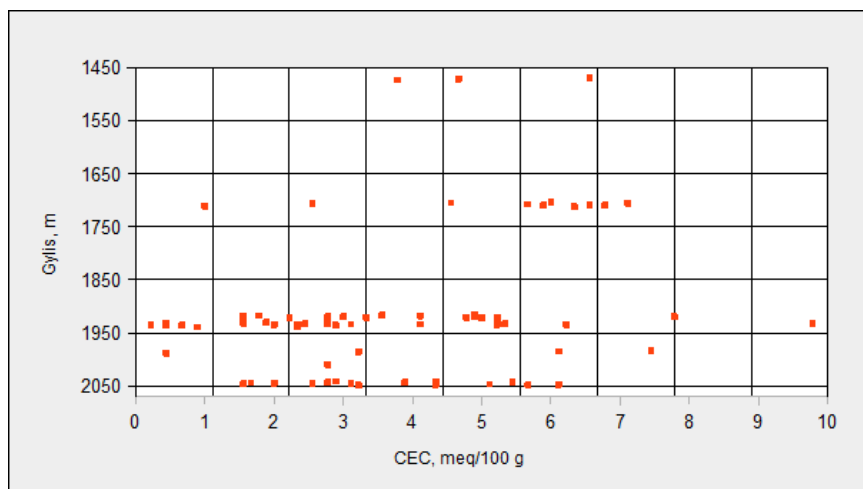
Dujų adsorbcijos geba visų pirma priklauso nuo molijų mineraloginės sudėties ir šių mineralų kiekio, kuris priklauso nuo baseino sedimentacinės istorijos. Smektitui būdinga didelė dujų adsorbcijos geba, tuo tarpu ilito adsorbcijos geba yra nežymi, o kaolinitui būdinga minimali adsorbcijos geba (Ross, Bustin, 2009). Išmatuotos skalūnų katijonų mainų gebos (CEC) vertės apatinio silūro moliams kinta nuo 0,2 iki 8,8 mekv/100 g (7 lentelė).

7 lentelė. Katijonų mainų geba apatinio silūro skalūnuose, Vakarų Lietuvoje

Gręžinys	Gylis, m	CEC, meq/100g	Gręžinys	Gylis, m	CEC, meq/100g
Gorainiai-1	1915	4.4	Šlapgiriai-1	1702	5.4
Gorainiai-1	1917	3.2	Šlapgiriai-1	1704	4.1
Gorainiai-1	1917.5	1.6	Šlapgiriai-1	1704.8	6.4
Gorainiai-1	1918	3.7	Šlapgiriai-1	1706.7	2.3
Gorainiai-1	1918.6	1.4	Šlapgiriai-1	1707	5.1
Gorainiai-1	1918.7	2.5	Šlapgiriai-1	1707.7	5.9
Gorainiai-1	1919	2.7	Šlapgiriai-1	1708.5	6.1
Gorainiai-1	1920	1.4	Šlapgiriai-1	1709	5.3
Gorainiai-1	1920.5	4.4	Šlapgiriai-1	1710.6	0.9
Gorainiai-1	1920.7	4.3	Šlapgiriai-1	1711.2	5.7
Gorainiai-1	1921	3	Toliai-1	1929.8	1.7
Gorainiai-1	1921.2	4.5	Toliai-1	1931.2	0.4
Gorainiai-1	1921.7	4.7	Toliai-1	1931.5	0.4
Gorainiai-1	1922	2.5	Toliai-1	1932.7	2.2
Gorainiai-1	1922.5	2	Toliai-1	1932.9	2.5
Gorainiai-1	1922.8	1.4	Toliai-1	1933.2	4.8
Gorainiai-1	1923.5	1.4	Toliai-1	1933.5	2.8
Klaipėda-1	2041.5	2.6	Toliai-1	1933.7	3.7
Klaipėda-1	2041.9	3.9	Toliai-1	1934.5	5.6
Klaipėda-1	2042.5	4.9	Toliai-1	1934.6	1.8
Klaipėda-1	2043.3	2.5	Toliai-1	1935	0.4
Klaipėda-1	2043.7	3.5	Toliai-1	1935.2	2.1

Klaipėda-1	2044.3	1.5	Toliai-1	1935.4	2.6
Klaipėda-1	2044.8	2.3	Usėnai-1	1919	7
Klaipėda-1	2045.3	1.8	Usėnai-1	1931.5	1.4
Klaipėda-1	2046	1.4	Usėnai-1	1932	8.8
Klaipėda-1	2046.3	2.8	Usėnai-1	1934.5	4.7
Klaipėda-1	2047.2	4.6	Usėnai-1	1935.3	0.4
Klaipėda-1	2047.5	5.5	Usėnai-1	1935.8	0.6
Klaipėda-1	2047.7	3.9	Usėnai-1	1936	0.2
Klaipėda-1	2048.2	5.1	Usėnai-1	1937.8	2.1
Klaipėda-1	2049	2.9	Usėnai-1	1938.8	0.8
Lašai-1	1984.5	6.7	Vabalai-1	2010	2.5
Lašai-1	1985	5.5	Viduklė-63	1468	5.9
Lašai-1	1985.7	2.9	Viduklė-63	1470	4.2
Lašai-1	1988.5	0.4	Viduklė-63	1472.2	3.4

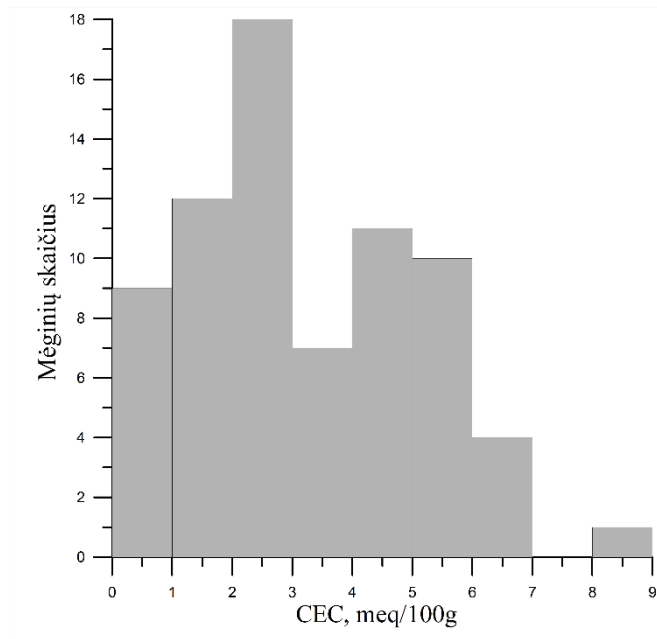
Apžvelgus gautus rezultatus, galime teigti, kad fiksuojama svarbi riba CEC pasiskirstyme su gyliu - rytuose CEC reikšmės didesnės, vakaruose – mažesnės. Matoma tendencija, kad 1650–1750 m gylyje CEC reikšmės yra 5,5–7,2 meq/100g. Gylyje nuo 1850 iki 2060 m reikšmės yra 0,2–6,2 meq/100g (47 pav.). Greičiausiai, tai susiję su svarbia I-S molio mineralų diagenetinio virsmo riba.



47 pav. CEC reikšmių pasiskirstymas pagal gylį (suvestinis grafikas)

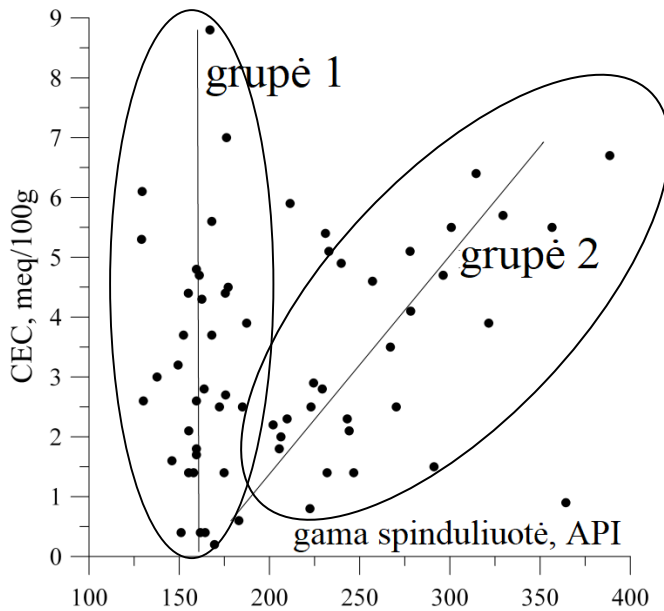
CEC histogramoje matomas bimodalinis reikšmių pasiskirstymas, kurio pikinės vertės yra atitinkamai 2–3 mekv/100 g ir 4–6 mekv/100 g (48 pav.).

Labai mažos CEC vertės daugiausia paaiškinamos ribotu illito kiekiu skalūnuose ir tai yra pagrindinis CEC kontroliuojantis faktorius (Saidian et al., 2016). Eksperimentiškai įrodyta, kad CEC paprastai neviršija 10 meq / 100g skalūnuose, kuriuose yra mažiau nei 50 masės % illito kiekio (Saidian ir kt., 2016). Be to, moliai, kuriuose yra mažas I-S procentas, taip pat pasižymi mažomis CEC vertėmis (Saidian et al., 2016).



48 pav. CEC reikšmių histograma

Gama spinduliuotės (GR) intensyvumas buvo aplygintas su CEC ir išskirtos dvi grupės. (49 pav.). I grupės gama spinduliuotės vertės yra žemos - 130–180 API. Tarp GR ir CEC nėra koreliacijos. Ši grupė yra susijusi su apatiniu landoveriu, viršutiniu landoveriu ir uenlokio skalūnais ir mergeliais. II grupei priklausantys mėginiai daugiausia buvo paimti iš vidurinio landoverio organine medžiaga praturtintų molio skalūnų, turinčių didelį GR intensyvumą. GR vertės teigiamai koreliuoja su CEC. Tai rodo, kad OM turi didelį poveikį CEC reikšmėms apatinio silūro skalūnams, o tai sutinka su kitais organine medžiaga praturtintų nuosėdų tyrimais (Liang et al., 2006). Tiesioginę CEC koreliaciją su kerogeno kiekiu eksperimentiškai įrodė (Derkowski, Marynowski, 2016) silūro juodiesiems skalūnams, kurie yra Baltijos baseino Lenkijos dalyje (ir Marcellus skalūnams, JAV).



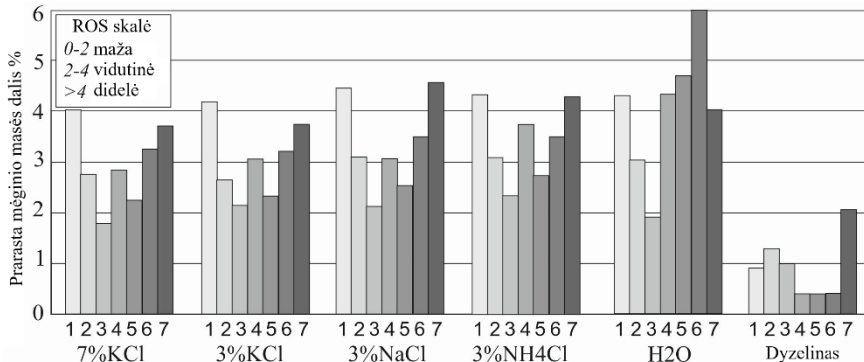
49 pav. GR ir CEC reikšmių koreliacija

Gautos labai žemos Lietuvos skalūnų CEC vertės yra artimos tirtiems Jungtinės Karalystės landoverio ir uenlokio moliams (5-11 mekv./100g), taip pat Lenkijos apatinio paleozojaus argilitams (3-12 mekv./100 g). (Gillespie et al., 2001).

5.6. Molingų uolienuų atsparumas hidraulinei erozijai

Molio mineralai gali būti išplaunami iš skalūnų hidraulinio ardymo metu bei grįžtant gręžimo skiediniui atgal į paviršių. Atskilę molio “žvyneliai“ gali užkimšti poras ir dėl to pabloginti skalūnų dujų išėigą. Molio mineralų atsparumas išplovimui priklauso ir nuo fluido sudėties ir nuo uolienuų mechaninių savybių. Roller Oven krosnies skalūnų stabilumo bandymai (ROS) paprastai atliekami siekiant įvertinti uolienuų atsparumą hidraulinei erozijai. Buvo atlikti 9 stabilumo testai mėginiams iš 7 gręžinių. Tirti molio skalūnų mėginiai rodo skirtingą atsparumą erozijai. Didžiausias atsparumas nustatytas mėginiui paimtam iš Genių-1 gręžinio, o mėginiai paimti iš gręžinių Barzdėnai-1 ir Usėnai-3 turi mažiausias vertes (50 pav.). Dyzelinas labiausiai mažina fluido erozijos efektą (eksperimento metu prarasta tik 0,35–2% molio skalūno masės), o distiliuotas vanduo intensyviausiai eroduoja molio skalūnus (eksperimento metu prarandama 1,95–6% uolienos masės). Visi ištirti mėginiai demonstruoja vidutinę eroziją naudojant vandens priedų

derinius. 7% KCl tirpalas rodo geriausią poveikį mažinant skalūnų eroziją hidraulino ardymo metu. Gauti analizės rezultatai atitinka publikuotus rezultatus, rodančius, kad K^+ -jonai, pridedami į ardymo fluidą, efektyviai slopina molio išnešimą (Hallman, 2003).



50 pav. Atsparumas erozijai, ROS reikšmės su skale. Gręžiniai iš kairės į dešinę 1-Barzdėnai-1, gylis 1985.0 m; 2-Genčiai-1, gylis 1941.8 m; 3-Geniai-1, gylis 1757.7 m; 4-Naumiestis-1, gylis 1963.4 m; 5-Ramučiai-2, gylis 2010.0 m; 6-Šilutė-1, gylis 1960.6 m; 7-Usėnai-3, gylis 1937.1 m

5.7. Molingų uolienu brinklumas

Moliai turi skirtingą brinkimo laipsnį, o tai gali sukelti sunkumų hidraulinio ardymo metu. Už molio brinkimą atsakingi du mechanizmai: paviršiaus hidratacija ir osmosinis brinkimas (Van Olphen, 1963). Paviršiaus hidratacija turi palyginti nedidelį poveikį molio brinkimui, lyginant su osmosiniu procesu. Tai įvyksta, kai jonų koncentracija plyšio plokštumos paviršiuje yra didesnė nei skysčio, gauto atgal į sistemą. Atitinkamai osmosinis brinkimas gali būti sumažintas, jei rūgščių koncentracija darbiniam skiedinyje yra didesnė nei molio skalūne.

Norint numatyti molio skalūnų elgseną gręžiant ir hidrauliškai ardant, buvo pasiūlytas kapiliarų absorbcijos trukmės (CST) metodas (Wilcox, Fisk, 1983), kurį pirmą kartą pasiūlė Gale ir Baskerville (1967). Metodo esmė – tirpalo prisotintas sutrinto mėginio kapsulė dedama ant storo popieriaus (dažniausiai vatmano n^o17; jis suplotas tarp dviejų plastiko plokštelių su skylė), kuriuo, dėl kapiliarinės jėgos (siurbimo), plinta drėgna dėmė, jos plitimą nuo centro matuoja specialus laikmatis (paprastai įrengiami trys sensoriai viršutinėje plokštelėje). Kuo drėgmės dėmės plitimo greitis didesnis (t.y. CST trukmė maža), tuo lengviau mėginys “atiduoda“ tirpalą filtravimo medžiagai, šiuo

atveju uolienos brinklumas yra nedidelis. Paprastai užima 5–10 s pasiekti išorinį sensorių. Laikas koreliuojamas su specifine filtrato varža. Eksperimentai rodo, kad CST (brinklumą) galima sumažinti pridėjant į tirpalą įvairių druskų, ypač kalio (Hart, 1989; Nasr-El-Din ir kt., 1999).

Išmatuotos CST koeficiento vertės yra gana žemos (8 lentelė), ir atitinka specifinę apatinio silūro molio skalūnų mineraloginę sudėtį: vyraujantis ilitas turi mažą brinklumo laipsnį, o kaolinito ir chlorito brinklumas yra minimalus. Padidėjusiu brinklumu pasižymi I-S ir smektito molio mineralai (Hart, 1989).

8 lentelė. Kapiliarų absorbcijos trukmės santykių reikšmės su skirtingais darbiniais tirpalais

Gręžinys	Amžius	Gylis, m	7% KCl	3% KCl	3% NaCl	5% NH ₄ Cl	H ₂ O
Barzdėnai-1	S1ln	1985	1.68	2.13	2.55	2.49	2.62
Genčiai-1	S1w	1858	1.8	1.83	2.2	2.01	3.7
Genčiai-1	S1ln	1941.9	1.05	1.1	1.41	1.2	2.45
Geniai-1	S1ln	1757.7	0.97	1.01	1.05	0.82	1.75
Naumiestis-1	S1ln	1963.4	0.96	0.97	1.43	1.48	1.61
Ramučiai-2	S1ln	2010	1.46	1.75	2.01	1.82	3.42
Šilutė-1	S1w	1956.4	1.41	1.77	1.95	1.54	2.98
Šilutė-1	S1ln	1990.6	1.68	1.6	1.7	1.46	2.12
Usėnai-3	S1ln	1937.1	0.83	0.79	1.02	1.03	1.72

Buvo nustatyta, kad 7% KCl tirpalas yra tinkamiausias mažinant molio skalūnų brinklumą. 3% KCl tirpalas vandenyje šiek tiek geriau veikė molius, surinktus iš gręžinių Šilutė-1 ir Usėnai-3 nei 7% KCl tirpalas, tačiau palyginus kitų gręžinių duomenis 3% KCl tirpalas yra šiek tiek prastesnis. 7% KCl tirpalas, palyginus su distiliuotu vandeniu, sumažina kapiliarų absorbcijos laiką 1,6–2,3 karto. 5% NH₄Cl tirpalas turi mažesnę redukcinių poveikį, išskyrus mėginius, paimtus iš gręžinių Šilutė-1 ir Geniai-1. NaCl tirpalas mažiausiai kontroliuoja CST reikšmes.

Įvertinus CST ir ROS rezultatus bei palyginimus galima teigti, kad geriausius rezultatus daugumoje gręžinių parodė 7% KCl tirpalas, sekantis pagal pritaikymo tikslingumą būtų 3% KCl tirpalas.

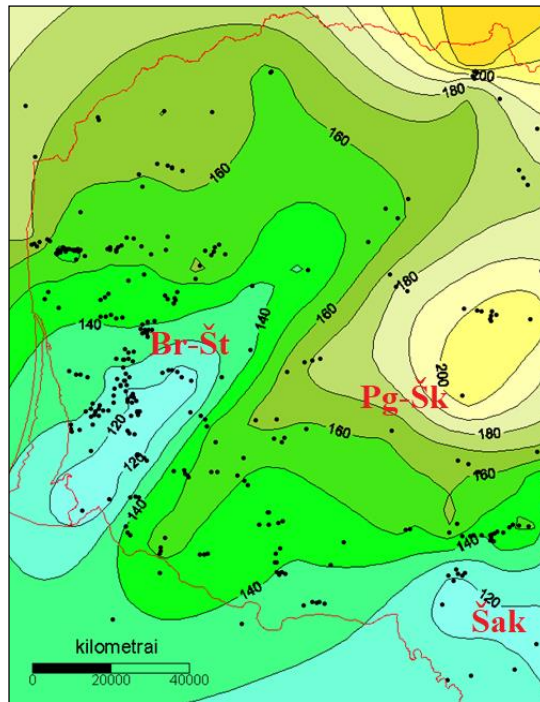
DISKUSIJA

Apatinio silūro molio skalūnai Vakarų Lietuvoje yra 120–200 m storio. Tai rodo mažą nuosėdų kaupimosi greitį “badaujančio“ baseino etape. Apatinio landoverio (apie 10 m storio) padą sudaro mikritinės klintys. Tai atspindi dramatiškus aplinkos pokyčius ordoviko ir silūro riboje. Ordoviko pabaiga pažymėta globaliu jūrinės faunos išnykimo įvykiu (pirmasis faunos išnykimas ir antras pagal dydį iš penkių masinių išnykimo epizodų fanerozojuje), o ankstyvasis silūras pažymėtas atsivavimu po ordoviko faunos išnykimo. Viršutinio ordoviko mergeliai ir klintys ankstyvojo silūro metu buvo pakeisti organine medžiaga praturtintais juodaisiais molio skalūnais apatiniame silūre (Knoll, Holland, 1995). Viršutinio ordoviko pjūvio viršutinėje dalyje yra gausu paleojrėzių, užpildytų klinties nuolaužomis, kai kuriose jų yra aptikti naftos pėdsakai Vidurio Lietuvoje (Laškovas, 2000). Tai susiję su dramatišku viršutinio ordoviko Sacharos (Vakarų Afrikos ir Amazonės, dengė didelę dalį Gondvanos žemyno) ledyno tirpimu ir pasaulinio vandenyno lygio kilimu, (Delabroye ir kt., 2010; Finnegan, 2011; Moreau, 2011). Tarp ordoviko ir silūro nuogulų yra tam tikra sedimentacinė pertrauka. Ledo tirpimas buvo staigus ir smarkiai pakeitė pasaulinę okeaninių srovių sistemą. Apledėjimo metu vandenynas buvo 5°C vėsesnis, o deglaciacijos metu jau buvo daug šilčiau.

Raikkūla regioninio aukšto molio skalūnai labiausiai praturtinti OM. Jie yra koreliuojami su Šiaurės Afrikos ir Arabijos pusiasalio „karštaisiais“ molio skalūnais (Belaid et al., 2009; Loydell et al., 2013). Juose padidintas OM kiekis, kuris lydėjo viršutinio ordoviko ledo tirpimą Gondvanos žemyne. OM kaupimasis pasiekė kontinentų pakraščius, ką rodo platus molio skalūnų paplitimas platformose. Vakaruose išilgai Baltikos kontinento naujai susiformavę kaledonidai sudarė barjerą okeaninio vandens apykaitai, kas skatino OM kaupimąsi kontinento šlaite. Juuru regioninis aukštas žymi ledo dangos tirpimo pradžios etapą, o Raikkūla regioninį aukštą galima priskirti vėlyvosios deglaciacijos stadijai. Jūros gyvybės bendruomenių atsinaujinimas prasidėjo *P.acuminatus* zonoje (Berry, 1987), kuri žymi Juuru regioninio aukšto padą. (Paškevičius, 2019).

Gama diafragijos taikymas žymiai papildė OM pasiskirstymo modelį Vakarų Lietuvos apatinio silūro molio skalūnuose. Buvo nustatyta OM anomalinė zona orientuota ŠV-ŠR kryptimi. OM lokalus pasiskirstymas atitinka apatinio silūro uolienų storių kaitą (51 pav.). Anomalus OM ruožas žymi Pagėgių-Šaukėnų padidėjusio storio (140-200 m) struktūrą, o Vakarų Lietuvos OM minimumas žymi Barzdėnų-Šatrijos pakilumą (apatinio silūro uolienų storis 120–160 m). Šios struktūros matomai buvo aktyvios silūro

nuosėdų klostymosi metu. Atitinkamai, baseino dugne lokaliuose įdubose susikaupė labiau OM praturtinto molingo dumblo, lyginant su lokaliomis pakilumomis.



51 pav. Apatinio silūro izopachitų žemėlapis. Struktūros (pavadinimai pagal pagrindinius gręžinius): Br-Št – Barzdėnų-Šatrijos pakiluma, Pg-Šl - Pagėgių-Šaukėnų įlinkis, Šak - Šakių pakiluma

Įdomu pažymėti, kad padidėjęs OM kaupimasis taip pat prognozuojamas palei pietinį (santykinai nuleistą) Telšių lūžio sparną. Tai yra svarbi žinia, nes pagrindinis Telšių lūžio susidarymo etapas įvyko vėlyvajame silūre (Stirpeika, 1999) dėl Laurentia ir Baltica kontinentų susidūrimo (Šliaupa, 1999; Šliaupa ir kt., 2000; Poprawa ir kt., 2006).

Gama diafragijos taikymas vertinant OM pasiskirstymą nėra visada tikslus (įtakos turi ir molio mineralų kiekis bei sudėtis). Tad buvo naudojami papildomi geofizinės diafragijos duomenų interpretacijos metodai - akustinė ir elektros varžų diafragija. Kaip ir buvo tikėtasi, šių diafragijos duomenų interpretacija išryškino gerai žinomą Raikkūla regioninio aukšto OM maksimumą. OM pasiskirstymas aukščiau slūgsančiuose apatinio silūro molio skalūnuose rodo kiek netikėtą tendenciją, atspindinčią vieningą OM sedimentacijos ciklą: OM kiekis pasiekia maksimumą Jaani regioniniame

aukšte. Apatinio silūro Jaani regioniniame aukšte yra fiksuojamas mažiausias gama spindulių intensyvumas, kuris rodo, kad skalūnuose yra sumažėjęs molio mineralų kiekis. Sumažėjęs gama spindulių intensyvumas geriausiai paaiškinamas padidėjusiu karbonatų kiekiu moliuose.

Apatiniame silūre pastebima trapumo indekso didėjimo į pjūvio viršų tendencija. Tai susiję su didėjančiu karbonatinių mineralų kiekiu ir OM koncentracijos mažėjimu. Kalbant apie lateralų (plotinį) pasiskirstymą, Vakarų Lietuvoje buvo nustatyta kiek netikėta tendencija. Nuosėdinio jūros baseino aplinka Lietuvoje gilėjo į vakarus. Priešingai, konstatuojamas organinės medžiagos kiekio didėjimas į rytus. Vidutinės TOC vertės viršija 2%, kuris priskiriamas „karštajam“ intervalui, turinčiam didžiausią skalūnų dujų potencialą (Peters, 1986; Dembicki, 2017).

Uolienu trapumas priklauso nuo kelių parametru, tokių kaip poringumas, mineraloginė sudėtis, mechaninė anizotropija. Buvo paskaičiuotos vidutinės MBI (mineralinio trapumo indekso) vertės, daugiausia 0,25–0,35. Pagal MBI vertes apatinio silūro molio skalūnai yra klasifikuojami kaip vidutiniškai plastiški ir vidutiniškai trapūs (pagal Perez, Marfurt, 2013). Pagal (Wójcicki et al., 2017) pasiūlytą metodiką, tirtų molio skalūnų mėginių trapumo reikšmės yra mažesnės negu apatinė perspektyvių skalūnų riba 0,4. Pagrindinė priežastis, kodėl apatinio silūro molio skalūnai turi vidutinius trapumo indeksus, yra susijusi su tirtų mėginių dideliu molio mineralų ir OM kiekiu (atitinkamai 50–60% ir 2,5–16,2%). Šios molio skalūnų sudedamosios dalys yra pagrindiniai skalūno plastiškumą lemiantys parametrai (Yasin et al., 2017). Tačiau reikia pabrėžti, kad beveik visi ištirti mėginiai buvo surinkti iš labiausiai OM praturtintų Raikkūla regioninio aukšto molio skalūnų, o likusi apatinio silūro storymės dalis buvo gręžiama be kerno. Todėl gali būti klaidingas supratimas apie bendrą apatinio silūro žemą trapumą sprendžiant tik iš kerno duomenų.

Geofizinių tyrimų gręžiniuose akustinių bangų diafragijos taikymas praplečia žinias apie apatinio silūro molio skalūnų trapumą. Interpretuojant akustinių bangų ir elektros varžų diafragijos kreives buvo nustatyta, kad Raikkūla regioninio aukšto molio skalūnai turėtų būti klasifikuojami kaip vidutiniškai trapūs ir, daugiausiai, trapūs ($LBI > 0,48$). Visi apatinio silūro regioniniai aukštai rodo sistemingą LBI didėjimą į vakarus. LBI reikšmių skirtumas tarp Rytinės ir Vakarinės Lietuvos dalies yra apie 0,15, tai atitinka maždaug 650 m slūgsojimo gylio skirtumą. Tad skalūnų sutankėjimas, susijęs su mažėjančiu poringumu, yra pagrindinis parametras, kontroliuojantis šią lateralią (plotinę) tendenciją.

Molio mineralai turi neigiamą elektros krūvį. Tad, jie pasižymi padidintomis sorbcinėmis savybėmis (t.y. pritraukti iš fluído tirpalo įvairias

medžiagas ir jas sulaikyti; tai puikiai žinoma kosmetikoje ir medicinoje). Gamtinės dujos atsilaisvina iš molio kai tik nukrenta slėgis dėl vandens praradimo (tuo pagrįstas ir metano išgavimas iš anglies sluoksnių). Kuo didesnė molių katijonų mainų geba (CEC), tuo moliai labiau užlaiko porose ir plyšiuose esančių dujų. Ypač geromis sorbcinėmis savybėmis pasižymi montmorilonitas (smektitas), prasčiausiomis - hidrožerutis ir ypač kaolinitas. Tad šis parametras yra svarbus prognozuojant išgaunamus dujų kiekius iš molio skalūnų – kuo mažesnė katijonų mainų geba, tuo jie yra geresnės kokybės. Tirtų Vakarų Lietuvos apatinio silūro molio mėginių CEC kinta nuo 0,2 iki 8,8 mekv./100g (Šliaupa et al., 2020). Tai nedidelės reikšmės, kas siejama su tirtų mėginių mineraline sudėtimi – vyrauja hidrožerutis ir chloritas, didelė detritinių grūdelių dalis uolienoje. Šios reikšmės yra artimos tirtiems Jungtinės Karalystės landoverio ir uenlokio moliams (5–11 mekv./100g), taip pat Lenkijos apatinio paleozojaus argilitams (3–12 mekv./100 g). Palyginimui, bentonito (vieno patikimiausių molio užpildų radionuklidų saugojimui gelmėse) CEC yra 60–108 mekv./100 g (priklauso nuo uolienos tipo), be to didėjant temperatūrai jis mažėja (Vakarų Lietuvos sąlygomis tai 70–85°C temperatūra) (Vaitkevičienė, Narkūnienė, 2017).

Atliekant hidraulinių molio skalūnų ardymą, molio dalelės gali atsipalaiduoti ir būti išneštos su cirkuliuojančiu vandeniu (su mišiniais). Mobilizuotos hidraulinio ardymo metu dalėlės gali užkimšti naujai susidariusius ir atsivėrusius senus plyšius ir poras, taip užblokuodamos dujų veržimąsi į eksploatacijos gręžinį. Tad, svarbi molio skalūnų savybė yra atsparumas vandens srauto erozijai. Uolienų stabilumo vertinimui atliekami laboratoriniai besisukančio kaitinamo būgno metodu (angl. *Roller Oven, RO*). Susmulkintos uolienos yra veikiamos cirkuliuojančio fluido, galima keisti temperatūrą. Skaičiuojama ant būgno filtro mobilizuotų dalelių (nuosėdų) kiekis – jos buvo atplėštos nuo uolienos dalelių cirkuliuojančio fluido. Kuo tokių apnašų daugiau ant filtro, tuo mažiau atspari erozijai yra uoliena. Laboratorijoje ardymų tirtų molio skalūnų apnašos ant filtro siekė 1,9–6% mėginio pradinės masės (vidutiniškai 3,8%) (Šliaupa et al., 2020). Tad, uolienos klasifikuojamos kaip mažai ir vidutiniškai (dauguma mėginių) eroduojamos uolienos, išimtį sudaro neatsparus molio mėginys paimtas iš Šilutės-1 gręžinio (6%). Kadangi didelę įtaką erozijai turi molio mineralų neigiamas krūvis, papildomais tirpalais galima sumažintai fluidų mechaninį agresyvumą. Kaip rodo praktika, geriausiomis savybėmis pasižymi organiniai junginiai. Dyzelis sumažino silūro mėginių eroziją iki 0,4–1,2% mobilizuotų apnašų kiekio (vienu atveju „tik“ iki 2,1%) – tai mažos erozijos rodiklis. Dažniausiai, gi, praktikoje naudojami paprastesni junginiai, kaip NaCl, KCl, NH₄Cl (tirpalo koncentracija 3–7%). Kaip ir tikėtasi, geriausių rezultatų

sulaukta pridėjus į distiliuotą vandenį KCl (7%). Vidutinė erozija yra apie 3,0% (vidutinė erozija).

Hidrauliškai trupinant molio skalūną, į sistemą patenka papildomas vanduo, atveriami nauji ir seni plyšiai, kurie neišvengiamai reaguoja (ne chemiškai) su molio mineralais. Ši reakcija gali sukelti molio mineralų brinkimą, o tai gali užakinti plyšių sistemą ir užverti kelius gamtinių dujų mobilizacijai. Paviršiaus hidratacija turi mažą poveikį, pagrindinis procesas yra osmosinio slėgio brinkimas. Šis fenomenas plačiai naudojamas aplinkosauginiuose barjeruose (salinizacijos-desalinizacijos osmosinės konsolidacijos ciklai). Labiausiai paplitęs laboratorinio vertinimo metodas yra kapiliarinės filtracijos greitis (laikas) (angl. *Capillary Suction Time*, CST). Molio mėginys sutrinamas, naudojamas nusausinimo filtras. Kuo molingos uolienos mineralinės dalelės labiau sulaiko vandenį, tuo didesnis jos brinklumas. Tuo ilgesnis ir filtracijos fronto plitimo tarp dviejų fiksuotų taškų laikas (CST). Tirti Lietuvos mėginiai, pagal laboratorijos kalibruotą klasifikacijos schemą yra mažo brinklumo (distiliuoto vandens fronto plitimo sąlyginis laikas 1,72-3,70). NaCl, KCl, NH₄Cl priemaiša filtracijos laiką sumažina pusiau (ypač KCl) (Šliaupa et al., 2020). Mažas brinklumas, kaip ir atsparumas erozijai yra susijęs su minėta specifine apatinio silūro molio skalūnų mineraline sudėtimi.

IŠVADOS

Molio mineralų kiekis apatino silūro argilituose kinta nuo 37% iki 57% ir vidutiniškai siekia 40–50%. Diagenetinis ilitas yra dominuojantis molio mineralas, o chloritas yra antras pagal gausumą molio mineralas. Bendras kvarco ir feldšpatų kiekis yra mažesnis nei molio mineralų ir vidutiniškai siekia 35–45%. Molingose uolienose kalcito kiekis yra didesnis nei dolomito, nors kai kuriuose skalūnų intervaluose buvo užfiksuotas atvirkštinis santykis. Tai lemia apatinio silūro skalūnų palankias eksploatacines (petrofizines) savybes Vakarų Lietuvoje.

Naudojant gama, elektrinės varžos ir akustinių bangų diafragiją pagerintas organinės medžiagos pasiskirstymo modelis. Labiausiai organine medžiaga praturtintas sluoksnis susijęs su 4–10 m storio Raikkūla regioniniu aukštu. Jauni regioniniame aukšte buvo nustatyta antroji eksploatacijai perspektyvi zona.

Apatinio silūro skalūnų mėginių tyrimai rodo, kad bendras organinės medžiagos (TOC) kiekis yra apie 1–2% (išskyrus anomalinį Raikkūla sluoksnį (iki 21%). Diafragijos duomenų interpretacija atskleidė gerokai didesnes TOC koncentracijos reikšmes visame apatinio silūro molingos storių pjūvyje, TOC kiekis vietomis viršija 4–5% ir siekia iki 8,9%, tai gerokai viršija eksploatacijos ribinę 2% koncentraciją. Organinės medžiagos prisotinimas molingose uolienose tampriai susijęs su apatinio silūro storių plotiniu kitimu – daromam išvada, kad jos kaupimosi intensyvumą lėmė baseino dugno nelygumai, paleoįdubose prognozuojamas padidėję skalūnų dujų produktyvumas.

Apatinio silūro molingų uolienuų poringumas mažėja didėjant slūgsojimo gyliui nuo ~15% 1,5 km gylyje iki 2–3% ~2 km gylyje. Didžiojoje Vakarų Lietuvos teritorijos dalyje poringumas palygintinas su sedimentaciniais baseinais, kuriuose vykdoma intensyvi skalūnų dujų eksploatacija.

Tirtų uolienuų mineraloginis trapumo indeksas (MBI) (svarbus prognozuojant hidraulinio ardymo efektyvumą) yra kiek mažesnis už kritinę 0,40 ribą, vertinant molio skalūnus kaip potencialią formaciją dujų gavybai. Vidutinis uolienuų trapumas susijęs su plastiškų komponentų, t.y. molio mineralų ir organinės medžiagos, gausa. Tuo tarpu diafragijos kreivių trapumo indeksas (LBI) rodo, kad uolienuų trapumas viršija minimalią ribą ir apatinio silūro skalūnai vertintini kaip perspektyvi eksploatacijai formacija.

Apatinio silūro molingų uolienu katijonų mainų geba įvertinta kaip labai maža. Mažos vertės paaiškinamos dideliu detritinių grūdelių kiekiu ir vyraujančiais ilito bei chlorito mineralais molio frakcijoje. Molingų uolienu atsparumas hidraulinei erozijai teigiamai koreliuoja su katijonų mainų geba, jis vertinamas kaip vidutinis, tai svarbu užtikrinant hidraulinio ardymo zonos tvarumą. 7% KCl tirpalas sumažina jautrumo reikšmes maždaug du kartus lyginant su distiliuotu vandeniu (geresnėmis savybėmis pasižymi tik brangūs organiniai produktai) ir yra rekomenduotinas praktiniam apatinio silūro skalūnų hidrauliniui ardymui.

Bendrai vertinant tirta apatinio silūro argilitų petrofizines (ir mechanines) savybes galima teigti, kad Vakarų Lietuva pasižymi geromis šių uolienu eksploatacinėmis savybėmis, kurias lėmė, pirmiausia, specifinė uolienu mineraloginė sudėtis.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

- Altindag, R. 2003. Correlation of specific energy with rock brittleness concepts on rock cutting: *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 103, 163–171.
- American Petroleum Institute, 2004. API Recommended Practices 13I: Laboratory Testing of Drilling Fluids, 7th ed., 73–76
- Applin et al., 1995 Aplin, A.C., Yang, Y.L. & Hansen, S., 1995. Assessment of β , the compression coefficient of mudstones and its relationship to detailed lithology // *Marine and Petroleum Geology*, 12 - 955–963.
- Athy, L.F. 1930. Density, porosity, and compaction of sedimentary rocks. *AAPG Bull.*, 14. 1-24.
- Bai, M., 2016. Why are brittleness and fracability not equivalent in designing hydraulic fracturing in tight shale gas reservoirs. *Petroleum*, 2, 1–19. <https://doi.org/10.1016/j.petlm.2016.01.001>.
- Baig, I., Faleide J.I., Jahren J., Mondol N.H. 2016. Cenozoic exhumation on the southwestern Barents Shelf: estimates and uncertainties constrained from compaction and thermal maturity analyses. *Mar. Petrol. Geol.*, 73. 105-130.
- Bardon, C., Bieber, M.T, Cuiec, L., Jacquin, C., Courbot, A., Deneuille, G., Simon, J.M., Voirin, J.M., Espy., M., Nectoux, A., and Pellerin, A., 1993. Recommandations pour la détermination expérimentale de la capacité d'échange de cations des milieux argileux (in French). *Revue de L' Institut Francais Du Pétrole*, 38 (5), 621–626.
- Belaid, A., Krooss, B.M., Littke R. 2009. Thermal history and source rock characterization of a Paleozoic section in the Awbari Trough, Murzuq Basin, SW Libya. *Marine and Petroleum Geology*, 27.
- Berry, W.B. 1987. The Ordovician-Silurian boundary: new data, new concerns. *Lethya*.
- Bieniawski, Z.T., 1989. Engineering rock mass classifications. New York: Wiley, 251
- Brangulis, A.P., Kanev, S.V., Margulis, L.S., Pomerantseva, R.A. 1993. Geology and hydrocarbon prospects of the Palaeozoic in the Baltic region. In: Parker JR (ed) *Petroleum geology of NW Europe*. Proceedings of the 4th conference, Geological Society, London, March–April 1992.
- Brazauskas, A., 1993: Konodonty i biostratigrafiya silura Litvy [Conodonts and Silurian biostratigraphy of Lithuania]. PhD thesis. Vilnius University, Vilnius. 336 pp. (in Russian).

- Breyer, J.A., Alsleben, H., Enderlin, M.B., 2010. Predicting Fracability in Shale Reservoirs. AAPG Search and Discovery Article. AAPG Hedberg Conference, Austin, Texas, December 5–10, 2010
- Brenchley, P. J., Carden, G. A. F., Marshall, J. D. 1995. Environmental changes associated with the first strike of the Late Ordovician mass extinction. *Modern Geol*, 20: 69–82.
- Brenchley, P. J., Carden, G.A., Hints, L., Kaljo, D., Marshall, J. D., Martma, T., Meidla, T. and Nölvak, J. 2003. High-resolution isotope stratigraphy of Late Ordovician sequences: constraints on the timing of bio-events and environmental changes associated with mass extinction and glaciation. *Geological Society of America Bulletin*, 115, 89-104.
- Cichon-Pupienis, A., Littke, R., Froidl, F., Lazauskienė, J., 2020. Depositional history, source rock quality and thermal maturity of Upper Ordovician - Lower Silurian organic-rich sedimentary rocks in the central part of the Baltic Basin (Lithuania). *Marine and Petroleum Geology*, 1-20.
- Cyz, M., Mulińska, M., Pachytel, R., Malinowski, M. 2018. Brittleness prediction for the Lower Paleozoic shales in northern Poland. *Interpretation*, Vol. 6, No. 3 (August 2018); p. 1–11.
- Clennel, M.B., Josh M., Dewhurst D., Esteban L., Raven M., 2011. Shale Petrophysics: Electrical, Dielectric and NMR Methods to Characterize Mudrocks and Discover Relationships to Mechanical Properties and Hydrocarbon Affinity. AAPG Search and Discovery Article #90122. AAPG Hedberg Conference, December 5-10, 2010, Austin, Texas, 5 pp.
- Coates, D., Parsons, R., 1966. Experimental Criteria for Classification of Rock Substances. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech.*, 3 (3), 181–189.
- Cocks, L.R.M., McKerrow, W.S. 1997. Baltica and its margins in the Ordovician and Silurian. *Terra Nostra* 97/11, 39-42.
- Derkowski, A., Marynowski, L. , 2016. Reactivation of cation exchange properties in black shales. *International Journal of Coal Geology*, 158, 65-77. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2016.03.002>.
- Delabroye, A.; Vecoli, M. 2010. The end-Ordovician glaciation and the Hirnantian Stage: A global review and questions about the Late Ordovician event stratigraphy. *Earth-Science Reviews*. 98 (3–4): 269–282.
- Dembicki, H. 2017. *Practical Petroleum Geochemistry for Exploration and Production*. 1st Edition, Elsevier.
- Domżański, J., Górecki, W., Mazurek, A., Myśko, A., Strzetelski, W., Szamałek, K., 2004. The prospects for petroleum exploration in the eastern sector of Southern Baltic as revealed by sea bot tom geochemical survey correlated with seismic data. *Przegląd Geologiczny*, 52 (8/2), 792– 799.

- Finnegan, S. 2011. The Magnitude and Duration of the Late Ordovician-Early Silurian Glaciation. *Science*. 331 (6019): 903–906.
- Gale, J.F.W., Reed, R.M, Holder, J., 2006. Natural fractures in the Barnett Shale and their importance for hydraulic fracture treatments. *AAPG Bulletin*, 91, 603–622. <http://dx.doi.org/10.1306/11010606061>.
- Gale, R.S., Baskerville, R.C., 1967. Capillary suction method for determination of the filtration properties of a solid/liquid suspension. *Chemistry and Industry*, 9, 355–356.
- Gamero-Diaz, H., Miller, C.M., Lweis, R. 2013. Score: A Mineralogy Based Classification Scheme for Organic Mudstones. SPE Annual Technical Conference and Exhibition, 30 September-2 October, New Orleans, Louisiana, USA. Society of Petroleum Engineers. 1-13.
- Gėlūnaitė, A., Spiridonov, A. (2015). The preservation of total organic carbon of the Silurian Pridoli strata in the Milaičiai-103 well core of Western Lithuania. *Geologija, Geografija*. 1. 69-77.
- Giles, A.W. and Jones, A.M., 1931. Gypsum in the Fayetteville shale. *Academy for Science, Proc II*, 53–60.
- Gillespie M.R., Kemp S.J., Vickers B.P., Waters C., Gowing C.V. 2001. Cation-Exchange Capacity (CEC) of Selected Lithologies from England, Wales and Scotland. R&D Technical Report P2-222/TR. 71 p. <https://lwecext.rl.ac.uk/PDF/4334.pdf>.
- Glorioso, J.C.; Rattia, A. 2012. Unconventional Reservoirs: Basic Petrophysical Concepts for Shale Gas. In Proceedings of the SPE/EAGE European Unconventional Resources Conference and Exhibition from Potential to Production, Vienna, Austria, 20–22 March 2012.
- Grigelis, A. (ed.). 2014. Genesis of shale geological formations and hydrocarbon extraction: impact on environment and human health. Lithuanian Academy of Sciences. Vilnius. 60.
- Guo, J.-Ch., Zhao, Zh-H., Hao, L., Liu, Yu-X., 2013. A new method for shale brittleness evaluation. *Environmental Earth Sciences*, 73, 5855–5865(2015). DOI 10.1007/s12665-015-4268-z.
- Guo, Z., Li X-I., Liu, C., Feng, X., Shen, Y., 2013. A shale rock physics model for analysis of brittleness index, mineralogy and porosity in the Barnett Shale. *Journal of Geophysics and Engineering*, 10 (2) :025006. <https://doi.org/10.1088/1742-2132/10/2/025006>
- Hajiabdolmajid, V. and Kaiser, P., 2003. Brittleness of rock and stability assessment in hard rock tunnelling. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 18, 35–48, [doi.org/10.1016/S0886-7798\(02\)00100-1](https://doi.org/10.1016/S0886-7798(02)00100-1).

- Hallman, J., 2003. Potassium Formate Improves Shale Stability and Productivity in Underbalanced Drilling Operations, Paper # 2003-028 presented at the CADE / CAODC Drilling Conference, October 2003, Calgary, Alberta, Canada
- Hart, K.M., 1989. Capillary suction time. Msc. thesis. University of Texas at Austin, 82 p.
- Heasler, H.P., Kharitonova, N.A. 1996. Analysis of sonic well logs applied to erosion estimates in the Bighorn basin, Wyoming. AAPG Bull., 80. 630-646.
- Horne, D.J. 1999. Ocean Circulation Modes of the Phanerozoic: Implications for the Antiquity of Deep-Sea Benthonic. Crustaceana, Vol. 72, No. 8. 999-1018.
- Hucka, V., Das, B., 1974. Brittleness determination of rocks by different methods. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 11 (10), 389–392. [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(74\)91109-7](https://doi.org/10.1016/0148-9062(74)91109-7).
- International Association of Engineering Geology (IAEG), 1979. Classification of Rocks and Soils for Engineering Geological Mapping, Part I- Rock and Soil Materials. Bull Int. Association Engg. Geology, 19, pp. 355-388.
- International Centre for Diffraction Data. 1993. Mineral powder diffraction file data book. ICDD, Swarthmore, PA.
- International Society for Rock Mechanics (ISRM), 2007. The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 1974–2006. Ulusay, R. & Hudson, J.A. (Eds), Compilation Arranged by the ISRM Turkish National Group, Ankara, Turkey.
- International Society of Rock Mechanics (ISRM)), 1981. Basic Geotechnical Description of Rock Masses. ISRM Commission on Classification of Rock Masses. (M. Rocha, Coordinator). Int. J. Rock Mechanics, 18, (1), 85-110.
- Yasin, Q., Du, Q., Sohail, G., Atif, I. 2017. Impact of organic contents and brittleness indices to differentiate the brittle-ductile transitional zone in shale gas reservoir. Geosciences Journal, 21. 779-789.
- Yong, Aplin (2004 Yong, Y., Aplin, C.A., 2004. Definition and practical application of mudstone porosity–effective stress relationships // Petroleum Geoscience, 10 - 153-162.
- Jarvie, D. M., R. J. Hill, T. E. Ruble, Pollastro R. 2007, Unconventional shale-gas systems: The Mississippian Barnett Shale of North-Central Texas as one model for thermogenic shale-gas assessment: AAPG Bulletin, 91. 475–499.
- Jarzyna, J.A., Bała, M., Krakowska, P.I., Puskarczyk, E., Strzępowicz, A., Wawrzyniak-Guz, K., Wieclw, D., Ziętek, J. 2017. Shale gas in Poland.

- Advances in Natural Gas Emerging Technologies. Chapter 9. INTECH. 191–210.
- Jin, X.; Shah, S.; Truax, J.; Roegiers, J.C. 2014. A practical petrophysical approach for brittleness prediction from porosity and sonic logging in shale reservoirs; In Proceedings of the SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Amsterdam, The Netherlands, 27–29 October 2014.
- Josh, M., Esteban, L., Delle Piane, C., Sarout, J., Dewhurst, D.N., Clennell, M.B., 2012. Laboratory characterisation of shale properties. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, Vol. 88–89, 107–124. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2012.01.023>.
- Kadūniene, E. 1978. Distribution of the organic matter in the deposits of Caledonian geotectonic stage in the Baltic syncline. Achievements and perspectives of the geological researches of the Lithuanian SSR, Vilnius. 135–138.
- Kadūniene, E. 2001. Organic matter in oil source rocks. In: *Petroleum Geology of Lithuania and Southeastern Baltic* (Zdanavičiūtė, O., Sakalauskas, K., eds.). Institute of Geology, Vilnius. 96–119.
- Kaljo, D., Martma, T., Grytsenko, V., Brazauskas, A., Kaminskas, D. (2012). Pridoli carbon isotope trend and upper Silurian to lowermost Devonian chemostratigraphy based on sections in Podolia (Ukraine) and the East Baltic area. *Estonian Journal of Earth Sciences*. 61. 10.3176/earth.2012.3.03.
- Kanev, S., Margulis, L., Bojesen-Koefoed, J.A., Weil, W.A., Merta, H., Zdanavičiūtė, O. 1994. Oil and hydrocarbon source rocks of the Baltic Syncline. *Oil and Gas Journal* 92(8): 69–73.
- Kanev, S., Peregudov, V., 2000. A large carbonate buildup offshore Latvia. *Latvijas Geologijas Viestis*, 8, 10–14.
- Kias, E., R. Maharidge, and R. Hurt. 2015. Mechanical versus mineralogical brittleness index across various shale plays: Presented at the Annual Technical Conference and Exhibition, SPE, 174781.
- Knoll, A.H., Holland, H.D. 1995. Oxygen and Proterozoic Evolution: An Update. In: (Board on Earth Sciences and Resources) *Effects of Past Global Change on Life*. NATIONAL ACADEMY PRESS Washington, D.C. 1. 21–33.
- Lapinskas, P. 2000. Structure and petroleum potential of the Silurian in Lithuania. Institute of Geology, Vilnius. 203 p.
- Laškovas, J. 2000. Sedimentation Environments of the Ordovician Basin in the Southwestern Margin of the East European Platform and Lithogenesis of Deposits. Vilnius: Institute of Geology, 314 pp.

- Lazauskiene, J. et al., 2014. Investigations of structure and composition of shaly Lower Paleozoic succession in Lithuanian part of the Baltic Sedimentary Basin. Report of Lithuanian Geological Survey (in Lithuanian)
- Lazauskiene, J., Stephenson R. A., Šliaupa S., Van Wees J.-D. 2002. 3D flexural model of the Silurian Baltic Basin. *Tectonophysics* 346:115–135.
- Lazauskiene, J., Šliaupa, S., Musteikis, P., Brazauskas, A., 2003. Sequence stratigraphy of the Baltic Silurian succession: Tectonic control on the foreland infill. *Geological Society, London, Special Publications*, 208, 95–115.
- Liang B., Lehmann J., Solomon D., Kinyangi J., Grossman J., O'Neill B., Skjemstad J.O., Thies J., Luiza J., Petersen J., Neves E.G. 2006. Black Carbon Increases Cation Exchange Capacity in Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70:1719–1730. doi:10.2136/sssaj2005.0383.
- Loydell, D.K., Butcher, A., Frýda, J. 2013. The middle Rhuddanian (lower Silurian) ‘hot’ shale of North Africa and Arabia: An atypical hydrocarbon source rock. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 233–256.
- Lu, S.F., Wang, M., and Xue, H.T. 2012. Classification and evaluation criteria of shale of shale oil and gas resources: discussion and application. *Petroleum Exploration and Development* 39(2):268–276.
- Magara, K. 1976. Thickness of removed sedimentary rocks, paleopore pressure, and paleotemperature, southwestern part of Western Canada Basin *AAPG Bull.*, 60. 554 p.
- Mandile, A.J., Hutton, A.C., 1995. Quantitative X-ray diffraction analysis of mineral and organic phases in organic-rich rocks. *International Journal of Coal Geology*, 28(1), 51–69.
- Martma, T., Brazauskas, A., Kaljo, D., Kaminskas, D. & Musteikis, P., 2005: The Wenlock-Ludlow carbon isotope trend in the Viduklė core, Lithuania, and its relations with oceanic events. *Geological Quarterly* 49, 223 –234.
- Mystkowski, K., Srodon, J., McCarty, D.K. 2002. Application of evolutionary programming to automatic XRD quantitative analysis of clay-bearing rocks: The Clay Minerals Society 39th Annual Meeting, Boulder, CO, Abstracts with Programs.
- Moreau, J. (2011). The Late Ordovician deglaciation sequence of the SW. *Basin Research*. 23: 449–477.
- Nasr-El-Din, H.A., Al-Mulhem, A.A., and Lynn, J.D., 1999. Evaluation of Clay Stabilizers for a Sandstone Field in Central Saudi Arabia. *SPE Prod & Oper* 14 (4): 253–259. <https://doi.org/10.2118/39584-MS>

- Nelson, P.H., 2010. Sonic velocity and other petrophysical properties of source rocks of Cody, Mowry, Shell Creek, and Thermopolis Shales, Bighorn Basin, Wyoming: U.S. Geological Survey Digital Data Series DDS-69-V, 39 pp.
- Pachytel, R. W., Jarosiński, M., Bobek, K. 2017. Geomechanical stratification in a shale reservoir and its correlation with natural fractures: Case from Pomeranian Basin (Poland): 51st U.S. Rock Mechanics/Geomechanics Symposium, ARMA, 17–77.
- Passey, Q. R., Creaney, S., Kulla, J. B., Moretti, F. J., Stroud, J. D. 1990. A practical model for organic richness from porosity and resistivity logs. AAPG Bull., 74(12). 1777–1794.
- Paškevičius J. 1958. Pietinio Pabaltijo ordoviko-silūro darinių stratigrafija ir fauna. I tomas, 331 p.
- Paškevičius J. 1994. Silūras. In: Geology of Lithuania. Grigelis., A., Kadūnas, V. (eds.) [In Lithuanian: Silūras. Lietuvos geologija]. Vilnius. 67–97.
- Paškevičius, J. 1997. The geology of the Baltic Republics. Geological Survey of Lithuania, Vilnius, 388 p.
- Paškevičius, J. 2019. Zonation of Lithuanian Silurian graptolites and other faunal groups. Geologija. Geografija, 5(2). ISSN 2351-7549. 86-100.
- Perez, R., Marfurt, K. 2013. Brittleness estimation from seismic measurements in unconventional reservoirs: Application to the Barnett Shale. SEG Technical Program Expanded Abstracts 2013.
- Peters, K.E., 1986. Guide lines for evaluating petroleum source rock using programmed pyrolysis. AAPG Bulletin, 70. 318–329.
- Poprawa, P. 2010. Shale gas potential of the Lower Palaeozoic complex in the Baltic and Lublin-Podlasie basins (Poland) (in Polish). Przegląd Geologiczny, 58(3). 226-249.
- Poprawa, P., Šliaupa, S., Sidorov, V. 2006. Późnosylursko-wczesnodewońska śródpłytowa kompresja na przedpolu orogenu kaledońskiego (centralna część basenu bałtyckiego) – analiza danych sejsmicznych [Late Silurian–Early Devonian intra-plate compression in the foreland of the Caledonian orogen (central part of the Baltic Basin) – analysis of seismic data]. Prace Państwowego Instytutu Geologicznego, 186. 215–224 [in Polish].
- Poprawa, P., Šliaupa, S., Stephenson, R.A., Lazauskienė, J. 1999. Late Ediacaran–Early Palaeozoic tectonic evolution of the Baltic basin: regional implications from subsidence analysis. Tectonophysics, 314. 219–239.
- Radzevičius S., Tumakovaitė B., Spiridonov A. 2017. Upper Homeric (Silurian) high-resolution correlation using cyclostratigraphy: an example from western Lithuania. Acta Geologica Polonica, Vol. 67 (2017), No. 2. 307–322.

- Radzevičius, S., Brazauskas, A., Spiridonov, A. 2014. Integrated middle–upper Homeric (Silurian) stratigraphy of the Vidukle-61 well, Lithuania. *GFF*, 136 (1). 218-222.
- Resource estimation of shale gas and shale oil in Europe. Deliverable T7b., 2017. European Unconventional Oil and Gas Assessment (EUOGA). Report for DG JRC in the Context of Contract JRC/PTT/2015/F.3/0027/NC "Development of shale gas and shale oil in Europe", 34 pp.
- Rickman, R., Mullen, M.J., Petre, J.E., Grieser, W.V., Kundert, D., 2008. A Practical Use of Shale Petrophysics for Stimulation Design Optimization: All Shale Plays Are Not Clones of the Barnett Shale. SPE Annual Technical Conference and Exhibition, 21–24 September, Denver, Colorado, USA. Society of Petroleum Engineers. 21–24. <https://doi.org/10.2118/1152588-MS>.
- Rybacki, E.; Meier, T.; Dresen, G. 2016. What controls the mechanical properties of shale rocks? —Part II: Brittleness. *J. Pet. Sci. Eng.* 2016, 144, 39–58.
- Ross, D.J.K., Bustin, R. M., 2009. The importance of shale composition and pore structure upon gas storage potential of shale gas reservoirs. *Marine and Petroleum Geology*, 26, 916–927, <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2008.06.004>.
- Shogenova, A., Šliaupa, S., Vaher, R., Shogenov, K., Pomeranceva, R. 2009. The Baltic Basin: structure, properties of reservoir rocks, and capacity for geological storage of CO₂. *Estonian Journal of Earth Sciences*. 58(4). 259–267.
- Sivhed, U., Erlström, M., Bojesen-koefoed, J., Lofgren, A.M., 2006. Upper Ordovician carbonate mounds on Gotland, central Baltic Sea: Distribution, composition and reservoir characteristics. *Journal of Petroleum Geology*, 27 (2), 115–140.
- Sondergeld, C.H.; Newsham, K.E.; Comisky, J.T.; Rice, M.C. 2010. Petrophysical Considerations in Evaluating and Producing Shale Gas Resources. *Soc. Pet. Eng.*
- Sone, H., Zoback, M., 2013. Mechanical properties of shale-gas reservoir rocks – Part2: Ductile creep, brittle strength, and their relationship to the elastic modulus. *Geophysics*, 78, (5), 393– 402. <https://doi.org/10.1190/geo2013-0051.1>
- Spiridonov A., Kaminskas |D., Brazauskas A., Radzevičius S. 2017. Time hierarchical analysis of the conodont paleocommunities and environmental

- change before and during the onset of the lower Silurian Mulde bioevent – A preliminary report. *Global and Planetary Change*, 157. 153-164.
- Srodon, J., Drits, V.A., McCarty, D.K., Hsieh, J.C.C., Eberl, D.D. 2001. Quantitative X-ray diffraction analysis of clay-bearing rocks from random preparations: *Clays and Clay Minerals*, 49 (6), 514–528.
- Srodon, J., Elsass, E., McHardy, W.J., Morgan, D.J. 1992. Chemistry of illite-smectite inferred from TEM measurements of fundamental particles. *Clay Minererals*, 27, 137–158.
- Srodon, J., McCarty, D.K., 2008. Surface area and layer charge of smectite from CEC and EGME/H₂O- retention measurements. *Clays and Clay Minerals*, 56, 155–174. <http://dx.doi.org/10.1346/CCMN.2008.0560203>
- Srodon, J., Zeelmaekers, E. and Derkowski, A., 2009. The charge of component layers of illitesmectite in bentonites and the nature of end-member illite. *Clays and Clay Minerals*, 649–671. <http://dx.doi.org/10.1346/CCMN.2009.0570511>.
- Štirpeika, A. 1999. Tectonic evolution of the Baltic syncline and local structures in the South Baltic region with respect to their petroleum potential. Vilnius. 112 pp.
- Suveizdis, P. 1979. Tectonics of the Baltic States. Academy of Sciences of Lithuania. 90.
- Suveizdis, P. 2003. Tectonic structure of Lithuania. (In Lithuanian). Institute Geology and geography. Vilnius. 160 p.
- Šliaupa, S. 1999. Far-field stress transmission indications in Early Palaeozoic structural evolution of the Baltic basin. *Romanian Journal of Tectonics and Regional Geology* 77:59.
- Šliaupa, S., Fokin P., Lazauskiene J., Stephenson R. A., 2006. The Vendian-Early Palaeozoic sedimentary basins of the East European Craton. *Geological Society, London, Memoirs*, 32(1), 449–462.
- Šliaupa, S., Hoth, P. 2010. Geological evolution and resources of the Baltic Sea Area from the Precambrian to the Quaternary. In: *The Baltic Sea Basin* (Harff, J., Björck, S., Hoth, P. Eds). Springer, Berlin, 13–51.
- Šliaupa, S., Hoth, P., Piske, J., Laskova, L., Bleschert, K-H. 2002. Burial history and maturation of Palaeozoic sediments between Rügen and Lithuania – conclusions for hydrocarbon exploration. *Proceedings of the 7th marine geological conference “Baltic-7” abstracts*, Kaliningrad. 119–120.
- Šliaupa, S., Lozovskis, S., Lazauskienė, J., Šliaupienė, R. 2020. Petrophysical and mechanical properties of the lower Silurian perspective oil/gas shales

- of Lithuania. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 79: art. no. 103336.
- Šliaupa, S., Poprawa, P., Jacyna, J. 2000. Structural analysis of seismic data in the Baltic Basin: evidences for Silurian-Early Devonian intra-plate compression in the foreland of Caledonian orogen. *Journal of the Czech Geological Society*, 45 (3-4).
- Šliaupa, S., Poprawa, P., Lazauskiene, J., 1997. The Palaeozoic subsidence history of the Baltic Syncline in Poland and Lithuania. *Geophysical Journal Vol. 19, N1. Kiev.* 137-139.
- Šliaupa, S., Poprawa, P., Lazauskiene, J., 1997. The Palaeozoic subsidence history of the Baltic Syncline in Poland and Lithuania. *Geophysical Journal Vol. 19, N1. Kiev.* 137-139.
- Šliaupa, S., Šliaupienė, R., Žaludienė, G., Vaskaboinikava, T., Bibikava, A., Evstratenko, L., Kovkhuto, A. 2016. Prospects of Lithuanian Silurian shale gas, Baltic sedimentary basin. *Oil Shale*. 33 (4): 357-372.
- Taylor, K.G. and Macquaker, J.H.S., 2000. Early diagenetic pyrite morphology in a mudstonedominated succession: the Lower Jurassic Cleveland Ironstone Formation, eastern England. *Sedimentary Geology*, 131 (1–2), 77–86. [https://doi.org/10.1016/S0037-0738\(00\)00002-6](https://doi.org/10.1016/S0037-0738(00)00002-6)
- Tang, M., Ehreiser, A., Li, Y-L., 2014. Gypsum in modern Kamchatka volcanic hot springs and the Lower Cambrian black shale: Applied to the microbial-mediated precipitation of sulfates on Mars. *Mineralogical Society of America*, 99 (10), 2126–2137. <http://dx.doi.org/10.2138/am2014-4754>
- Tassone, D.R., Holford, S., Duddy, S.R., Green, P.F., Hillis, R.R. 2014. Quantifying Cretaceous–Cenozoic exhumation in the Otway Basin, southeastern Australia, using sonic transit time data: implications for conventional and unconventional hydrocarbon prospectivity. *AAPG Bull.*, 98. 67 p.
- Tiryaki, B., 2006, Evaluation of the indirect measures of rock brittleness and fracture toughness in rock cutting: *The Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*, 106, 407–423.
- Torsvik, T. H., Smethurst, M. A., Meert, J. G., Van der Voo R., McKerrow, W. S., Brasier, M. D., Sturt, B. A., Walderhaug H. J. 1996. Continental break-up and collision in the Neoproterozoic and Palaeozoic—a tale of Baltica and Laurentia. *Earth-Science Reviews*. 40(3). 229–258.
- Torsvik, T. H., Smethurst, M. A., Van der Voo, R., Trench, A., Abrahamsen, N., Halvorsen, E., 1992. Baltica. A synopsis of Vendian-Permian

- palaeomagnetic data and their palaeotectonic implications. *Earth-Sci. Rev.* 33, 133-152
- Van Olphen, N., 1963. *An Introduction to Clay Colloid Chemistry for Clay Technologists, and Soil Scientists.* John Wiley and Sons. <https://doi.org/10.1002/jps.2600530238>.
- Venckutė-Aleksienė, A., Radzevičius, S. and Spiridonov, A. 2016. Dynamics of hytoplankton in relation to the upper Homeric (Lower Silurian) lundgreni event – an example from the Eastern Baltic Basin (Western Lithuania). *Marine Micropaleontology*, 126, 31–41.
- Wang, F. P., Gale J.F. 2009, Screening criteria for shale-gas systems: Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions, 59, 779–793.
- Waters, G.A., Lewis, R. E., Bentley, D. C., 2011. The effect of mechanical properties anisotropy in the generation of hydraulic fractures in organic shales. *SPE 146776*
- Wilcox, R.D., Fisk J., 1983. Tests show behaviour aid well planning. *Oil and Gas Journal*, 12, 106– 125.
- Williams-Stroud, S., Barker, W., and Smith, K., 2012. Induced hydraulic fractures or reactivated natural fractures? Modelling the response of natural fracture networks to stimulation treatments. *American Rock Mechanics Association*, 12–667.
- Wójcicki, A., Dyrka I., Kiersnowski, H., Adamczak-Biały, T., Becker, A., Gluszyński, A., Janas, M., Karcz, P., Kozłowska, A., Kuberska, M., Paczoena, J., Podhalańska, T., Skowroński, L., Waksmundzka, M.I. 2017. Prognostyczne zasoby gaz ziemnego i ropy naftowej w skałach łupkowych dolnego paleozoiku w basenie bałtycko-podlasko-lubelskim i w strefie Bilgoraj-Narol w Polsce (in Polish). In: *Szacowanie zasobów złóż węglowodorów – zadanie ciągle psg, I etap* (eds. Wójcicki et al.). *Opracowanie końcowe: Inw. 9046/2019.* NAG, Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- Zdanavičiūtė, O., Lazauskiene, J., Khoubdikov, A.I., Dakhnova, M.V., Zheglova T. 2012. Geochemistry of oils and petroleum potential of the Middle Cambrian succession in the central Baltic basin. *Journal of Petroleum Geology*. Vol.35. 237-254.
- Zdanavičiūtė, O. 1997. New data on thermal maturity of organic matter in source rocks. *Litosfera*, Vilnius, 1, 76-79 (in Lithuanian, with English summary).
- Zdanavičiūtė, O., Bojesen-Koefoed, J. A. 1997. Geochemistry of Lithuanian oils and source rocks: a preliminary assessment. *Journal of petroleum Geology*. Vol.20 (4). 381-402.

- Zdanavičiūtė, O., Lazauskienė, J. 2009. Organic matter of Early Silurian succession – the potential source of unconventional gas in the Baltic Basin (Lithuania). *Baltica*, Vol. 22 (2), 89–98.
- Zdanavičiūtė, O., Lazauskienė, J., 2004. Hydrocarbon migration and entrapment in the Baltic Syncline. *Organic Geochemistry* 35(4), 517-527.
- Zdanavičiūtė, O., Lazauskienė, J., 2007. The Petroleum potential of the Silurian succession in Lithuania. *Journal of Petroleum Geology*, 30 (4), 325-337.
- Zdanavičiūtė, O., Sakalauskas, K. (eds). 2001. *Petroleum geology of Lithuania and southeastern Baltic*. GI Publications, Vilnius. 204.
- Zdanavičiūtė, O., Swadowska, E. 2002. Petrographic and pyrolysis-gas chromatography investigations of the Early Palaeozoic organic matter of Lithuania. *Geologija*, 40. 15–23.

PUBLIKACIJŲ SĄRAŠAS

Moksliniai straipsniai leidiniuose referuojamuose ir turinčiuose citavimo indeksą Mokslinės informacijos instituto duomenų bazėje „CA Web of Science“:

Šliaupa S., **Lozovskis S.**, Lazauskienė L., Šliaupienė R. 2020. Petrophysical and mechanical properties of the Lower Silurian perspective oil/gas shales of Lithuania. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 79: art. no. 103336;

Šliaupa S., Lazauskienė L., **Lozovskis S.**, Šliaupienė R. 2020. Distribution of organic matter and evaluation of brittleness index of the Lower Silurian shales of west Lithuania based on interpretation of well logs. *Baltica* 33 (2): 146-165.

Kitos publikacijos:

Lozovskis S., Šliaupa S. 2020. Lietuvos apatinio silūro dujų skalūnų perspektyvos - geologinis vertinimas. *Geologijos akiračiai* 3-4: 25-36.

TARPTAUTINIŲ IR LIETUVOS KONFERENCIJŲ PRANEŠIMAI IR TEZĖS

Pranešimai konferencijose:

Lozovskis S., Šliaupa S., Lazauskienė L., Šliaupienė R. 2021. Alternative energy resources in Lithuania - shale gas perspective. *The EGU General Assembly 2021* [žodinis];

Lozovskis S., Šliaupa S., Lazauskienė L., Šliaupienė R. 2021. Assessment of key exploitation parameters of the Lower Silurian gas shales of west Lithuania. *University of Latvia - 79 International Scientific Conference* [žodinis];

Lozovskis S., Šliaupa S., Lazauskienė L., Šliaupienė R. 2020. New studies on petrophysical properties of shales for potential gas exploration. *International conference for students of physics and natural sciences - Open reading 2020* [stendinis];

Lozovskis S., 2018. Lietuvos apatinio silūro perspektyvių naftos/dujų skalūnų patrofizinės ir mechaninės savybės. *Ketvirtoji Lietuvos Geologijos krypties doktorantų konferencija* [žodinis];

Lozovskis S., 2018. Alternatyvūs energetiniai ištekliai Lietuvoje – skalūnų dujų perspektyvos. *Jaunųjų mokslininkų konferencija* [žodinis];

Lozovskis S., 2017. Petrofizinės ir mechaninės silūro molingos storumės charakteristikos vakarų Lietuvoje. *Trečioji Lietuvos Geologijos krypties doktorantų konferencija* [žodinis];

Lozovskis S., 2016. Baltijos sedimentacinio baseino silūro molingų uolienuų sudėties kaita. *Antroji Lietuvos Geologijos krypties doktorantų konferencija* [žodinis].

Konferencijų tezės:

Lozovskis S., Šliaupa S., Lazauskienė L., Šliaupienė R. 2020. New studies on petrophysical properties of shales for potential gas exploration.

International conference for students of physics and natural sciences - Open reading 2020, Abstract book;

Šliaupa S., **Lozovskis S.**, Lazauskienė L., Šliaupienė R. 2018. Lietuvos apatinio silūro perspektyvių naftos/dujų skalūnų petrofizinės ir mechaninės savybės. Geologija.Geografija Vol. 4 No 4;

Lozovskis S., 2017. Petrofizinių ir mechaninių silūro skalūnų savybių koreliacija su gyliu ir minealine sudėtimi. Geologija.Geografija, Vol. 3 No. 4.

GYVENIMO APRAŠYMAS

Asmeninė informacija

Vardas, Pavardė: Saulius Lozovskis

Telefono nr.: +370 679 72836

Gyvenamoji vieta: Ukmergės 306-82, LT-12102, Vilnius, Lietuva

E-mail: saulius.lozovskis@lgt.lt, saulius.lozovskis@gmail.com

Išsilavinimas

Geologijos studijų magistras (2013-2015 m.), Vilniaus universitetas.

Geologijos studijų bakalauras (2009-2013 m.), Vilniaus universitetas.

Simono Stanevičiaus vidurinė mokykla (1997-2009 m.), Vilnius.

Darbinė patirtis

Nuo 2017 m. liepos iki dabar: vyriausiasis specialistas, Lietuvos geologijos tarnyba.

2015 m. kovas - 2017 liepa: vyriausiasis geofizikas, Lietuvos geologijos tarnyba.

2014 m. spalio - 2015 kovas: konstruktorius, Lietuvos nacionalinis opero ir baleto teatras.

2013 m. rugpjūtis - 2014 kovas: geologas, Uab Geobaltic, Vilnius, Lietuva.

2013 m. sausis - 2013 kovas: geologas, Uab Geobaltic, Vilnius, Lietuva.

Moksliniai tiriamieji projektai

2015-2020 m. „Vakarų Lietuvos apatinio silūro molingų uolienuų petrografinė sudėtis ir petrofizinės savybės – dujų skalūnų perspektyvų geologinis vertinimas“, Vilniaus universitetas, Lietuva.

2015-2019 m. projekto „Molingų uolienuų savybių įtaka išsklaidytųjų angliavandenilių susikaupimui ir galimam naudojimui“ vykdymas, Lietuvos geologijos tarnyba, Lietuva.

2015-2017 m. dalyvavimas tarptautiniame tyrimo projekte: Europos Komisijos Jungtinio tyrimų centro koordinuojamo tarptautinio projekto „Europos netradicinių angliavandenilių išteklių įvertinimas“ - EUOGA (European Unconventional Oil and Gas Assessment), Lietuvos geologijos tarnyba, Lietuva.

2013-2016 m. projekto „Geofizinių duomenų (geofizinių tyrimų gręžiniuose ir elektrinės žvalgybos) klasifikavimas ir tvarkymas“ vykdymas, Lietuvos geologijos tarnyba, Lietuva.

UŽRAŠAMS

UŽRAŠAMS

Vilniaus universiteto leidykla
Saulėtekio al. 9, III rūmai, LT-10222 Vilnius
El. p.: info@leidykla.vu.lt, www.leidykla.vu.lt
Tiražas 10 egz.