

Vilniaus universitetas
Geologijos ir mineralogijos katedra

Įvertinimas

**Kambro smiltainių diagenetinė paraseka Lietuvoje ir diagenetinių
procesų įtaka kolektorinėms smiltainių savybėms**

Magistrinis darbas

Geologijos specialybės
Magistrantūros studijų programos
II kurso studento
Simono Danieliaus

Darbo vadovas
Hab. dr. Saulius Šliaupa

VILNIUS, 2008

TURINYS

Įvadas

1. Kambro stratigrafija ir litologija Lietuvoje..... 4
2. Tyrimo metodai ir medžiaga..... 7
3. Diagenetinių mineralų tyrimų rezultatai 16
4. Kambro smiltainių diagenetinė paraseka 43
5. Petrofizinės sąlybės ir diagenetiniai pakitimai 49

Išvados

Literatūra

Summary

IVADAS

Kambras yra svarbus geologinis sluoksnis, su kuriuo siejami svarbūs ekonominiais interesai – naftos eksploatacija, gamtinių dujų požeminės saugyklos, geoterminiai telkiniai ir pan. Tai lėmė gerą kambro uolienų ištirtumą. Tačiau daugėjant medžiagos, iškyla nauji klausimai, kurių sprendimui reikalingi vis sudėtingesni tyrimo metodai. Nežiūrint gana gausių publikacijų apie kambro petrografiją ir litologiją, kol kas nėra sudarytas pagrįstas ir vieningas kambro smiltainių diagenetinio vystymosi modelis, kuris būtų siejamas su baseino vystymusi. Pateiktas darbas skirtas šio svarbaus klausimo sprendimui. Taip pat, analizuotos kambro smiltainių kolektorinės savybės, kurios svarbios sprendžiant praktines problemas.

Darbo tikslas:

Nustatyti kambro smiltainių diagenetinę eilę naudojant šiuolaikinius petrografinės ir cheminės analizės metodus, ištirti kambro smiltainių petrofizines savybes.

Uždaviniai:

Paimti kambro smiltainių bandinius iš Rytų ir Vakarų Lietuvos grėžinių;

Įsisavinti petrografinės, cheminės, petrofizinės analizės metodus;

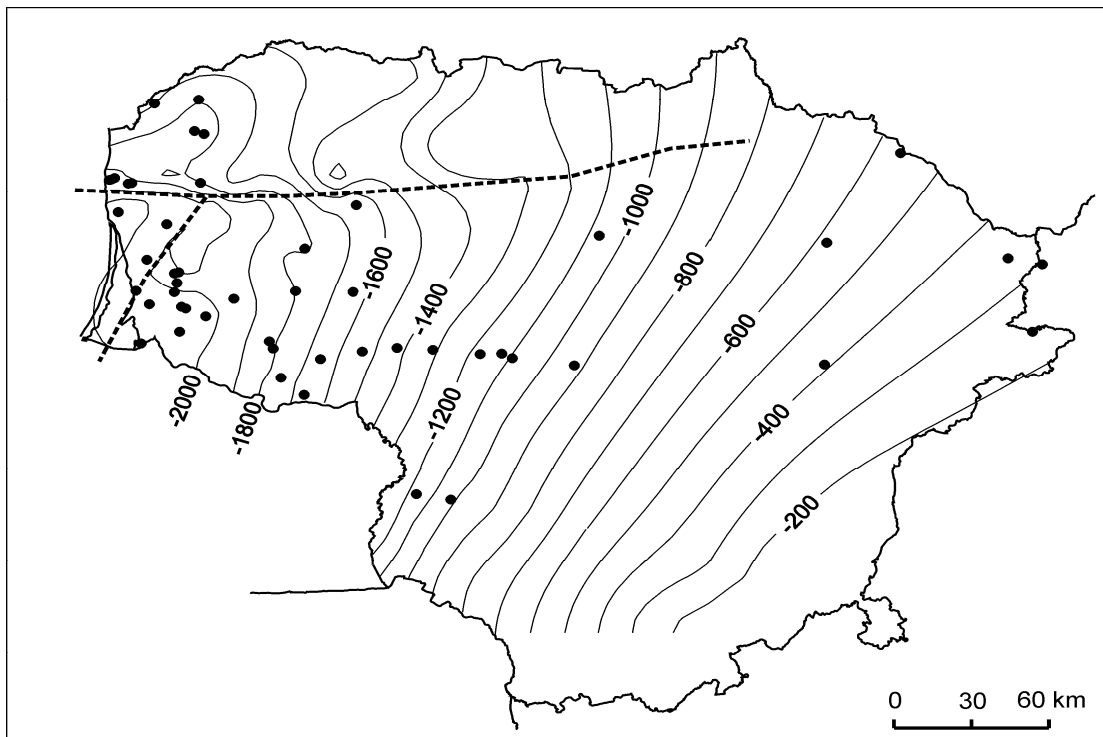
Atlikti laboratorinius tyrimus nustatant diagenetinių mineralų petrografines ir cheminės sudėties ypatumus;

Sudaryti diagenetinių mineralų seką;

Susieti diagenetinę seką su baseino vystymosi ypatumais.

1. KAMBRO STRATIGRAFIJA IR LITOLOGIJA LIETUVOJE

Lietuva yra rytinėje Baltijos nuosėdinio baseino dalyje, kambro sistemos uolienos slūgso ant vėdo skyriaus nuosėdinių uolienų ir vėlyvojo proterozojaus kristalinio pamato uolienų. Kambro sistemos uolienų slūgsojimo gylis keičiasi nuo 0,2 km Rytų Lietuvoje iki 1 km gylio Vidurio Lietuvoje ir 2,3 km Vakarų Lietuvoje (1.1 pav.). Jos yra dengiamos ordoviko sistemos molingomis ir karbonatingomis uolienomis. Kambro sistemos storis keičiasi nuo kelių dešimčių metrų rytuose iki 180 m Vakarų Lietuvoje. Jūrinės nuosėdos sudaro apatinį ir vidurinį kambrą, jos yra sudarytos iš tokių uolienų, kaip smiltainis, aleurolitas ir molis, išsidėsčiusių skirtingais kiekiais baseino pjūvyje.



1.1 pav.: Kambro sistemos slūgsojimo gylių žemėlapis, žemėlapiu mastelis 1:300000. (S.Šliaupa, 2001)

Lietuvos kambro sistemos stratigrafinio suskirstymo schema yra vaizduojama lentelėje 1.1 (Jankauskas, 2002). Apatinio kambro uolienos Lietuvoje siekia 80 m storį. Jis yra sudarytas iš smiltainių, kuriuos keičia aleurolitai ir moliai vakaruose. Apatinio kambro Lontovos svita, dar

kitaip vadinama “mėlynaisiais moliais” yra paplitusi rytinėje Lietuvos dalyje. Vakarų Lietuvoje skiriamos svitos: Gegės ir Virbalio. Vidurinio kambro uolienų storis siekia iki 70-80 m. Vidurinio kambro uolienos susidarė regresuojant baseinui, čia vyrauja smiltainiai, kurie dengia labiau molingą apatinį kambą ir Kybartų svitą. Smiltainiai su retais argilitų ir aleurolitų tarp sluoksniais sudaro Deimenos seriją, kuri yra apie 60 m storio, čia randami pagrindiniai kambro naftos išteklių Lietuvoje. Deimenos serija yra suskirstyta į tris sedimentacinius ciklus: Girulių, Ablingos, Pajūrio svitas. Jauniausia Panerių svita yra mažo storio. Lietuvoje viršutinio kambro uolienų nėra, sedimentacija tuo metu vyko tik vakarinėje Baltijos baseino dalyje (Jankauskas & Lenzion, 1992).

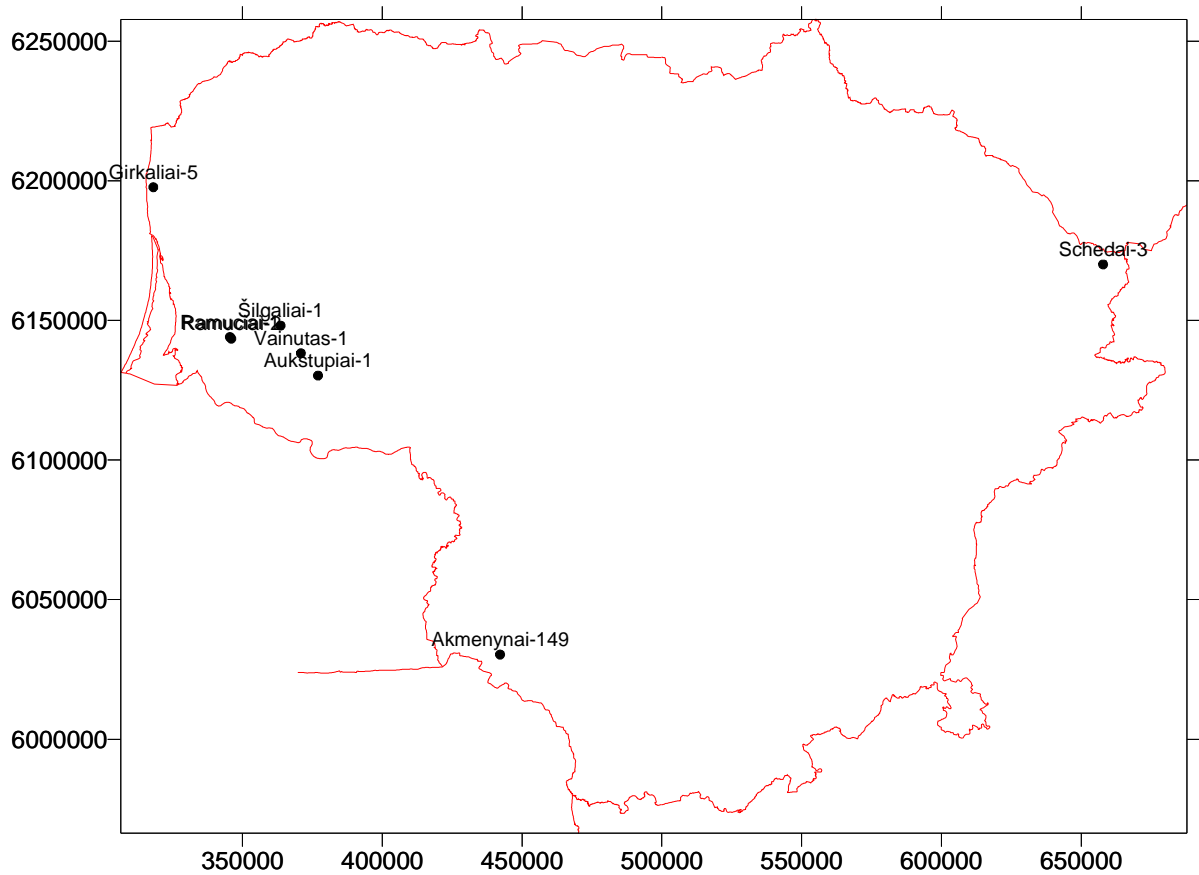
1.1 lentelė: Lietuvos kambro sistemos stratigrafinio suskirstymo schema. (T.Jankauskas, 2002)

SISTEMA	SKYRIUS	REGIONINIS HORIZONTAS	FAUNOS ZONA	SERIJA	SVITA	
KAMBRAS	VIRŠUTINIS				Salantai	
	VIDURINIS	PANERIAI	<i>P. forchhammeri</i>		Paneriai	
		DEIMENA	KYBARTAI	<i>E. oelandicus</i>	Deimena	Giruliai
						Ablinga
						Pajūris
						Kybartai
	APATINIS	RAUSVĖ	<i>Protolenus</i>			Virbalis
		VERGALĖ	<i>Holmia kjerulfi</i>	Aisčiai		Gegė
						Saka
		LONTOVA	<i>Playsonelites</i>	Baltija		Lontova
	ROVNO	<i>Sabellidites</i>			Rudamina	
Kristalinio pamato arba Vendo uolienos						

Kambro sistemos temperatūra didėja iš rytų į vakarus kartu su gyliu. Rytų Lietuvoje temperatūra yra 7-10°C. Toliau temperatūra Vidurio Lietuvoje staigiai didėja nuo 20°C iki 40°C, šios zonos plotis 50-80 km, kuri apytiksliai atitinka zoną, kur pasireiškia kristalinio pamato skirtumai tarp vakarų Lietuvos granitų ir rytų Lietuvos juostos (Šliaupa, Čyžienė, Molennar, 2004). Vakarų Lietuvoje kambro sistemos temperatūra pasiekia 65-96°C. Šios teritorijos terminės anomalijos kilmė yra karštas taškas arba mantijos plumas. Anomalijos rytinė riba yra gana ryški; temperatūros šuolis nuo 50°C iki 70°C įvyksta 10-20 km pločio zonoje. Aukščiausios temperatūros kambro sistemoje yra Vakarų Lietuvos pietinėje dalyje. Vakarų Lietuvos pagrindiniai naftos telkiniai yra išsidėstę tokiame plote, kur kambro sistemos temperatūra yra >65°C. Kambro smiltainių prasta kolektorių kokybė yra siejama su intensyvia kvarco cementacija.

2. TYRIMO METODAI IR MEDŽIAGA

Buvo tirti 7 gręžiniai : Šchedai - 3, Akmenynai – 149, Vainutas – 1, Ramučiai – 2, Aukštupiai – 1, Girkaliai – 5, Šilgaliai – 1. Iš šių gręžinių tyrimams buvo paimta 70 smiltainio mėginių. Laboratoriniai tyrimai atlikti „Danijos technikos universiteto“ laboratorijoje ir „Arhus universiteto“ laboratorijoje.



2.1. pav. Tirtų gręžinių išsidėstymas.

2.1. PETROFIZINIAI TYRIMAI

2.1.1 Poringumo nustatymas

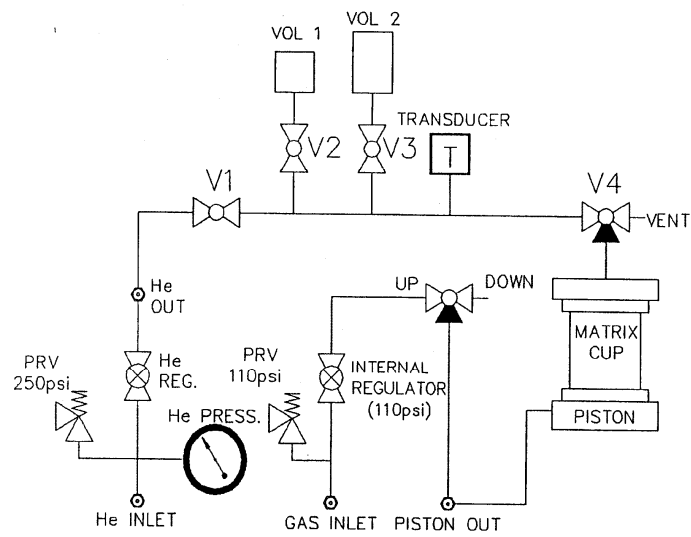
Buvo tirtos kambro smiltinių petrofizinės savybės. Tirti gręžiniai - Šchedai - 3, Akmenynai – 149, Vainutas – 1, Ramučiai – 2, Aukštupiai – 1, Girkaliai – 5. Mėginių poringumas išmatuotas su HGP 100 (2.1.1.2. pav.). Žemiau pateikiamas trumpas tyrimų aprašymas.

Matavimo kamera užpildoma dujomis ir yra užfiksuojami slėgio pokyčiai joje. Poringumas matuojamas procentais. Poringumo matavimams naudojami 2.5 cm pločio ir ne ilgesni nei 7cm ilgio cilindro formos mėginiai išpjauti iš pavyzdžių. Buvo išgręžti 36 mėginiai iš 5 pavyzdžių. Poringumo nustatymo prietaisas matuoja mėginio dalelių tūrį (V_g). Mėginio tūris (V_t) yra išmatuojamas ir apskaičiuojamas, išmatavus ilgį ir skersmenį arba įmerkiant į gyvsidabrį. Išmatavus mėginio cilindro ilgį, skersmenį galima apskaičiuoti mėginio tūrį, todėl gyvsidabris nebūtinai. Žinant V_t ir V_g nustatomas poringumas. Nustatoma mėginio masė (m) ir dalelių tankis (ρ_g). Dalelių tūris matuojamas naudojant Boyles lygtį: $P_1V_1 = P_2V_2$. Tuščio konteinerio tūris - (V_s). Įstačius mėginį konteineris užpildomas helio dujomis (V_r) ir išmatuojamas slėgis (P_r). Dujos yra išleidžiamos iš konteinerio ir slėgis vėl išmatuojamas (P_x). Naudojama formulė : $P_rV_r = P_x(V_r+V_s-V_g)$. Dujų tėkmės diagrama pateikta 2.1.1.1 pav.

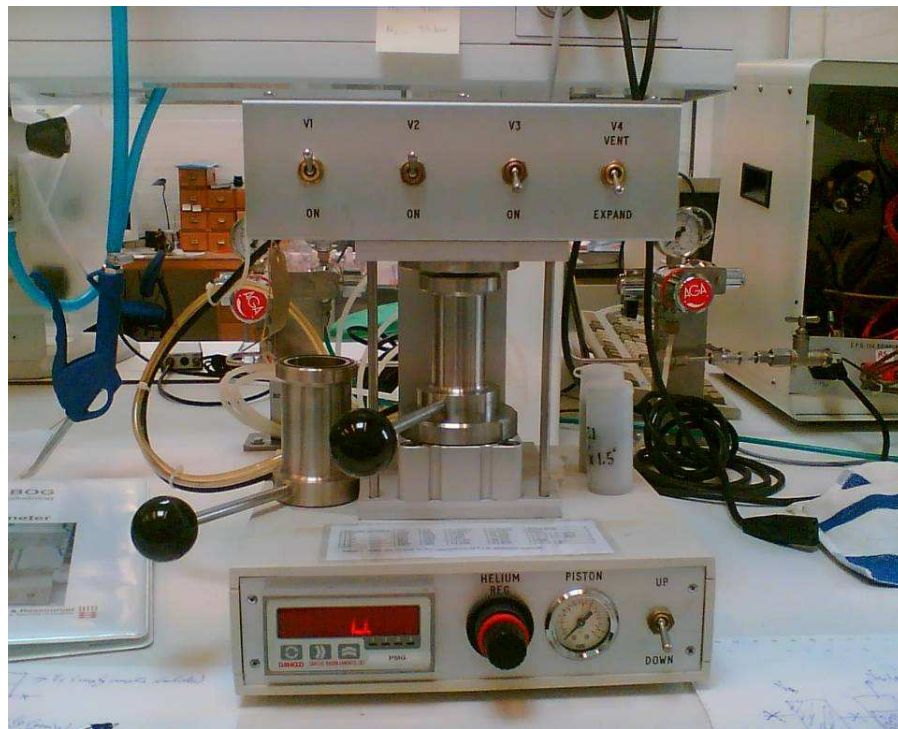
V_r ir V_s priklauso nuo cilindro dydžio konteineryje, trys galimi variantai yra pateikti 2.1.1.1.lentelėje.

2.1.1.1 lentelė Naudojami tūriai V_r ir V_s norint apskaičiuoti V_g skirtingose sąlygose.

Konteineris	V2	V3	V_r [cm]	V_s [cm]	Papildomas cilindras
1.0"	OFF	ON	14.697	44.572	Nėra
1.0"	ON	OFF	7.798	24.596	1.0" x 1.5"(F1)
1.0"	ON	OFF	7.803	17.965	1.0" x 2.0"(F2)



2.1.1.1 pav. Dujų tėkmės diagrama poringumo nustatymo prietaise HGP 100 (Edinburg Petroleum Services Ltd., 1993).



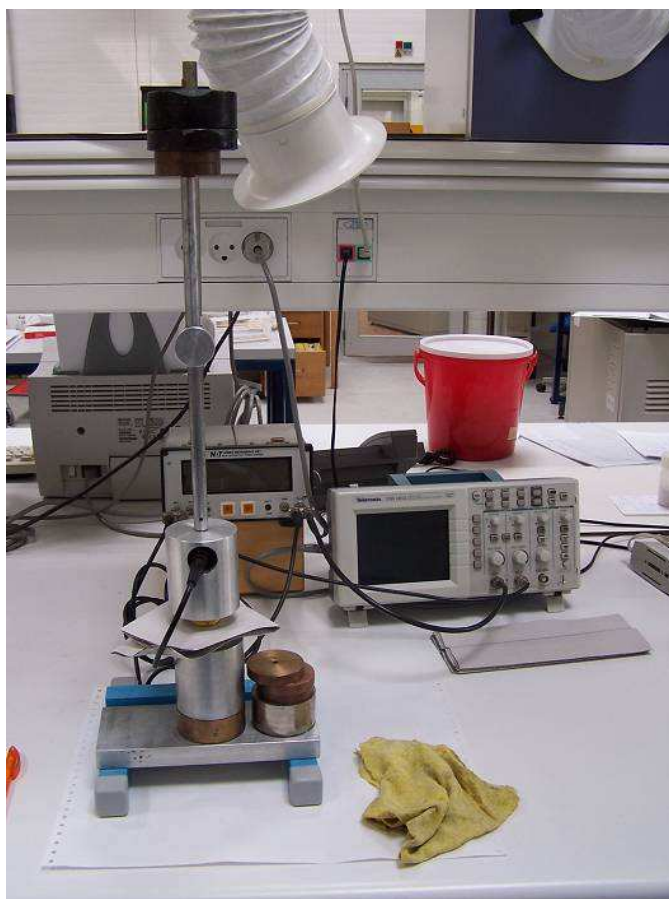
2.1.1.2. pav. Poringumo matavimo prietaisas HGP 100.

2.1.2 Akustinių bangų greičio nustatymas

Akustinės bangos greitis priklauso nuo uolienos tankio, laidumo savybių ir mineralinės sudėties. Akustinės bangos praėjimo greitis per kietą kūną yra apibrėžiamas :

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{(1-\mu)}{(1+\mu)(1-2\mu)}}$$

čia E yra dinaminis elastinis modulis, ρ yra tankis, μ yra Poisson's koeficientas.



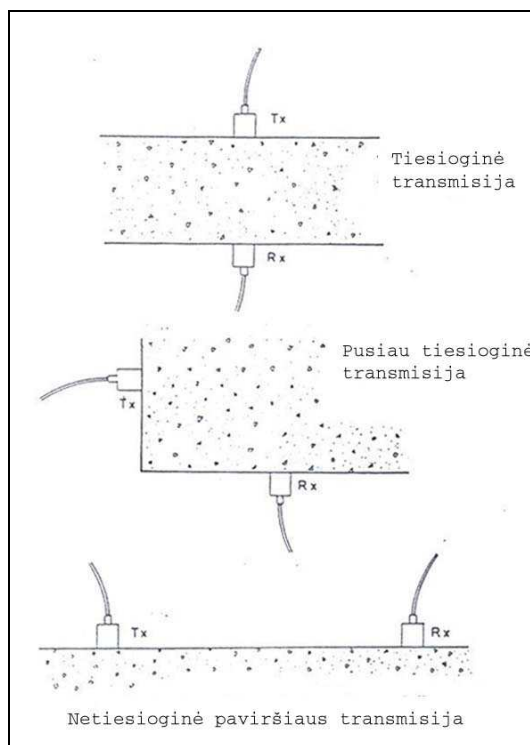
2.1.2.1 pav. Akustinio greičio nustatymo prietaisas **V-Meter MK II**

Mėginiuose akustinės bangos greitis matuojamas su **V-Meter MK II** (2.1.2.1 pav). Šis prietaisas sukuria žemo dažnio garso bangas ir išmatuoja laiką, per kurį ši banga nukeliauja nuo vieno transformatoriaus iki kito. Galimi keli šio kelio nuėjimo variantai (transmisijos): tiesioginis,

pusiau tiesioginis ir netiesioginis arba paviršiaus (2.1.2.2 pav.). Tyrimams naudota tiesioginė transmisija, nes tuo atveju yra gaunami tiksliausi rezultatai, kadangi transformatoriai yra vienas priešais kita ir ryšys tarp jų yra geriausias. Netiesioginė transmisija yra galima, nes akustinės bangos energija sklaidosi pro tiriamą medžiagą nenutrūkstamai, tačiau rezultatai nebus tokie tikslūs, kaip tiesioginės transmisijos atveju. Akustinės bangos nepraeina pro dideles oro tuštumas, tai gali būti panaudota ir oro tuštumų medžiagoje nustatymui. Nuotolis, kuri banga įveikia, taip pat turi būti išmatuotas, norint nustatyti akustinės bangos greitį:

$$\text{Bangos greitis} = \frac{\text{Kelio ilgis}}{\text{Bangos sklidimo laikas}}$$

Kelio ilgis ir bangos sklidimo greitis buvo išmatuotas su $\pm 1\%$ paklaida.



2.1.2.2. pav. Galimi akustinės bangos kelio nuėjimo būdai nuo vieno transformatoriaus iki kito.

2.1.3 Skvarbumo matavimas

Skvarbumo nustatymo prietaisas **DGP 2000** leidžia išmatuoti koks yra mėginio skvarbumas, tai yra koks kiekis dujų gali prasiskverbti per mėginį. Matavimo esmė yra kaip keičiasi slėgis dujoms skverbiantis per mėginį. Skvarbumą aprašo Darsi dėsnis:

$$q = Q / A = -k \Delta P / (\mu L)$$

Skvarbumo matavimo vienetas yra Darsis, arba kaip dažnai naudojamas mD (milidarsis) $1 \text{ m}^2 = 1.01325 * 10^{15} \text{ mD}$. Darsi dėsnis aprašo laminarinį srautą.



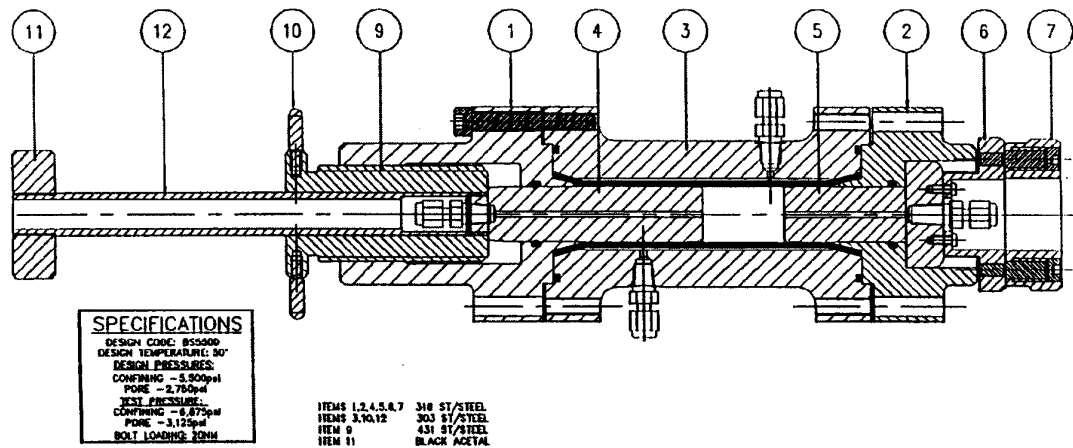
2.1.3.1 pav. Skvarbumo nustatymo prietaisas **DGP 2000**

Mėginiai:

Skvarbumo matavimams naudojami 2.5 cm pločio ir ne ilgesni nei 7cm ir netrumpesni kaip 3 centimetrų ilgio cilindro formos mėginiai išpjauti iš pavyzdžių. Prieš atliekant matavimus mėginiai turi būti džiovinami dvi dienas 50°C temperatūroje.

q – Srauto tekančio per mėginį greitis	
Q – Dujų kiekis pratekantis per mėginį, cm ³ /sec.	
A – Mėginio plotas, cm ²	
k - Skvarbumas, milli Darcy	
ΔP - Slėgių skirtumas mėginio galuose	
μ – Absolūtus klampumas, centipoisais	

Matavimams naudojamos azoto dujos. Skvarbumo nustatymo prietaisas **DGP 2000**, matavimų metu buna tiesiogiai sujungtas su kompiuteriu ir naudojama programinė įranga GASPERM

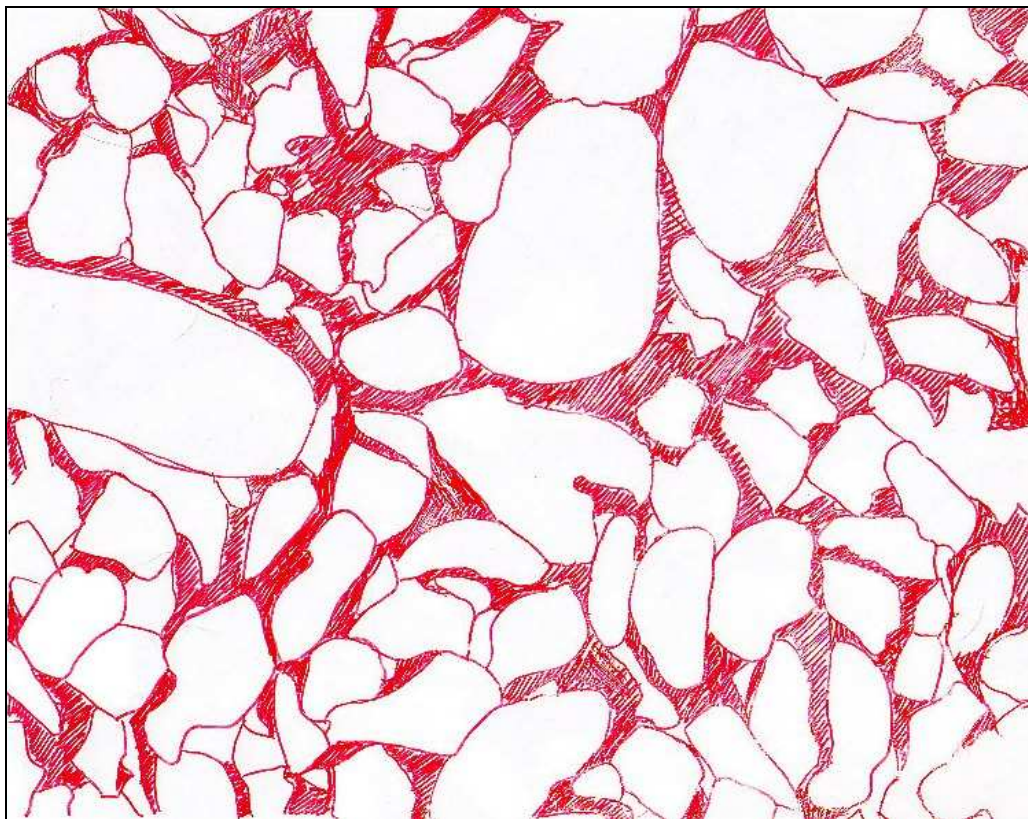


2.1.3.1. pav. Mėginio laikiklis QRCH 200 (Edinburgh Petroleum Services Ltd., 1994).

2.2. MINERALŲ TYRIMAI

2.2.1 Petrografiniai tyrimai

Smiltainių cemento, mineralų petrografiniams tyrimams dažnai naudojamas skenuojantis elektroninis mikroskopas, dėl galimybės tirti itin mažus kristalus (didina iki 1,000,000 kartų), ko neleidžia padaryti paprastas poliarizacinis mikroskopas (didina iki 2000 kartų). SEM (2.2.1.2 pav) pagalba galima nustatyti karbonatinio cemento kiekį ir cheminę sudėtį, taip pat vizualiai įvertinti porų bei grūdelių dydį ir kiekį.



2.2.1.1. pav. Pažymėtas kvarcinis cementas Girkalių – 5 gręžinio mėginyje, gylis 2061,5 m.

2.2.2 Cheminės sudėties tyrimai

Cheminių elementų nustatymas. EDAX programinės įrangos ir dispersinės spektroskopijos (Energy Dispersive Spectroscopy) pagalba galima nustatyti mineralų cheminius elementus, šis

budas yra ypač patogus, nes nereikia papildomai ruošti mėginių, gaunami duomenys puikiai apibudina mineralo sudėtį.

Analizuojant smiltainio paviršių SEM pagalba, galima išsirinkti vietas tiriamame pavyzdyje (atskirus mineralus, jų sankaupas ar cementą) kurių cheminę sudėtį norime ištirti. Šios analizės rezultatas - pilnas cheminės sudėties aprašymas pasirinktose vietose išreikštas cheminių elementų procentine dalimi.



2.2.1.2 pav. Skenuojantis elektroninis mikroskopas (Aarhus universitetas, Danija)

3. DIAGENETINIŲ MINERALŲ TYRIMŲ REZULTATAI

Susiklosčius nuosėdoms, jos patiria įvairius pakitimus, apibūdinamus bendru diagenezės terminu. Uoliena tankėja, susidaro įvairūs nauji mineralai, keičiasi ir nuosėdinę uolieną sudarantys mineralai. Užgulusių uolienų svoris, kuris vis didėja kaupiantis nuosėdoms baseine, slegia ir tankina palaidotas nuosėdas.

Cementacija yra ilgalaikis procesas. Grimziant uolienai, keičiasi pagrindiniai diagenezę lemiantys parametrai – efektyvus slėgis, temperatūra, porinio vandens cheminė sudėtis, kinta molio mineralai, kurie stipriai įtakoja porinio vandens sudėtį. Tokiu būdu, detalai analizuojant smiltainių cementinę sudėtį, įvairių cementų tarpusavio santykį, galima gana detalai rekonstruoti diagenezės sąlygas, o tuo pačiu ir daryti kai kurias išvadas apie baseino grimzdimo evoliuciją, hidroterminį, geoterminį režimą.

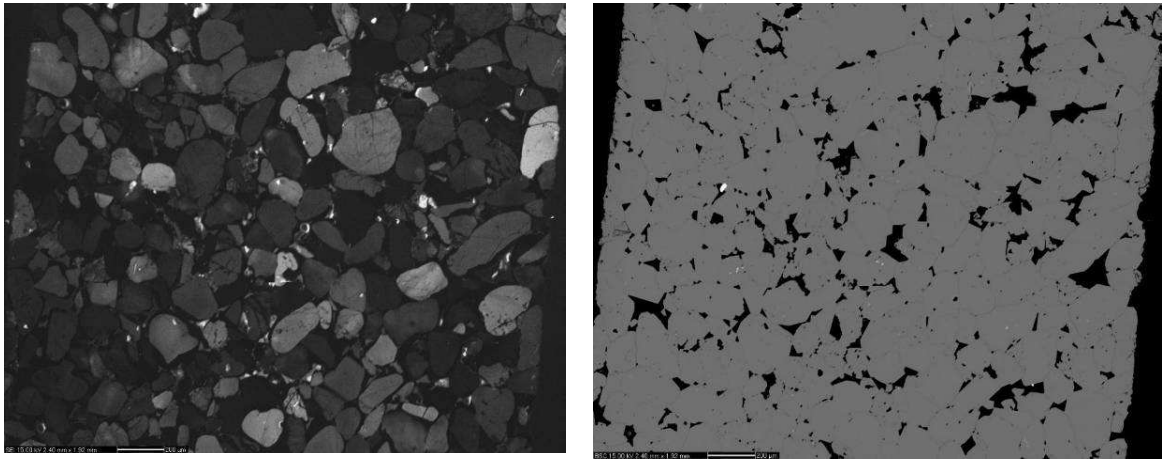
Kambro smiltainius cementuoja pagrindiniai antrinis kvarcas ir karbonatiniai mineralai, kurie aprašomi žemiau.

Antrinis kvarcas

Kvarcas yra pagrindinis diagenetinis mineralas kambro smiltainiuose vakarinėje Lietuvos dalyje. Jis smiltainiuose įtakoja petrofizinius parametrus, kaip poringumą, skvarbumą ir kt.

Antrinis kvarcas sudaro sintaksinius apaugimus apie detritinio kvarco grūdus. Jo kiekis kinta nuo 2 rytuose iki 38 % vakaruose. Tame pačiame grėžinyje, pavyzdžiui Girkalių-5 grėžinyje, antrinio kvarco kiekis kinta nuo 10 iki 33 %. CL duomenų analizė rodo, kad tarpgrūdinis tūris (intergranular volume – IGV) Vakarų Lietuvos kambro smiltainiuose yra nuo 25 iki 32%. Daroma išvada, kad smiltainiai prieš kvarco cementaciją buvo suslėgti baseinio grimzdimo eigoje. Tokios IGV reikšmės rodo, kad gylis kvarco cementacijos laikotarpio pradžioje buvo jau gana nemažas - apie 1,5 km.

CL tyrimai duoda nemažai informacijos ne tik apie antrinio kvarco ypatumus, bet ir apie detritinę smiltainių dalį. Detritiniai kvarco grūdai yra gerai apzulinti, neblogai išrūšiuoti. Tai rodo gana aktyvias hidrodinamines sąlygas baseine, kurias galima interpretuoti, kaip seklios jūros facijos.



3.1 pav. Smiltainio esančio gylyje 2054,9m katodoluminescencinė ir šešėlinio atspindžio nuotraukos iš Girkalių – 5 gręžinio

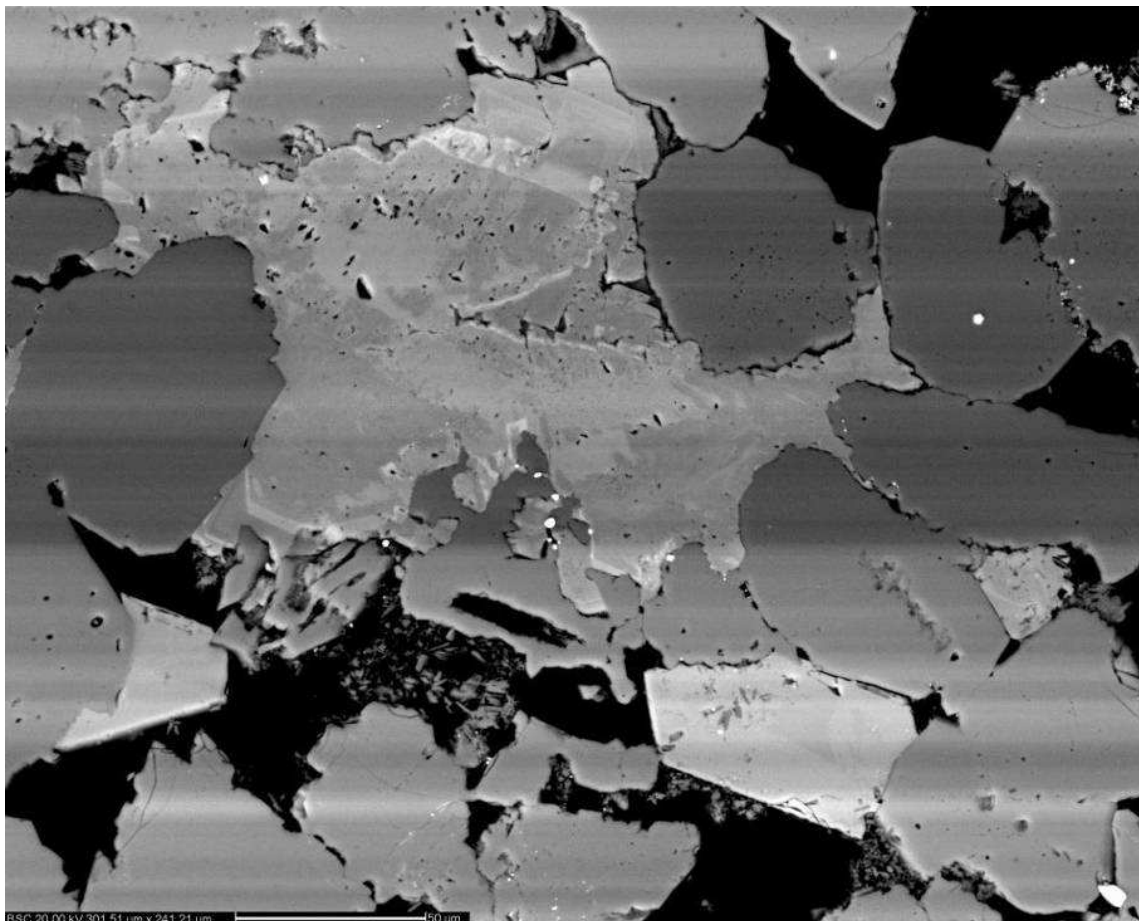
Kalcitas

Karbonatiniam cementui būdinga jį sudarančių kristalų formų, dydžių ir pasiskirstymo smiltainiuose įvairovė. Cementą sudarantys kristalai užpildo poras ir suformuoja barjerą, trukdantį skysčių bei dujų skverbimuisi. Pagrindiniai mineralai sudarantys karbonatinį cementą smiltainiuose yra dolomitas, sideritas ir ankeritas. Šių mineralų dydis gali būti labai įvairus nuo kriptokristalinių iki mikrokristalinių, kartais net poikilitinių sancaupų pavidalu kurių dydis nuo 1mm iki 3 – 5 cm. Karbonatinis cementas gali būti paplitęs dėmių, sancaupų ar net atskirų tarp sluoksnių pavidalu. Kai kuriais atvejais šio tipo cementacija yra susijusi su sluoksniais, turinčiais karbonatinių fosilijų liekanų (Bjorkum, Walderhaug, 1993). Taip pat karbonatais sucementuotos zonos nustatomos smiltainių sluoksnių pade ir kraige, kurie slūgso ant molingų sluoksnių ar po jais (Fertl, Timko, 1970). Galimi šio cemento šaltiniai yra mechaninio sutankėjimo metu išspausti tirpalai, meteoriniai vandenys, baseino dugno vanduo ir karbonatinės fosilijos. Kai kurie mokslininkai (Bjorkum, Walderhaug, 1993) mano, kad karbonatų pasiskirstymas smiltainiuose priklauso nuo smulkių židinių apie kuriuos gali susidaryt cementas, išsidėstymo uolienoje. Tuose smiltainiuose, kur yra daug branduolių bei yra pakankamai ištirpusių karbonatų, gali susiformuoti ištisinis sucementuotas sluoksnis. Vietose, kur yra tik keletas branduolių ar jie išsidėstę toli vienas nuo kito, gali susiformuoti keletas didelių karbonatų sucementuotų konkretijų. Karbonatinis cementas formuojasi skirtingais baseino evoliucijos etapais. Siliciklastinėse uolienose gali būti nuo vienos iki kelių karbonatinio cemento generacijų, kurios atspindi kintančias temperatūros ir slėgio pokyčių, geochemines sąlygas.

Kalcitas sudaro gana stambias sancaupas, smiltainio IGV tokiais atvejais yra didelis, viršija 35%. Tai galėtų liūdyti apie kalcito ankstesnę generaciją lyginant su kvarcu. Tačiau detali petrografinė analizė parodė, kad kalcitas yra „agresyvus“ kvarco atžvilgiu, koroduodamas tiek detritinius grūdus, tiek diagenetinius apvalkalus, tad, neabejotina, kad tai vienas iš vėlyvaisių mineralų. Būdingas kalcito bruožas – labai didelis geležingumas, yra magnio. Tai interpretuojama porinio vandens prisotinimu šiais elementais kalcito formavimosi metu, kas greičiausiai sietina su molio mineralų vėlyva diagenetine transformacija (daugiau kaip 70°C temperatūra), kurios metu atsipalaiduoja tokie katijonai, kaip geležis ir magnis.

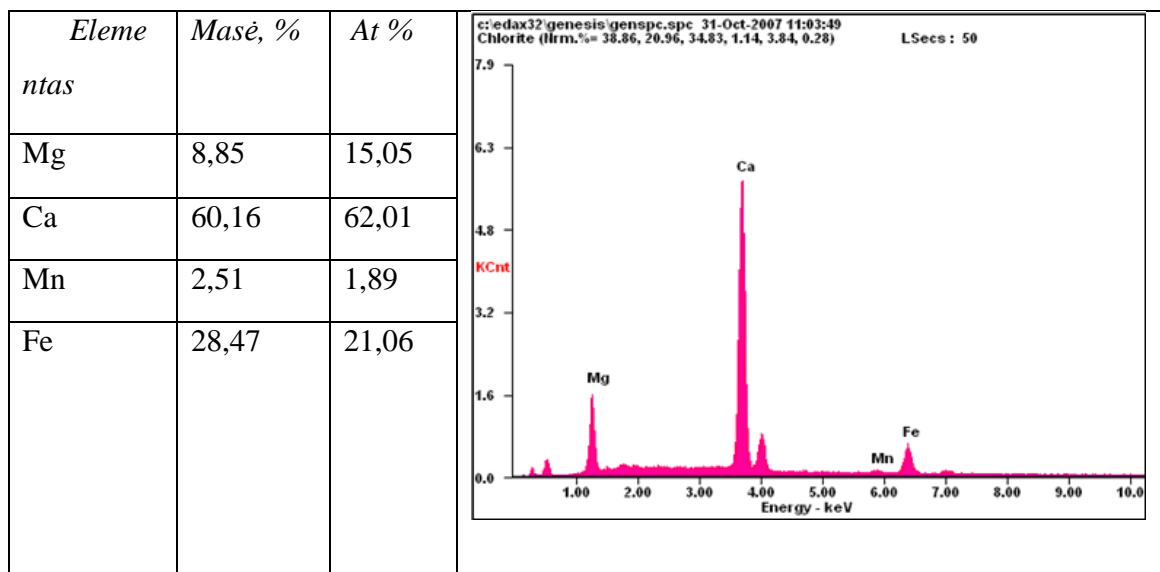
Išskiriamos kelios kalcito generacijos – tamsus ir šviesus kalcitai. Tamsiam būdingas smulkus poringumas, jį keičia arba apauga labiau kristalinę formą išlaikantis šviesus kalcitas.

Pastarajam būdinga, kaip minėta, didesnis geležies kiekis, kas rodo didėjančią temperatūrą ir besivystančią molio mineralų transformaciją.

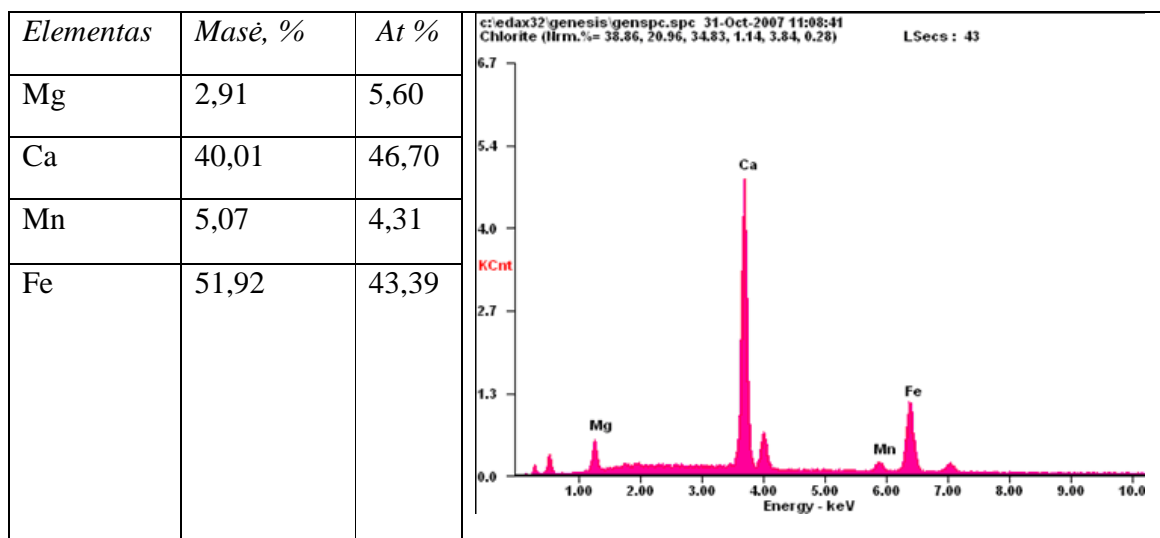


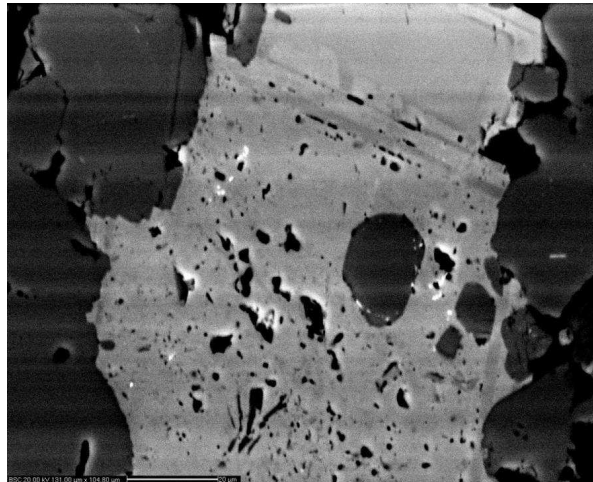
3.2. pav. Kalcitas cementuoja kvarcinį smiltainį. Kalcitas keičia kvarco grūdus (korozija), kas rodo, kad kalcitas yra vėlyvesnis už kvarco cementaciją. Kalcito sudėtis kaiti, išskiriamas tamsus ir šviesus kalcitas. Šviesus kalcitas matomai yra vėlyvesnis, nei tamsus. Grėžinys Akmenynai – 149, gylis 1147 m.

3.1 lentelė. Kalcito tamsaus, parodyto 3.2. pav., cheminė sudėtis.



3.2. lentelė. Kalcito šviesaus, parodyto 3.2. pav., cheminė sudėtis. Kalcitas labai geležingas, yra magnio, kurio kiekis, mažesnis, nei tamsaus kalcito.





3.3. pav. Kalcitas cementuoja kvarcinį smiltainį. Kalcitas užpildo stambią porą. Jame matyti kvarco grūdelio liekanos, kas byloja apie kvarco koroziją ir karbonatinio cemento iškritimą. Kalcitas zoniškas. Apatinėje dalyje - dolomito cementas poringas. Tad, kalcitas formavosi po dolomito, dalinai jam tirpstant. Grėžinys Akmenynai – 149, gylis 1122,7m. Lyginant su aukščiau aprašytu kalcitu, jis yra viršutinėje kambro pjūvio dalyje. Tuo galima paaiškinti ir fosforo buvimą, kuris greičiausiai buvo tiekiamas iš Salantų pluošto smiltainių turinčių *Obolus* fosfatinių kriauklių liekanų.

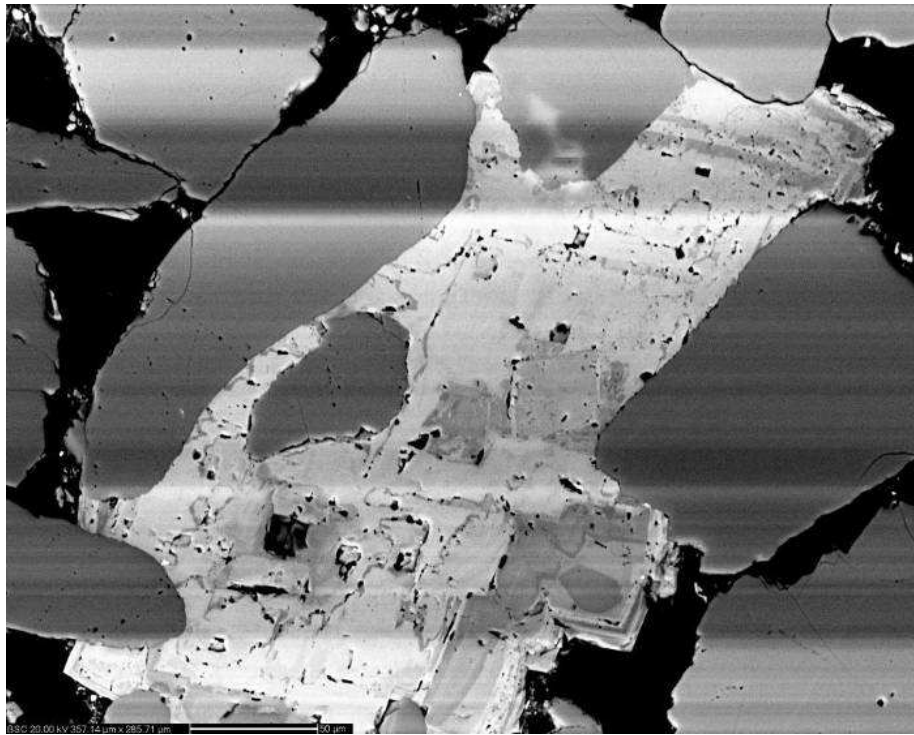
3.3 lentelė. Kalcito, parodyto 3.3. pav., cheminė sudėtis. Kalcitas labai geležingas, yra magnio, fosforo. Geležingumas kiek mažesnis, lyginant su aukščiau aprašytu pavyzdžiu. Grėžinys Akmenynai – 149, gylis 1122,7m.

<i>Elementas</i>	<i>Masė %</i>	<i>At %</i>
<i>C</i>	1.17	2.71
<i>O</i>	29.34	51.02
<i>Mg</i>	3.35	3.84
<i>Al</i>	4.05	4.18
<i>Sr</i>	1.13	0.36
<i>P</i>	2.08	1.87
<i>Ca</i>	34.19	23.73
<i>Fe</i>	24.69	12.30

c:\edax32\genesis\genspc.spc 31-Oct-2007 15:09:52
 Chlorite (lim.%= 38.86, 20.96, 34.83, 1.14, 3.84, 0.28) LSecs : 43

Dolomitas

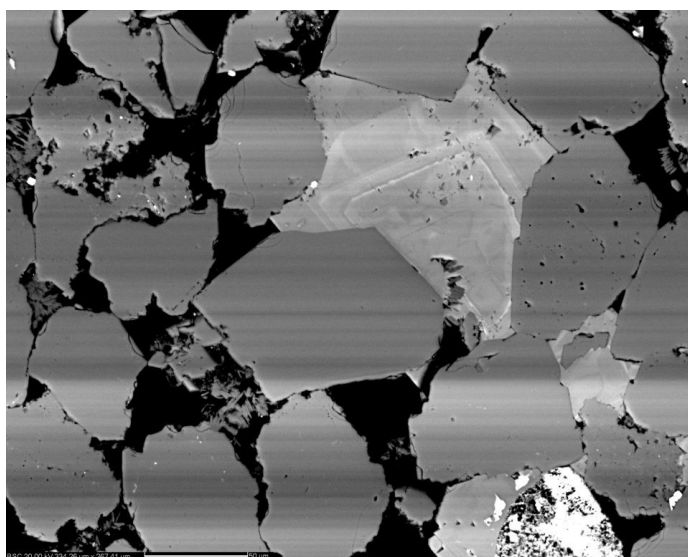
Dolimitas paplītēs tiek rytinēse, tiek vakarinēse facijose. Būdingas dolomito bruožas – gana aukštas geležies kiekis. Lyginant cheminēs sudēties duomenis matyti, kad VL dolomitai turi daugiau Fe.



3.4 pav. Dolomitas cementuojantis kvarcinį smiltainį, matomas zoniškas augimas, gręžinys Akmenynai-149, gylis 1091 m.

3.4 lentelė. Dolomito cheminė sudėtis (Akmenynai-149, gylis 1091 m)

<i>Elementas</i>	<i>Masė, %</i>	<i>At %</i>	<small>c:\edax32\genesis\genspc.spc 31-Oct-2007 15:30:35 Chlorite (Irm.%= 38.86, 20.96, 34.83, 1.14, 3.84, 0.28) LSecs : 17</small>
<i>C</i>	1.91	4.17	
<i>O</i>	31.74	51.99	
<i>Mg</i>	7.11	7.67	
<i>Si</i>	0.18	0.17	
<i>Ca</i>	44.93	29.38	
<i>Fe</i>	14.13	6.63	



3.5. pav. Dolomitas užpildantis porą kambro kvarciniame smiltainyje. Akmenynai – 149, gylis 1147 m. Dolomitas zoniškas. Dolomitas formavosi po pagrindinės kvarco cementacijos – cementas liečiasi su antriniu grūdu apaugusiu antriniu kvarcu. Dešinėjame kampe dolomito kristale yra liekaninis kvarcas, kurį keitė dolomitas. Fotografijos centre matyti piritokristalėlis kvarco ir dolomito kontakte – tad jis formavosi tar šių dviejų diagenetinių etapų.

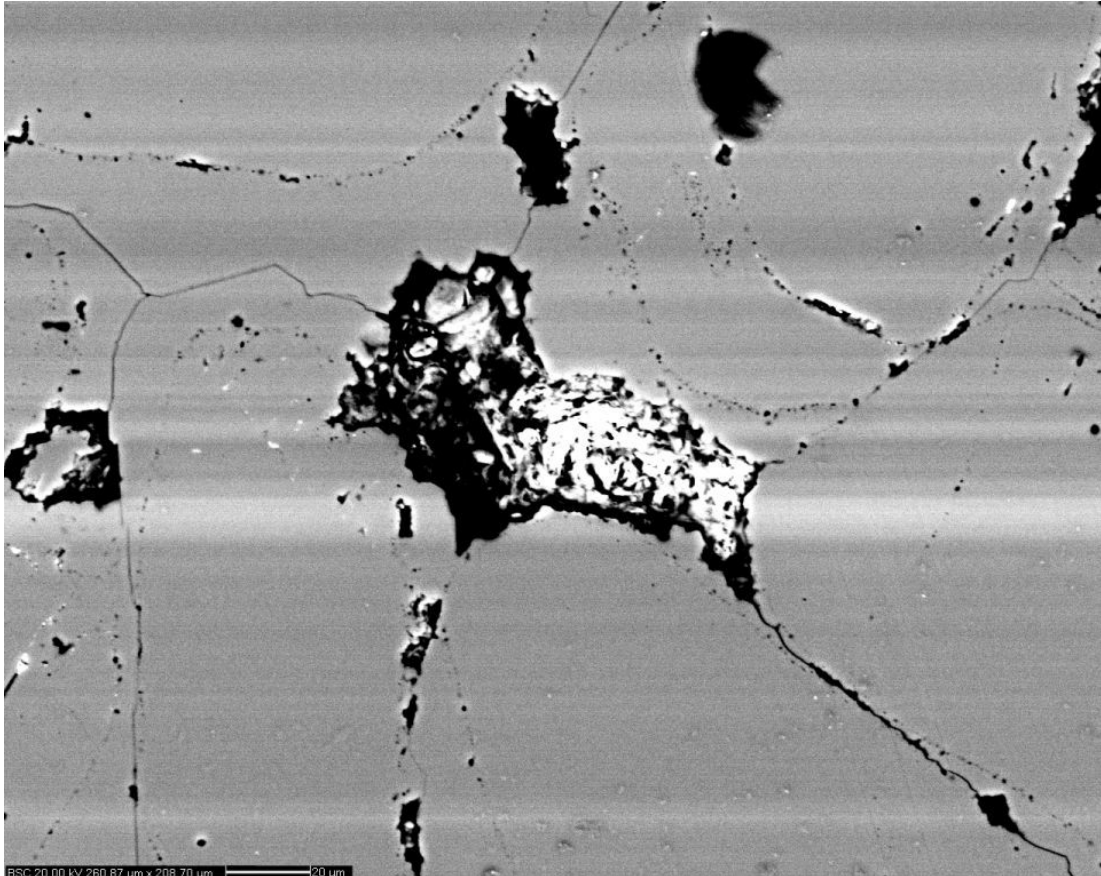
3.5. lentelė. Dolomito cheminė sudėtis (Akmenynai – 149, gylis 1147 m). Sudėtis labai panaši į aukščiau aprašyto dolomito.

<i>Elementas</i>	<i>Masė %</i>	<i>At %</i>
<i>O</i>	28.62	50.59
<i>Mg</i>	6.59	7.67
<i>Al</i>	0.09	0.09
<i>Ca</i>	44.60	31.47
<i>Fe</i>	20.09	10.17

c:\edax32\genesis\genspc.spc 31-Oct-2007 10:13:21
 Chlorite (Irm.%= 38.86, 20.96, 34.83, 1.14, 3.84, 0.28) LSecs : 50

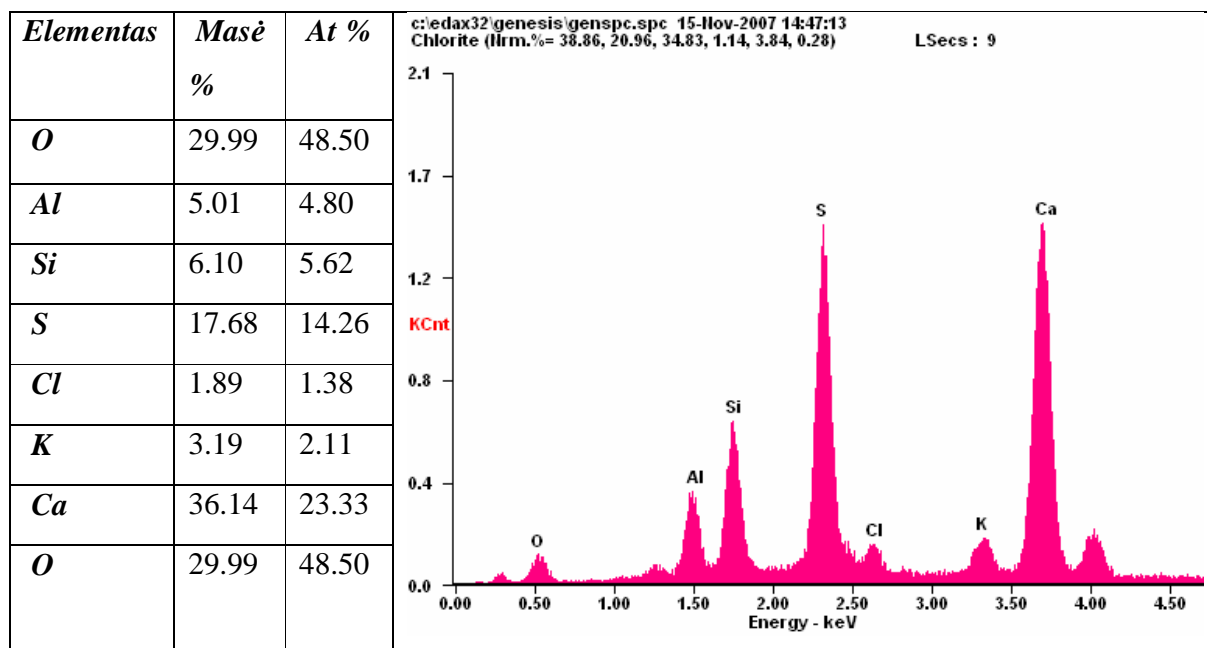
Anhidritas

Anhidritas yra retas mineralas kambro smiltainiuose. Anksčiau jis buvo identifikuotas ir aprašytas L.Laškovos darbuose, kuriuose autorė nurodė, kad šis mineralas yra vienas vėlyviausių diagenetinėje eilėje.



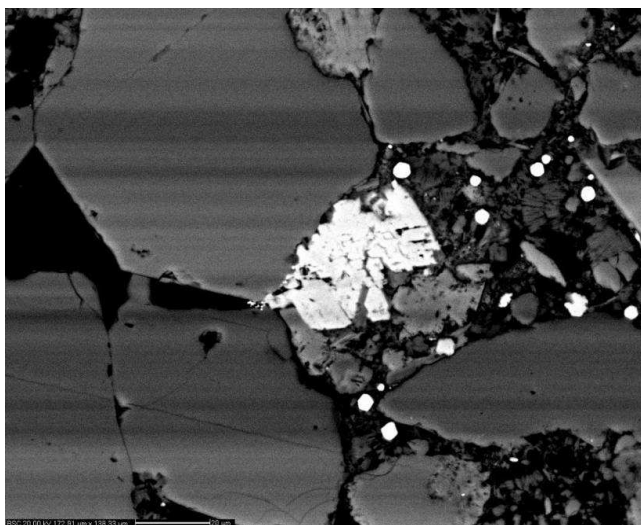
3.6. pav. Anhidritas užpildantis koroduotą porą. Anhidritas formavosi po pagrindinės kvarco cementacijos – detrintiniai grūdai apaugę storais antrinio kvarco apvaisais. Be to, tiek antrinis kvarcas, tiek dalis detrininių grūdų yra ištirpdinti. Pats anhidritas taip pat dalinai pažeistas. Greičiausiai jis formavosi prieš pagrindinę karbonatinę cementaciją. Grežinys Šilgaliai-1, gylis 2048,8.

3.6 lentelė. Anhidrito cheminė sudėtis. Gręžinys Šilgaliai-1, gylis 2048,8. Padidintas Ca/S santykis sietinas su anhidrito daliniu tirpinimu.



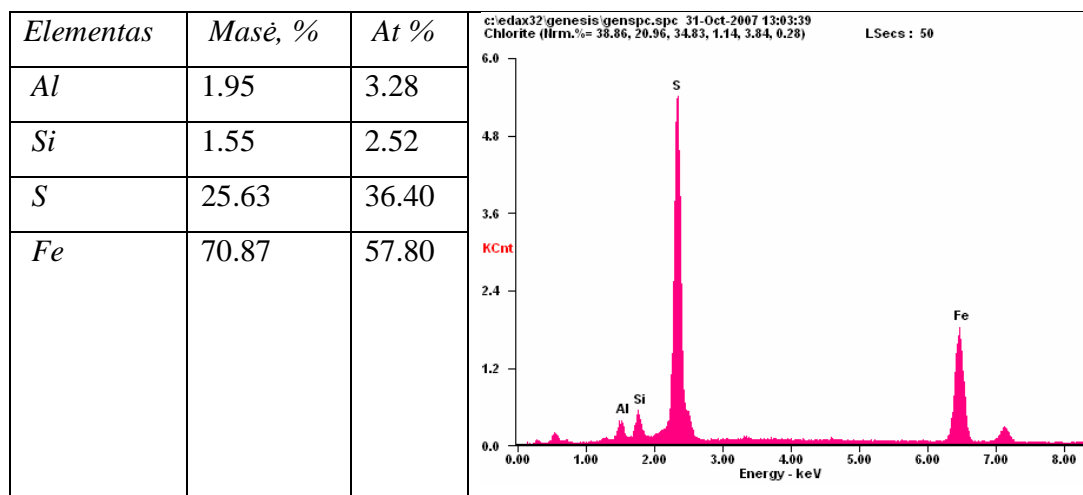
Piritas

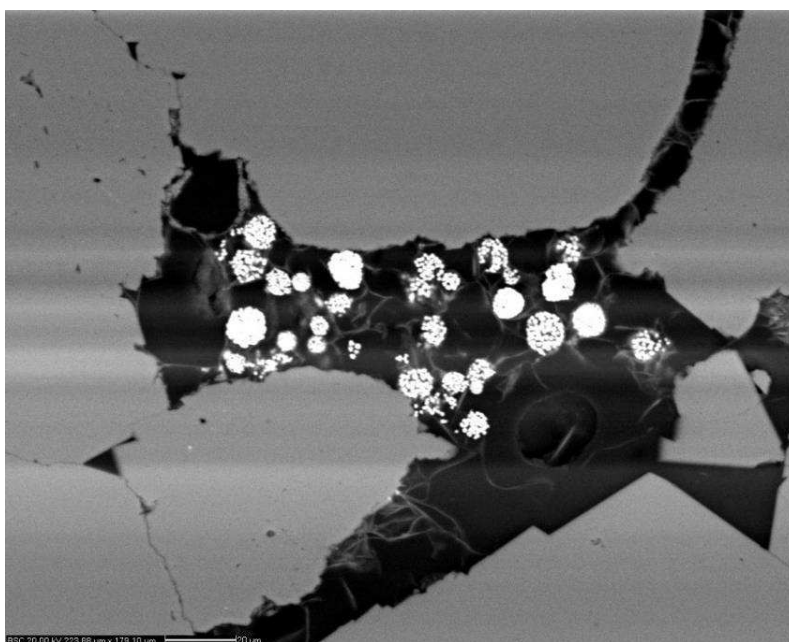
Piritas labai dažnas mineralas kambro smiltainiuose. Jo kiekis ypač padidėja arti molingų sluoksnių, kas rodo jų genetinį sąryšį. Piritas formuoja smulkius grūdelius smiltainio porose, kartais sudaro gana stambias kongrecijas iki 1-2 cm diametro.



3.7. pav. Išsibarstę pirito kristalai porose tarp kvarco grūdelių, grėžinys Akmenynai – 149, gylis 1059m.

3.7. lentelė Pirito cheminė sudėtis (Akmenynai – 149, gylis 1059 m).





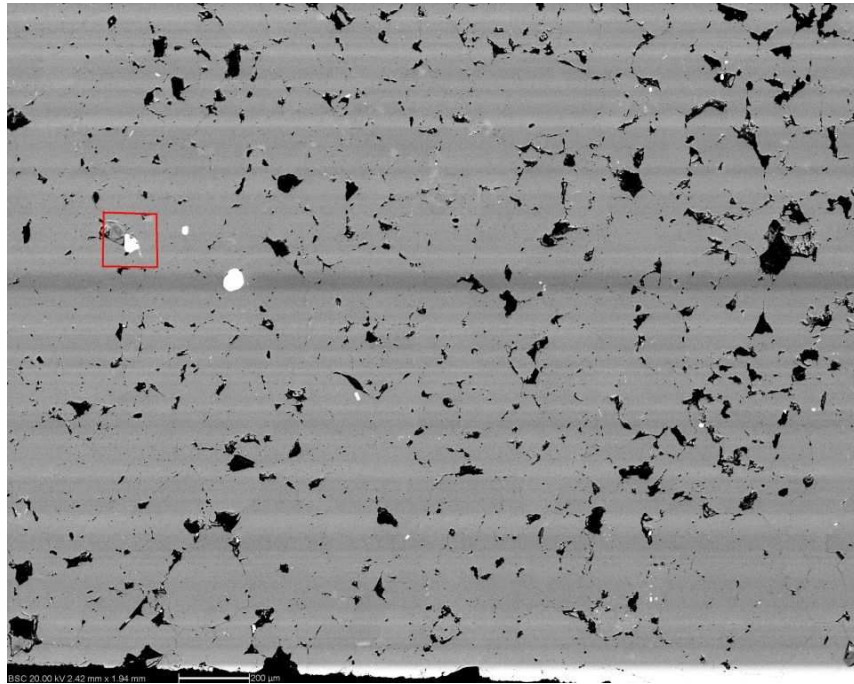
3.8. pav. Pirito kristalai porose tarp kvarco grūdelių. Šilgaliai – 1, gylis 2067.1 m. Pagal kai kurių kristalų santykį su ilitu (ilitas kai kuriuos grūdelius apgaubia) galima numanyti, kad piritas formavosi anksčiau, tad priskiriamas pradinei diagenetinei stadijai, siejamai su bakterijų aktyvumu: $\text{Fe}(\text{OH})_2 + 2\text{S} = \text{FeS}_2 + \text{H}_2\text{O}$

Titano mineralai

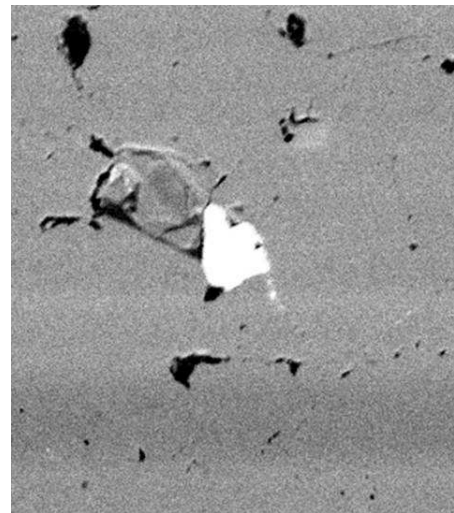
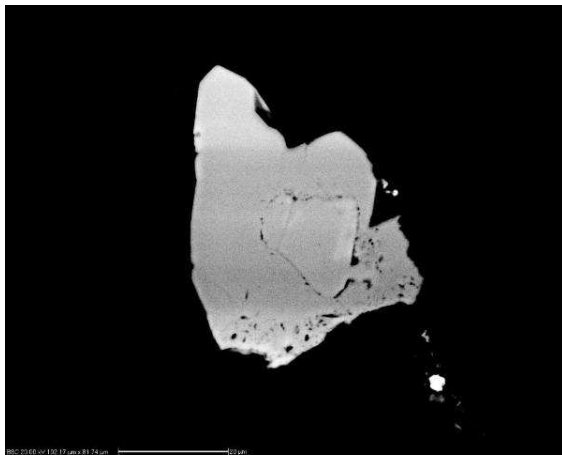
Šlifuose gana dažnai fiksuojami titano mineralai. Pagal cheminės sudėties tyrimus jie praturtinti niobiu (daugiau kaip pusantro procento).

Titanas pasižymi ypatingai mažu mobilumu vandeningose sistemose, todėl šis elementas negalėjo būti atneštas požeminio vandens srautų, todėl jo šaltinis, greičiausiai, sietinas su tokių mineralų, kaip biotitas ar ilmenitas destrukcija. Taip pat galėjo formuotis yrant ankstyvajam chloritui (žr. žemiau).

Petrografinės analizės duomenimis titano mineralas susidarė prieš pagrindinę kvarco cementaciją, kas derinasi su prielaida apie šio mineralo kilmę siejant su biotito ar panašių mineralų tirpimu, kas būdinga ankstyvajai diagenезei.

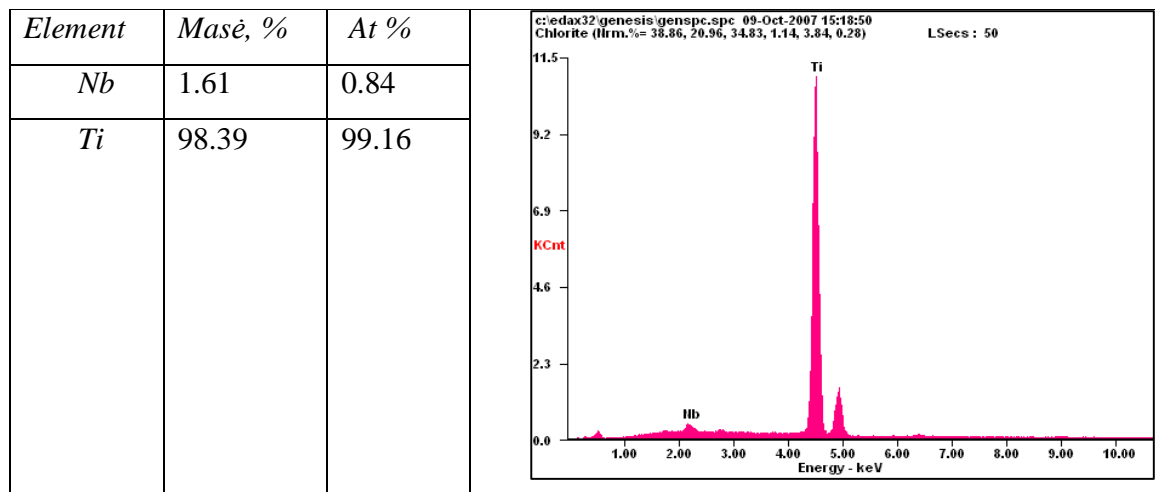


3.9 pav. Titano mineralai (balti) vidurinio kambro smiltainyje. Šilgaliai – 1, gylis 2059.4 m. Raudonai išskirtas kristalas parodytas žemiau. Atkreiptinas dėmesys į mažą titano kristalą centrinėje šlifo dalyje. Jisai yra tarp antrinio ir detritinio kvarco, kas rodo titano mineralų formavimąsi prieš pagrindinę kvarco cementaciją.



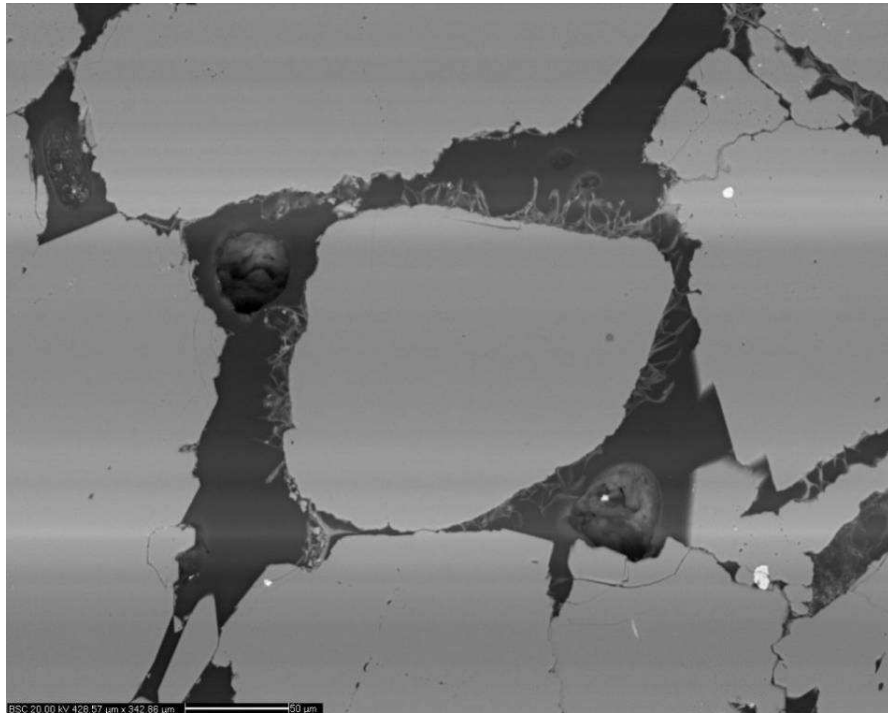
3.10. pav. Titano mineralo padidintas vaizdas (Šilgaliai – 1, gylis 2059.4 m).

3.8. lentelė Titano mineralo cheminė sudėtis parodyto 3.9 ir 3.10. pav (Šilgaliai – 1, gylis 2059.4 m)



Iltas

Iltas yra dažnas mineralas kambro kvarciniame smiltainyje, tačiau jo kiekis paprastai būna labai nedidelis. Kaip parodė petrografiniai tyrimai, iltas paprastai formuoja vadinamus porų linijinius apvalkalusus (*pore-lining*) (3.11 pav.). Santykis su antriniu kvarcu aiškiai rodo, kad iltas formavosi prieš kvarco cementaciją – grūdai, kuriuos apvelka iltas neturi antrinio kvarco apaugimo. Tad, galima spėti, jog jis yra ankstyvosios diagenozės mineralas. Apie specifines formavimosi sąlygas byloja ir specifinė ilito cheminė sudėtis. Kaip parodė cheminės sudėties tyrimai, šiam mineralui būdingas didelis geležies ir magnio kiekis, bei nedidelis kalio kiekis. Pagal cheminę sudėtį mineralą galima identifikuoti kaip cedolitą.



3.11 pav. Iilito (celadonito) plaukuotas porinis-linijinis apaugimas. Jis formavosi ankstyvosios diagenozės metu, ką rodo apaugęs detrinis kvarco grūdas, kuris neturi antrinio kvarco apaugimo, kaip gretimi grūdai, nepadengti celadonito kristalais. Gręžinys Šilgaliai – 1, gylis 2075m.

3.9. lentelė Celadonito cheminė sudėtis (3.11 pav). Gręžinys Šilgaliai – 1, gylis 2075m

<i>Ele mentas</i>	<i>Masė, %</i>	<i>At %</i>	
<i>Mg</i>	7.03	8.71	
<i>Al</i>	38.01	42.43	
<i>Si</i>	35.31	37.87	
<i>K</i>	1.66	1.28	
<i>Mn</i>	1.02	0.56	
<i>Fe</i>	16.97	9.15	

Tai yra celadonitas. Skirtingai nuo tipinio iilito, celadonite yra daug geležies ir magnio, tuo tarpu kalio yra gerokai mažiau. Celadonitas formuojasi keičiant feromagnetinius mineralus.

Chloritas

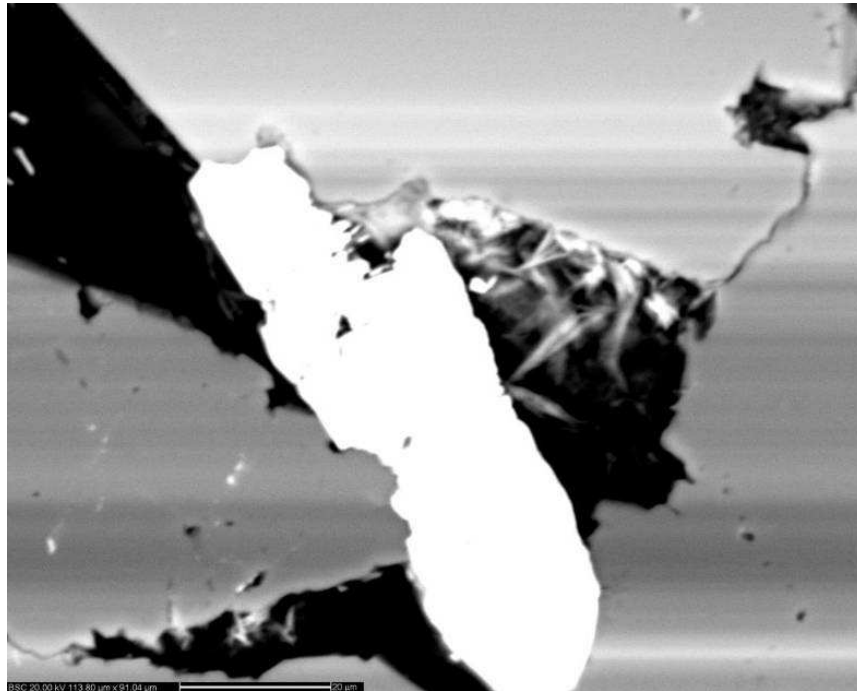
Chloritas yra tipiškas kambro smiltainių mineralas. Jo prigimtis gali būti detritinė ir diagenetinė. Detritiniam chloritui daugiau būdinga magnio atmaina, o diagenetinis chloritas dažniausiai būna geležingas. Tad, cheminės sudėties nustatymas yra svarbus sprendžiant apie šio mineralo prigimtį smiltainiuose. Tuo tarpu kristalų forma ir santykis su kitais mineralais leidžia spręsti apie chlorito vietą diagenetinėje eilėje.

Analizuojant šlifus buvo išskirtos dvi aiškios generacijos.

Ankstyvosios generacijos chloritas formuoja plaukinius linijinius apaugimus. Šie apaugimai aiškiai neleido formuotis antriniam kvarcui, kas rodo, kad šis mineralas susidarė anksčiau už antrinį kvarcą.

Vėlyvosios generacijos chloritas formuoja porų užpildus, forma labai skirtinga nuo ankstyvosios generacijos chlorito. Petrografinės analizės duomenimis aiškiai formavosi vėliau už pagrindinį antrinį kvarcą, užpildydamas liekanines poras, nors ir po chlorito susidarymo sukvarcėjimo procesas tęsėsi toliau.

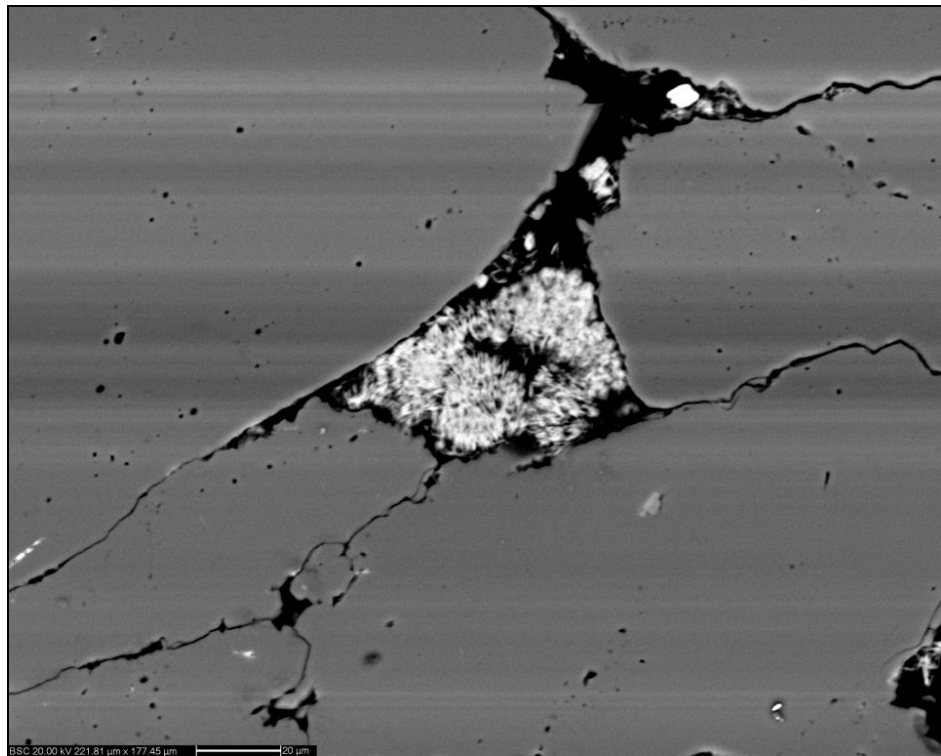
Šios abi generacijos priskiriamos tam pačiam geležingam tipui, tačiau pažymėtini ir kai kurie svarbūs cheminės sudėties skirtumai. Ankstyvosios generacijos chloritui būdingas titanas (jo nėra vėlyvosios generacijos chlorite), padidintas silicio kiekis, vėlyvosios generacijos chlorite yra chloro. Pastarojo buvimas gardelėje rodo, kad vėlyvasis chloritas formavosi padidinto druskingumo porinio vandens aplinkoje evoliucionuojant (grimztant) sedimentaciniam baseinui. Gali būti, jog šias dvi generacijas skyrė ankstyvojo chlorito dalinis tirpinimas – tai gali būti vienas iš titano mineralų, randamų kambro smiltainiuose, šaltinių.



3.12. pav. Geležingo chlorito plaukuotas porinis-linijinis apaugimas. Jis formavosi ankstyvosios diagenezės metu, ką rodo apaugęs detrinis kvarco grūdas, kuris neturi antrinio kvarco apaugimo. Geležingas chloritas tipiškas diagenetinis mineralas (skirtingai nuo magnio chlorito). Šilgaliai – 1, gylis 2086 m

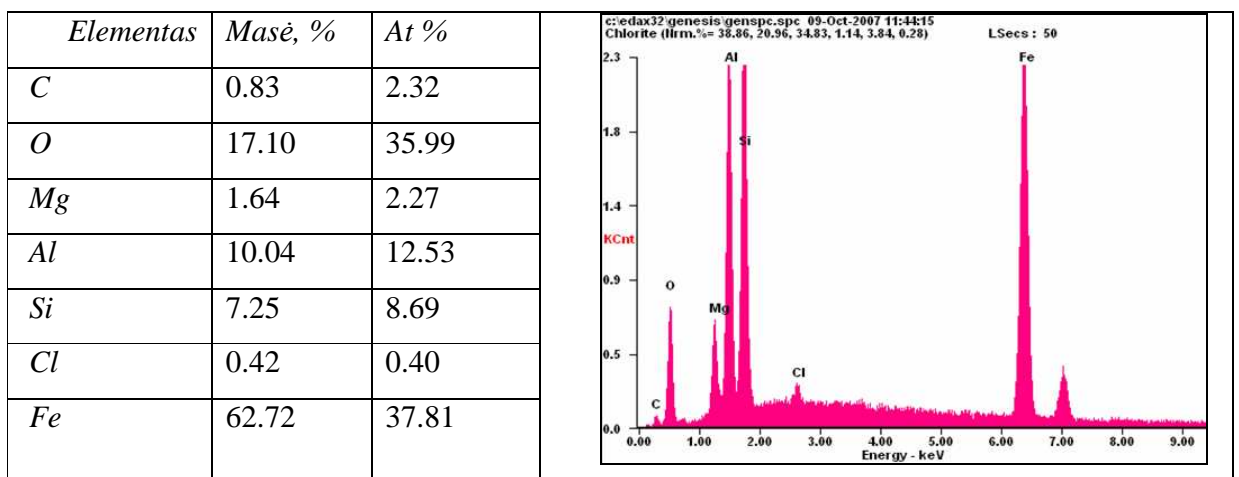
3.10 lentelė. EDS cheminės sudėties nustatymas. Fe chloritas, gręžinys Šilgaliai-1, gylis 2086 m.

<i>Elementas</i>	<i>Masė, %</i>	<i>At %</i>
<i>Mg</i>	1.79	3.12
<i>Al</i>	12.53	19.72
<i>Si</i>	15.76	23.84
<i>K</i>	0.29	0.31
<i>Ti</i>	0.25	0.22
<i>Fe</i>	69.39	52.78



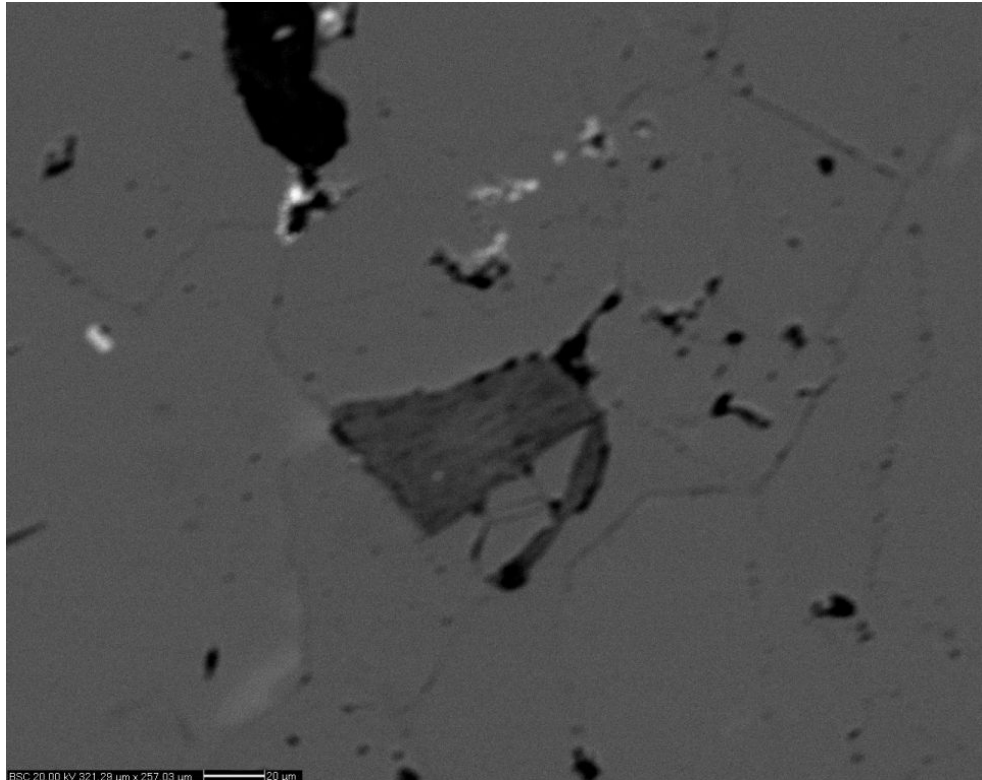
3.13. pav. Geležingo chlorito poros užpildas. Jis formavosi vėlyvosios diagenozės metu, ką rodo santykis su antriniu kvarcu (ypač ryškus viršutinio grūdo kvarco apaugimas). Santykis su kairiuoju kvarco kristalu rodo, kad sukvarcėjimas vyko ir po chlorito susidarymo. Geležingas chloritas tipiškas diagenetinis mineralas (skirtingai nuo magnio chlorito). Šilgaliai – 1, gylis 2086 m

3.11 lentelė. EDS cheminės sudėties nustatymas. Chloritas, gręžinys Šilgaliai-1, gyl.2086m.



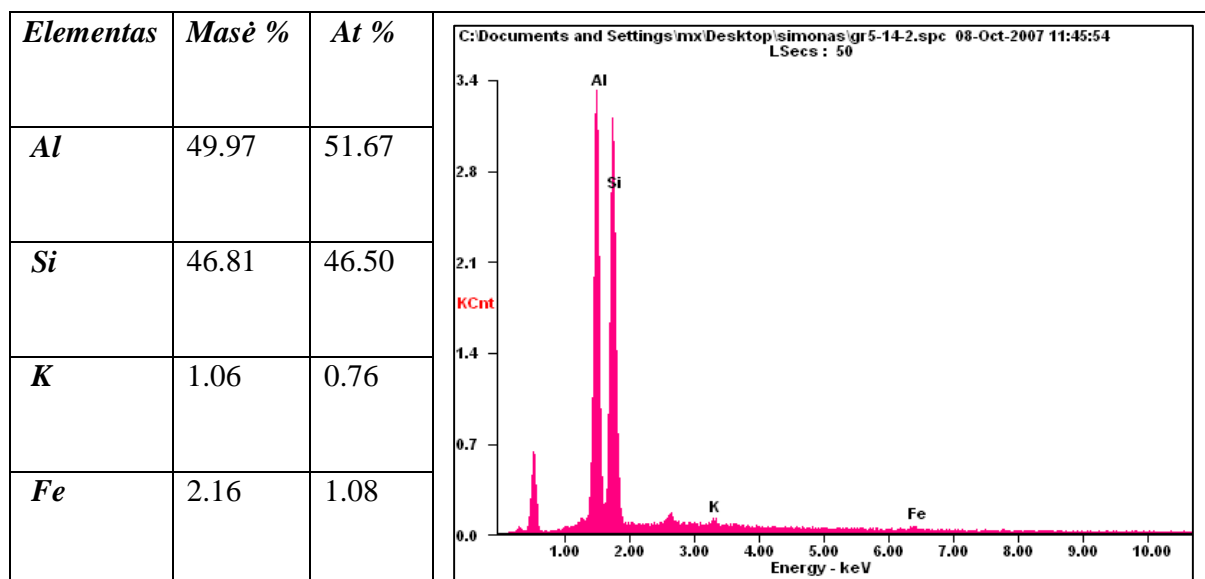
Kaolinitas

Kai kuriuose šlifuose nustatytas kaolinitas. Jis retesnis, nei ilitas ir chloritas.



3.14 pav. Kaolinitas užpildantis porą. Jo santykis su sukvarcėjimu nėra visiškai aiškus. Kairysis ir viršutinis kontaktas yra su detritiniais kvarco grūdais – apatinis su kvarco cementu (kaip ir pats kairysis kampas). Panašu, kad galėjo formuotis tirpstant lauko špato grūdai, tačiau liekanų nėra išlikę. Galėjo formuotis ir keičiant kitus molio mineralus. Apie mineralų keitimą byloja liekaninių geležies ir kalio elementų buvimas. Grėžinys Girkaliai-5, gylis 2084 m.

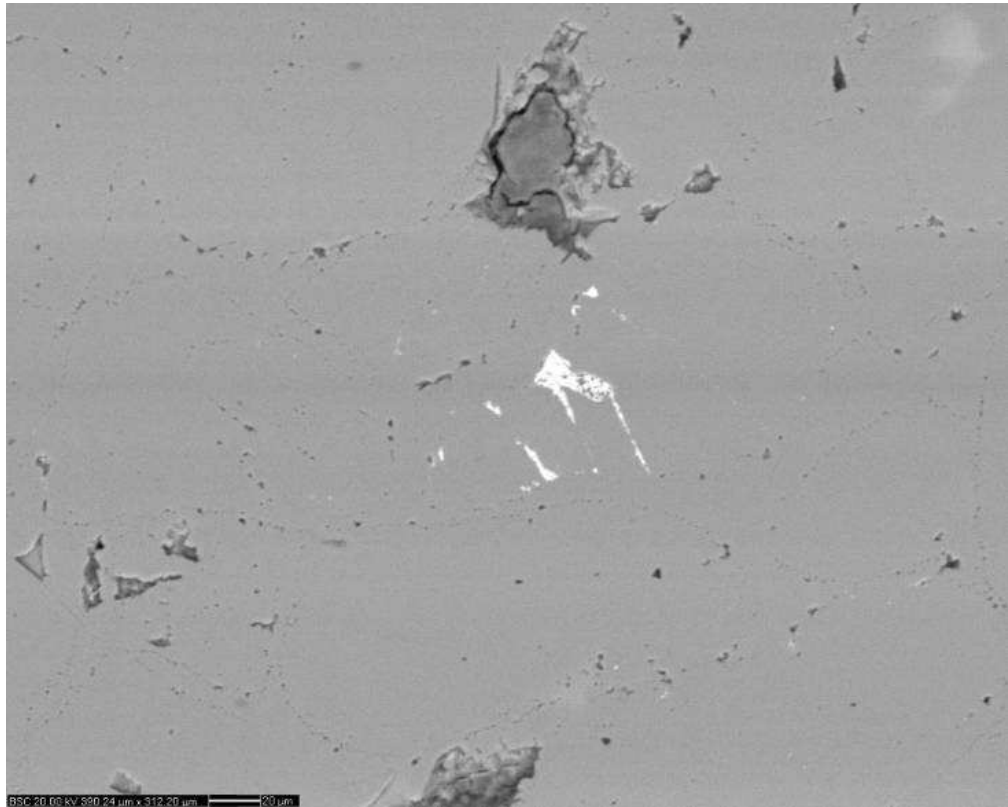
3.12 lentelė. EDS cheminės sudėties nustatymas. Kaolinas, grėžinys Grėžinys Girkaliai-5, gylis 2084 m. Kaoline yra nedidelis kiekis geležies ir kalio.



Retųjų žemės elementų mineralai

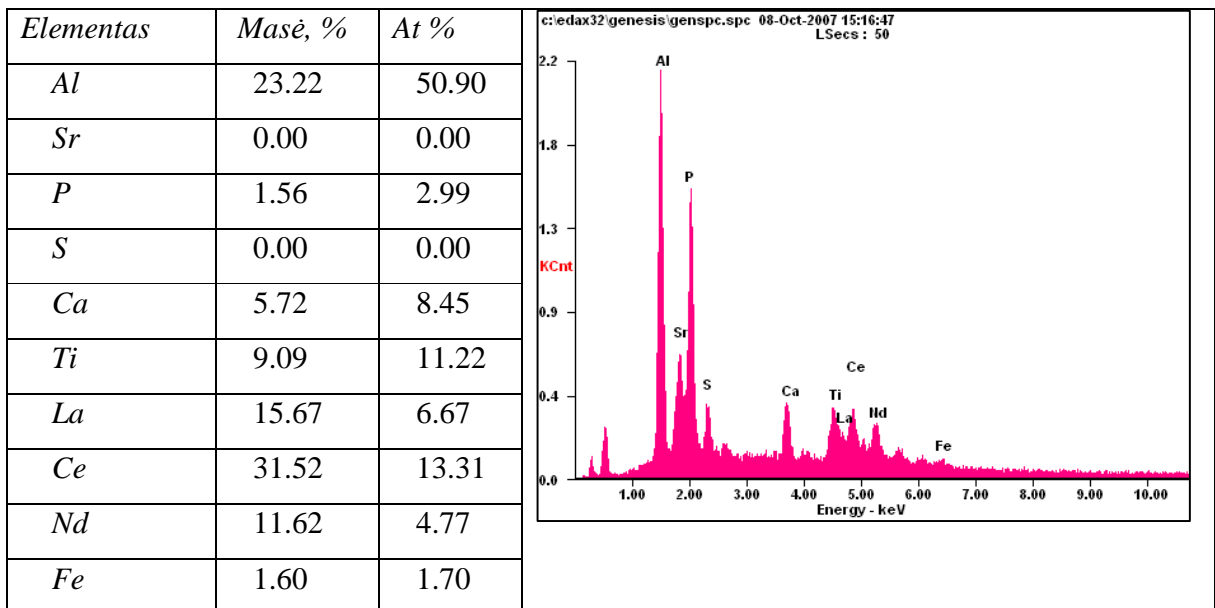
Šlifuose sutikti labai įdomūs mineralai turtingi retaisiais žemės elementais. Pagrindinę dalį sudaro Ce, La, Nd. Yra nemažai aliuminio, titano, kalcio, taip pat fosforo.

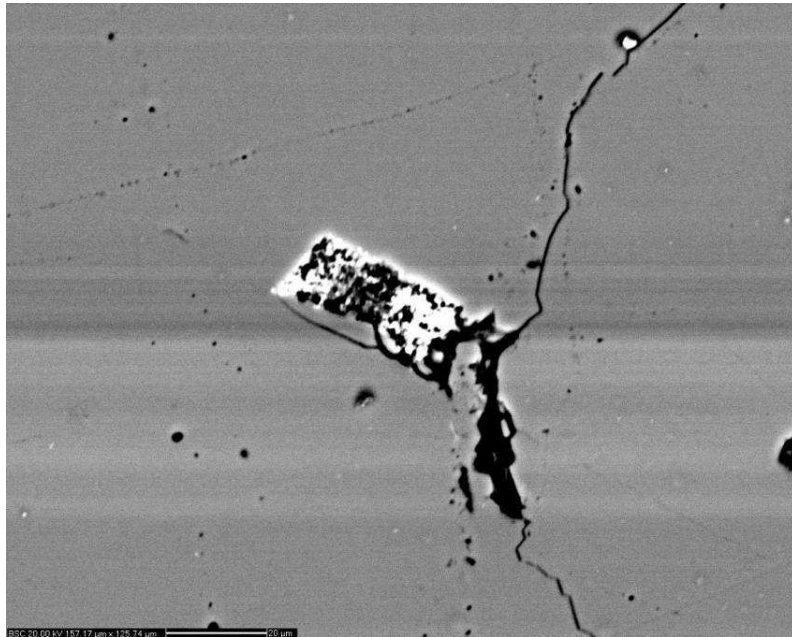
Petrografinių tyrimų duomenimis šis mineralas susidarė prieš kvarco cementaciją. Neretai kristalai koroduoti, kas rodo dalinį jų tirpinimą. Iš savo pusės, kai kuriuose šlifuose stebimas kvarco grūdų keitimas šiuo mineralu. Tai rodo padidintą porinio fluideo šarmingumą.



3.15. pav. Retujų žemės elementų mineralas. Apgaubia detritinį grūdą ir įauga į jo plyšius. Girkaliai – 5, gylis 2044.9m

3.13. lentelė. EDS cheminės sudėties nustatymas. Retujų žemės elementų mineralas, gręžinys Girkaliai – 5, gylis 2044.9m.



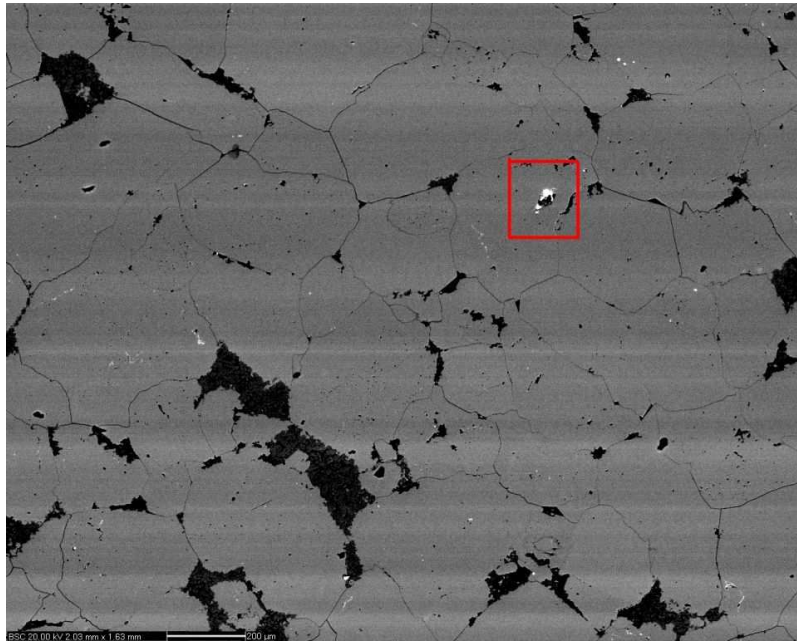


3.16 pav. Retujų žemės elementų aliumofosfatinis mineralas. Kristalas įaugęs tarp dviejų detritinių grūdų, tad daroma išvada, kad formavosi prieš kvarco cementaciją. Šilgaliai – 1, gylis 2051.5m.

3.14 lentelė . Retujų žemės elementų aliumofosfatinio mineralo cheminė sudėtis (Šilgaliai – 1, gylis 2052m)

<i>Elementas</i>	<i>Masė %</i>	<i>At %</i>
<i>O</i>	13.16	34.86
<i>Al</i>	12.46	19.57
<i>Si</i>	4.20	6.33
<i>P</i>	8.08	11.05
<i>Ca</i>	5.15	5.44
<i>Ti</i>	5.77	5.11
<i>La</i>	10.35	3.16
<i>Ce</i>	27.44	8.30
<i>Nd</i>	8.55	2.51
<i>Fe</i>	4.84	3.67

c:\edax32\genesis\genspc.spc 15-Nov-2007 16:02:15
 Chlorite (lrm.%= 38.86, 20.96, 34.83, 1.14, 3.84, 0.28) LSecs : 50



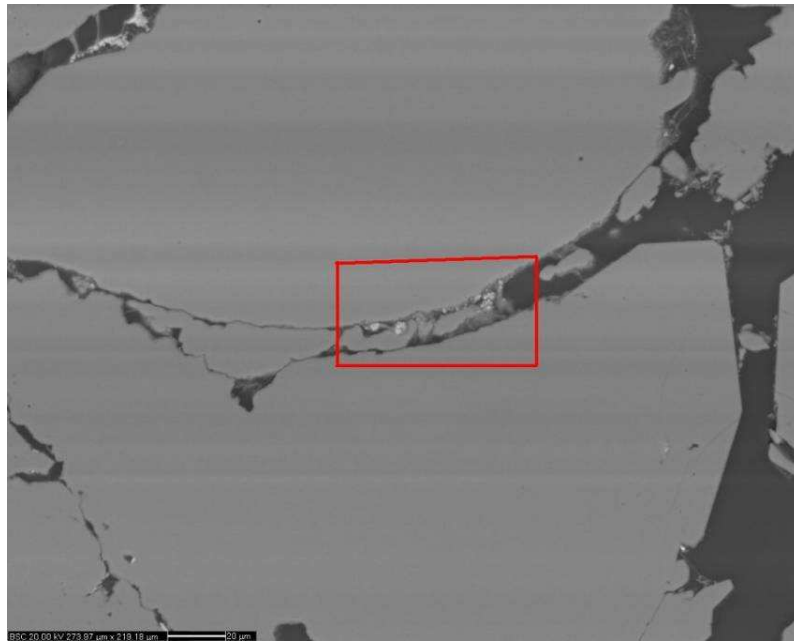
3.17. pav. Retujų žemės elementų aliumofosfatinis mineralas. Kristalas įaugęs poroje. Šilgaliai – 1, gylis 2052 m.

3.15 lentelė . Retujų žemės elementų aliumofosfatinio mineralo cheminė sudėtis 3.18. pav (Šilgaliai – 1, gylis 2075 m)

<i>Elementas</i>	<i>Masė %</i>	<i>At %</i>
<i>Al</i>	28.10	38.26
<i>Si</i>	23.44	30.66
<i>P</i>	11.09	13.16
<i>S</i>	2.48	2.84
<i>K</i>	4.90	4.60
<i>Ca</i>	4.05	3.71
<i>La</i>	6.26	1.65
<i>Ce</i>	13.43	3.52
<i>Nd</i>	6.25	1.59

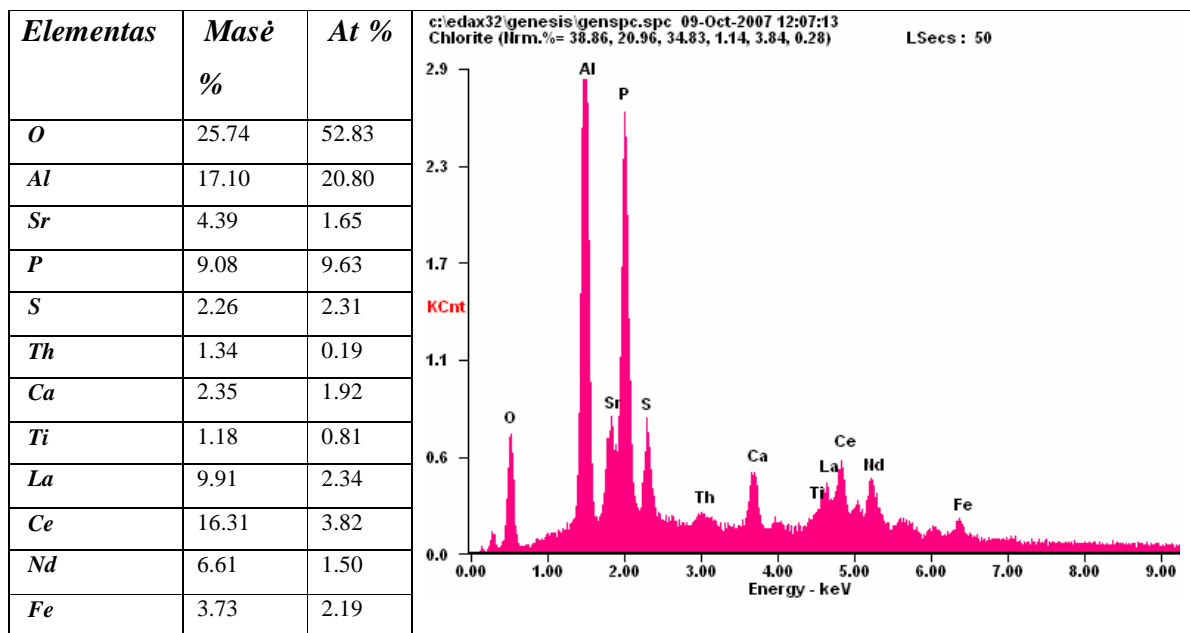
c:\edax32\genesis\genspc.spc 15-Nov-2007 10:18:30
 Chlorite (Irm.%= 38.86, 20.96, 34.83, 1.14, 3.84, 0.28) LSees : 50

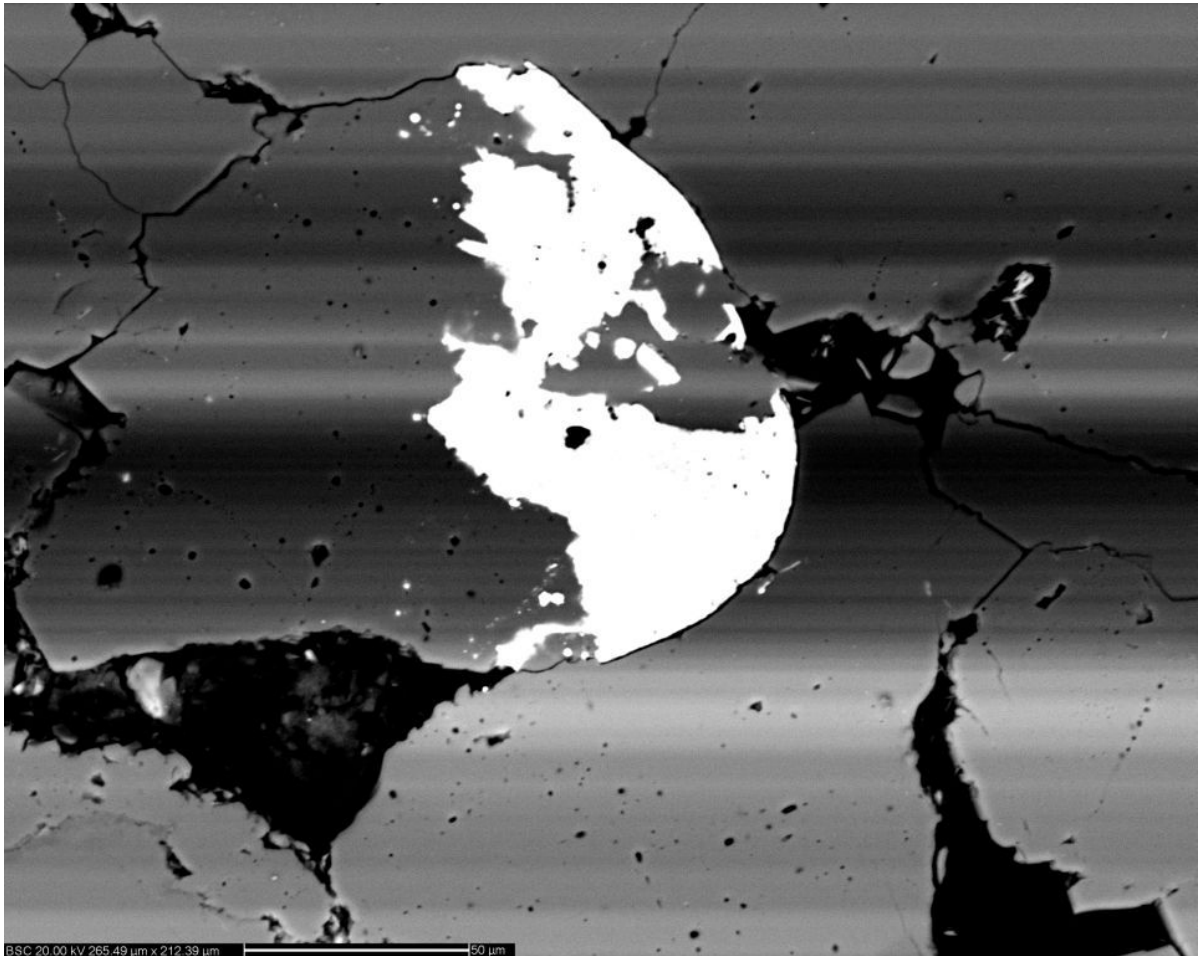
Energy - keV



3.18 pav. Retujų žemės elementų aliumofosfatiniai mineralai. Kristalai auga tarp detrintinio kvarco grūdo ir kvarco cemento, tad daroma išvada, kad formavosi prieš kvarco cementaciją. Šilgaliai – 1, gylis 2075 m.

3.16 lentelė . Retujų žemės elementų aliumofosfatinio mineralo cheminė sudėtis 3.19. pav (Šilgaliai – 1, gylis 2086 m.)



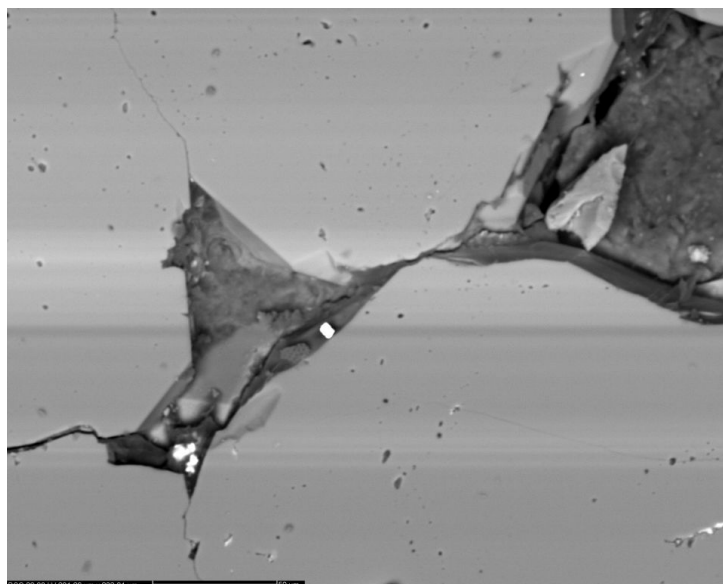


3.19 pav. Retųjų žemės elementų aliumofosfatinis mineralas. Skirtingai nuo aukščiau pateiktų pavyzdžių, kur šis mineralas yra pasyvus kitų mineralų atžvilgiu, čia jis keičia kvarco grūdą, tad formavosi intensyviai tirpstant kvarcui, kas, greičiausiai, susiję su padidintu porinio vandens šarmingumu. Gretimame grūde, šalia stambiojo fosfatinio aliumosilikato matome smulkius šio mineralo kristalus, augančius tarp detritinio ir diagenetinio kvarco. Tad, mineralas susidarė prieš kvarco cementaciją. Šilgaliai – 1, gylis 2086 m.

Vario mineralas

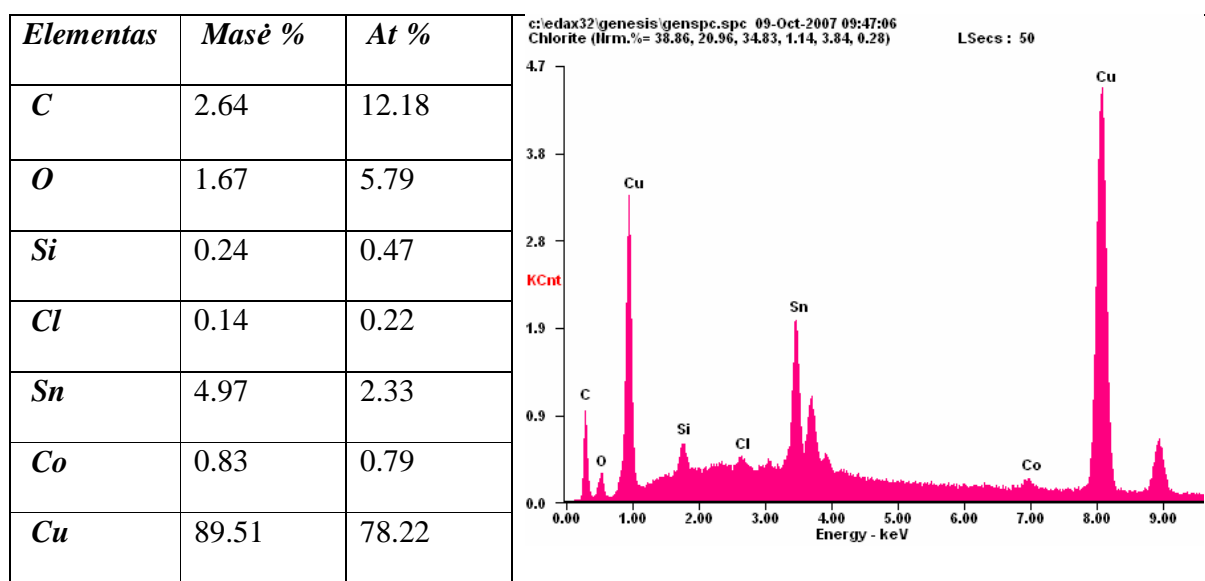
Grėžinyje Girkaliai-5 buvo nustatytas vario mineralas. Labai smulkūs kristalai tarp kvarco grūdų. Petrografinių tyrimų duomenimis jis yra vėlyvasis diagenetinis, formavosi jau po pagrindinės kvarco cementacijos. Taip pat yra kobalto ir ypatingai alavo priemaišos. Pažymėtina, kad mineralas nustatytas 2087 m gylyje, t.y. smiltainyje esančiame kontakte su stambiu Ablingos

pado organine medžiaga praturtinto molių sluoksnio. Greičiausiai varis buvo tiekiamas iš šios molingos uolienos. Tačiau neatmetama galimybė, kad sankaupą sąlygojo ir padidintas porinio vandens rūgštingumas šalia molingo sluoksnio.



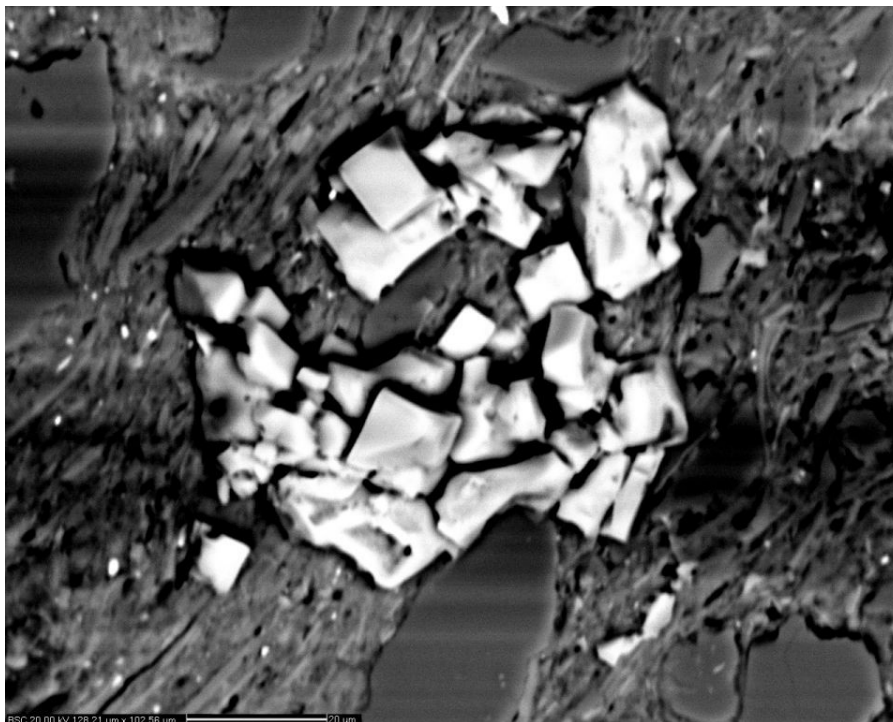
3.20. pav. Vario mineralo kristalai tarp kvarco grūdų. Aiškiai vėlyvasis diagenetinis mineralas, susidaręs po pagrindinės kvarco cementacijos, tačiau po to kvarco cementacija tebevyko, tik mažesniu mastu.

3.17. lentelė. EDS cheminės sudėties nustatymas. Vario mineralas, gręžinys Girkaliai – 5, gylis 2087.7 m. Varis su alavo priemaiša, yra nežymiai kobalto.



Druska

Druskos susidarymas nėra aiškus, tačiau labai tikėtina, kad ji galėjo susidaryti ruošiant mėginius tyrimams, taipogi nuotraukoje galime matyti, kad ji susidariusi mėginio paviršiuje.



3.21 pav. Druska, tikėtina technogeninė. Grėžinys Girkaliai – 5, mėginio gylis 2078.4

3.18 lentelė. Druskos cheminė sudėtis (3.21 pav).

<i>Elementas</i>	<i>Masė %</i>	<i>At %</i>	<p>c:\edax32\genesis\genspc.spc 07-Nov-2007 13:09:45 Chlorite (Irm.%= 38.86, 20.96, 34.83, 1.14, 3.84, 0.28) LSecs : 24</p> <p>The EDS spectrum shows two main peaks: a smaller peak for Na at approximately 1.04 keV and a much larger peak for Cl at approximately 2.64 keV. The y-axis is labeled 'KCnt' and ranges from 0.0 to 16.8. The x-axis is labeled 'Energy - keV' and ranges from 0.0 to 10.00.</p>
<i>Na</i>	33.06	43.24	
<i>Cl</i>	66.94	56.76	

4. KAMBRO SMILTAINIŲ DIAGENETINĖ PARASEKA

Kambro smiltainiai patyrė ilgalaikę diagenezę, išskiriami skirtingi diagenzės etapai, kurie atsispindi antrinių mineralų formavimesi. Nustatyta diagenetinė eilė (paraseka):

Diagenetinis etapas	Stadija	
	Eodiagenezė	Mezogenezė ir telogenezė
RŽE mineralai	-----?	
Piritas	-----	-----
Chloritas	-----	-----
Ilitas	-----	
Kaolinas	-----	
Titano mineralas	?-----?	
Kvarco cementacija		----- *****
Dolomitas geležingas		-----*****
Anhidritas		-----*****
Vario mineralas		-----
Kalcitas geležingas		-----

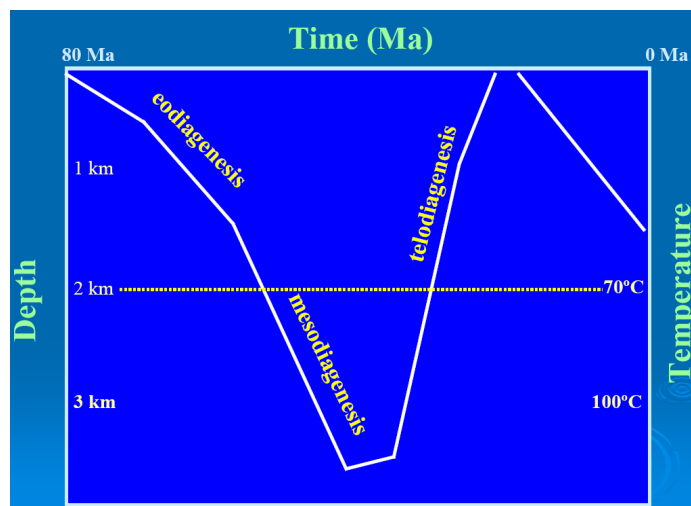
4.1. lentelė. Pastaba – brūkšninė linija rodo mineralo formavimąsi, žvaigždutės – tirpimą.

Diagenetinių mineralų formavimasis pagrindinai siejamas su porinio vandens cheminės sudėties pokyčiais, kurie, savo ruožtu, yra sedimentacinio baseino evoliucijos padarinys. Nustatyta diagenetinė eilė yra gana tipiška jūrinio vandens maišymuisi su rūgščiu vandeniu susidarančiu konsoliduojantis organine medžiaga praturtintiems molingiems sluoksniams. Pagal eiliškumą, išskiriama ši eilė (etapai):

1. Aliumo-fosfatas
2. Ankstyvasis piritas
3. Ankstyvasis chloritas (porų linijinio tipo)

4. Ilitas (porų linijinio tipo)
5. Kaolinas (porų užpildo tipo)
6. Titano mineralas
7. Kvarco cementas
8. Vėlyvasis piritas
9. Vėlyvasis chloritas (porų užpildymo tipo)
10. Dolomitas
11. Anhidritas
12. Kalcitas

Šios devynios stadijos interpretuojamos kaip atspindinčios porinio vandens, pratekančio per poras, evoliuciją.



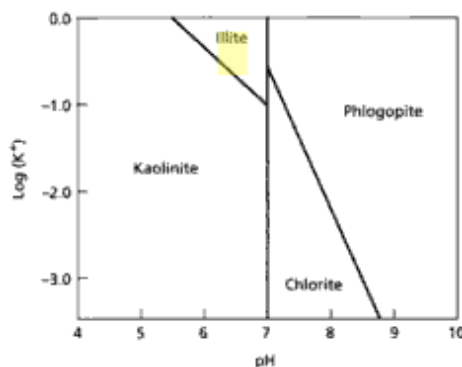
4.1 pav. Sedimentacinio baseino diagenezės stadijos siejamos su baseino grimzdimo istorija (paveikslas pagal MIT OCW - <http://ocw.mit.edu/OcwWeb/web/home/home/index.htm>)

Eodiagenėzė

Eodiagenėzė apima diagenetinius procesus iki 1,5-2 km gylio baseine (temperatūra <70oC). Diagenetiniai procesai čia mažai teįtakojami temperatūros, organinės medžiagos kitimą lemia pagrindiniai bakterijų aktyvumas.

Kambro smiltainiuose išskirtos eodiagenėzės stadijos, kaip ir sedimentacijos aplinkos, sąlygos yra tipinės jūrinei palinkai bei jūrinio tipo poriniam vandeniui. Porinio vandens sudėtis kinta skverbiant per poras, pirmiausiai prarandant Mg^{2+} ir Fe^{2+} , todėl iškrenta chloritas (etapas 2).

Organine medžiaga praturtinto molio kompaktacija ir vandens praradimas kompensavo šį porinio vandens Mg^{2+} ir Fe^{2+} praradimą išskrentant chloritui ir ilitui.



4.2. pav. Molio mineralų stabilumo laukai (sistema $K_2O-MgO-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$, $25^\circ C$ temperatūra) (pagal Garrels, Christ, 1965).

Neretai randamas mineralas turtingas retaisiais žemės elementais. Vyrauja aliuminis, nemažai fosforo. Jis aiškiai formavosi prieš diagenetinio kvarco stadiją, be to yra agresyvus kvarco grūdelių atžvilgiu, juos keisdamas. Tai sietina su staigiai padidėjusiu porinio vandens šarmingumu. Kol kas nėra aiški šio mineralo prigimtis, tačiau greičiausiai jo formavimasis buvo susijęs su porinio vandens, esančio Salantų pluošto smiltiniuose, praturtinimas šiais elementais. Salantų pluošto smiltiniuose yra gausiai *Obolus* fosfatinių kriauklių nuolaužų. Šio klausimo sprendimui būtina atlikti Salantų smiltainio cheminės sudėties tyrimus. Šarmingumo padidėjimas sietinas su Salantų jūrinio vandens infiltracija į kambro smiltainius po gana ilgos sedimentacinės pertraukos (apie 10 mln.m.).(Paškevičius J. 1994)

Pačiai ankstyvajai dianezei priskiriamas ir piritto formavimasis (etapas 1), siejamas su bakterijų aktyvumu redukuojant sulfatus esančius jūriniame vandenyje prisotinančiame nuosėdas (atvira cheminė aplinka).

Rūgštys, kurios susidaro grimziant baseinui bei dėl didėjančios temperatūros yrant organinei medžiagai molinguose sluoksniuose (kambro smiltiniuose yra nemažai tamsiai pilkos spalvos molio sluoksnių), susimaišė su smiltainių jūriniu poriniu vandeniu, mažindamos jų šarmingumą. Šarmingumo mažėjimas, savo ruožtu, skatina ilito iškritimą, kuris keičia chlorito formavimąsi (etapas 2). Didėjant porinio vandens rūgštingumui ilito formavimąsi keičia kaolino iškritimas (etapas 4), taip pat galėjo formuotis piritas (etapas 3), kuris, petrografinių tyrimų duomenimis, yra vėlesnis už kaoliną. Epigenezės stadijai priskiriamas ir titano mineralų

formavimasis, kuris siejamas su detritinio biotito (ar panašių mineralų) tirpimu arba ankstyvojo chlorito tirpimu.

Mezodiagenės ir telodiagenėzė stadija

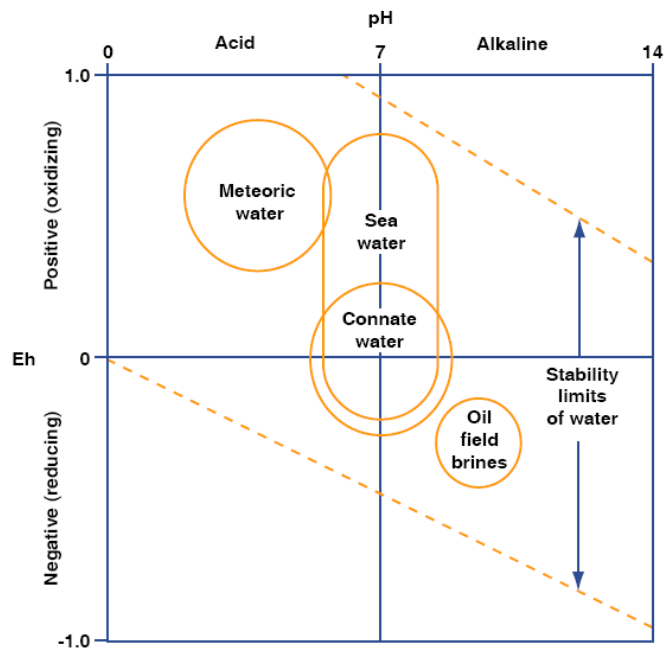
Mezogenezės stadija apima dignetinius procesus giliau ~1,5-2 km gylio, čia labai svarbus temperatūros vaidmuo diagenetinių procesų pobūdžiui. Telodiagenėzė apibūdina baseino iškilimo stadiją. Kadangi po jos Baltijos baseine vėl vyko grimzdimas, kol kas yra sunku detalizuoti šias stadijas atskirai ir jos darbe nagrinėjamos kartu.

Porinio vandens rūgštingumas, grimztant baseinui, pasiekė maksimumą pradėjus formuotis naftai. Ši riba, pateiktoje diagenetinėje schemoje, žymi vėlyvosios diagenėzės stadiją.

Kai poros buvo užpildytos angliavandeniliais praturtintais padidinto rūgštingumo vandeniu prasidėjo sintaksinio kvarco cementacija (etapas 5). Po pagrindinės sukvarcėjimo fazės pradėjo formuotis geležingas chloritas, užpildantis liekanines poras. Jo susidarymas siejamas su didėjančia temperatūra. Kaip rodo cheminės sudėties analizė, porinis vanduo buvo gerokai sūresnis, nei ankstyvosios chlorito generacijos susidarymo metu.

Naftos produktų skverbimasis suaktyvino ir vėlyvojo piritro formavimąsi. Vėlyvasis piritas yra dažnas akcesorinis ar netgi cementuojantis mineralas naftingų baseinų smiltainiuose. Jo susidarymas priklauso nuo porinio vandens praturtinimo sulfatais.

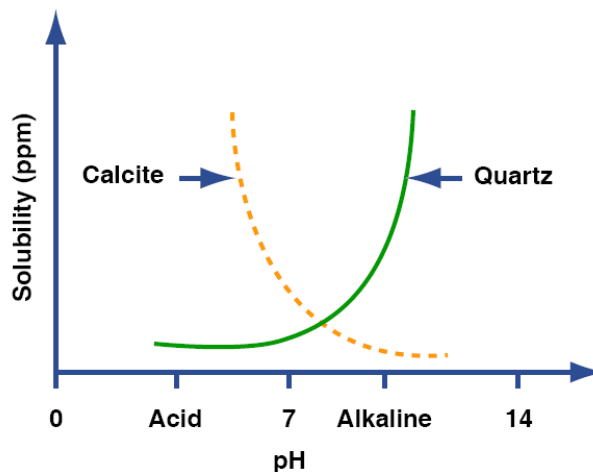
Po pagrindinės kvarco cementacijos porinio vandens rūgštingumas galėjo mažėti dėl evoliucionuojančios naftos generacijos, kuri didina porinio vandens šarmingumą (4.3 pav.), taip pat kilo temperatūra. Šiomis sąlygomis kvarcas tampa nestabilus (4.4 pav.) ir jį keičia dolomito (etapas 6) arba kalcito (etapas 7) cementacija. Kaip žinia, kvarco tirpumas didėja didėjant temperatūrai, o karbonatų – atvirkščiai.



4.3 pav. Porinio vandens pH rodiklis (paveikslas pagal MIT OCW - <http://ocw.mit.edu/OcwWeb/web/home/home/index.htm>)

Po hercininio etapo pabaigos (permo vidurys) vėl atsinaujino kvarco cementacija, kuri galėjo vykti kartu su dolomitinio cemento formavimusi.

Anhidrito formavimasis kambro smiltiniuose nėra pakankamai aiškus. Jis yra gana retas. Šio mineralo susidarymas gali būti sietinas su požeminio vandens infiltracija permo Cechšteino baseino vystymosi metu, kai praturtintas sulfatais vanduo skverbėsi į vandeningus horizontus, tame tarpe ir kambro, taip sudarydamas šio elemento perteklių ir anhidrito formavimąsi (etapas 8). Tačiau labiau tikėtina prielaida, kad mineralas susidarė atsipalaiduojant sierai iš organinė medžiaga praturtintų molingų kambro sluoksnių ir migruojant jai į smiltainiuose, kuriuose buvo šarminas porinis vanduo. Tokiomis sąlygomis formavosi ne piritas, o anhidritas. Vėlesnėse stadijose, vykstant anhidrito tirpinimui bendrų jonų efekto formavosi kalcitas (etapas 9). Kalcito iškritimas sąlygoja dolomito nestabilumą, kuris taip pat dalinai buvo tirpdinamas, kas gerai matoma kambro smiltainių šlifuose.



4.4 pav. Kvarco ir kalcito tirpumas priklausomai nuo porinio vandens pH. (paveikslas pagal MIT OCW - <http://ocw.mit.edu/OcwWeb/web/home/home/index.htm>)

Vėlyvojoje stadijoje formavosi titano mineralai. Titanas pasižymi ypatingai mažu mobilumu vandeningose sistemose, todėl šis elementas negalėjo būti atneštas požeminio vandens srautu, tad jo šaltinis turi būti vietinis. Vienas iš galimų tokių šaltinių yra ankstyvojo chlorito dalinis tirpimas – cheminės sudėties tyrimų duomenimis, jam būdingas padidintas titano kiekis.

Nėra aiški ir vario mineralų kilmė. Surastas mineralas Girkalių-5 grėžinio smiltainių kontaktinėje zonoje su stambiu molio sluoksniu. Molingas sluoksnis gali būti arba vario šaltinis, arba formuoja specifinę labiau redukcinę aplinką. Kaip žinia, dauguma diagenetinės metalinės mineralizacijos apraiškų yra susiję su pereinama zona iš oksidacinių į redukcines sąlygas.

5. PETROFIZINĖS SAVYBĖS IR DIAGENETINIAI PAKITIMAI

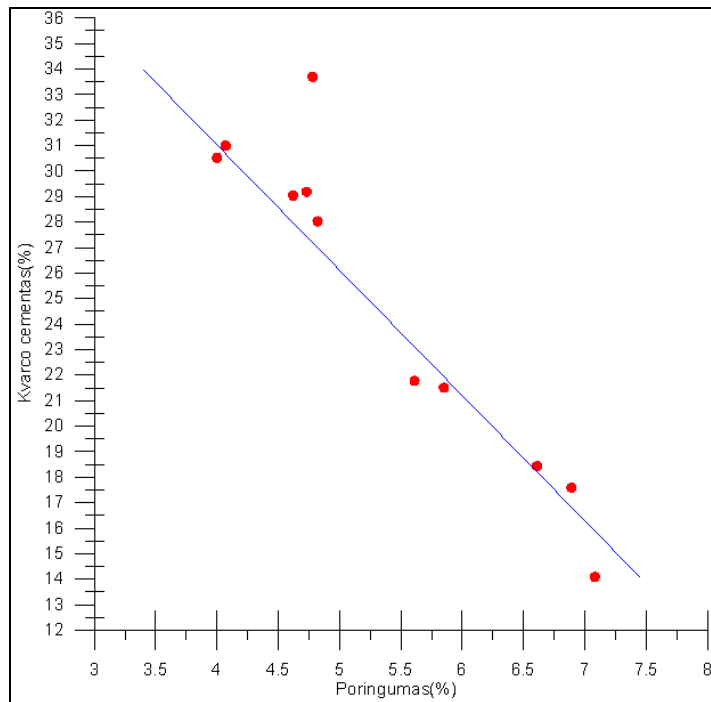
Petrofiziniai tyrimai atlikti Danijos technikos universitete ir Aarhus universitete. Buvo atlikti poringumo, skvarbumo, garso greičio matavimai, taip pat iš skenuojančio elektroninio mikroskopo nuotraukų buvo suskaičiuotas kvarcinis cementas.

Kvarco cementas skaičiuojamas naudojant katodoiliuminescencines (3.1 pav.) ir šešėlinio atspindžio (3.1 pav.) nuotraukas. Tai yra techniškai sudėtingas uždavinys. Nuotraukos buvo darytos skenuojančiu elektros mikroskopu (SEM). Žinoma, kvarco grūdėliai ir juos cementuojantis antrinis kvarcas ne visada aiškiai skiriasi, todėl interpretacija yra būtina. Buvo atliktas kruopštus ir atsakingas darbas, siekiant kuo tikslesnių ir patikimesnių duomenų. Pirmiausia buvo pažymėtas visas antrinis kvarcas ant katodoiliuminescencinių nuotraukų, atskiriant jį nuo pirminių kvarco grūdų. Vėliau buvo naudojama A4 formato lapo dydžio speciali lentelė sudaryta iš 1887 taškų. Lentelė yra uždedama ant pažymėto antrinio kvarco ir suskaičiuojami taškai. Kvarco cementas skaičiuojamas naudojant lygtį:

$$\text{Kvarco cementas (\%)} = (\text{Kvarco cemento taškai} * 100) / 1887 (\text{visų taškų skaičius});$$

5.1 lentelė. Girkalių – 5 gręžinio kambro smiltainių petrofizinės savybės.

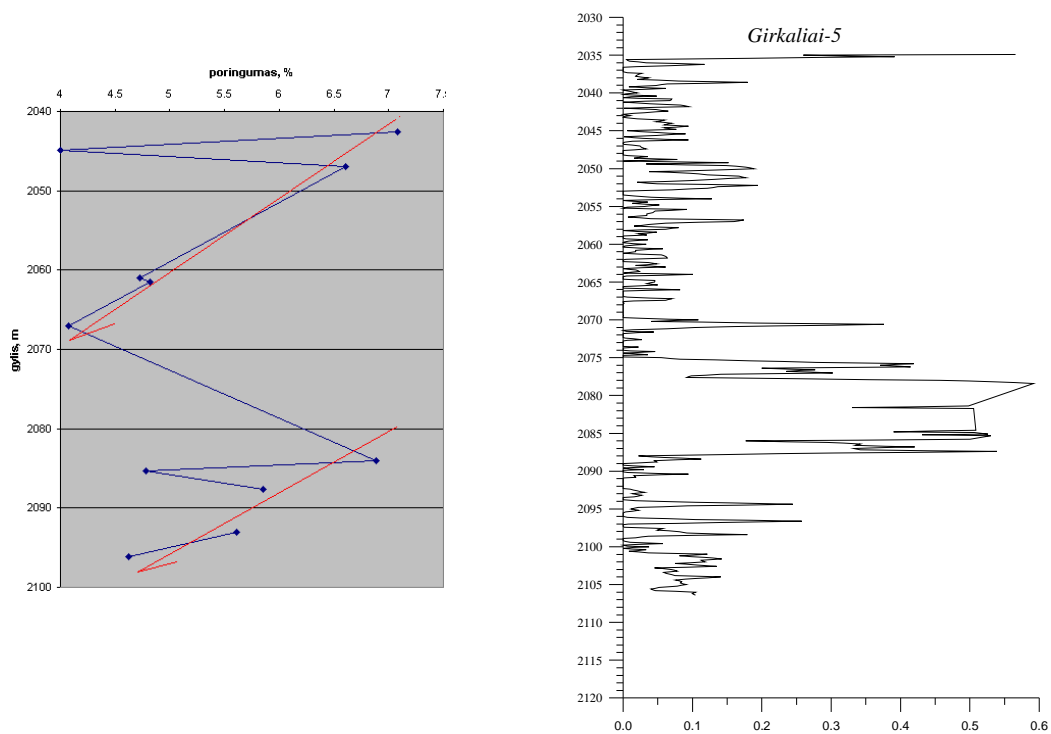
Mėginys	Gylis(m)	Taškų skaičius	Poringumas (%)	Qtz cemento kiekis(%)	Molingumas	Akustinis greitis (km/s)
Gr5-4-3-1	2042,4	61		3,23	0,06501	
Gr5-5-4-1	2042,6	266	7,08	14,09	0,03102	3,3
Gr5-3-4-1	2044,9	576	4,00	30,52	0,04136	3,1
Gr5-6-1-1	2047	348	6,61	18,44	0,02449	2,9
Gr5-8-5-1	2061	551	4,73	29,19	0,01795	2,9
Gr5-10-3-1	2061,5	529	4,82	28,03	0,05824	3
Gr5-21-3-1	2067	585	4,07	31,00	0,00598	2,6
Gr5-14-5-1	2084	332	6,89	17,59	0,84915	2,6
Gr5-15-7-1	2085,3	636	4,78	33,70	0,53006	2,9
Gr5-17-2-1	2087,7	406	5,85	21,51	0,22483	2,9
Gr5-18-3-1	2092,6	93		4,92	0,02013	
Gr5-19-2-1	2093	411	5,61	21,78	0,0136	3
Gr5-20-3-1	2096,1	548	4,62	29,04	0,00598	3



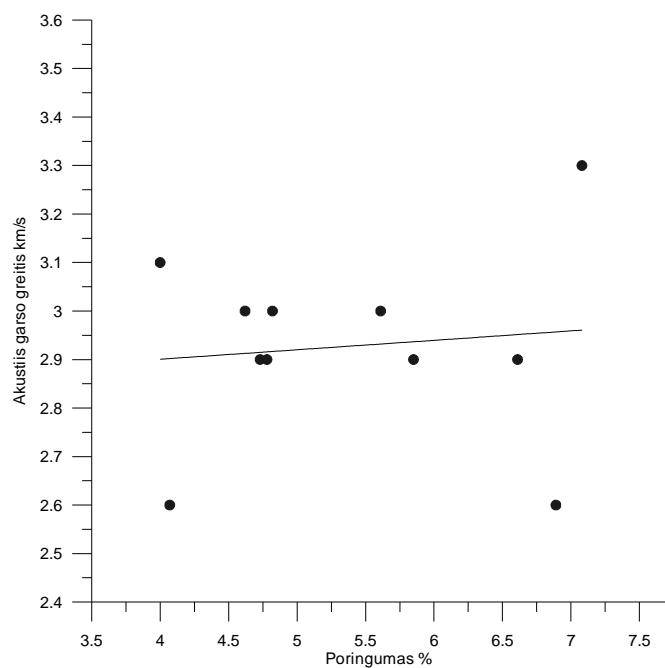
5.1 pav. Poringumo priklausomybė nuo kvarco cemento kiekio. Koreliacijos koeficientas yra +0.90. Tiesinė priklausomybė aprašoma pirmos eilės lygtimi: $\text{poringumas} = -0.16 \cdot \text{kvarcas} + 9.4$.

Grafikas parodo tiesioginę priklausomybę tarp kvarco cemento kiekio ir poringumo, kuo didesnis poringumas tuo mažiau yra antrinio kvarco. Tiesioginė priklausomybė aprašoma formule: $\text{poringumas} = -0.16 \cdot \text{kvarcas} + 9.4$.

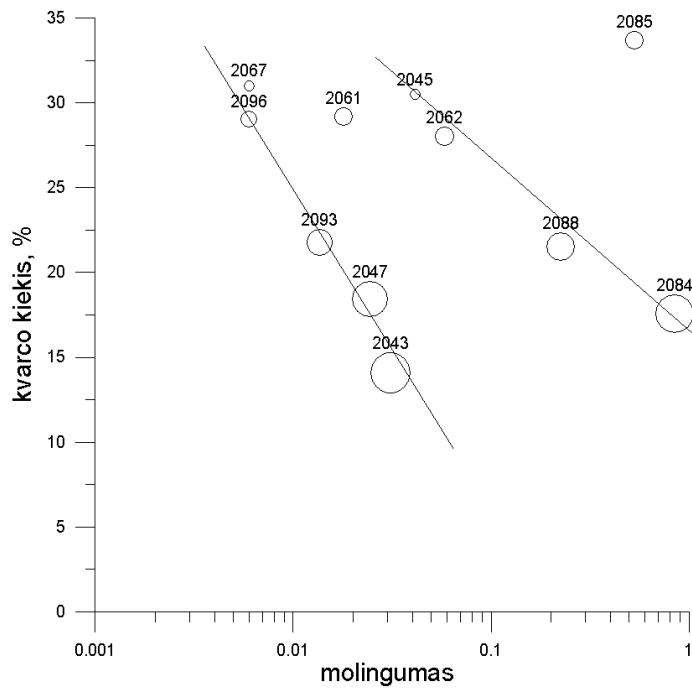
Girkalių – 5 gręžinyje mėginių poringumas kinta nuo 4 iki 7,08 %, Kvarcinio cemento kiekis kinta nuo 3,23 iki 33,70 %. Molingumas kinta nuo 0,00598 iki 0,84915 (gama diagrafijos duomenimis). Akustinis greitis kinta nuo 2,6 km/s iki 3,3 km/s.



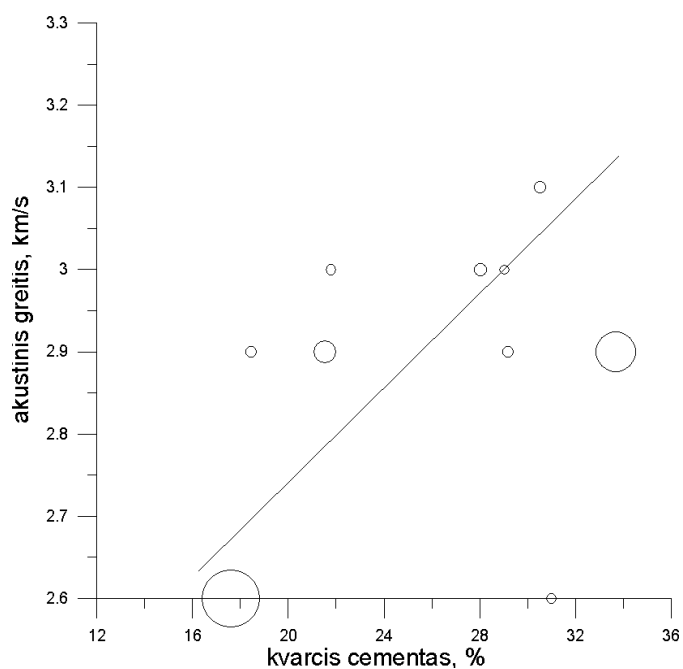
5.2 pav. Kambro smiltainių poringumas su gyliu. Išsiskiria du paketai, atitinkantys Ablingos-Girkalių ir Pajūrio sedimentacinius ciklus. Dešinėje palyginimui – gama diagrafijos kreivė.



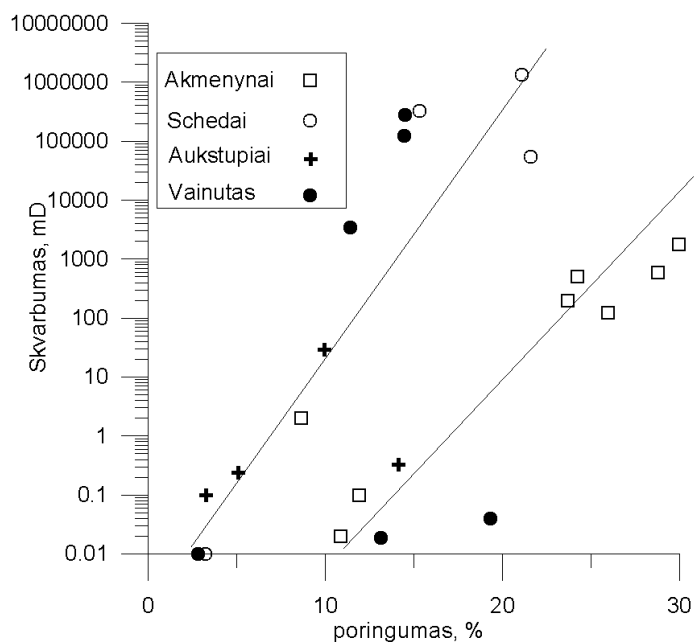
5.3 pav. Akustinio garso greičio (km/s) ir poringumo (%) priklausomybės grafikas. Didėjant poringumui mažėja akustinis garso greitis. Girkalių-5 grėžinys.



5.4 pav. Kambro smiltainių poringumo koreliacija su molingumu, Girkalių-5 grėžinys. Simbolių dydis atspindi poringumo dydį. Išskiriamos dvi koreliacinės imtys (prigimtis kol kas lieka neaiški). Kvarco kiekis didėja, mažėjant molio priemaišai smiltainyje. Priklausomybės tarp grūdelių dydžio ir kvarcinio cemento, o taip pat ir molingumo nenustatyta. Tai vienareikšmiškai įrodo molio vaidmenį stabdant kvarco cementaciją, kuri buvo minėta aukščiau pateiktoje petrografinėje analizėje.



5.5 pav. Kambro smiltainių akustinio greičio koreliacija su kvarcinio cemento kiekiu. Simbolių dydis atspindi smiltainių molingumą. Girkalių-5 gręžinys.



5.6 pav. Vainuto-1, Aukštupių-1, Akmenynų-149 ir Schedų gręžinių kolektorinės savybės. Išskiriamos dvi koreliacinės populiacijos. Pirmoji pasižymi didesniu skvarbumu, antroji – mažesniu, esant toms pačioms poringumo reikšmėms. Mažesnis skvarbumas gali būti siejamas su molio priemaiša smiltainyje.

5.2 lentelė. Vainuto-1 gręžinio kolektorinės savybės

Gylis	Mėginys	Poringumas (%)	Skvarbumas (mD)
1975	33	2,83	<1
1990	16	3,64	
2015,5	1	14,5	27,8844
2018,5	3	14,44	123,513
2023	13	19,32	0,04
2025	14	13,13	0,0185
2032	12	11,41	3,455

5.3 lentelė. Schedų gręžinio kolektorinės savybės

Gylis	Mėginio nr.	Poringumas (%)	Skvarbumas (mD)
568,7	27	21,58	54,648
573,7	29	3,21	<1
574,7	28	15,32	324,285
598,4	30	21,08	133,4231

5.4 lentelė. Akmenynų-149 gręžinio kolektorinės savybės

Gylis	Mėginio nr.	Poringumas (%)	Skvarbumas (mD)
1140,5	26	18,6	
1132,4	20	10,85	0,0202
1060	18	23,66	194,74
1103	17	29,93	>1600
1091	23	28,78	>500
1118,4	19	24,22	>400
1059	25	8,6	<1
1055,3	21	25,96	123,3944
1122,7	22	11,89	<1

5.5 lentelė. Aukštupių-1 gręžinio kolektorinės savybės

Gylis	Mėginio nr.	Poringumas (%)	Skvarbumas (mD)
1861,1	9	5,07	0,23671
1864	8	3,28	<1
1868,5	7	9,95	28,561
1891	15	3,63	
1905,5	6	14,11	0,32504

Vainuto-1, Aukštupių-1, Akmenynų-149 ir Schedų gręžinių kolektorinės savybės kaičios. Poringumas šiuose keturiuose gręžiniuose svyruoja nuo 2,83 % iki 28,78 %. Skvarbumas kinta nuo 0,02 mD iki daugiau kaip 1600 mD (minimali ir maksimali suskaičiuota skvarbumo reikšmė). Kvarcinio cemento kiekis šiuose gręžiniuose nebuvo skaičiuojamas.

Poringumas ir skvarbumas Vakarų Lietuvos gręžiniuose yra gerokai mažesnis, nei Rytų Lietuvoje, kas siejama su intensyvia kvarco cementacija Vakarų Lietuvos kambro smiltiniuose.

Išvados

Kambro smiltainiai patyrė sudėtingą ir ilgalaikę diagenetinę transformaciją, kuri siejama su Baltijos sedimentacinio baseino evoliucija.

Išskiriami eogenetinė ir mezogenetinė-talogenetinė diagenetinės stadijos.

Eogenetinėje stadijoje išskiriama diagenetinė eilė, kuri pagrindinai atspindi porinio vandens sudėties kitimą:

1. Aliumo-fosfatas
2. Ankstyvasis piritas
3. Ankstyvasis chloritas (porų linijinio tipo)
4. Ilitas (porų linijinio tipo)
5. Kaolinas (porų užpildo tipo)
6. Titano mineralas

Mezogenetinės-talogenetinės diagenetinės stadijos etapai:

7. Kvarco cementacija
8. Vėlyvasis piritas
9. Vėlyvasis chloritas (porų užpildymo tipo)
10. Dolomito (geležingo) cementacija (kvarco tirpimas)
11. Anhidrito cementacija
12. Kalcito (geležingo) cementacija (anhidrito, dolomito tirpimas)

Kvarco cementacija yra pagrindinis faktorius lemiantis kolektorines kambro smiltinių savybes vakarinėje Lietuvos dalyje. Kvarco cemento kiekis labai kaitus vieno gręžinio pjūvyje, kas lemia labai žymius kolektorinių savybių kitimus. Išskiriamos dvi koreliacinės petrofizinės grupės.

Literatūra

Bjorkum, P. A., Walderhaug, O., 1993. Isotopic composition of a calcite – cemented layer in the Lower Jurassic Bridport Sands, Southern England: implications for formation of laterally extensive calcite – cemented layers. *Journal of Sedimentary Petrology*, vol.63, 678 – 682.

Fertl, W. H., Timko, D. J., 1970. Occurrence of cemented reservoir roof rock and geopressure cap – rock and its implications in petroleum geology and geohydrology. Society of Petroleum Engineers of AIME, preprint SPE 3085,7p.

Introduction to SEM world (DTU biblioteka)

Jankauskas T., 2002, Lietuvos kambro sistemos stratigrafija. 256 p.

Jankauskas, T., Lenzion K., 1992, Lower and Middle Cambrian biozonation of the Baltic Syncline and adjacent areas (Eastern European platform). Warszawa, *Przeład Geologiczny*, Vol.9(473), 519-524 p.

Manuals of gas permeability, porosity, P-wave velocity. (DTU biblioteka)

Paškevičius J., 1994. Baltijos respublikų geologija. Vilnius.

Shogenova A., Joeleht A., Kirsimae K., Sliupa S., Rasteniene V., Zabele A., 2001, Electric Properties of Siliciclastic Rocks in the Baltic Cambrian Basin. Nordic Energy Research Programme, Norwegian U. of Science and Technology: Proceedings of the 6th Nordic Symposium on Petrophysics 15-16 May 2001, Trondheim, Norway. 14 p.

Šliupa S., Čyžienė J., Molenaar N., 2004, Impact of thermal regime on quartz cementation in Cambrian sandstones of Lithuania. *GEOLOGIJA*. 2004. T. 47. P. 35-44

Summary

The subject of master thesis is **Diagenetic parasequence in Cambrian sandstones and influence of diagenesis on reservoir properties in Lithuania.**

Very important economical interests are related to the Cambrian sandstones – oil exploration, underground gas storage, geothermal reservoirs. Despite of abundant publications there are still a lot of unanswered questions like the diagenetic evolution of Cambrian sandstones.

The objectives of the study:

1. Diagenetic parasequence of the Cambrian sandstones based on petrographic and chemical analysis;
2. Petrophysical properties of Cambrian sandstones;
3. Correlation of the diagenetic parasequence with the evolution of the basin.

Results of this research showed that Cambrian sandstones were effected by long diagenetic transformations witch relate to the burial history of the Baltic basin. Two diagenetic stages are defined. Eogenetic stage – formation of minerals were influenced by variations of chemical composition in pore fluids. Mezogenetic-talogenetic stage – temperature controlled evolution influenced by HC generation.

Diagenetic parasequence:

1. Aliumo - fosphate
2. Early pirite
3. Early chlorite (pore line tipe)
4. Ilite (pore line tipe)
5. Kaolinite (pore line tipe)
6. Titanium
7. Quartz cement
8. Late Pirite
9. Late Chlorite (pore line tipe)
10. Dolomite
11. Anhidrite
12. Calcite

Quartz cementation is the main factor which has an influence to the Cambrian reservoir properties in western part of Lithuania. Amount of quartz cement is very variable in borehole.