

VILNIAUS UNIVERSITETAS
GAMTOS TYRIMŲ CENTRO
GEOLOGIJOS IR GEOGRAFIJOS INSTITUTAS

Irma Vėjelytė

**Telšių ir Drūkšių –Polocko deformacijos zonos: petrografija ir U/Pb
geochronologija**

Daktaro disertacija
Fiziniai mokslai, geologija (05 P)

2011, Vilnius

Disertacija rengta Vilniaus universitete.

Mokslinis vadovas:

Prof. dr. (HP) Gediminas Motuza-Matuzevičius (Vilniaus universitetas, fiziniai mokslai, geologija – 05 P)

Konsultantai:

Habil. dr. Svetlana Bogdanova (Lundo universitetas, fiziniai mokslai, geologija – 05 P)

Prof. habil. dr. Robert Mokrik (Vilniaus universitetas, fiziniai mokslai, geologija – 05 P)

TURINYS

ĮVADAS	5
TERMINŲ PAAIŠKINIMAI	9
1. LIETUVOS KRISTALINIO PAMATO GEOLOGINĖ SANDARA IR TELŠIŲ IR DRŪKŠIŲ-POLOCKO DEFORMACIJOS ZONŲ TYRIMŲ APŽVALGA	13
1.1. TELŠIŲ IR DRŪKŠIŲ-POLOCKO DEFORMACIJOS ZONŲ TYRIMŲ APŽVALGA.....	13
1.2. LIETUVOS KRISTALINIO PAMATO SANDARA.....	18
1.3. TELŠIŲ IR DRŪKŠIŲ-POLOCKO DEFORMACIJOS ZONŲ TRUMPA CHARAKTERISTIKA.....	25
2. TYRIMŲ METODIKA	30
3. TELŠIŲ IR DRŪKŠIŲ-POLOCKO DEFORMACIJOS ZONŲ UOLIENŲ PETROGRAFIJA IR SUSIDARYMAS	35
3.1. TELŠIŲ DEFORMACIJOS ZONOS CHARAKTERISTIKA	36
3.2. TELŠIŲ DEFORMACIJOS ZONOS UOLIENŲ PETROGRAFINĖ-MIKROSTRUKTŪRINĖ CHARAKTERISTIKA IR KLASIFIKACIJA (ŠIAURĖS VAKARINĖ LIETUVOS DALIS).....	41
3.2.1. Čarnokitoidai: silpnai deformuoti, protomilonitai, mezomilonitai ir ultramilonitai.....	41
3.2.2. Granitoidai ir pegmatitai: silpnai deformuoti ir mezomilonitai.....	49
3.2.3. Metapelitinės uolienos: ultramilonitai.....	50
3.2.4. Brekčijos.....	51
3.2.5. Pseudotachilitai.....	53
3.2.6. Mikrostruktūrų susidarymo procesai.....	54
3.3. CHEMINĖ MINERALŲ SUDĖTIS.....	57
3.4. UOLIENŲ GEOTERMOBAROMETRIJA.....	63
3.5. CIRKONŲ U/Pb GEOCHRONOLOGIJA SHRIMP TECHNOLOGIJA.....	69
3.5.1 Čarnokitoidų pavyzdžių apibudinimas ir rezultatai.....	70
3.5.2 Granitoidų pavyzdžių apibudinimas ir rezultatai.....	77
3.2. DRŪKŠIŲ-POLOCKO DEFORMACIJOS ZONOS CHARAKTERISTIKA	80
3.2.1. DRŪKŠIŲ-POLOCKO DEFORMACIJOS ZONOS UOLIENŲ PETROGRAFINĖ-MIKROSTRUKTŪRINĖ CHARAKTERISTIKA IR KLASIFIKACIJA.....	82
3.2.1.1. Granitoidai: protomilonitai, mezomilonitai ir ultramilonitai.....	82
3.2.1.2. Mafinės (bazinės) uolienos: silpnai deformuotos.....	84
3.2.1.3. Brekčijos.....	88
3.2.1.4. Pseudotachilitai.....	88

3.1.1.5. Mikroprocesai Drūkšių-Polocko deformacijos zonos uolienose.....	89
3.2.2. CHEMINĖ MINERALŲ SUDĖTIS.....	95
3.2.3. CIRKONO IR TITANITO U/Pb GEOCHRONOLOGIJA PAGAL SHRIMP IR TIMS TECHNOLOGIJAS.....	99
3.2.3.1. Granitoidų pavyzdžių iš šiaurinės Drūkšių-Polocko deformacijos zonos dalies apibudinimas ir rezultatai.....	99
3.2.3.2. Granitoidų pavyzdžių iš pietinės Drūkšių-Polocko deformacijos zonos dalies apibudinimas ir rezultatai.....	101
4. APIBENDRINIMAS.....	106
4.1. DEFORMACIJOS STADIJŲ SUSIDARYMO LAIKAS TELŠIŲ DEFORMACIJOS ZONOJE IR REGIONINĖ KORELIACIJA.....	106
4.2. MAGMINIAI ĮVYKIAI IR PLASTINĖS DEFORMACIJOS SUSIDARYMO LAIKAS DRŪKŠIŲ-POLOCKO DEFORMACIJOS ZONOJE.....	110
4.3. TELŠIŲ IR DRŪKŠIŲ-POLOCKO DEFORMACIJOS ZONŲ EVOLIUCIJOS PALYGINIMAS.....	112
IŠVADOS.....	114
LITERATŪRA.....	116
PUBLIKACIJOS.....	129

IVADAS

Darbo aktualumas. Telšių (TDZ) ir Drūkšių-Polocko deformacijos zonos (DPDZ) kristaliniame pamate yra svarbios plastinės šlyties sistemos, priklausančios Kurzemės-Polocko lūžių juostai, esančiai vakariniame Rytų Europos kratono pakraštyje. Skirtingai nei šalia esančios uolienos, deformacijos zonos slūgso labiau pakitusios uolienos. Uolienos pasikeitimo pobūdis priklauso nuo tektoninėje zonoje vyraujančių plastinės ar trapiosios deformacijos sąlygų. Deformacijos mechanizmą zonos viduje labiausiai lemia uolienos mineralinė sudėtis, grūdelių dydžiai ir fizikiniai procesai. Dažnai plastinės deformacijos vyrauja prie aukštesnių metamorfizmo sąlygų, o trapiosios – prie žemesnių.

Taikant petrografinį, mikrostruktūrinį ir izotopinę geochronologijos metodus kristalinių uolienu tyrimams, šiame darbe išaiškinti dar prekambre vykę magmatizmo, deformacijų ir metamorfizmo procesai bei stadijos tirtose lūžių zonose, kurios kelis kartus reaktyvavosi proterozojuje ir fanerozojuje. Tokie tektoniniai judesiai galėjo įtakoti geoterminės energijos, naftos ir dujų susidarymą ir jų paplitimą. Deformuotų uolienu išaiškinimas lūžių zonose svarbus praktiniu ir moksliniu požiūriu. Jų palyginimas su panašiomis deformacijos zonomis Baltijos skyde Švedijoje bei Baltarusijoje gali padėti atskleisti regiono aplink Baltijos jūrą evoliuciją, esančio Rytų Europos kratone.

Tyrimų objektas – yra Telšių ir Drūkšių-Polocko deformacijos zonų kristalinio pamato uolienos.

Darbo tikslas – nustatyti Telšių ir Drūkšių-Polocko deformacijos zonų uolienu vystymosi istoriją remiantis petrografiniais, mikrostruktūriniais, geotermobarometriniais ir U/Pb geochronologiniais duomenimis.

Darbo uždaviniai:

1. Petrografiškai-mikrostruktūriškai apibudinti Telšių ir Drūkšių-Polocko deformacijos zonų uolienas ir atlikti jų klasifikaciją.
2. Charakterizuoti uolienu mikrostruktūras bei nustatyti deformacijos ir metamorfizmo bei magmatizmo stadijas tirtose deformacijos zonose.
3. Apskaičiuoti uolienu slėgio ir temperatūros sąlygas Telšių deformacijos zonoje.
4. Gauti magmatizmo, metamorfizmo ir deformacijos amžius iš Telšių ir Drūkšių-Polocko deformacijos zonų uolienu.

Mokslinis naujumas:

- Pirmą kartą atlikta petrografinė-mikrostruktūrinė uolienuų klasifikacija Telšių ir Drūkšių-Polocko deformacijos zonose.
- Pirmą kartą U/Pb geochronologiniu metodu jautrios aukštos rezoliucijos joniniu mikrozondų ir terminiu joniniu masės spektrometru atitinkamai pagal cirkoną ir titanitą nustatyti nauji magmatizmo, metamorfizmo ir deformacijos amžiai Telšių ir Drūkšių-Polocko deformacijos zonose.
- Pirmą kartą buvo surasti ankstyvojo karbono laikotarpio granitai (350 mln. m.) ir mezoproterozojiniai granitai (1622 ir 1580 mln. m.) Telšių ir Drūkšių-Polocko deformacijos zonose datavus cirkoną U/Pb metodu jautrios aukštos rezoliucijos joniniu mikrozondų.

Ginamieji teiginiai:

- Telšių ir Drūkšių-Polocko deformacijos zonoms charakteringi įvairaus laipsnio milonitai (protomilonitai, mezomilonitai ir ultramilonitai), susidarę plastinės deformacijos metu, o brekčijos ir pseudotachilitai formavosi trapiosios deformacijos sąlygomis.
- Telšių deformacijos zona formavosi dėl pakartotinių plastinių deformacijų D1 (<1622 mln. m.) ir D2 (~ 1450 mln. m.) fazių metu. Trapiosios deformacijos fazės (D3 and D4) daugiausia pasireiškė fanerozojaus laikotarpyje.
- Pagrindinė plastinė deformacija Drūkšių-Polocko deformacijos zonoje (fazė D1) vyko prieš 1534 mln. m. ir tęsėsi prieš 1511-1460 mln. m. (fazė D2). Tuo tarpu trapioji deformacija vyko fazės D3 metu vėlyvojo proterozojaus ir fanerozojaus laikotarpiais.
- Regioninė Polocko-Kuržemės lūžių juosta, kuriai priklauso Telšių ir Drūkšių-Polocko deformacijos zonos, vakariniame Rytų Europos kratono pakraštyje pradėjo formuotis mezoproterozoje tarp 1622 ir 1534 mln. metų, o reaktyvavo prieš ~ 1460 mln. metų ir vėliau iki šių dienų.

Pritaikomumas. Telšių deformacijos zona yra palanki vieta gelmių išteklių – naftos ir dujų bei gelmių šilumos susidarymui. Todėl šių tyrimų reikšmė yra didelė naftos gavybos ir perdirbimo pramonei bei geoterminės energijos panaudojimui, o taip pat visam energetiniam sektoriui, kuris yra strategiškai svarbus Lietuvos valstybei. Drūkšių-

Polocko deformacijos zonos tyrimai yra svarbūs uždarant Ignalinos atominę elektrinę, ilgaamžių radioktyvių atliekų laidojimui ir parenkant vietą naujai atominei elektrinei.

Darbo rezultatų aprobavimas. Darbo tema paskelbti ir publikuoti 2 straipsniai ISI Master Journal List ir ISI Web of Science žurnaluose. Tyrimo rezultatai aptarti Pasaulio geologų kongrese Osle, Norvegijoje (2008) – ir 12 tarptautinių konferencijų: *Goldschmidt*, Praha, Čekija (2011); *International Mineralogical Association (IMA)*, Budapešte, Vengrijoje (2010); *European Geosciences Union General Assembly* Vienoje, Austrijoje (2010); *53rd Scientific Conference for Young Students of Physics and Natural Sciences*, Vilniuje, Lietuvoje (2010); *SIMS Short Courses on Microstructures 2010: Microstructures and Physico-Chemical Properties of Earth and Planetary Materials*. Verbania, Italijoje (2010); 29-ojoje tarptautinėje konferencijoje *Nordic Geological Winter Meeting*, Oslo, Norvegijoje (2010); tarptautinėje konferencijoje *Micro-Analysis, Processes, Time (MAPT)*, Edinburge, Škotijoje (2009); 28-ojoje konferencijoje *Nordic Geological Winter Meeting*, Alborge, Danijoje (2008); tarptautinėje geologų sąjungos konferencijoje Vienoje, Austrijoje (2006); 27-ojoje konferencijoje *Nordic Geological Winter Meeting*, Oulu, Suomijoje (2006); 26-ojoje konferencijoje *Nordic Geological Winter Meeting*, Upsaloje, Švedijoje (2004).

Darbo apimtis ir struktūra. Darbą sudaro įvadas, terminų paaiškinimai, 4 skyriai, išvados, literatūros šaltiniai. Pateikiama 40 paveikslų ir 12 lentelių. Visą darbą sudaro 130 puslapių.

Padėka. Autorė nuoširdžiai dėkoja visiems Hidrogeologijos ir inžinerinės geologijos bei Geologijos ir mineralogijos katedrų darbuotojams už pagalbą ir palaikymą.

Ypač jaučiuosi dėkinga prof. dr. Svetlanai Bogdanovai (Lundo universitetas) už suteiktą galimybę stažuotis Lundo universiteto laboratorijoje ir studijuoti Lundo universitete bei bendradarbiauti projektuose. Be galo esu dėkinga jai už kantrybę, pakantumą ir už norą dalytis savo milžiniška patirtimi ir žiniomis. Dėkoju Vilniaus universiteto, Geologijos ir mineralogijos katedros prof. dr. (HP) Gediminui Motuzai padėjusiam pasirinkti šią geologijos kryptį ir mokslinius patarimus. Labai dėkoju prof. hab. dr. Robert Mokrik, Vilniaus universiteto Hidrogeologijos ir inžinerinės katedros vedėjui už vertingas pastabas ir patarimus.

Dėkoju oponentams už vertingas pastabas ir patarimus. Taip pat dėkoju prof. habil. dr. Vytautui Juodkaziui ir Monikai Melešytei už pagrindinių skyrelių redakciją.

Esu dėkinga visiems kolegoms, kurie padėjo esant toli nuo Lietuvos: prof. Moonsup Cho (Seulo Nacionalinis Universitetas) ir dr. Keewook Yi (Korėjos Bazinių Mokslų Institutas (KBSI)) už suteiktą galimybę dirbti SHRIMP laboratorijoje ir patarimus, taip pat dr. Namhoon Kim (KBSI) ir Tae-Ho Lee (KBSI) už pagalbą SHRIMP laboratorijoje, ypač esu dėkinga prof. Moonsup už pasitikėjimą ir mokslinius patarimus; Sant Peterburgo Prekambro geologijos ir geochronologijos instituto dr. Katiai Salnikovai už pagalbą datuojant titanitą; dr. Audriui Čėčiui ir prof. Anders Lindh už pagalbą dirbant su skenuojančiu mikroskopu Lundo universitete; Upsalos universiteto dr. Ulf Bertil Andersson ir Erlangeno universiteto dr. Vilmai Urbonavičiūtei už pagalbą rašant pirmąsias tezes; Pietų Kalifornijos universiteto prof. dr. Skott Paterson ir dr. Valbone Memeti už su tyrimų metodikos supažindinimu ir už malonų bendradarbiavimą kartografavimo metu Siera Nevados kalnuose; Lundo ir Upsalos universiteto dėstytojams, suteikusiems daug vertingų žinių paskaitų ir praktikos metu – prof. Anders Lindh, prof. Enby Ferrow, dr. Laurence Page, prof. Hakan Sjöström dr. Karin Högdahl ir dr. Erik Ogenhall.

Dėkoju už pagalbą ir supratimą kolegoms: dr. Giedrei Vaikutienei, Eugenijai Rudnickaitei, Laimai Norkūnaitei, Monikai Melešytei, Rimai Česnulevičienei ir prof. habil. J. Paškevičiui. Dėkoju Lietuvos kerno muziejaus darbuotojams maloniai pagelbėjusius paruošiant kerną Vievyje. Prof. Ryszard Kryza ir Kalina Dymna dėkoju už pagalbą atrenkant cirkonus Vroclavo universitete, Lenkija.

Taip pat dėkoju Vilniaus universiteto dėstytojai (šiuo metu dirbančiai Baltistikos centre Maskvos valstybiniame universitete) Vilmai Kaladytei už akademinio rašymo patarimus ir Linai Inčiuraitei (Vilniaus universitetas) už anglų kalbos pamokas. Taip pat esu dėkinga Dimai Kurlovich už turiningai praleistą laiką studijų metu Lundo universitete.

Esu dėkinga visiems kitiems, kurių čia nepaminėjau, bet kurių žmogiškumą ir šilumą visą laiką jaučiau. Tokios šilumos sklidini ir mano artimieji, todėl dėkoju savo šeimai – mamai, tėveliui, sesei, broliui ir jų šeimoms už meilę ir moralinį palaikymą. Ypač dėkinga broliui, Termoizoliacijos instituto (Vilniaus Gedimino Technikos universitetas) laboratorijos vedėjui dr. (HP) Sigitui Vėjeliui už postūmį ir moralinę pagalbą.

TERMINŲ PAAIŠKINIMAI

Akinis milonitas (angl. augen mylonite) – milonitas su akių formos liekaniniais kristalais (porfyroklastais).

Akrecija (angl. accretion) – dėl subdukcijos ar kolizijos reiškinų okeaninės Žemės plutos segmentų jungimasis su kitu kontinentu, t. y. tektoniškas ir struktūriškas persiformavimas į kontinentinę Žemės plutą.

Banguotas užgesimas (angl. undulose (undulatory) extinction) – banguotas spalvos užgesimas (nuo juodos iki baltos) silpnai sulenktuose kristaluose.

Blastas (angl. blast) – metamorfizmo metu kietoje būsenoje užaugęs kristalas.

C/S struktūros (angl. C/S fabric) – struktūra, kurią sudaro C tipo skalūnuotumo juostelės (C-plokštumos) ir S-plokštumos (paviršiai), rodančios mineralų skvarbiają foliaciją (angl. penetrative foliation).

Budinos (angl. boudins) – grūdo ar uolienos fragmento lęšinis (angl. sausage) susiskaldymas dėl tempimo plastinės deformacijos metu.

Branduolio–apvadėlio (apvalkalo) mikrostruktūra (angl. core-and-mantle microstructure) – mikrostruktūra, kai smulkūs be įtampos grūdeliai supa išlikusius įtamposje stambius grūdus.

C šlyties juostelės (angl. C – type shear band cleavage) – tai skvarbus skalūnuotumas, kurio paviršiai yra plokštumos, lygiagretūs skalūnuotumo zonos riboms.

C' šlyties juostelės (angl. C' – type shear band cleavage) – atskirų skalūnavimo juostelių sistema, kurios kerta skvarbiają foliaciją.

Deformacija (angl. deformation) – uolienos ir jos sandaros (struktūros ir tekstūros, vientisumo ir kt.) pakeitimas dėl slėgio.

Deformacijos zona (angl. deformation zone) – uolienų kūnų vientisumo plokštuminis pažeidimas, pagal kurį įvyksta vienos kūno dalies poslinkis kitos atžvilgiu veikiant plastinei ir trapijai deformacijai. Ji sudaryta iš skalūnavimo ar plastinės šlyties zonos ir lūžių.

Dekompresija arba streso atsistatymas (angl. recovery) – terminas apimantis visus procesus, kurie plastiškai deformuotą kristalą atstato į nedeformuotą būseną. Rezultatas yra subgrūdų susidarymas. Taip pat dar pasireiškia statinės perkristalizacijos metu.

Delta (δ) tipo porfyroklastas (angl. δ -type porphyroclast) – porfyroklastas su apvalkalėliu, taip vadinamais asimetriniais sparnais (angl. wings) ar uodegomis (angl. tails).

Dinaminė perkristalizacija (angl. dynamic recrystallisation) – perkristalizacija vykstanti intrakristalinės deformacijos metu. Jai būdinga branduolių (angl. nucleation) susidarymas, grūdų ribų migracija ir/ar subgrūdo sukimasis.

Dinaminis (dislokacinis) metamorfizmas (angl. dynamic metamorphism) – lokalaus masto metamorfizmo tipas, kuris vyksta lūžių ir skalūnavimo (trapiosios ir plastinės šlyties) zonose. Jo metu susidariusios uolienos vadinamos milonitais ir kataklazitais.

Domenas (angl. domain) – sritis arba rajonas, išsiskiriantis litologiniais ir struktūriniais ypatumais, kurių susidarymą lemia konkrečių fizikinių sąlygų visuma.

Foliacija (angl. foliation) – skvarbus (angl. penetrative) plokštuminių struktūrinių elementų išsidėstymas, kuris nurodo uolienos vientisumą bei jos kryptingą tekstūrą.

Grinoji šlytis arba grynasis stūmis (angl. pure shear, coaxial progressive deformation) – deformacija, kai spaudimo ir tempimo metu kūnas yra ištempiamas viena kryptimi ir sutrumpėja statmenai veikiančiais jėgais.

Juostinis kvarcas (angl. ribbon structure) – juostelių pavidalo kvarcas, susidaręs uolienose aukšto metamorfizmo metu dėl plastinės deformacijos.

Kataklastinės mikrostruktūros (angl. cataclasite microstructure) – uolienu mikrostruktūros (grūdo plyšeliai bei jo dalelių pasislinkimas) susidariusios dėl trapiosios deformacijos. Jos būdingos kataklazitams, brekčijoms ir pseudotachilitams.

Kataklazitai (angl. cataclasite) – lūžių uolienos, kuriose silpnai išsivysčiusi ar visai nėra foliacijos, t. y. kampuoti porfyroklastai ar uolienu nuolaužos padrikai (netolygiai) išsidėstę pagrindinėje masėje. Pagal smulkiagrūdės masės kiekį uolienoje kataklazitai skirstomi į protokataklazitus, mezokataklazitus, ultrakataklazitus.

Lenkimo juostos (angl. kink band) – grūdų sulenkimai, kurie susidaro sukantis atskiroms grūdo dalims (nesisukančių dalelių atžvilgiu).

Lūžis (angl. fault, brittle shear zone) – šlyties zona, kurioje blokams pasislenkant vienas palei kitą nedideliame gylyje trapiosios deformacijos sąlygomis susidaro dislokacinio metamorfizmo uolienos, turinčios neorientuotą ar silpnai orientuotą tekstūrą.

Milonitai (angl. mylonite) – deformacijos zonų uolienos, kurioms būdingas ryškus kryptingas mineralų išsidėstymas ir dažnai pagrindinėje masėje yra porfyroklastų su sukimosi požymiais. Pagal smulkiagrūdės masės kiekį uolienoje milonitai yra skirstomi į protomilonitus (50%), mezomilonitus (50–90%), ultramilonitus (90%).

Mirmekitai (angl. myrmecite) – kvarco ir plagioklazo simplektitai, dažniausiai įaugę į kalio feldšpatą.

Neokristalizacija (angl. neocrystallization) – mineralo pasikeitimas į naujo mineralo grūdus kietoje būsenoje (priešingai nei perkristalizacijoje).

Paprastoji šlytis arba paprastasis stūmis – (angl. simple shear, non-coaxial progressive deformation) – deformacijos tipas, kurios metu vyksta struktūrinių elementų sukimasis pavyzdžiui, uolienu blokai pasislenka vienas kito atžvilgiu.

Perkristalizacija arba rekristalizacija (angl. recrystallization) – mineralo grūdo virtimas į smulkius naujus grūdus dėl deformacijos poveikio. Perkristalizacijos gali būti dinaminė (deformacijos metu) ir statinė (po deformacijos). Gali būti sudėties pasikeitimai tarp seno ir naujo grūdų, tačiau naujų mineralų augimas vadinamas neokristalizacija.

Plastinė deformacija (angl. ductile deformation) – tokia deformacija kurios metu veikiant aukštam slėgiui ir aukštai temperatūrai uolienos grūdai keičia formą, vyksta perkristalizacija ir susidaro orientuota uolienos tekstūra.

Progresyvioji deformacija (angl. progressive deformation) – procesas, kurio metu vyksta deformacijos kaupimasis (akumuliacija), tai yra didėja deformacijos intensyvumo laipsnis arba plečiasi jos poveikio sritis.

Porfyroklastas (angl. porphyroclast) – protolito reliktas (grūdas).

Pseudotachilitas (hialomilonitas) (angl. pseudotachylite) – lūžių uoliena, kurią sudaro amorfinė medžiaga ir nuolaužos, susidariusi dėl trinties jėgos, kai aplinkinės uolienos išsilydo staigiai pasislinkus plutos blokams.

Sigma (σ) tipo porfyroklastas (angl. σ -type porphyroclast) – porfyroklastas su asimetriniu apvaskalėliu, kurio vienas sparnas yra grūdo viršuje, kitas – jo apačioje.

Skalūnavimo zona arba plastinė šlyties zona (angl. ductile shear zone) – šlyties zona arba juostos pavidalo tektoninė sistema (struktūra), kurioje vyrauja dislokacinio metamorfizmo uolienos, susidariusios dėl plastingosios deformacijos. Joms būdingos orientuotos tekstūros (skalūnuotumas, gneisiškumas) bei mineralinės, kartais ir cheminės

sudėties pakitimai. Susidaro aukštoje temperatūroje ir slėgyje, dideliame gylyje Žemės plutoje (kartais gali siekti ir mantiją).

Skvarbioji foliacija (angl. penetrive foliation) – struktūriniai elementai, apimantys visą uolieną.

Slėgio šešėliai (angl. strain shadow) – vieta šalia klasto ar porfyroblasto, kuri saugoma nuo deformacijos ir dažnai išlieka kaip ankstesnių mikrostruktūrų liekana.

Statinė perkristalizacija (angl. static recrystallisation) – uolienos, paveiktos intensyvios deformacijos, bet perkristalizuotos sumažėjus slėgiui ir uolienos tūrio atsistatymo sąlygomis.

Subgrūdas (angl. subgrain) – skirtingai orientuotos mažos atskirų grūdų dalys, susidariusios deformacijos įtampų atsistatymo metu. Optiškai įgauna banguotą užgesimą.

Trapioji deformacija (angl. brittle deformation) – tokia deformacija, kai uoliena ir ją sudarantys mineralai ardomi mechaniškai. Pagrindiniai veiksniai – slėgis ir neaukšta temperatūra (200° – 300°C).

Theta (θ) porfyroklastas (angl. θ -type porphyroclast) – apvalkalinis (angl. mantle) porfyroklastas be sparnų.

Tereinas (angl. terein) – litosferos blokas, masyvas, raukšlėtoji zona, prisišliejusi prie kontinento ir nuo jo skiriasi kilme, sandara, medžiagos sudėtimi ir geologine istorija.

Valkšnumas (angl. creep) – kristalo grūdų (dalių) slydimas slysmo plokštumomis, kai uoliena yra veikiama apkrovos ar mechaninio įtempio ilgesnį laiką. Kylant temperatūrai deformacijos greitis didėja.

Vakansijos (angl. vacancy) – defektų taškai kristalinėje gardelėje, t. y. praradimas elemento gardelėje.

Vidinė deformacija arba intradeformacija (angl. internal deformation) – dislokacijos, kurios nėra matomos optiniu mikroskopu. Tačiau padarinys esančios dislokacijos grūde gali būti matomas. Tai banguotas užgesimas (grūdas sulenkiamas), mikrosulenkimai (angl. microkinks), deformacinė gardelė.

1. LIETUVOS KRISTALINIO PAMATO GEOLOGINĖ SANDARA IR TELŠIŲ BEI DRŪKŠIŲ-POLOCKO DEFORMACIJOS ZONŲ TYRIMŲ APŽVALGA

1.1. TELŠIŲ IR DRŪKŠIŲ-POLOCKO DEFORMACIJOS ZONŲ TYRIMŲ APŽVALGA

Tektoninių lūžių zonų arba deformacijos zonų tyrimai Lietuvoje yra susiję su kristalinio pamato tyrimais bei geofizinių duomenų interpretacija (Кузик, 1968; Кузик, Лукашова, 1969; Апирубите и др., 1974, 1977, 1983; Гайлюс 1969; Skridlaitė ir Motuza, 2001; Suveizdis, 1979, 2003; Кеpežинскas, 2001; Motuza, 2004; Čyžienė ir Šliaupa, 2006 ir kiti).

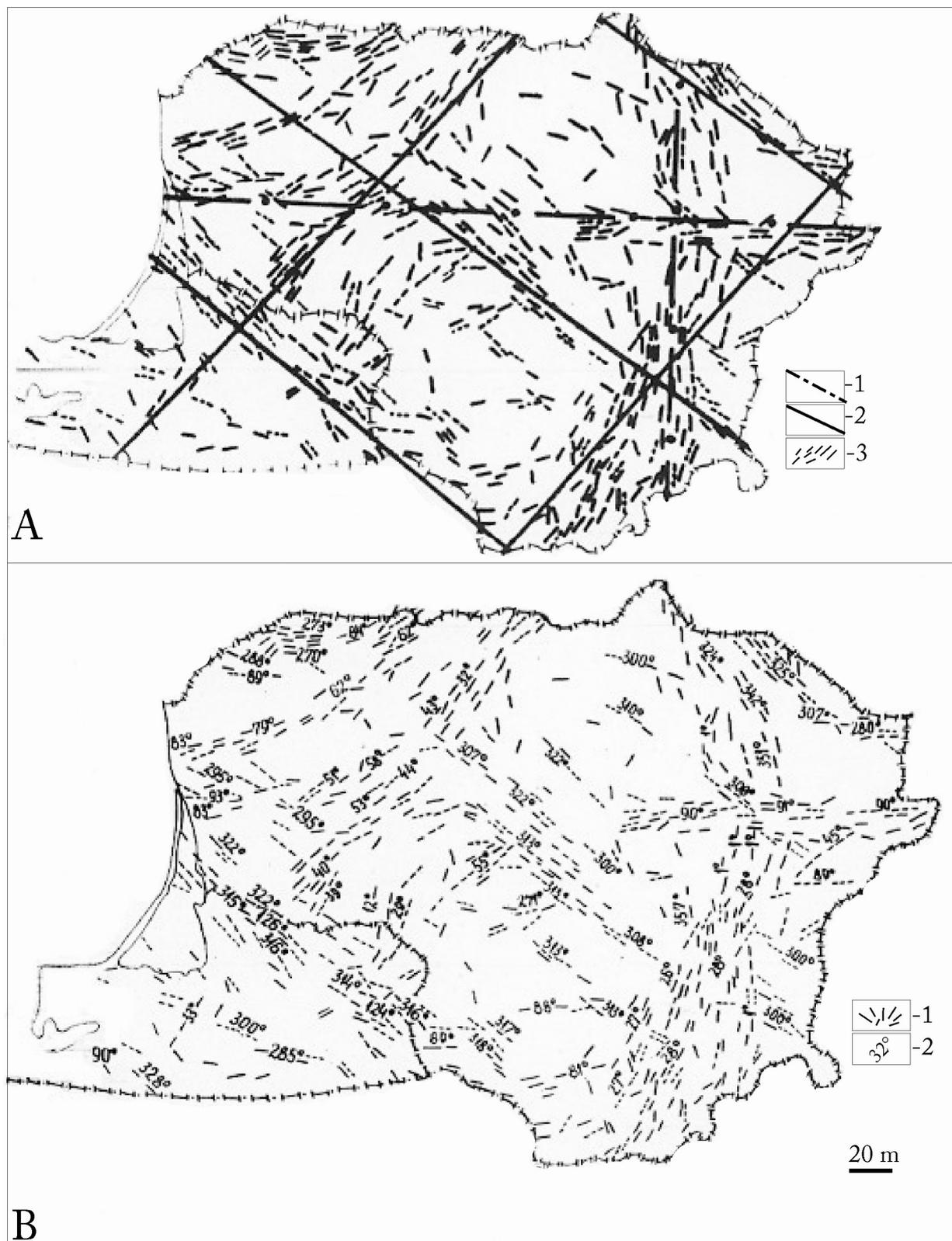
Telšių deformacijos zona tiriama daugiau nei 40 metų. 1960 m. Faitelsonas pagal gravimagnetinius matavimus pirmą kartą padarė prielaidą apie Telšių lūžio geometrinę padėtį (Апирубите и др., 1983). Tačiau Telšių lūžio atradimo metais laikomi 1968 m., kai buvo sudarytas Pabaltijo kristalinio pamato reljefo struktūrinis žemėlapis M 1: 500000. E. Kuzik, remdamasi pirminiais seisminės žvalgybos duomenimis, nustatė palei pietinį Telšių volo pakraštį platuminės krypties lūžį nuosėdinėje dangoje, ir pavadino jį Telšių lūžiu (Кузик, 1968; Кузик, Лукашова, 1969).

R. Apirubytė, norėdama išaiškinti kristalinio pamato lūžius, panaudojo 1:200000 mastelio geofizines nuotraukas, o įvaldžiusi geofizinę lūžių nustatymo metodiką sudarė daugybę tektoninių schemų (1 pav), kuriose buvo išskirti įvairių krypties lūžiai (Апирубите и др., 1974, 1977, 1983).

Vakarų Lietuvoje geologiniams-geofiziniams tyrimams papildomą impulsą davė naftos paieškos. TDZ tyrimus, susijusius su naftos paieškomis, atliko geologai-naftininkai: B. Krasnevič, D. Novik kartu su geologais A. Stirpeika, K. Кеpežинскu ir kiti (Krasnevič, Кеpežинскas, 1993; Krasnevič, 1994a; Krasnevič, 1994b; Krasnevič, 1994c; Stirpeika, Krasnevič, 1991; Stirpeika, 1991).

A. Stirpeika sutelkė dėmesį į Telšių lūžio morfologiją nuosėdinėje dangoje. Remiantis geologine ir seismine medžiaga nustatyta, kad Telšių lūžis susidarė paleozojuje (Stirpeika, 1999; Suveizdis, 2003). A. Žvirblis (1995) teigė, kad Telšių regioninis lūžis pradėjo formuotis „ankstyvoje kvaziplatforminėje Baltijos sineklizės vystymosi stadijoje“. Deja, šio giluminio lūžio tikslus formavimosi laikas kristaliniame pamate liko diskusinis, nes tyrimai buvo sukonzentruoti į lūžio formas bei jo struktūras

išaiškinimą nuosėdinėje dangoje bei jo raidos nustatymą paleozojaus laikotarpiu (Žvirblis, 1995; Stirpeika, 1999; Suveizdis, 2003). Atlikta fanerozojaus laikotarpio Telšių lūžio paleoįtampų rekonstrukcija bei kinematinė-struktūrinė analizė (Šliaupa ir

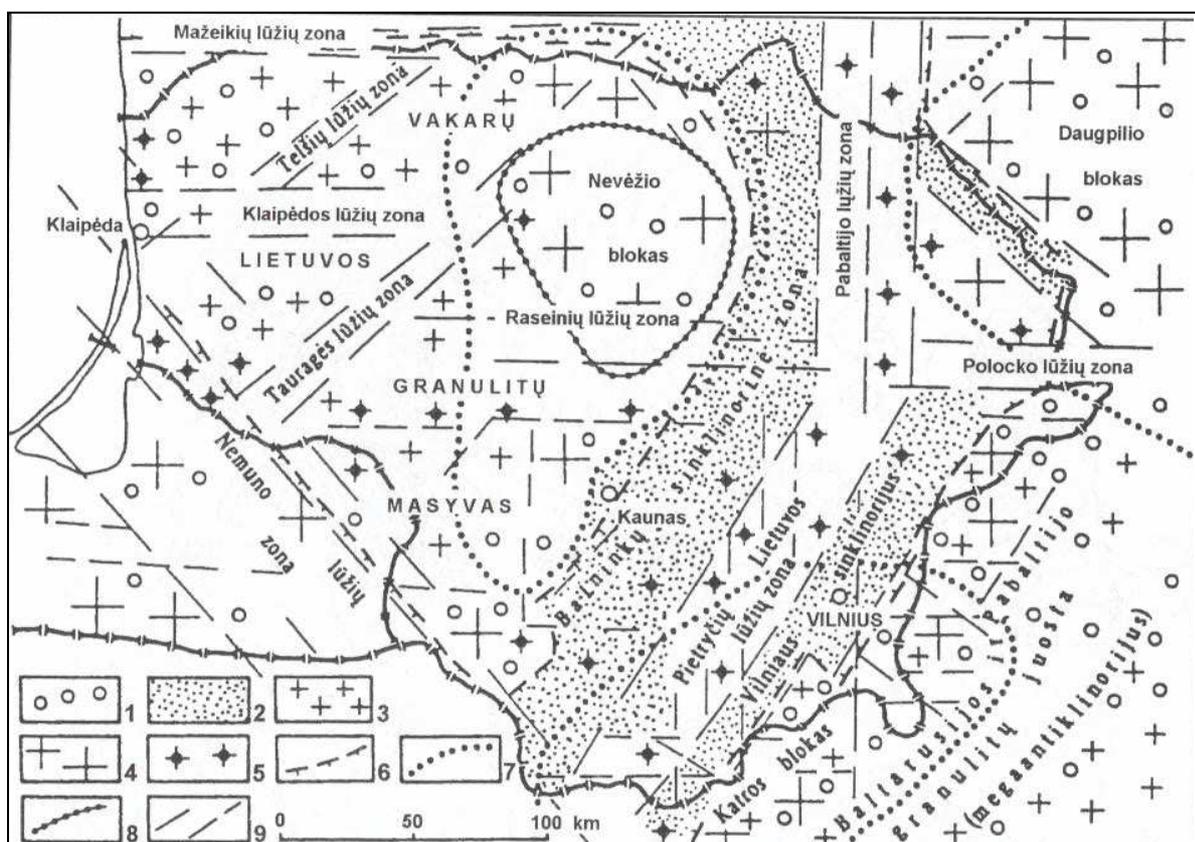


1 pav. Gravimagnetiniai žemėlapiai, rodantys lūžių išsidėstymą (pagal Апирубите и др., 1974): А) 1 – ortogonalinės sistemos lūžiai, 2 – diagonalinės sistemos lūžiai, 3 – fizikiniai lūžių indikatoriai; В) 1 – linijiniai elementai pagal gravimagnetinius duomenis, 2 – azimutas.

kt., 2002). S. Šliaupa (Šliaupa, 2002), kaip ir anksčiau minėti geologai A. Stripeika (1999) ir A. Žvirblis (1995), mano, kad pagrindinė lūžio susidarymo fazė nuosėdinėje stovymėje vyko kaledoniniame etape, vyraujant ŠV krypties spaudimui. Remiantis prekvartero reljefo, kvartero stovymės sąranga, dabartinio reljefo ir hidrografinio tinklo analize buvo nustatytas Telšių lūžio neotektoninis aktyvumas (Šliaupa, 1998). P. Suveizdis mano, kad TDZ gali būti horizontalaus stūmio požymių, dešinėsios krypties net iki 5 km amplitudės (Suveizdis, 2003). Tačiau faktinės medžiagos apie horizontalius judesius monografijoje ir publikacijose nepateikiama.

Kristalinio pamato struktūrinėje-tektoninėje schemeje (2 pav.) Telšių lūžis yra vadinams Klaipėdos lūžių zona, o Telšių lūžių zona nurodama, kaip ŠR-PV krypties lūžis (Lietuvos geologija, 1995). G. Motuza (2004), apibendrinęs ankstesnius ir naujus geologinių tyrimų duomenis, sudarė Lietuvos prekambro kristalinio pamato geologinį žemėlapi masteliu 1:400000, kuriame Telšių deformacijos zona kristaliniame pamate nurodama kaip R-V krypties tektoninių deformacijų zona (2004).

Seisminės žvalgybos metu sudaryti 3D modeliai Girkalių ir Nausodžio plotuose (Novik, Krasnevič, 2001; Novik, Krasnevič, 2001–2002). Inžinierė-geofizikė L.



2 pav. Kristalinio pamato struktūrinė-tektoninė schema (Lietuvos geologija, Gailius, 1995).

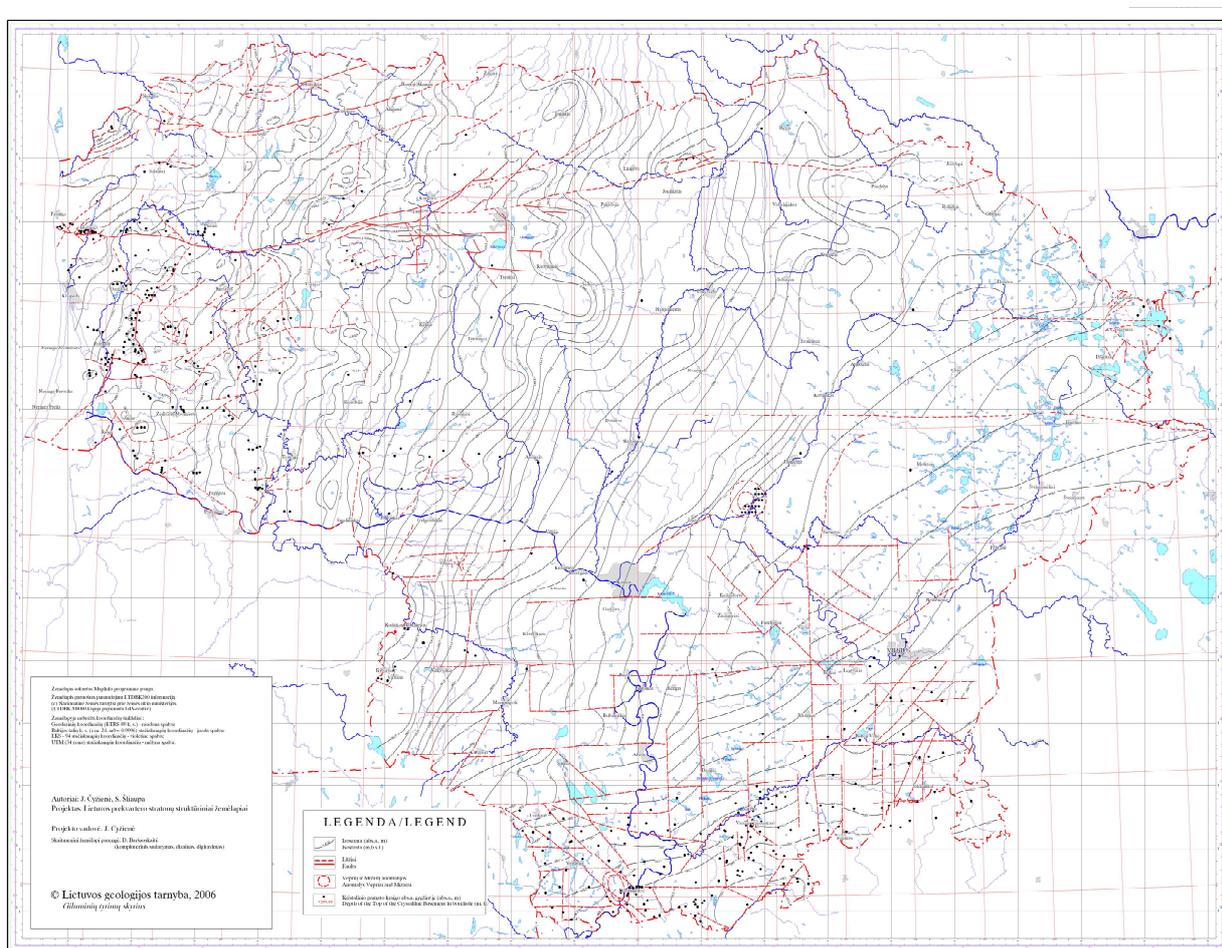
Korabliova įskaitmenino bei šiuolaikiniais metodais apdorojo potencialiųjų laukų duomenis, sudarydama įvairius išvestinius Lietuvos žemėlapius – šešėlinių reljefo, terasavimo, gradientų ir kt. (Korabliova, Šliaupa, 2006), kuriuose išryškėjo TDZ ir DPDZ lokalizacija.

Drūkšių-Polocko deformacijos zona tiriama daugiau nei 50 metų. 1957 m. Drūkšių – Ignalinos (Drūkšių) plotui pirmą kartą buvo sudaryta aeromagnetinė nuotrauka masteliu 1:200000, kurią atliko Vakarų geofizinis trestas, o 1960 m. čia taip pat buvo sudaryta gravitacinė nuotrauka, kurią atliko trestas „Specgeofizika“ bei išgręžtas gręžinys Tverečius-336 (Вайтонис и др., 1976). Praeito šimtmečio 90-ais metais, sudarius Ignalinos ploto gravimetrinę nuotrauką 1:50000 masteliu, buvo pagilintos geologinės žinios apie tektoninę šio regiono sandarą (Korabliova, Popov, 1995).

Žinių apie Rytų Lietuvos geologinę sandarą pagausėjo 1988–1995 m. pradėjus vykdyti kompleksinį geologinį-hidrogeologinį ir inžinerinį-geologinį kartografavimą masteliu 1: 50000 Drūkšių objekte. Darbų vykdymo metu buvo atlikta gravitacinė nuotrauka ir išgręžti 6 struktūriniai gręžiniai, išdėstyti aplink Drūkšių ežerą 2–3 km spinduliu, pagausinę informaciją apie plutos geologinę sandarą (Марцинкявичюс и др., 1995). Tais pačiais metais geofizinė ekspedicija „Belarusgeologija“ atliko aeromagnetinę nuotrauką. Pagal geofizinius duomenis ir nuosėdinės dangos profilius nustatyta, kad kristalinio pamato sandarą sudaro horstų-grabenų sistema. Tokia jo sudėtinga sandara yra intensyvių ir daugkartinių tektoninių judesių rezultatas. Jau tuo metu buvo pastebėta, kad kristalinio pamato uolienos yra milonitizuotos, tačiau detalios jos nenagrinėtos. Taip pat nustatyta, kad dalis lūžių yra neotektoniškai aktyvūs (Korabliova, Popov, 1995; Марцинкявичюс и др., 1995; Marcinkevičius, Laškovas 1996). A. Šliaupa (1998) pateikė lūžių dabartinio aktyvumo rezultatus, kuriais remiantis sudarė neotektoninius žemėlapius.

Lietuvos prekambro kristalinio pamato geologiniame žemėlapyje masteliu 1:400000 ir kristalinio pamato tektoninės sandaros schemeje (Motuza, 2004) Drūkšių-Polocko deformacijos zona kristaliniame pamate nurodoma kaip R–V krypties tektoninių deformacijų zona. J. Čyžienė ir S. Šliaupa (2006) remiantis 3D seisminiais metodais sudarė kristalinio pamato kraigo struktūrinį žemėlapi (3 pav.), kuriame DPDZ taip pat yra R-V krypties.

Vilniaus Gedimino technikos universiteto mokslininkai, remdamiesi geodeziniais matavimais, baigtinių elementų metodu ir pritaikydami *Anyses* programą, atliko horizontaliųjų Žemės plutos deformacijų ir tektoninių įtampų modeliavimą bei numatė praktinio taikymo galimybes. Nustatyta, kad Drūkšių teritorija tektoniškai aktyvi ir šiuo metu, o horizontaliųjų Žemės plutos deformacijų rodiklių sklaida susijusi su teritorijos tektonine sandara. Ji yra būdinga tektoninio spaudimo zonai (Zakarevičius, Stanionis, 2004; Zakarevičius, Stanionis, 2005; Šliaupa et al., 2006). S. Šliaupa didelį dėmesį skyrė Ignalinos atominės elektrinės regiono tektoninių procesų išaiškinimui. Remiantis tektoninių įtampų ir deformacijos GPS duomenimis paaikškėjo, kad vyksta atskirų blokų horizontalūs judesiai (Šliaupa et al., 2006).



3 pav. Kristalinio pamato kraigo struktūrinis žemėlapis M 1: 400 000 (pagal Čyžienę ir Šliaupą, 2006).

Atsiradus galimybėms išvykti ar nusiųsti uolienų pavyzdžius į užsienio laboratorijas, Lietuvos tyrėjams tapo prieinami naujausi geocheminės uolienų ir cheminės mineralų analizės, geotermobarometrijos, radiologinio datavimo ir kiti metodai. Lietuvos geologai

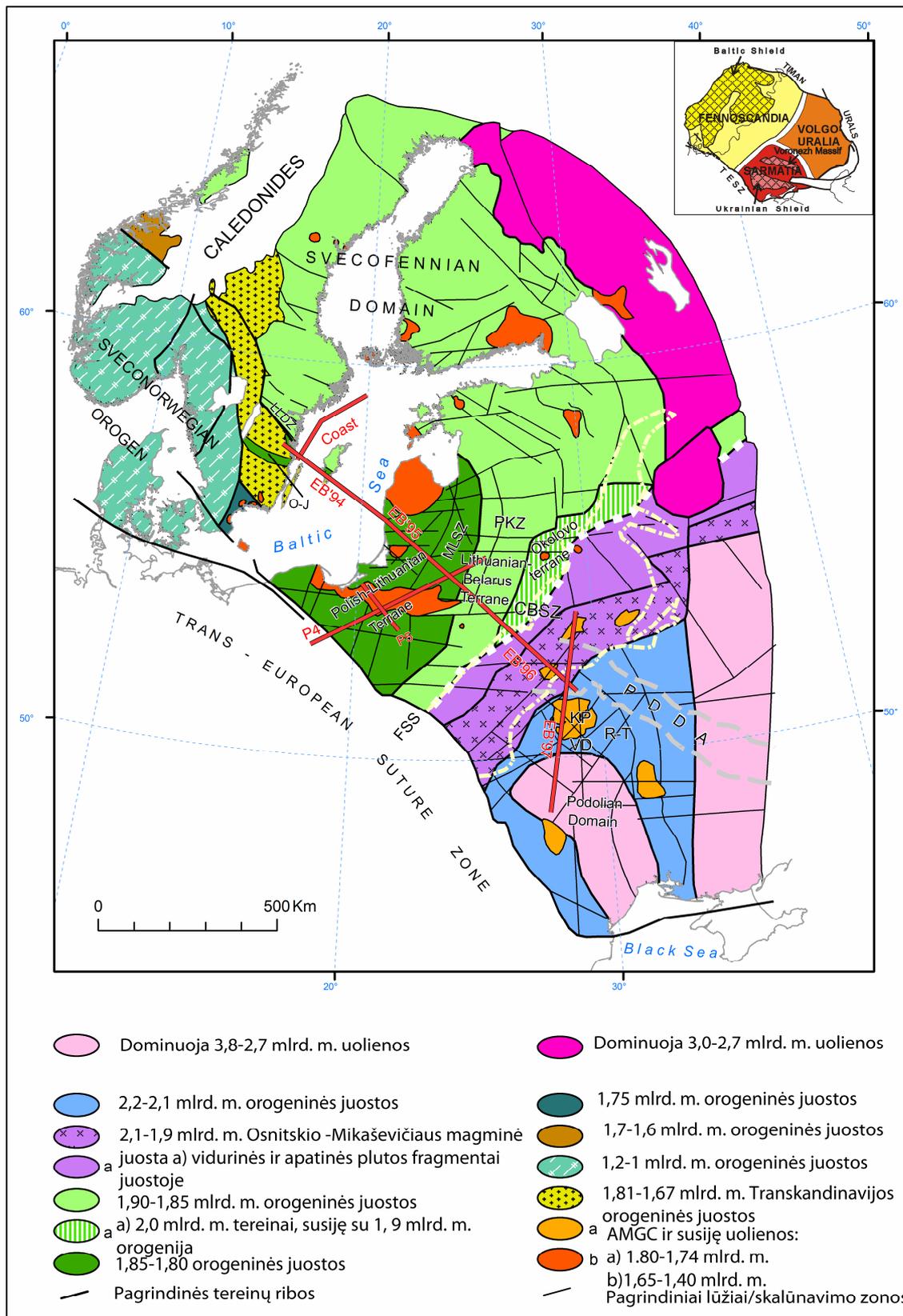
sėkmingai dalyvavo tarptautiniuose giluminio seisminio zondavimo projektuose – *Sovetskās–Kohtla–Järve* (1983–1986), *POLONAISE’97*, *EUROBRIDGE* (1994–97), todėl vyko progresas geologijos moksle.

1983–1986 m. GSZ atliktas pagal profilį *Sovetskās–Kohtla–Järve* (SKJ), kuris kirto visas Baltijos šalis ir Kaliningrado sritį PR–ŠV kryptimi (Ankundinov et al., 1994). *POLONAISE’97* trasa driekėsi PV–ŠR kryptimi per Lietuvos teritoriją (Bogdanova et al., 2006). *EUROBRIDGE* (1994–97) profilis sujungė Baltijos ir Ukrainos skydus, kirsdamas: *EUROBRIDGE’94* – Baltijos jūrą, *EUROBRIDGE’95* – Lietuvą, *EUROBRIDGE’96* – Baltarusiją ir *EUROBRIDGE’97* – Ukrainą (Bogdanova et al., 2006). Baltijos jūros teritorijoje taip pat buvo praveisti keli GSZ profiliai – *BABEL* (1989 m.) palei vakarinį Baltijos jūros pakraštį, *Baltic See Profile (BSP)* kirto centrinę Baltijos jūros dalį nuo Kaliningrado iki Suomijos įlankos ir *FENNOLORA* Rytų Švedijos pakrantėje (Островский, 1995; Lund et al., 2001; Czuba et al., 2001; Bogdanova et al., 2006). *EUROBRIDGE’95* ir *POLONAISE’97* yra ypač svarbūs Lietuvai, nes išryškėjo Vakarų Lietuvos ir Rytų Lietuvos skirtinga geologinė sandara, o ties Nausodžių gręžiniais aptikta nedarna tarp atskirų blokų, kuri interpretuojama kaip pirminė TDZ struktūra (Yliniemi et al., 2001).

Naujų technologijų ir metodų pritaikymas bei bendradarbiavimas Europos ir Lietuvos projektuose lėmė geologinės ir geofizinės medžiagos pagausėjimą. Bet vis dėlto kristalinio pamato ir jame susidariusių tektoninių lūžių zonų tyrimų duomenys yra dar labai menki.

1.2. LIETUVOS KRISTALINIO PAMATO SANDARA

Lietuva yra Rytų Europos kratono vakarinėje dalyje (4 pav.). Rytų Europos kratono (REK) giluminei sandarai išaiškinti buvo atlikti giluminiai seisminiai zondavimai (GSZ). Geologiniai ir geofiziniai tyrimai atskleidė, kad Rytų Europos kratonas galutinai susiformavo prieš 1,8–1,7 mlrd. m. susidūrus trims atskiriems litosferos segmentams – Fenoskandijai, Sarmatijai ir Volgo-Uralijos (Gorbatshev, Bogdanova, 1993; Bogdanova et al., 2006). Šių segmentų sudėties ir sandaros tyrimais

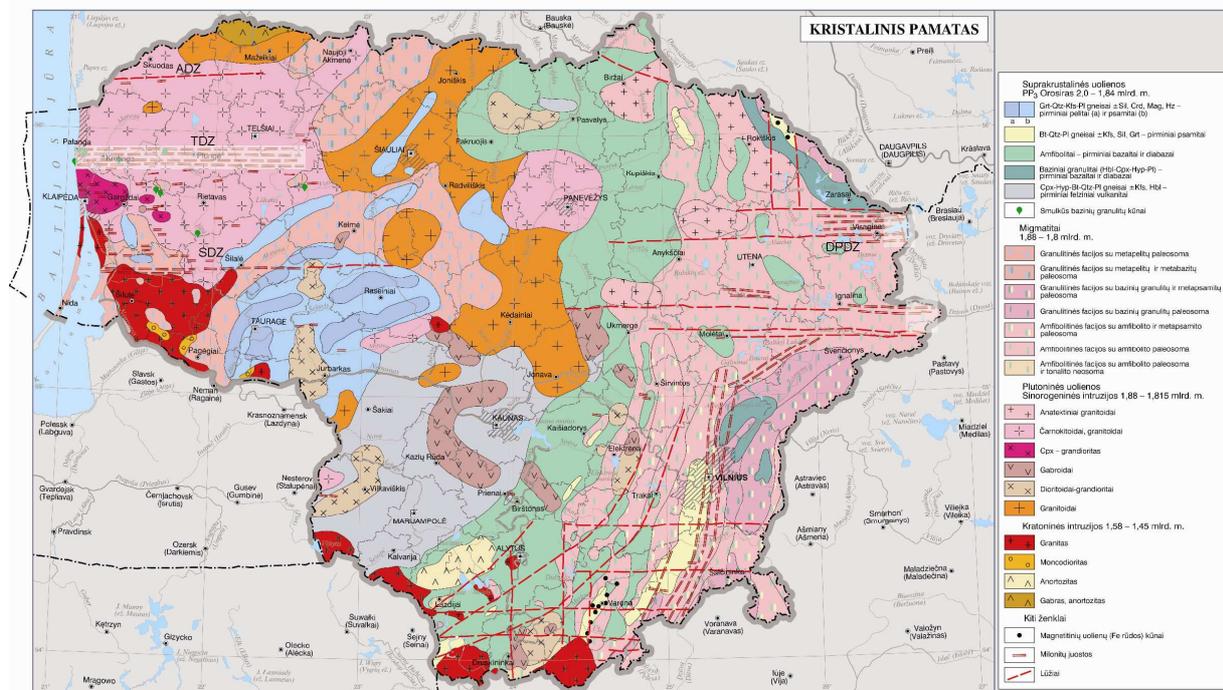


4 pav. Rytų Europos kratono tektonė sanadara (pagal Bogdanovą et al., 2006): CBSZ, Centrinė Baltarusijos sandūros zona; KP, Korostenės plutonas; LLDZ, Loftahamaro-Linčopingo Deformacijos Zona; MLSZ, Vidurio-Lietuvos sandūros Zona; O-J, Oskarshamn-Jönköping juosta; PDDA, Pripietės-Dniepro-Donetcko aulakogenas; PKZ, Polocko-Kurzemės lūžių zona. Balta brūkšniuota linija apriboja Volynės-Oršos aulakogeną. Raudona linija rodo EUROBRIDGE (EB'94, EB'95, EB'96, EB'97), Coast ir POLONAISE (P4 ir P5) seisminių profilių padėtį. Įklia viršuje rodo trijų segmentų konstrukciją Rytų Europos kratone (REK).

buvo siekiama išaiškinti regioninę tektoninę istoriją, nes juose „užrašyta“ dviejų ankstyvųjų geologinių erų – archėjaus ir paleoproterozojaus – prieš-kolizinė istorija (Bogdanova, 2005). Lietuvoje Žemės pluta yra vieno iš minėtų trijų segmentų – Fenoskandijos – dalis. Fenoskandijos pluta skiriama į archėjinę ir proterozojinę.

Archėjinės plutos amžius yra 3,5–2,65 mlrd. m. (Bogdanova, 2005). Proterozojinės plutos amžius – 1,9–1,8 mlrd. m. Vėlyvesni REK orogeniniai procesai tęsėsi palei Fenoskandijos pietvakarinį pakraštį keliais etapais: Gotiškoji orogenezė (1,75–1,5 mlrd. m), neorogeninis rapakivi magmatizmas (1,65–1,50 mlrd. m.), Telemarkijos akreciniai procesai (1,52–1,48 mlrd. m), Halandijos ir Dano-Polonija (1,5–1,4 mlrd. m) ir Svekonorvegiškoji (1,25–0,9 mlrd. m.) orogenezės (Gall, Gorbatshev, 1987, Rämö et al., 1996, Bogdanova, 2008, Bogdanova et al., 2008).

Lietuvos pluta yra dalijama į atskirus domenų (5 pav): Vakarų Lietuvos granulitinę (VLGD), Rytų Lietuvos (RLD), Baltarusijos Podlesės granulitinę juostą (BPGJ) ir Zarasų bloką (ZB). Ties VLGD ir RLD blokų sandūra išskirta Vidurio Lietuvos sandūros zona (Motuza ir Skridlaitė, 1999; Skridlaitė ir Motuza, 2001; Motuza, 2004). Lietuvos litosferos sandaros ir raidos išaiškinimui didelę reikšmę turėjo GSZ



5 pav. Lietuvos kristalinio pamato geologinis žemėlapis (pagal Motuzą, 2004). ADZ – Akmenės deformacijos zona; DPDZ – Drūkšių-Polocko deformacijos zona, ŠDZ – Šilutės deformacijos zona; TDZ – Telšių deformacijos zona. Balti rėmeliai rodo tyrimo plotus.

profiliai, kuriais remiantis buvo nustatyta plutos storis ir atskirų domėnų ribos (Ankudinov et al., 1994; Jacyna ir kt., 1999; Yliniemi et al., 2001; Kozlovskaya et al. 2001).

Vakarų Lietuvos granulitiniame domene (5 ir 7 pav.) Mohrovičičiaus paviršius yra 42–45 km gylyje (Yliniemi et al., 2001). VLGD viršutinės plutos storis – 30 km storio, vidurinės nėra, o apatinė – 10–12 km storio (Motuza, 2004).

Pritaikius radiologinį datavimą nustatyta, kad seniausios Lietuvos uolienos yra paleoproterozojaus laikotarpio (Claesson et al., 2001; Motuza, 2004). VLGD aptiktos paleoproterozojaus laikotarpio metasuprakrustalinės (gneisai), ultrametamorfinės (migmatitai), magminės intruzinės bei mezoproterozojaus magminės uolienos (Motuza et al., 2006; Skridlaitė et al., 2007).

Metasuprakrustalines uolienas G. Motuza (2004) pagal cheminę sudėtį skirsto į 3 grupes: 1) metapelitai (grauvakos ir smiltainiai); 2) rūgštūs gneisai (arkozos) ir 3) kalcingi gneisai (grauvakos ir smiltainiai). Jų rasta Lauksargių, Pocių, Šiuparių plotų ir Tauragės bloko grėžiniuose (Motuza, Staškus, 2009).

Ultrametamorfinės yra tonalitiniai ir granitiniai migmatitai, kilę iš metanosėdinių ir felzinių metavulkanitų, išsidėstę tarp intruzyvų. Labiausiai jie išplitę ties Taurage ir Šilale (Motuza, 2004).

Magminės intruzinės uolienos VLGD pagal mineralinę sudėtį skiriamos į tris grupes: granitoidus, čarnokitoidus ir gabroidus. Pagal tektonines susidarymo sąlygas intruzinės uolienos smulkiau skirstomos į dvi grupes: 1) sinorogenines ir 2) postorogenines (Motuza, 2004).

Sinorogeninėms uolienoms priskiriami čarnokitoidai ir granitoidai. Iš čarnokitoido rūšių vyrauja opdalitas, mangeritas, čarnokitas ir enderbitas, kurių vidutinis SiO₂ kiekis – 62% (Motuza, 2004; Motuza et al., 2008). Čarnokitoidinės uolienos yra datuotos U/Pb metodu pagal cirkonus grėžinyje Vydmantai-1, esančiame TDZ pakraštyje, ir kiek piečiau – Macuičių grėžinyje. Nustatytas amžius atitinkamai yra 1815 (Claesson et al., 2001) ir 1846 mln. metų (Motuza, 2004). Vidutiniškai stambiagrūdžiai čarnokitoidai sudaro didžiulį Kuršių masyvą (140x80 km) ir kelis smulkesnius masyvus VLGD rytinėje dalyje (Motuza et al., 2008). Arčiausiai TDZ yra Pilsoto grandioritinis plutonas, susidaręs prieš 1460 Ma (G. Motuzos žodinis pranešimas). Tarp minėtų

paleoproterozojaus uolienų yra ir mezoproterozojaus laikotarpio granitoidinių plutonų (Motuza, 2004).

Postorogeniniai granitoidai pagal uolienos cheminę sudėtį yra 3 pagrindinių rūšių: monocgranitas, sienogranitas ir kvarcinis monocdioritas, susidarę mezoproterozojuje, kalimio periode (Motuza, 2004). Šiaurės Lietuvoje ir pietvakarių Latvijoje, t. y. apie 30 km nutolęs nuo TDZ, yra Rygos plutonas, susidaręs prieš 1580 mln. metų (Rämö et al., 1996). Vakariniėje Lietuvos dalyje apie 40 km nutolęs nuo TDZ yra Žemaičių Naumiesčio (sin. Nemuno) masyvas (700 km²). U/Pb metodu pagal TIMS (1462±8 ir 1459±3 mln. m., Motuza, 2004) ir SIMS technologijas (1447±5 mln. m., gręž. Rukai-2, Skridlaitė et al., 2007) nustatyta, kad jis formavosi mezoproterozojaus laiku. Anorogeniniai granitoidai dar sudaro Gėlupos plutoną (1445±8 mln. m., Gėluva-99, Skridlaite et al., 2007), o postorogeniniai granitoidai surasti šiaurės rytinėje Lenkijoje, Mazūrų komplekse, kurį sudaro anortozito, mangerito, čarnokito ir granito uolienos, intrudavusios prieš 1525–1500 mln. m. (Dörr et al., 2002; Wiszniewska et al., 2002).

Rytų Lietuvos domeno pluta yra 10–12 km storesnė nei VLGD – ji svyruoja nuo 52 iki 57 km. Viršutinė pluta siekia nuo 15 iki 20 km, vidurinė pluta – 10–15 km, o apatinė – 25–28 km storio (Motuza, 2004). Moho viršutinė riba nustatyta 55–57 km gylyje. Rytų Lietuvos kristalinį pamatą daugiausia sudaro paleoproterozojaus ir mezoproterozojaus uolienos (5 ir 7 pav.): suprakrustalinės (gneisai, amfibolitai ir marmuras), ultrametamorfinės (migmatitai) ir intruzinės uolienos (Skridlaitė ir Motuza; 2001; Motuza, 2004).

Suprakrustalinėms uolienoms RLD priskiriami felziniai gneisai, amfibolitai ir baziniai granulitai bei marmuras (Motuza, 2004). Felziniai gneisai yra vidutinio rūgštingumo ir rūgščios sudėties. Geocheminiai duomenys rodo, kad galėjo būti 2-ji jų susidarymo šaltiniai: vietinė klastinė medžiaga ir magminė – granitinė. RLD gneisai nuo VLGD skiriasi didesniu šarmingumu ir mažesniu mafiškumu. Geriausiai šios uolienos išlikusios gręžiniuose Šalčia-403, Vokė-416 ir Tarnėnai-419 (Motuza, 2004). Pietrytinėje RLD dalyje psamitai ir grauvakos buvo nugramzdintos iki 30 km gylį ir metamorfizuotos 680°C temperatūroje ir 0,8 GPa slėgyje prieš 1,9 mlrd. metų, o pietinėje domeno dalyje metamorfizmo režimas kaitaliojasi atskiruose blokuose. Metamorfizmo piko metu vulkaninės ir nuosėdinės uolienos buvo pakeistos esant 700°C temperatūrai ir

0,6 GPa slėgiui (Bogdanava et al., 2006). Amfibolitai atskirais plotais yra išplitę visame RLD (Motuza, 2004).

Ultrametamorfinės uolienos vyrauja RLD. Joms priskiriami migmatitai. Pagal neosomos sudėtį skiriami trijų rūšių migmatitai: čarnokitiniai, tonalitiniai ir granitiniai (Motuza, 2004).

Magminės intruzijos aptiktos atskirais masyvais RLD pietinėje dalyje. Tai ultrabazinės, bazinės ir vidutinio rūgštingumo uolienos. Ultrabazinės uolienos nustatytos Pakuliškių-416, Glūkaitis-348 ir Varėna-989 gręžiniuose.

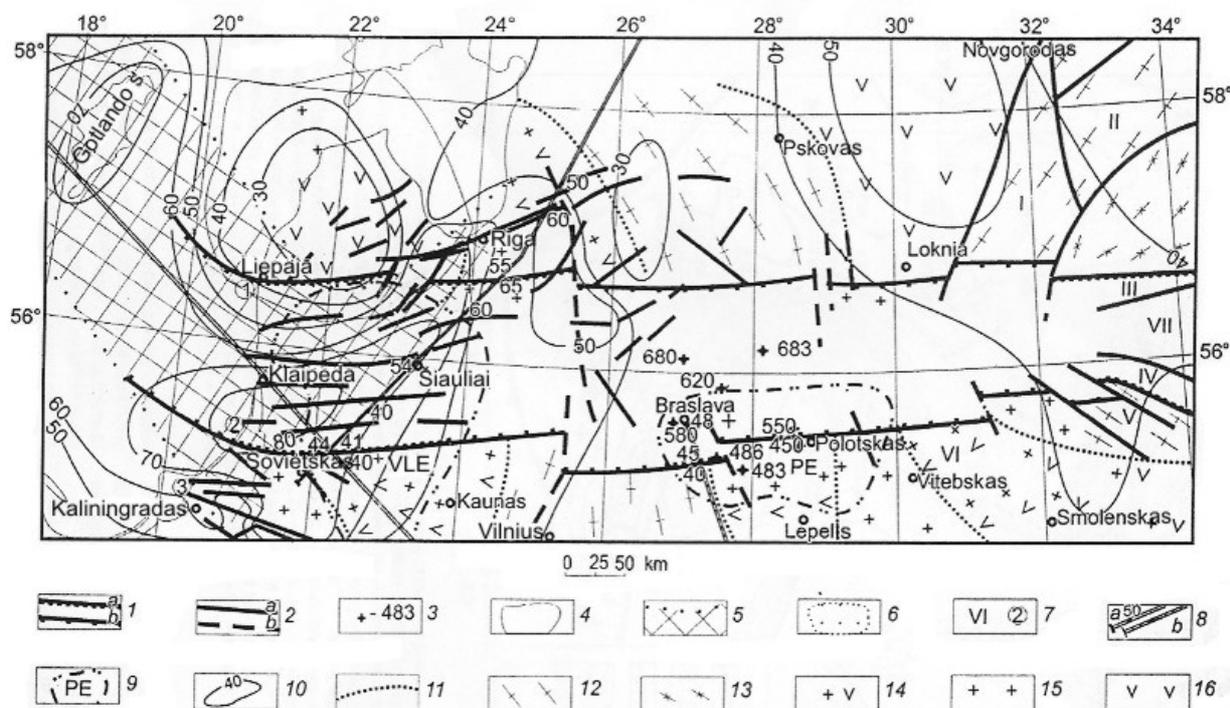
Kaip ir VLGD, RLD taip aptikta *postorogeninių granitoidų*. Juos sudaro granitoidai ir monconitoidai, kurie slūgso Kabelių ir Veisėjų komplekso masyvuose. Kabelių masyvo susidarymo amžius yra 1501 mln. metų (Sunbland et al., 1994). Veisėjų komplekso masyvas pirmiausiai buvo išskirtas S. Marfino ir kt., nurodant jo petrografinę ir cheminę sudėtį bei atlikus korealiaciją su aplinkiniais masyvais padaryta gan tiksli prielaida apie jo formavimosi laiką (1470 mln. m, Marfinas et al., 1994). Vėliau radiologiniu metodu nustatyta, kad uolienos susiformavo prieš $1478 \pm 3,6$ mln. metų (Motuza, 2004).

VLGD ir RLD yra nustatytos stambios R-V krypties tektoninės zonos: Telšių ir Drūkšių-Polocko deformacijos zonos, priklausančios Kurzemės-Polocko lūžių juostai. Lygiagrečiai šiaurinės TDZ pusės trasuoja Akmenės deformacijos zona (Čechanavičius et al., 1974 pagal Stirpeiką, 1990; Apirubytė, 1974) ar dar kitaip vadinama Skuodo-Mažeikių tektonine zona (Suveizdis, 2003). Tik šios tektoninės zonos mastai, lyginant su TDZ, yra žymiai mažesni. TDZ nuo Akmenės deformacijos zonos skiria 24 km atstumas. Lygiagrečiai TDZ pietinio pakraščio yra nutįsęs neigiamas potencialiųjų laukų anomalijų lineamentas – Šilutės deformacijos zona (ŠDZ, Suveizdis, 1978, 2003; Motuza, 2004). Dar piečiau TDZ, jau Kaliningrade eina Priegliaus deformacijos zona (Pačėsa et al., 2005). Remiantis geofiziniais ir geologiniais duomenimis šiame darbe daroma prielaida, kad Vakarų Lietuvos Granulitiniame domene R–V krypties deformacijos zonos (TDZ, ŠDZ ir ADZ) sudaro platų milonitų ruožą, apimančią daugiau nei 100 km pločio teritoriją.

Kurzemės-Polocko lūžių juosta (KPLJ) arba Kurzemės-Polocko zona (KPZ) buvo išskirta 1974 m. sudarant tektoninį Baltarusijos žemėlapi. Garecky ir kt. (1990, 2002) remiantis gravitaciniais ir magnetiniais žemėlapiais nustatė, kad tai

platuminės krypties plati giluminė tektoninė zona su dešiniojo stūmio požymiais (6 pav.).

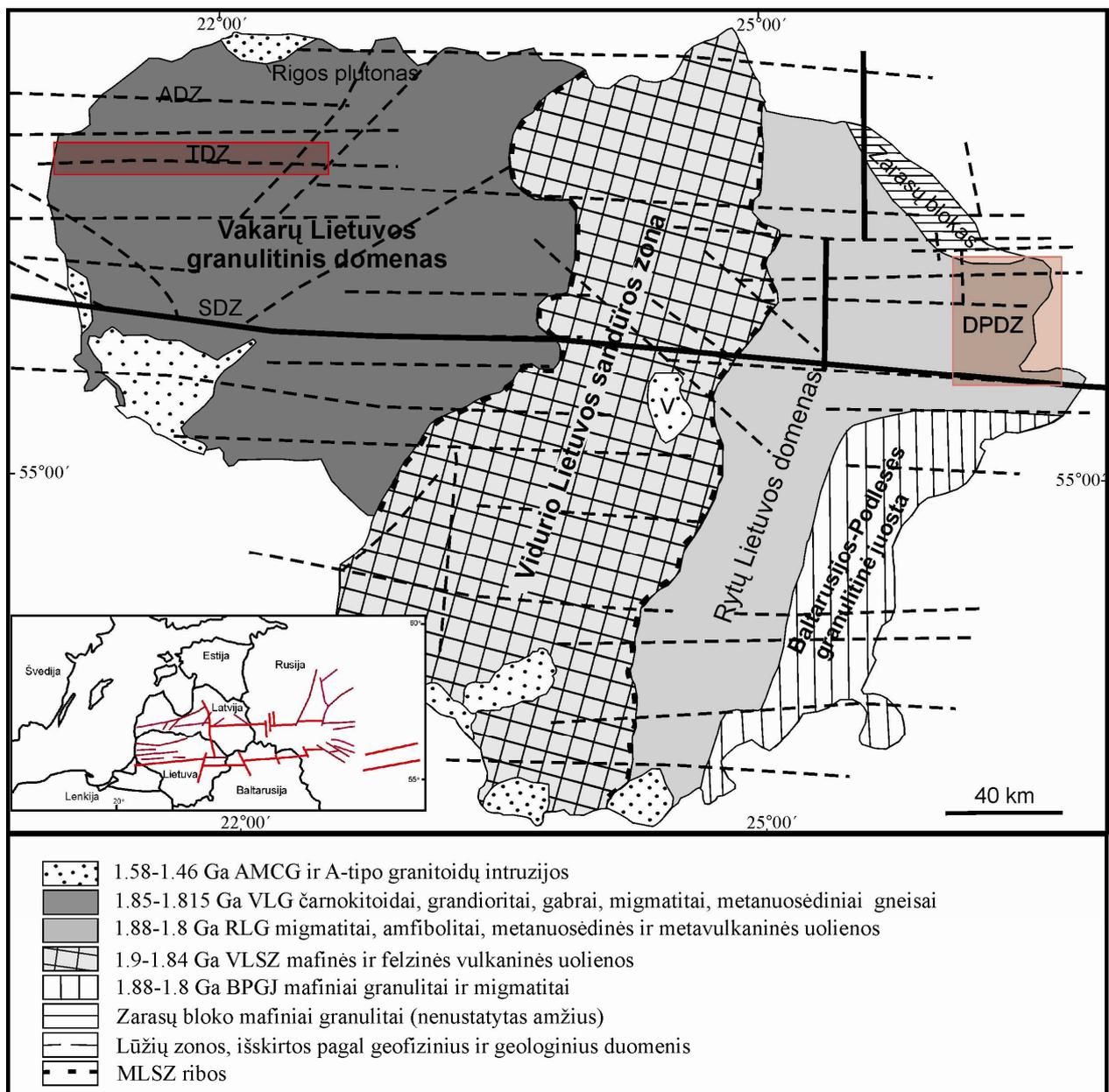
KPLJ padėtis (6 pav.) ir geologinė raida pagrįsta gravitacinių ir magnetinių žemėlapių analize. KPLJ prasideda Rusijoje, driekiasi per Baltarusiją, Latviją ir Lietuvą bei gali būti tęsiasi per Baltijos jūrą Švedijos link. KPLJ yra 800 km ilgio, o jos horizontali amplitudė – 120–160 km. Baltarusių mokslininkai Polocko-Kurzemės lūžių juostą apibūdina kaip regioninę zoną, susidariusią Rifėjaus laikotarpyje, kurią riboja du stambūs kraštiniai lūžiai – pietinis Nemuno-Polocko ir šiaurinis Liepaja-Loknia (Гарецкий и др, 1990; Аизберг и др., 2007). Petrografiniu ir geochronologiniu aspektu beveik netirta. Žemės paviršiaus 3D modelis pagal GIS technologijas rodo, kad ši lūžių juosta aktyvi ir šiuo metu (Kurlovich et al., 2007).



6 pav. Kurzemės-Polocko lūžių juostos tektoninė schema (pagal Gareckij ir kt., 2002): 1 – gylieji kraštiniai lūžiai: a – pagal seisminius duomenis, b – pagal gravimagnetinius, 2 – lūžiai: a – pagal geologinius ir seisminius, b – pagal gavimagnetinius, 3 – grėžniai, kirtę kristalinį pamatą, jo absoliutus gylis, m, 4 – Rygos rapakivi granitų plutonas, 5 – Gotlando tektoninė juosta (išskirta Ostrovskio, 1998), 6 – Rifėjaus nuosėdos, 7 – romėniškais skaičiais pažymėti: gabenai: I – Valdajaus, II – Krestovskio, III – Tverės, IV – Gžatsko, V – Prečistinskio; VI – Oršos įduba; VII – Nelidos pakiluma; skaičiai rutuliukuose rodo lūžių zonas: 1 – Liepojos-Rygos, 2 – Nemuno, 3 – Preslio; 8 – geofiziniai profiliai: a – Sovetskas – Kochtla-Jarvė ir EUROBRIGE, b – profilis Braislava-Pleščenica, taškai ant profilių rodo žemės plutos storį, km; 9 – geoelektrinių anomalijų ribos ir jų pavadinimai: VLE – Vakarų Lietuvos, PE – Polocko, 10 – izolinijos šiluminio srauto, mvt/m²; 11 – ribos magnetinių laukų anomalijų; 12–16 – magnetinių laukų anomalijų tipai; 12 – neigiamos ir teigiamos stipriai išreikštos linijinės anomalijos; 13 – neigiamos ir teigiamos stipriai išreikštos linijinės anomalijos su sudėtinga konfiguracija, 14 – neigiamos ir teigiamos linijinės anomalijos atskirų formų; 15 – stambios „monolitinės“ teigiamos anomalijos; 16 – stambūs neigiami plotai su lokaliomis teigiamomis anomalijomis.

1.3. TELŠIŲ IR DRŪKŠIŲ-POLOCKO DEFORMACIJOS ZONŲ TRUMPA CHARAKTERISTIKA

Telšių deformacijų zona (TDZ) yra sudėtinė tektoninė struktūra priklauso Polocko-Kurzemės lūžių juostai (7 pav., išnaša). TDZ nustatyta remiantis geofiziniais ir geologiniais metodais (Апирубите и др., 1974; Suveizdis, 2003; Motuza, 2004). Šioje tektoninėje zonoje milonitai susidarė plastinės deformacijos sąlygomis, o reaktyvuojantis šiai zonai susidarė maži brekčijuoti uolienų intervalai trapiosios deformacijos sąlygomis.



7 pav. Pagrindiniai kristalinio pamato tektoninės struktūros (modifikuota pagal Motuzą, 2004). Sutrumpinimai: **ADZ** – Akmenės deformacijos zona; **DPDZ** – Drūkšių-Polocko deformacijos zona; **SDZ** – Šilutės deformacijos zona, **TSZ** – Telšių deformacijos zona; **V** – Veprių gabro intruzija. Raudoni apibrėžimai yra tyrimo plotai. Išnaša kairėje rodo Polocko-Kurzemės lūžių juostos padėtį (Garetsky et al., 2002). Jos pietinis Nemuno-Polocko lūžis atitinka Šilutės ir pietinės Drūkšių-Polocko deformacijos zonų ribas.

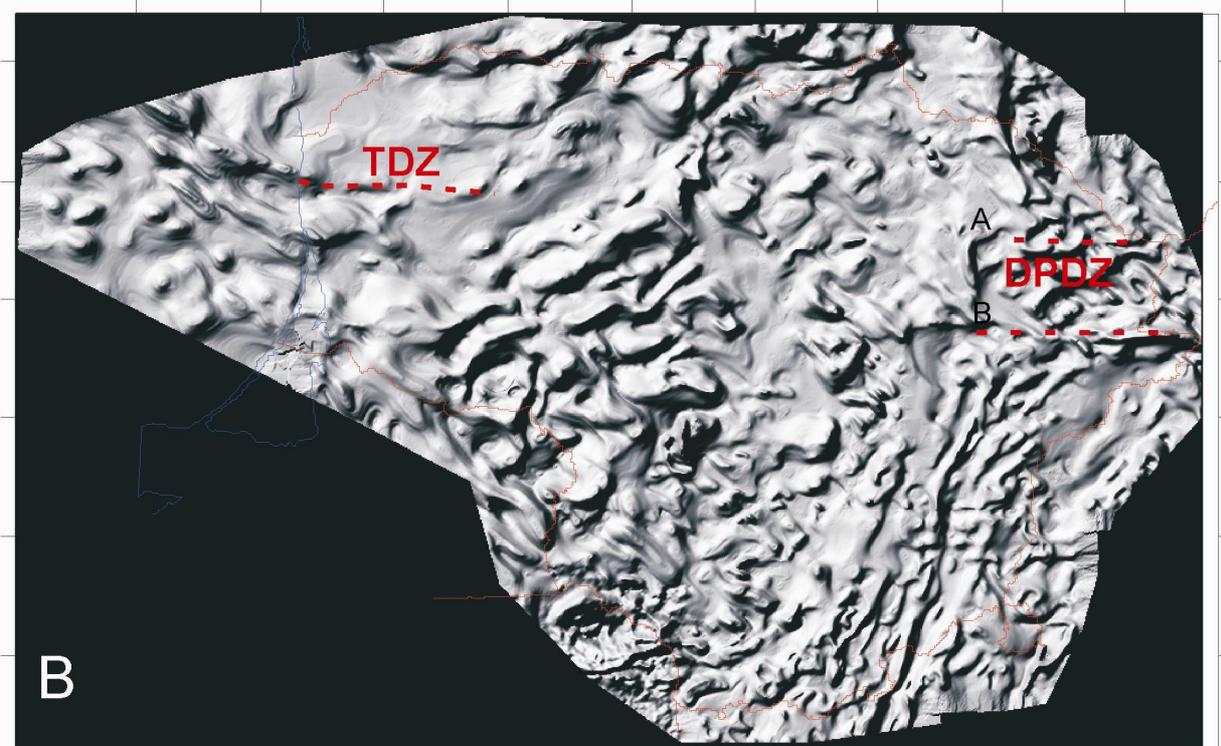
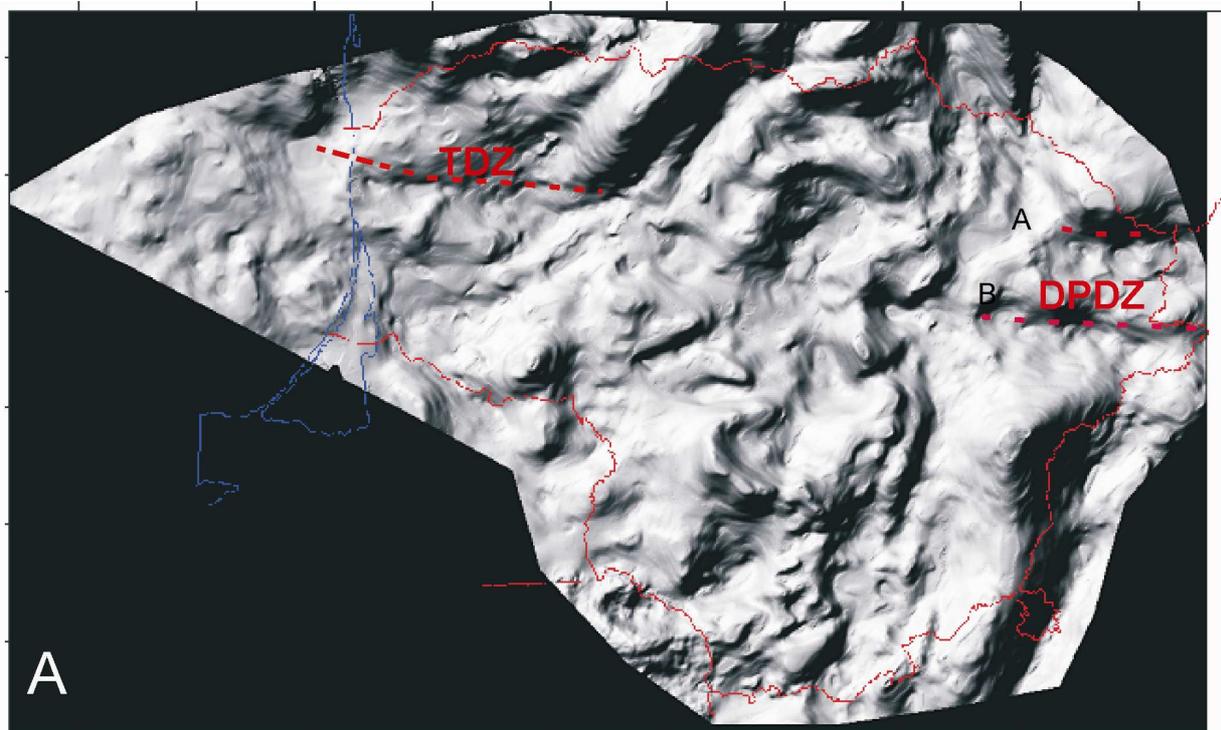
Vėliau, šlyties zonos dalyje vykstant vertikaliems judesiams nuosėdinėje dangoje susidarė Telšių lūžis (Žvirblis, 1995; Stirpeika, 1999; Suveizdis, 2003).

TDZ ribas apibrėžti yra sudėtinga. Giluminių gręžinių kerno analizė rodo, kad TDZ pradžia Lietuvos sausumos dalyje yra ties Palanga (Nemirseta, Girkaliais) ir tęsiasi iki Tryškių gyvenvietės. Ties šia vieta tyrimai yra sudėtingesni, nes sumažėja gręžinių. Kadangi čia tėra išgręžti tik keli gręžiniai (Šiupyčiai, Vaškai), tai petrografiniais tyrimais problematiška nustatyti tolimesnę TDZ kryptį. Kristalinio pamato kraigo struktūriniame žemėlapyje (3 pav.) Telšių lūžis pasisuka ŠR kryptimi. Gali būti jo kryptį kooreguoja Rygos plutonas. Gravitacinių ir magnetinių anomalijų duomenimis taip pat nėra aišku, ar TDZ pasisuka ŠR kryptimi, kaip Telšių lūžis ar jungiasi su DPDZ.

Geofiziniai ir geologiniai tyrimai rodo, kad Telšių deformacijos zona yra apytikriai R–V krypties potencialių laukų lineamentas (8 pav.). Pagal Gareckij ir kt. (2002) TDZ priklauso Kurzemės-Polocko lūžių zonai, kuri prasideda Rusijoje tęsiasi per Baltarusijos, Lietuvos ir Latvijos teritoriją Baltijos jūros link. Silpnai deformuoti čarnokitoidai aptikti šiaurinės TDZ dalies gręžiniuose Tūbausiai-1 (Motuza, 2004), taip pat Vydmantai-1 (Skridlaitė and Motuza, 2001) ir Vydmantai-2. Todėl šiaurinė TDZ riba pravedama ties minėtais gręžiniais. TDZ pietinė riba yra nurodoma ties Žutautų, Mikoliškių, Kulių, Tolių gręžiniais, kuriuose rasti silpnai deformuoti čarnokitoidai. Remiantis potencialių laukų anomalijų žemėlapiais, gali būti, kad TDZ Baltijos jūroje išsišakoja į dvi skirtingų kryptų juostas: ŠV ir V kryptimis. Geofiziniais Baltijos jūros tyrimų duomenimis nustatyta, kad TDZ plutos blokų persistūmimo dydis po jūra siekia net kelis šimtus metrų. Čia blokų judėjimas vyko keliomis kryptimis, todėl fiksuojami ne tik antstūmio, bet ir stūmio judesiai (Suveizdis, 2003).

Kita, *Drūkšių-Polocko deformacijos zona (DPDZ)* yra sudėtinė lūžių sistema, nutįsusi apytikriai vakarų-rytų kryptimi dviem juostomis – šiaurine ir pietine (7 pav.), kurios išreikštos neigiamomis potencialių laukų anomalijomis (8 pav. A ir B). Tai plati platingų – trapiųjų deformacijų juosta susidariusi retrogradinio metamorfizmo sąlygomis. Kadangi geologinių duomenų yra nedaug, nes pragręžta tik 8 gręžiniai, jos ribas sudėtinga nurodyti. Drūkšių-Polocko deformacijos zonos (DPDZ) pavadinimas yra vartojamas todėl, kad ši kompleksinė tektoninė zona tęsiasi Baltarusijoje ir yra Kurzemės-Polocko deformacijos zonos dalis.

Geologinių duomenų apie DPDZ kristalinio pamato uolienas yra mažiau nei apie TDZ, nes čia išgręžti tik keli giluminiai gręžiniai (pietinėje juostoje – tik vienas). DPDZ yra nevienalytė petrografiniu atžvilgiu, čia slūgso migmatitai, granitoidai bei



8 pav. A) Lietuvos magnetinių ir B) gravitacinių lauko anomalijų reljefo-šešėliniai žemėlapiai (pagal Korabliovą). A – šiaurinė ir B – pietinė DPDZ juostos.

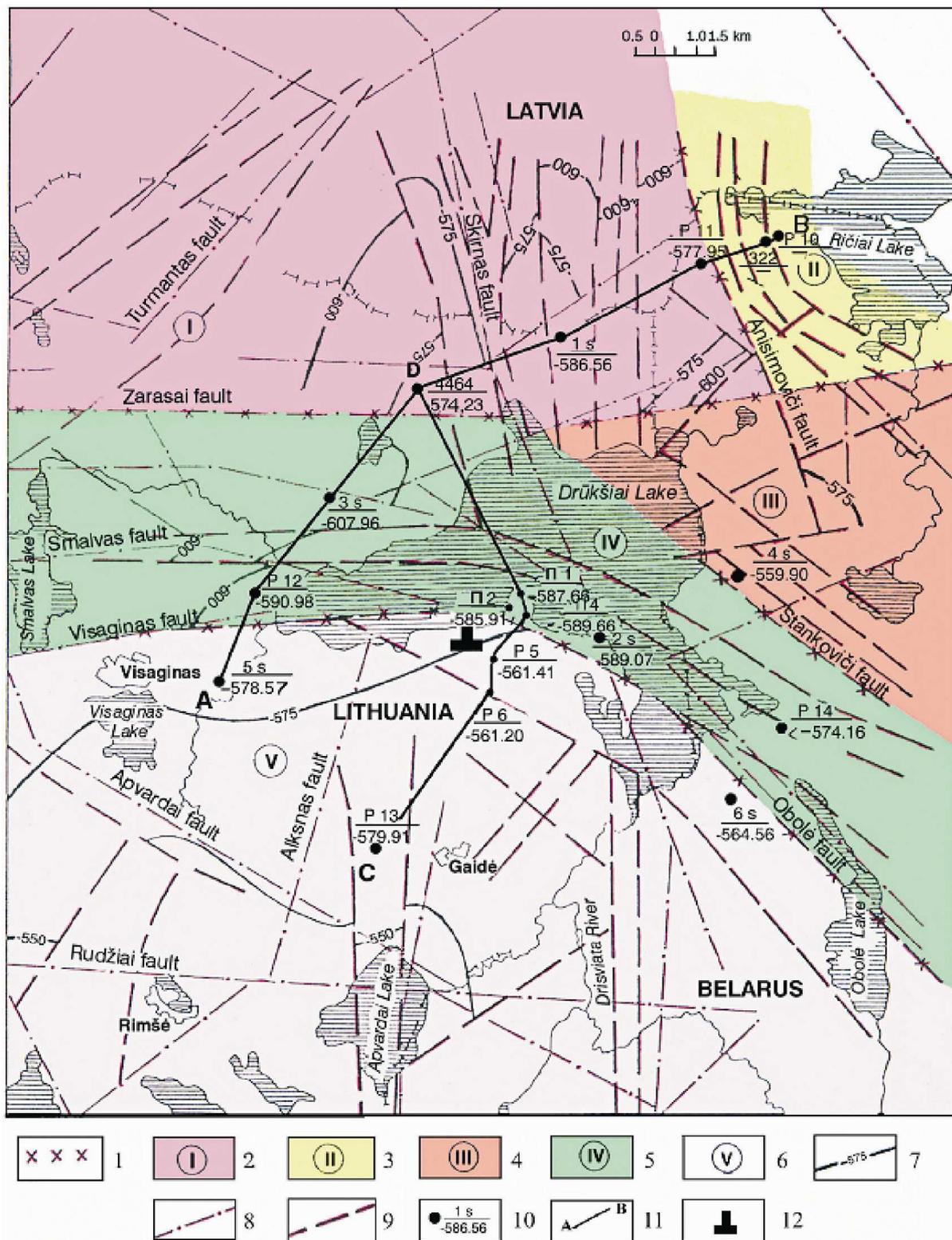
granulitai (Марцинкявичюс и др., 1995; Motuza, 2004). Remiantis petrografiniais ir mikrostruktūriniais tyrimais nustatyta, kad DPDZ uolienos yra įvairiu laipsniu milonitizuotos ir kataklazuotos.

Geologiniai ir geofiziniai duomenys rodo, kad DPDZ plotis yra kelių dešimčių kilometrų (Motuza, 2004). Gravitacinių laukų modeliavimu įvertintas DPDZ gylis yra ~10–20 km (Šliaupa ir Popov, 1998). DPDZ vyko reaktyvacijos procesai, tai rodo nuosėdinėje stovymėje esanti sudėtinga blokinė struktūra, susidariusi Rytų Europos kratono dviejų stambių regioninių tektoninių struktūrų – Mozūrijos-Baltarusijos anteklizės ir Latvijos balno – sandūroje (Сувеиздис, 1979; Suveizdis, 2003). Pagal kristalinio pamato paviršiaus reljefą išskiriamos tektoninės struktūros (9 pav.) – Šiaurės Zarasų pakopa, Drūkšių rytinis pakilimas, Drūkšių pietinis pakilimas, Šiaurės Zarasų pakopa, Anisimovičių grabenas bei Drūkšių įlinkis ar grabenas (Марцинкявичюс и др., 1995, 1996; Marcinkevičius et al., 2007).

Baikaliniame, kaledoniniame ir hercininiame struktūriniuose kompleksuose nustatytas lūžių išsidėstymas yra trijų pagrindinių krypčių: V–R, ŠV–PR ir ŠR–PV. Lūžių ŠV–PR ir ŠR–PV krypties ilgiai kinta nuo 3–5 iki 15–18 km, o amplitudės siekia nuo 15 iki 20 m (Marcinkevičius ir Laškovas, 2007).

A. Šliaupa mano, kad neotektoninių procesų rodikliai išliko geomorfologinių paviršių deformacijose, geologinėse struktūrose ir nuosėdinių uolienu stovymėse. DPDZ Žemės plutos judesiai yra diferencijuoti pagal svarbiausius kristalinio pamato lūžius, ribojančius žemesnės eilės tektonines struktūras, kurie Drūkšių-Polocko zonoje išsiskiria kaip tektoniniai lūžiai: Zarasų, Drūkšių, Polocko šiaurinis, Polocko pietinis, Polocko, Vyžuonų, Alaušo, Galuonų (Šliaupa, 1998).

Zakarevičius ir kt. (2008) teigia, kad vertikalių žemės plutos judesių dydžiai kinta nuo -2,7 iki 3,7 mm per metus, o horizontalių judesių kryptimis šiaurinis ir pietinis blokai, juda ŠŠR ir ŠR kryptimi skirtingu greičiu (Zakarevičius, Stanionis 2003, 2004; Šliaupa et al., 2006).



9 pav. Drūkšių ploto kristalinio pamato struktūrinė schema: 1– tektoninių struktūrų ribos, 2–6 struktūriniai elementai (blokai: 2 – Zarasų pakopa, 3 – Anisimovičių grabenas, 4 – Rytų Drūkšių pakilimas, 5 – Drūkšių grabenas, 6 – Pietų Drūkšių pakilimas, 7 – kristalinio pamato paviršiaus stratizohipsės abs. a., m, 8 – lūžiai, nustatyti pagal aeromagnetinės nuotraukos duomenis, 9 – lūžiai, nustatyti pagal seisminės žvalgybos duomenis, 10 – gręžinys: skaitiklyje – gręžinio numeris, vardiklyje – kristalinio pamato paviršiaus absoliutus aukštis, m, 11 – geologinių pjūvių linijos, 12 – Ignalinos AE (pagal Marcinkevičių ir Laškovą, 2007).

2. TYRIMŲ METODIKA

Lietuvos deformacijos zonų tyrimai yra sudėtingi, nes juos apunkina dvi pagrindinės aplinkybės: kristalinis pamatas, padengtas nuosėdine storyme bei nepakankamai išgręžta gręžinių bei iškeltas neorientuotas kernas, išskyrus kelis gręžinius Pietų Lietuvoje.

Lietuvos teritorijos dalį sudaro Baltijos baseinas, todėl visas kristalinis pamatas yra padengtas nuosėdine danga (storiausia iki 2330 m, nustatyta gręžinyje Klaipėda-1, o ploniausia – 211,5 m, gręžinyje Čepkeliai). Taigi Lietuvoje žemės paviršiuje nėra atsidengusių kristalinio pamato atodangų, todėl apunkina giluminius tyrimus. Kita aktuali problema yra tai, kad Vakarų ir Rytų Lietuvos gręžinių kernas, saugomas Lietuvos geologijos muziejuje Vievyje, neturi nustatyto uolienu kritimo kampo azimuto (tik maža dalis orientuoto kerno yra iš Pietų Lietuvos), todėl sudėtinga nustatyti struktūrinius elementus.

Tiriant Telšių ir Drūkšių-Polocko deformacijos zonas taikyti petrologinis, mikrostruktūrinis, geocheminis, U/Pb geochronologinis bei geotermobarometrijos metodai. Šie tyrimų metodai pasirinkti siekiant atkurti uolienu deformacijų stadijas ir formavimosi sąlygas Telšių ir Drūkšių-Polocko deformacijos zonose bei jų raidą. Panašius tyrimo metodus taiko ir kitų šalių mokslininkai. Ypač buvo remtasi švedų ir suomių mokslininkų sukaupta patirtimi, kurie, taikydami minėtus metodus, nustatė deformacijos ir metamorfizmo bei magmatizmo vystymosi stadijas tektoninėse zonose. Taip pat užsienio mokslininkai siūlo taikyti kombinuotus geochronologinius metodus, pavyzdžiui, pritaikant TIMS ir SIMS technologijas titanitui ar amfibolui ir cirkonui (Johansson ir Johansson, 1993; Högdahl, 2000; Högdahl ir Sjöström, 2001; Bergman et al., 2006; Hermansson et al., 2007, 2008; Torvela et al., 2008).

Petrologinis ir mikrostruktūrinis metodai. Petrografiškai ir struktūriškai kerno uolienos buvo tirtos Lietuvos geologijos muziejuje, Vievyje.

Mikroskopiškai tirti naudoti poliarizaciniai mikroskopai Vilniaus ir Lundo universitetuose. Telšių deformacijos zonoje iš viso peržiūrėtas ir aprašytas kernas iš 34-ių gręžinių: Girkaliai–1, 2, 3; Vydmantai–1, 2; Genčiai–2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11; Kretinga–1, 2, 3, 4; Toliai–1, 2; Nausodis–2, 3, 5; Vėlaičiai–1, 2, 3; Mikoliškės–1; Žutautai–1; Eitučiai–1; Mamiai–1; Kuliai–1; Tryškiai–73, 74; Pabalvė–1. Drūkšių–

Polocko deformacijos zonos kernas tirtas iš 8-ių gręžinių: Novikai–1, Šaškai–2, Schedai–3, Stankovičiai–4, Visaginas–5, Drūkšiai–324, Kazimirovo–6 ir Tverečius–336. Jų išsidėstymas pateiktas 9 paveiksle. Mezoskopiniais ir mikroskopiniais tyrimais nustatyta uolienu tekstūra ir struktūra, foliacijos kampas į kerno ašį bei atliktas lūžių uolienu suskirstymas remiantis C. Passchier ir R. Trouw (2005) bei Fettes ir Desmons (2007) klasifikacijomis. Tirta kerno diametras yra įvairus: nuo 8 cm iki 2,7 cm. Iš viso šlifų išanalizuota apie 775 iš TDZ ir 70 iš DPDZ geologijos ir mineralogijos katedroje.

Mineralų sudėties cheminis tyrimų metodas. Granato, plagioklazo, amfibolo, biotito, silimanito, špinelės ir rūdinių mineralų cheminė sudėtis nustatyta skenuojančiu elektroniniu mikroskopu (SEM) *Hitachi S-3400* su *EDS* detektoriumi ir *INCA* mikroanalizės programa, Lundo universitete. SEM nuo prieš tai minėtų mikroskopų skiriasi tuo, kad sukuria vaizdą naudodamas elektronus, o ne šviesą. Šis mikroskopas veikia taip, kad fokusuotas elektronų spindulys skenuoja bandinį, sužadina antrinius elektronus atsispindinčius elektroniniame vamzdyje (BSE¹). Elektronų srautas, valdomas elektromagnetiniais laukais, įgreitinamas aukštos elektros įtampos. Susidaro didelis potencialų skirtumas tarp anodo ir katodo. Elektronai po sąveikos, šiuo atveju, su mineralu, atsispindi – taip formuojamas paviršiaus vaizdas. Atsispindinčio vaizdo atspalvių kontrastas priklauso nuo molekulinio tankio. Šis padidintas ir sufokusuotas vaizdas yra matomas TV ekrane. Pritaikius *INCA* programą buvo gauta kiekvieno mineralo analizuojamo taško cheminė sudėtis. Su SEM tirti bandiniai iš šių TDZ gręžinių: Genčiai-8 (1994,5), Girkaliai-2 (2376), Girkaliai-3 (2081), Girkaliai-2 (2355), Tryškiai-73 (1641), Vydmantai-2 (2164), o DPDZ – šių gręžinių bandiniai: Drūkšiai-324 (769,8), Kazimirovo-6 (723,4), Schedai-3 (763,4), Šaškai-2 (751). SEM analizė atlikta atviriems poliruotiems šlifams, padarytiems Vroclavo universitete.

Prieš pradėdant darbą su SEMu šlifai buvo gerai nuvalyti su spiritu, nudžiovinti ir padengti (apdulkinti) anglimi, pasitelkus instrumentą *Cressington carbon coater 108carbon/A*. Tokia procedūra būtina, kad kolona sklindantys elektronai patektų į tiriamą tašką neišsiskleidę, o susifokusavę į spindulį. Iš viso mineralų cheminių analizių padaryta apie 1200 iš TDZ ir 600 iš DPDZ. Mineralų cheminė sudėtis apskaičiuota

¹ Angl. back scattered electrons (BSE) – atgal atspindėti elektronai.

remiantis žėručių, amfibolų bei piroksenų tarptautine nomenklatūra (Leake et al., 1998, Rieder et al., 1998).

Geotermobarometrija. Iš 6 šlifų atrinktos mineralų paragenezės, kurios vieno metamorfizmo etapo metu susidarė nusistovėjus reakcijų pusiausvyrai, kai tarp mineralų nebevyko reakcijos, t. y. cheminiai mineralų elementai nebuvo išnešami iš vieno mineralo ir pernešami į kitą mineralą. Slėgio-temperatūros diagramos gautos taikant F. S. Spear ir M. J. Kohn „Termobarometrijos“ programą (1999). Ši programa paremta prielaida, kad pagal paragenetinių mineralų katijonų santykius galima pakankamai tiksliai nustatyti metamorfizmo parametrus. Gautų analizių mineralų oksidai buvo perskaičiuojami į katijonus. Temperatūrai nustatyti atrinktos biotito-granato paragenezės ir slėgis bei temperatūra apskaičiuoti J. Ferry&F. Spear kalibruote (Ferry, Spear, 1978). Slėgiui įvertinti naudota metamorfinės plagioklazo-granato-biotito bei T. Hoisch kalibruotė (Hoisch, 1990).

Geochronologiniai metodai. Šiame darbe taikyti du mineralų datavimo būdai: U/Pb metodas terminiu joniniu masės spektrometru (angl. TIMS, thermal ionization mass spectrometry) ir U/Pb metodas jautrios aukštos rezoliucijos (gebos) jonų mikrozondų (10 pav., angl. SHRIMP, Sensitive High Resolution Ion MicroProbe).

Taikant *U/Pb metodą pagal TIMS technologiją* labai svarbu buvo tinkamai paruošti uolienos pavyzdžius. Uolienos pavyzdys buvo mechaniškai apdorotas Termoizoliacijos instituto laboratorijoje: supjaustytas ir susmulkintas iki 0,50 mm frakcijos. Toliau uolienos milteliai buvo išplauti ir išdžiovinti Hidrogeologijos ir inžinerinės geologijos katedros laboratorijoje ir panaudojus binokuliarinį mikroskopą buvo atrinkti titanito grūdai Geologijos ir mineralogijos katedroje.

U/Pb metodu titanitas buvo datuotas Prekambro geologijos ir geochronologijos institute, Sankt Peterburge su terminiu joniniu masės spektrometru (*Finnigan MAT 261*) statiniu būdu. Iš mechaniškai sutrupintos uolienos titanitai buvo išskirti naudojant standartinius sunkiųjų skysčių ir magnetinės separacijos technologijas. Išrinkti ir panaudoti tik švarūs titanitai, be jokių intarpų. Po to jie buvo plauti karštame dejonizuotame vandenyje, siekiant išvalyti užterštą paviršių, ir pridėti $^{202}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ atomai (angl. tracer) prieš apdorojant HF/HNO₃ koncentrate Krogho tipo tirpinimo induose (Krogh, 1973). Pb buvo išskirtas naudojant HCl–HBr tirpalus, o U – naudojant EICHRON® dervą. Susumavus ruošinius gauta 0,01–0,05 ng Pb ir 0,001 ng U.



10 pav. Korėjos bazinių mokslų instituto laboratorija: A) SHRIMP IIe technologija Korėjos bazinių mokslų institute, B) Skenuojantis elektroninis mikroskopas Korėjos bazinių mokslų institute.

Naudotos PbDAT ir ISOPLOT *Ludwig* programos (1991, 1999) apskaičiuoti U/Pb santykiams ir sudaryti konkordijai 2σ lygyje. Steiger ir Jaeger skilimo konstantos

(1977) panaudotos amžiaus apskaičiavimui, o Pb pataisos padarytos naudojant Stacey and Kramers vertes (1975).

U/Pb metodais jautrios aukštos rezoliucijos joniniu mikrozondų (*SHRIMP IIe*) (10 A pav.). Cirkonai U/Pb geochronologijai (Suzuki, Kato, 2008) buvo atrinkti aštuoni pavyzdžiai iš čarnokitoidinių ir granitinių uolienų panaudojant standartinius atrinkimo būdus (Cho, 2004): smulkinimą, magnetinę separaciją ir sunkiuosius skysčius. Apie 60-70 cirkonų iš kiekvieno pavyzdžio kartu su FC1 cirkonų standartu įmantuoti į 25,4 mm sintetinės dervos diską. Šis standartas atitinka 0,0688 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ santykį ir 1099 Ma amžių (Paces ir Miller, 1993). Sintetinis dervos diskas buvo valomas acetono, alkoholio ir naftingais skysčiais ir nušlifuotas iki cirkono grūdų centro. Siekiant analizuoti cirkonų vidines struktūras buvo padarytos atgal atsispindinčių elektronų ir katodoliuminisencinės šviesos nuotraukos skenuojančiu elektroniniu mikroskopu (JEOL JSM-6610V) Korėjos bazinių mokslų institute (10 B pav.). U/Pb cirkonų izotopinis amžius nustatytas naudojant SHRIMP IIe technologiją Pietų Korėjos bazinių mokslų institute, Ochang, Pietų Korėjoje. U/Pb izotopiniai rezultatai susdaryti 1σ ir 2σ lygiuose. Duomenų apdorojimas (įtraukiant švino pataisymus) ir amžiaus apskaičiavimai gauti panaudojus Isoplot/Ex ir Squid2.5 programas (Ludwig, 2009).

3. TELŠIŲ IR DRŪKŠIŲ-POLOCKO DEFORMACIJOS ZONŲ UOLIENŲ PETROGRAFIJA IR SUSIDARYMAS

Petrografiniais, mineralų cheminės analizės, geotermobarometrijos ir geochronologiniais metodais Telšių ir Drūkšių Polocko deformacijos zonose nustatytas įvairaus pobūdžio deformacijos uolienos (silpnai deformuotos, protomilonitai, mezomilonitai, ultramilonitai bei brekčijos ir pseudotachilitai), jų ir mikrostruktūrų susidarymo sąlygos ir laikas.

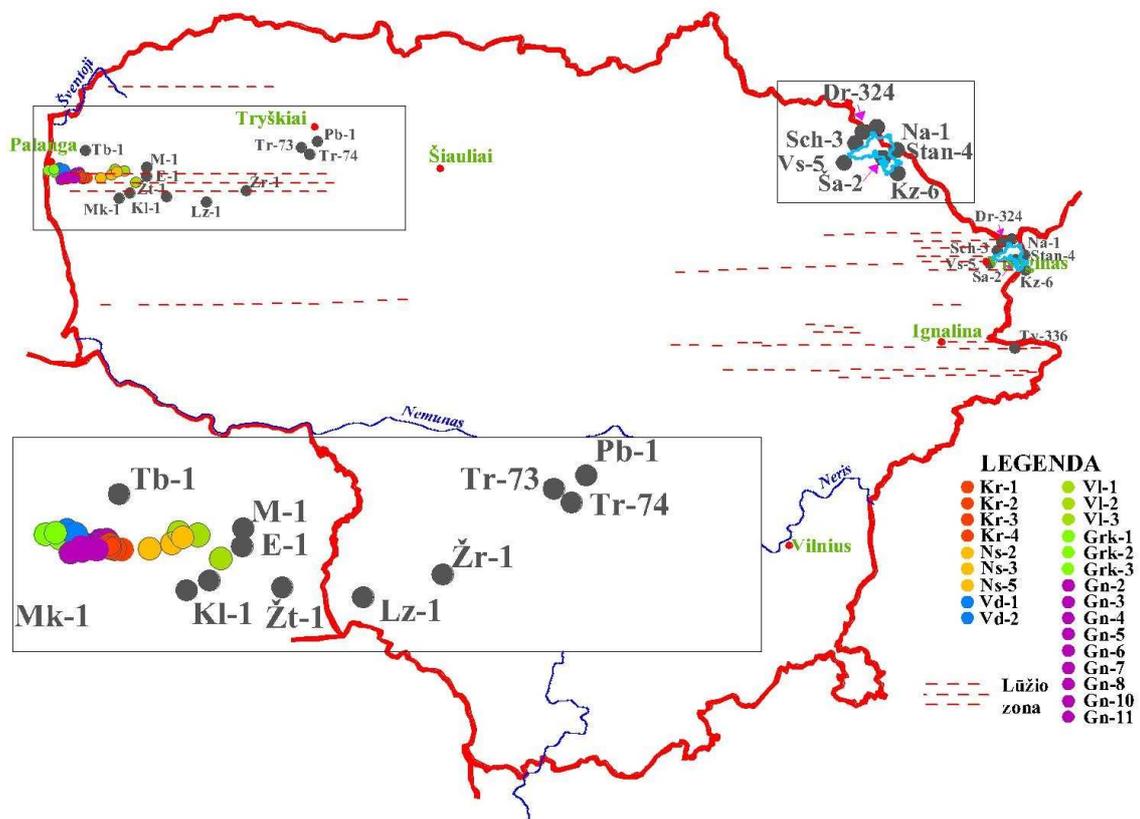
Pagal tai koks deformacijos mechanizmas vyrauja deformacijos zonoje ji skirstoma į tris pagrindinius tipus: trapioji, trapioji-plastinė ir plastinė (Van der Pluijm, Marshak, 2004). Veikiant uolienas plastinei deformacijai plutoje susidaro milonitai. Vykstant mineralų granuliacijai milonitai įgyja jiems charakteringą aiškiai matomą foliaciją, kurią nurodo išstempti mineralai tokie kaip kvarco juostelės ar porfyroklastai. Paprastai, milonitai susidaro įtampos zonose (plastinės šlyties ar skalūnavimo zonos) plutoje (>15 km) ar mantijoje, t. y. žemiau lūžio ar trapiosios šlyties zonos. Jų plotis gali svyruoti nuo keliasdešimt kilometrų iki kelių milimetrų. Dažniausiai naudojama milonitų klasifikacija remiantis matricos procentiniu santykiu porfyroklastų atžvilgiu (Passchier ir Trouw, 2005, Fetetes ir Desmons, 2007): protomilonitai (10-50% matricos), milonitai (ar mezomilonitai, 50-90%) ir ultramilonitai (>90%). Milonitai gali būti panašūs į migmatitus, todėl sunkiai atpažįstami, pavyzdžiui, kaip DPDZ. Uolienos su ryškiomis akimis siūloma vadinti akiniais milonitais arba akiniais gneisais (Vernon, 2004, Passchier ir Trouw, 2005). Šis terminas naudojamas ir šiame darbe. Kai deformuotoje uolienoje vyrauja labai išstempti mineralai, toks milonitas vadinamas juostiniu gneisu. Dar gali būti taikoma milonitų klasifikacija, paremta jų metamorfizmo laipsniu (pvz. aukšto metamorfizmo laipsnio milonitas) ar remiantis litologija bei mineralogija, pavyzdžiui, granitinis milonitas, čarnokitoidinis milonitas, kvarco-feldšpatinis milonitas (Passchier ir Trouw, 2005).

Lūžyje ar trapiosios šlyties zonoje, esančiame virš plastinės šlyties zonos, susidaro trapiosios deformacijos: nerišlios (nerišli brekčija, kataklazitai ir guralas) ar rišlios (brekčija, kataklazitai ir pseudotachilitas) lūžio uolienos (Passchier ir Trouw, 2005). Tranzitinės zonos, t. y. tarp plastinės ir trapiosios šlyties zonų, požymis yra

pseudotachilitas, susidaręs lydantis uolienai dėl pakilusios temperatūros blokų trinties vietoje.

3.1.TELŠIŲ DEFORMACIJOS ZONOS CHARAKTERISTIKA

TDZ buvo tirtos uolienos iš 16 plotų: Eitučių, Genčių, Girkalių, Kretingos, Kulių, Laužų, Mamių, Mikoliškių, Nausodžio, Pabalvės, Tryškių, Tolių, Vėlaičių, Vydmantų, Žutautų ir Žarėnų. Šiame darbe terminas „plotas“ vadinama vieta, kuriuose yra nuo 1 iki 9 gręžinių. Iš viso tirti 42 gręžiniai (11 pav.).



11 pav. Gręžinių vietos, kuriuose tirtos kristalinio pamato uolienos.

Girkalių plotas yra vakarinėje TDZ dalyje, netoli Baltijos jūros. Šiame plote tirti 3 gręžiniai: Girkaliai-1, įsiskverbęs 29 m į kristalinį pamatą, Girkaliai-2 – 346 m ir Girkaliai-3 – apie 20 m. Girkalių plote išskiriami čarnokitoidinės ir granitinės sudėties protomilonitas, mezomilonitas ir ultramilonitas (12 pav. K ir L), vėliau iš jų lokaliai

susidarė brekčija ir pseudotachilitas. Šio ploto grėžiniuose milonitinė foliacijos kritimo kampas kinta nuo 35° iki 80° . Taip pat pastebėtos dažnos granitoidinės gyslos, kurių vienos yra stipriai deformuotos, o kitos – silpnai deformuotos. Dar čia slūgso kelių centimetrų pegmatitų gyslos, dalyje jų aptikti pseudotachilitai. Šiame plote visų grėžinių uolienos yra milonitizuotos, išskyrus granitines gyslas (12 pav. A), kurios sudaro apie 2-5 proc. viso grėžinio. Ultramilonitai daugiausiai išplitę Girkalių plote bei atskiromis juostelėmis – Kretingos plote, o mezomilonitai su juostinio kvarco ir feldšpato struktūromis rasti Nausodžio ir Girkalių plotuose. Atskirais plotais uoliena yra brekčijuota. Ilgiausias brekčijos intervalas, siekiantis apie 50 m kerno, yra Girkaliai-2 grėžinyje. Taip pat čarnokitoiduose ir pegmatituose rasti pseudotachilitai.

Genčių plotas, kaip ir Girkalių plotas, yra vakarinėje TDZ dalyje, tačiau nutolęs labiau į rytus nuo Girkalių ploto. Genčių plote buvo tirti 9 grėžiniai. Giliausiai įsiskverbęs į kristalinį pamatą yra grėžinys Genčiai-4 (iki 22,3 m), o mažiausiai – Genčiai-2 (tik 2 m). Nustatyta, kad Genčių plote išplitę čarnokitoidinės sudėties protomilonitai, mezomilonitai, tame tarpe ir akiniai milonitai (12 pav. D, J, G). Taip pat trapiosios deformacijos uolienos – brekčijos ir pseudotachilitai. Skirtingai nei Girkalių plote, čia ultramilonitų neaptikta. Skvarbiosios foliacijos kritimo kampas, kaip ir Girkalių plote, svyruoja nuo vertikalaus iki 65° . Taip pat čia rastos silpnai deformuotos granito gyslos ir pegmatito gyslos (12 pav. E), sudarančios apie 2-5 proc. viso kerno šiame plote.

Kretingos plotas yra tarp Genčių ir Nausodžio plotų. Šiame plote tirti keturi grėžiniai: Kretinga-1, įgręžtas į kristalinį pamatą apie 17,2 m, Kretinga-2 siekia iki 12 m, Kretinga-3 – įsiskverbęs 11,8 m bei Kretinga-4 – 70 m. Čia vyrauja čarnokitoidinis protomilonitas ir mezomilonitas su stambiomis feldšpatinėmis „akimis“ (12 pav. H, I) bei atskirais ruožais pereina į ultramilonitą (11 pav. N). Skvarbiosios foliacijos kritimo kampas kinta nuo vertikalaus iki 70° kerno ašies atžvilgiu. Taip pat rastos silpnai deformuotos granitoidinės gyslos (12 pav. A). Šio ploto tyrimus apsunkina stiprus uolienų išdūlėjimas, o gausūs kvarco blastai dažnai paslepia ankstesnius milonitizacijos požymius.

Nausodžio plotas yra tarp Kretingos ir Vėlaičių plotų. Šiame plote tirti trys grėžiniai: Nausodis-2, įgręžtas į kristalinį pamatą 18 m, Nausodis-3, įsiskverbęs 7 m, ir Nausodis-5 – apie 20 m gylio. Nausodžio plote vyrauja čarnokitoidinis protomilonitas ir

mezomilonitas su ryškiomis feldšpatų „akimis“. Skvarbiosios foliacijos kritimo kampas yra 70–90°. Čia, kaip ir Girkalių plote, rastas protomilonitas su stipriai ištemptais mineralais (12 pav. M). Dažnai uolienos su tokiomis struktūromis vadinami juostiniais ar “ribbon” gneisais (Passchier ir Trouw, 2005).

Eitučių plotas yra centrinėje TDZ dalyje. Jis išsidėstęs tarp Vėlaičių ir Plungės plotų. Šiame plote tirtas vienas grėžinys – Eitučiai-1, įsiskverbęs apie 18 m į kristalinį pamatą. Petrografiniu požiūriu minėtas grėžinys išsiskiria iš kitų grėžinių savo vienalytiškumu. Čia slūgso čarnokitoidinis protomilonitas (12 pav. F). Reikia atkreipti dėmesį, kad šiame grėžinyje uolienai būdingi labai stambūs porfyroklastai, kurių dydis siekia net 8 cm. Skvarbiąją foliaciją nurodo minėti pagrindiniai mineralai, o jos polinkio kampas – 70° vertikaliosios kerno ašies atžvilgiu.

Mamių plotas yra šiaurinėje TDZ dalyje, kuriam iš vakarinės pusės yra Vėlaičių, iš pietų – Eitučių, iš rytų – Plungės plotai, o iš šiaurės arčiausiai esantis grėžinys yra Salantai-4. Mamių plote buvo tirtas vienas grėžinys, įsiskverbęs apie 13,5 m į kristalinį pamatą. Visame grėžinyje yra čarnokitoidinės sudėties milonitizuota uoliena. Foliacijos kritimo kampas kinta nuo 60° iki 70°.

Vėlaičių, kaip ir Eitučių plotas, yra centrinėje TDZ dalyje. Vėlaičių plotas – tarp Nausodžio ir Eitučių plotų. Tirti 3 grėžiniai: Vėlaičiai-1, įsiskverbęs 4,5 m į kristalinį pamatą, Vėlaičiai-2 – 14,4 m gylio ir Vėlaičiai-3, siekiantis 26 m per kristalinį pamatą. Šiame plote slūgso čarnokitoidinės uolienos. Milonitų foliacijos kritimo kampas kinta nuo vertikalaus iki 60°. Čia uolienos deformuotos visame grėžinyje.

Tryškių plotas yra šiaurės rytinėje TDZ dalyje. Tirti du grėžiniai: Tryškiai-73, įsiskverbęs tik 1,1 m ir Tryškiai-74, siekiantis 2,2 m kristalinio pamato. Šiame plote čarnokitoidų deformacijos intensyvumo pobūdis kinta nuo protomilonito iki mezomilonito. Foliacijos kritimo kampas kinta nuo vertikalaus iki 70°.

Vydmantų plotas, kaip Girkalių ir Genčių plotai, yra vakarinėje TDZ dalyje, tik labiau nutolęs į šiaurę nuo jų. Šiame plote buvo tirti du grėžiniai: Vydmantai-2, įsiskverbęs 39,3 m į kristalinį pamatą ir Vydmantai-1, kuris yra vienas giliausių grėžinių – net 440 m įgręžti į kristalinį pamatą. Mezoskopiškai grėžinio Vydmantai-1 viršutinėje pjūvio dalyje čarnokitoidinės sudėties uolienos silpnai deformuotos (12 pav. B), tačiau giliau pjūvyje deformacijos laipsnis didėja ir uolienos pereina į mezomilonitą su akine struktūra. Dar reikia atkreipti dėmesį į tai, kad uolienos intensyviau milonitizuotos ties

gyslomis, ypač pegmatitų. Viršutinėje gręžinio dalyje uoliena yra masyvi (apie 5 m), gilėjant matoma foliacijos kritimo kampas, kinta nuo 70° iki 40°, o vietomis – vertikalus. Kitame gręžinyje, Vydmantai-2, foliacija uolienoje silpnai išsivysčiusi, tačiau intensyviai paveikta kataklastinių procesų.

Tolių plotas yra pietvakarinėje TDZ dalyje. Šis plotas išsidėstęs tarp Genčių ir Nausodžio plotų, bet šiek tiek piečiau nuo jų. Tolių plote yra du gręžiniai: Toliai-1, įsiskverbęs 16 m į kristalinį pamatą, tačiau kerno paimta tik vienas metras. Kitas gręžinys, Toliai –2, kaip ir Toliai-1, įsiskverbęs apie 16 m į kristalinį pamatą, bet kerno tėra tik 2,4 m. Šiame plote slūgso čarnokitoidai. Foliacijos kritimo kampas gręžinyje Toliai-2 yra vertikalus. Nustatyta, kad gręžinyje Toliai-1 uolienos yra silpniau deformuotos nei gręžinyje Toliai-2, todėl atitinkamai skiriamos silpnai deformuotų uolienu ir protomilonito grupės. Reikia atkreipti dėmesį, kad kerno tyrimus apsunkina mažas kerno skersmuo, kuris tėra tik 2,7 cm (didžiausias kerno skersmuo TDZ siekia apie 7,8 cm). Be to, Tolių plote tyrimus apsunkina negausi šlifų kolekcija bei prasta jų kokybė.

Žutautų plotas yra centrinės TDZ dalies pietuose. Arčiausi gręžiniai iš vakarinės pusės yra Mikoliškės-1, iš šiaurės – Ablinga-3, iš rytų – Kuliai-1, o iš pietų arčiausiai esantys gręžiniai yra Vėlaičiai-2 ir Eitučiai-1. Šiame plote buvo tiriamas vienas gręžinys Žutautai-1, įsiskverbęs tik 1 m į kristalinį pamatą. Be to, mezoskopinius tyrimus, kaip ir Tolių ploto, apsunkina mažas kerno skersmuo, siekiantis tik 3,7 cm. Gręžinyje vyrauja silpnai deformuoti čarnokitoidai.

Laužų plotas – pietrytinėje TDZ dalyje tarp gręžinių Kuliai-1 ir Žarėnai-1. Šiame plote yra vienas gręžinys – Laužai-1, įsiskverbęs 3,5 m į kristalinį pamatą. Kerno skersmuo, kaip ir Tolių bei Žutautų plotų, yra labai mažas – tik 3,5 cm. Čia čarnokitoidai yra stipriai paveikti milonitizacijos. Jos priskiriamos protomilonito tipui.

Mikoliškių plotas yra pietrytinėje TDZ dalyje. Minėtam plotui iš vakarų pusės yra gręžinys Purmaliai-2, iš šiaurės – Žutautai-1, iš rytų – Kuliai-1, o iš pietų arčiausiai yra gręžinys Gribžėnai-2. Šiame plote buvo tirtas vienas gręžinys – Mikoliškės-1, įsiskverbęs 64 m į kristalinį pamatą. Kerno išsaugota tik 7 metrai. Šis gręžinys išsiskiria tuo, kad čia, kaip ir Vydmantai-2, aptiktas ryškus silpnai deformuotų uolienu kontaktas (apie 6,30 metrus) su mezomilonitais, kurių skvarbiosios foliacijos kritimo kampas yra horizontalus (tęsiasi apie 30 cm kerne, 12 pav. C).



12 pav. Makroskopinė tirtų uolienų klasifikacija Telšių deformacijos zonoje: **Silpnai deformuotos uolienos:** A) Silpnai deformuoto granito gysla iš grėž. Kretinga-1; B) Silpnai deformuotas čarnokitoidas iš grėž. Vydmantai-1; C) Silpnai deformuotų uolienų kontaktas su mezomilonitu iš grėž. Mikoliškės-1; D) Silpnai deformuotos granito gyslos ir milonitizuoto čarnokitoido kontaktas iš grėž. Genčiai-6, E) Pegmatito gysla iš grėž. Genčiai-6; **proto- ir mezomilonitai:** F) Akinis protomilonitas iš grėž. Eitučiai, G) Akinis mezomilonitas iš grėž. Genčiai-4, H) Akinis mezomilonitas iš grėž. Kretinga-1; I) Akinis protomilonitas iš grėž. Kretinga-1; J) A) Milonitizuota stambiagrūdžio granito gysla ir B) granito gysla įsiterpusi į čarnokitoidus, grėž. Genčiai-6; **ultramilonitai:** K) Ultramilonitas iš grėž. Girkaliai-2, L) Mezomilonitas su stipriai išstemptu K-feldšpatu ir kvarcu iš grėž. Girkaliai-2, M) Mezomilonitas su juostinio kvarco struktūromis iš grėž. Nausodis-3, N) Ultramilonitas iš grėž. Kretinga-1. Kerno skersmuo – 7,8 cm.

Kulių plotas yra pietrytinėje TDZ dalyje. Minėtam plotui iš vakarinės pusės yra grėžinys Mikoliškės-1, iš šiaurės – Plungės plotas, iš rytų – Laužai-1, o iš pietų arčiausiai esantis yra Ablingos plotas. Šiame plote išgrėžtas vienas grėžinys – Kuliai-1, įsiskverbęs 13,8 m į kristalinį pamatą. Kerno diametras, kaip ir Tolių, Žutautų bei Laužų plotų yra labai mažas – tik 2,5 cm, todėl deformacijos pobūdį sudėtinga nustatyti. Čia slūgso silpnai deformuoti čarnokitoidai.

Žarėnų plotas yra rytinėje TDZ dalyje. Minėtas plotas yra tarp Laužai-1 ir Syderiai-1, nuo jo į rytus nutolęs Tryškiai-74. Tenka apgailestauti, kad Žarėnų ploto šlifų kolekcija nėra gausi, todėl apsunkina tyrimus. Išanalizavus turimą medžiagą uolienos priskirtos čarnokitoidinio mezomilonito tipui.

Pabalvės plotas yra labiausiai į rytus nutolusioje TDZ dalyje. Arčiausiai jo yra Tryškių plotas. Buvo tiriamas vienas grėžinys – Pabalvė-1, įsiskverbęs 22 m į kristalinį pamatą, tačiau kerno paimta tik 2,2 m, kurio 0,6 m yra su 7,8 cm ir 1,6 m su 2,7 cm skersmeniu. Visame grėžinyje čarnokitoidinės ir granitinės sudėties mezomilonitai yra stipriai brekčijuoti.

Telšių deformacijos zonoje uolienos skirstomos pagal protolitą ir deformacijos pobūdį. Pagal protolitą jos suskirstitos į tris grupes: **čarnokitoidų**, **granitoidų** ir **metapelitų**, o pagal deformacijos pobūdį į pekis tipus: *silpnai deformuotos uolienos, protomilonitas, mezomilonitas, ultramilonitas, brekčija ir pseudotachilitai*.

3.2. TELŠIŲ DEFORMACIJOS ZONOS UOLIENŲ PETROGRAFINĖ IR MIKROSTRUKTŪRINĖ CHARAKTERISTIKA IR KLASIFIKACIJA (ŠIAURĖS VAKARINĖ LIETUVOS DALIS)

3.2.1. Čarnokitoidai: silpnai deformuoti, protomilonitai, mezomilonitai ir ultramilonitai

Silpnai deformuoti čarnokitoidai

Silpnai deformuoti čarnokitoidai yra pilkos ir rausvai pilkos spalvos stambiagrūdės uolienos. Jos aptiktos grėžiniuose Kuliai-1, Žutautai-1, Vydmantai-1 ir -2 (12 pav. B), Mikoliškės-1 ir Toliai-1, Mamiai-1, t. y. ŠV ir PV TDZ dalyse išlikę

atskiris plotais. Silpnai deformuotą uolieną sudaro pagrindiniai mineralai: plagioklazas, biotitas, K-feldšpatas, kvarcas, \pm granatas ir \pm piroksenas. Iš akcesorinių būdingi magnetitas, apatitas, cirkonas ir monacitas. Cirkono grūdai papildomai analizuoti šiame darbe U/Pb metodu pagal SHRIMP technologiją. Šiai uolienų grupei būdinga tai, kad mineralai yra be orientacijos, išskyrus Toliai-1, kuriame silpnai išsivystęs gneisiškumas yra 40° vertikaliosios kerno ašies atžvilgiu.

Kerne stambūs plagioklazai vietomis siekia > 5 cm. Mikroskopiškai pavieniai plagioklazai yra su paprastais dvynučiais (13 pav. A), rodantys uolienos magminę kilmę. Kiti plagioklazai turi polisintetinius dvynučius, kurių pakraščiai dažnai yra perkristalizuoti, todėl susidarė nauji smulkūs feldšpatų grūdai.

Stambūs kvarco grūdai (apie 5 mm) yra ištempti, su banguotu užgesimu ir nelygiomis ribomis, kurių pakraštyje susiformavo nauji kvarco grūdai (13 pav. D).

Biotitas yra rudos spalvos (13 pav. M). Jo dydis kinta nuo 2 mm iki 0,2 mm. Biotito yra nedaug minėtuose grėžiniuose, išskyrus grėžinį Vydmantai-2, kuriame jis išlikęs intarpų pavidalu granatuose bei sudaro sankaupas ar vainikines struktūras aplink granatą. Biotitas yra išsidėstęs šalia plagioklazo, granato ir pirokseno.

Ortopirokseno (>2 mm) matomi atskiri grūdai, o vietomis taip stipriai išdūlėjęs, kad atpažįstamas tik pagal jo formą remiantis kitų grėžinių analize. Jis dažniausiai aptiktas paragenezėje su biotitu ir magnetitu (13 pav. J).

Granatas yra stambus (4 mm) su daugybe biotito ir magnetito intarpų (13 pav. G ir J). Granatas dažniausiai esti šalia pirokseno.

Visi minėti mineralai yra be orientacijos, jie išsidėstę padrikai, išskyrus atskirus plotus, kur matyti jų silpnas kryptingumas.

Špinelė yra žalios spalvos, aptikta magnetite. Pastebėta, kad Kulių ploto uolienoje, kaip ir grėžinio Genčiai-11, vietomis milonitizacijos požymiai matyti siaurų mikrošlyties zonų (1 mm) pavidalu, kurios išsidėstė palei stambių grūdų ilgąsias ašis. Jas sudaro kvarco-feldšpatinė smulkiagrūdė masė.

Protomilonitai ir mezomilonitai

Protomilonitą ir mezomilonitą sudaro šie pagrindiniai mineralai: plagioklazas, K-feldšpatas, granatas, kvarcas, biotitas ir piroksenas. Būdingi akcesoriniai

mineralai yra cirkonas, monacitas, magnetitas ir apatitas. Skirtingai nei protomilonite, mezomilonite mažiau išlikę porfiroklastų ir labiau išsivysčiusi foliacija. Cirkonų datavimas atliktas U/Pb izotopiniu metodu.

Feldšpatai

Plagioklazai yra gausūs milonitinėse uolienose. Stambūs plagioklazų grūdai su paprastaisiais dvynučiais yra reliktai pirminės magminės uolienos. Plagioklazuose su polisintetiniais dvynučiais dažni pertitai bei gausu juose kamuotos formos intarpų, ypač biotito ir magnetito. Akiniuose milonituose plagioklazai vietomis siekia iki 8 cm. Milonitų akys sudarytos iš feldšpatų kristalų ir granitinės sudėties ksenolitų. Pastebėta, kad Genčių plote būdingas netolygus K-feldšpato ir plagioklazo pasiskirstymas, t. y. uolienoje susidarė juostelės: vienoje jų vyrauja plagioklazas, o kitose – mikroklinas. Plagioklazas dažnai yra netaisyklingos formos – persuktas, ištemptas, vietomis budinuotas. Plagioklazai turi banguotą užgesimą bei vietomis plagioklazų megakristai turi lyg „aplydytus“ pakraštėlius (grėžinyje Toliai-2). Žarėnų plote vietomis plagioklazus kertantys plyšiai yra užpildyti tamsiaisiais mineralais (galbūt magnetitu, 15 pav. F). Plagioklazų porfiroklastai yra trijų tipų: teta, sigma ir delta, kurių uodegos sudarytos iš perkristalizuotos smulkiagrūdės plagioklazo masės (13 pav. B ir 15 H). Susidarė taip vadinama branduolio-apvadėlio struktūra arba „porfiroklastai su apvadėliais“ (Passchier, Simpson, 1986; Blenkinsop, 2000; Hanmer, Passchier, 2001; Vernon, 1976, 2004; Passchier ir Trouw, 2005; Vernon, Clarke, 2008). Tokios struktūros yra svarbūs kinematiniai rodikliai. Vėliau, plagioklazo įtrūkimo vietose susidarė siauros šlyties zonelės skersai kertančios grūdą ir išsidėsčiusios lygiagrečiai viena kitai (15 pav. C, D, E). Aplink plagioklazo grūdus dažni koloniniai mirmekitai, susidarę padidėjusiose streso vietose (Simpson ir Wintsch, 1989; Shelly, 1993), ypač grėžinyje Genčiai-10 (13 O ir 15 pav. I). Mezoskopiškai ir mikroskopiškai užfiksuotos plagioklazų budinos, rodančios, jog uolieną veikė tempimo ir spaudimo jėgos (15 pav. G). Nausodžio plote mezomilonite plagioklazo porfiroklastai yra taip stipriai ištempti ir suploti, kad įgavo juostelių pavidalą (13 pav. C). Stambiuose grūduose susidarė mikrogyslutės, kertančios jį skersai. Keliuose grėžiniuose plagioklazas labai stipriai išdūlėjęs ir praktiškai atsekamas tik pagal išlikusią formą (13 pav. N). Viršutinėje pjūvio dalyje plagioklazo akys yra stipriai pakitusios ir pakeistos į sericitą ir karbonatus.

Stambūs mikroklinai su kryžminiais dvynučiais („tartan“ struktūra) yra stipriai deformuoti – ovalios ar rombo formos (15 pav. B). Jų pakraščiuose dėl granuliacijos susidarė nauji mikrokliно grūdėliai. Taip pat dar pastebėtos mikrozonelės, sudarytos iš itin smulkiagrūdžių mikroklinų, kertančios skersai stambius feldšpato grūdus.

Granatas

Granatas aptiktas beveik visuose gręžiniuose, išskyrus gręžinius Mikoliškės-1 ir Pabalvė-1. TDZ milonituose granato grūdai nustatyti dviejų dydžių: vieno dydis yra >4 mm, o kitų – $<0,2$ mm. Stambesnių granatų morfologija kinta nuo ovalios iki stipriai ištemptos formos (13 pav. H ir 15 pav. L). Kartu su plagioklazu ir biotitu nurodo skvarbiają foliaciją, o vietomis ji išnyksta. Granatai talpina gausius biotito, rečiau kvarco ir plagioklazo intarpus. Stambius granatus apjuosia šleifas, sudarytas iš smulkiagrūdžių plagioklazo, kvarco ir biotito mineralų. Taip pat granatuose matomi pakitę jų pakraščiai dėl reakcijų (15 pav. M). Stambaus granato pakraštys paragenezėje su plagioklazu yra žymiai tamsesnis nei centrinė jo dalis. Šis požymis rodo, kad granatas yra heterogeniškas, kurio branduolys gal būt išliko mažiau paveiktas slėgio nei jo pakraštys. Vietomis granatas yra labai stipriai ištemptas ir dalinai perkristalizuotas į smulkiagrūdžius granatus, dalis jų turi uodegas (13 pav. H). Tokios struktūros vadinamos mozaikiniu fragmentiniu porfyroklastu (Passchier ir Trouw, 2005). Jie kartu su biotitu bei magnetitu sudaro foliaciją, kuri gaubia stambius plagioklazo porfyroklastus. Dalis granatų yra su sukimosi požymiais ir išsidėstę foliacijos plokštumoje bei rodo asimetrinius ar simetrinius slėgio šešėlius abiejose kristalų pusėse (15 pav. J). Tokie granatai galimai susidarė prieš deformaciją ar jos metu. Kai kuriuose granatuose matomi įvairių krypčių plyšiai, kurie užpildyti žematemperatūrine medžiaga, kuri yra vėlesnių kataklastinių procesų rezultatas.

Kvarcas

Kvarcas yra trijų formų: stambūs grūdai (4 mm) su nelygiais pakraštėliais ir banguotu užgesimu, vidutingrūdis poligoninis kvarcas (1 mm) ir itin smulkiagrūdis (0,1 mm) su lygiomis ribomis (13 D, E, F). Iš pirminių kvarco grūdų susidarė subgrūdai ir nauji kvarco grūdai dėl grūdų rotacijos ir neoperkristalizacijos prie aukštos temperatūros. Vidutingrūdžiai kvarco blastai sudaro atskirus ruožus ar gyslas. Statinės perkristalizacijos metu grūdai atsistatė po apkrovos, t. y., kai uolienose buvo

deformacijos pertrauka, tačiau dar laikėsi aukštatemperatūrinis režimas. Kvarco juostelės taip pat rodo aukštos temperatūros formavimosi sąlygas. Ypač jos gerai išliko Girkalių, Genčių ir Nausodžio plotuose. Tryškiuose vyrauja ypač labai stipriai ištempti kvarco grūdai. Fluidai, tikriausiai, darė svarbią įtaką kvarco deformavimuisi, nes net mažas kiekis vandens tarp kristalų įtakoja kvarco plastiškumą, todėl kvarcas įgavo stipriai ištemptą formą. Vandens fazė padidina difuziją tarp grūdų ribų ir cheminių reakcijų greitį, todėl viduje grūdo „atidaro“ laikinus plyšius, sukurdamas „efektyvų stresą“ lygiagrečiai grūdo ribų (Vernon, 2004). Mezoskopiniais tyrimais nustatyta, kad Mamių plote kvarcas išsiskyrė iš kitų plotų tuo, jog jis turi melsvą atspalvį.

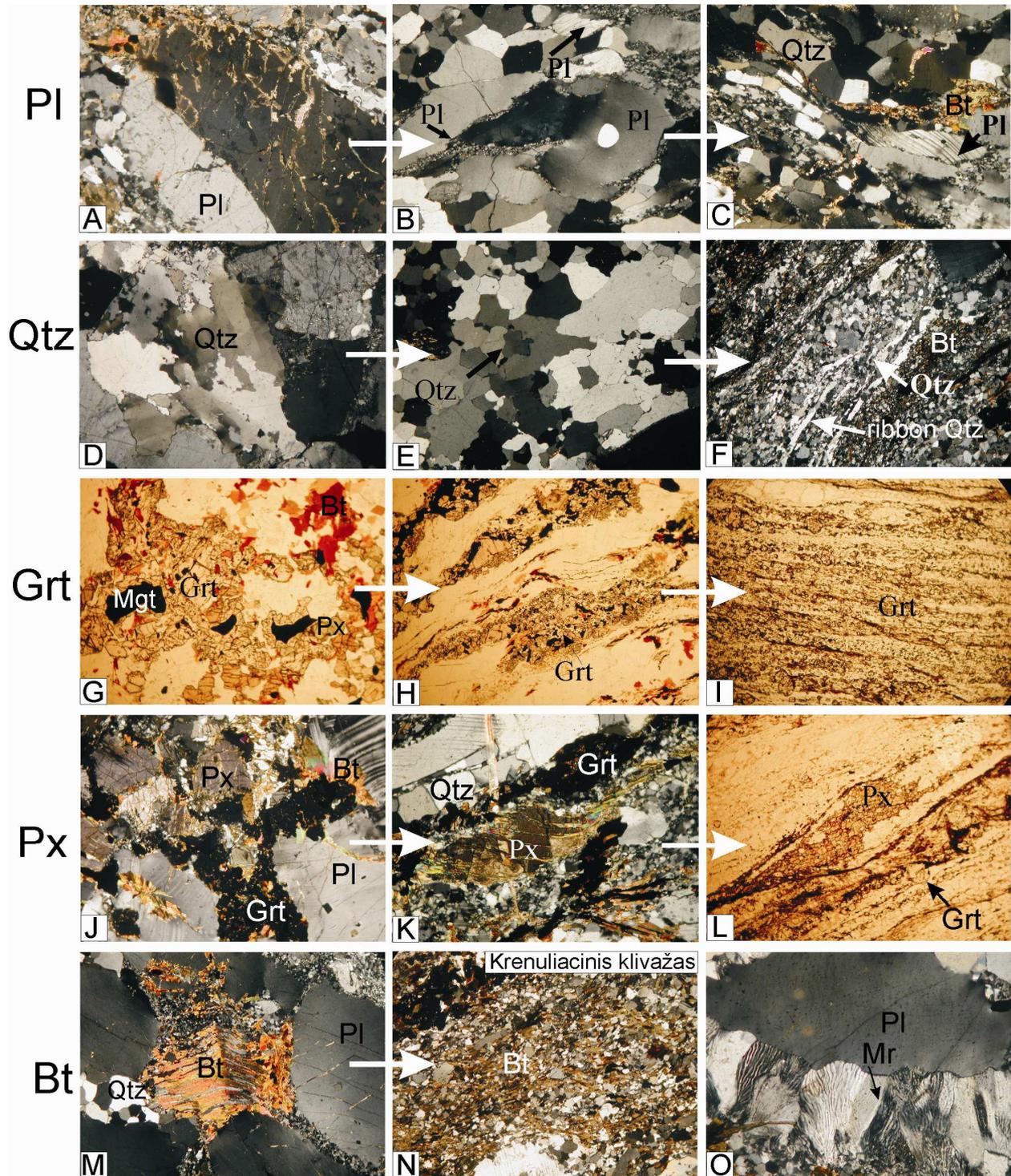
Biotitas

Stambūs biotito lakštai (4 mm) yra netaisyklingos formos, su banguotu užgesimu ar lenkimo juostomis (angl. kink). Jie yra reti uolienoje. Rudas smulkiagrūdis (<0,1 mm) biotitas dažniausiai yra išsidėstęs kryptingai ir jungiasi į atskiras juosteles, kurios apgaubia stambesnius kristalus ir susilieja su skvarbiąja foliacija (15 pav. L). Smulkiagrūdžiai biotitai dominuoja aukštos įtampos srityse (M domenuose) plonų juostelių pavidalu, kurios apjuosia deformacijai atsparesnius mineralus – granatus ir plagioklazus. Taip pat jis aptinkamas intarpų pavidalu plagioklaze ir granate. Yra matomos vainikinės biotito struktūros – jis apaugęs aplink granatus (15 pav. N) ar tamsiuosius mineralus, pavyzdžiui, magnetitą. Biotitas dar aptiktas slėgio šešėliuose, susidariusiuose deformacijos metu. Stebimi stambūs biotitai kurie yra praradę savo pirminį pavidalą ir panašūs į rudos spalvos netaisyklingas (išskydusias) dėmes. Pastebėta, kad biotitas ypač dažnai esti paragenezėje su magnetitu ar granatu. Biotitas nurodantis krenuliacinį raukšlėtumą, kuris silpnai išreikštas ir matomas 15 O paveiksle, gali būti buvo perkristalizuotas jau vėlyvesnės deformacijos etape. Dalis biotitų dėl antrinių procesų yra chloritizuoti ar pakeisti muskovitu.

Piroksenas

Piroksenas (2–3 mm) yra išsidėstęs skvarbiosios foliacijos kryptimi. Dalis ortopiroksenų yra labai stipriai ištempti. Jis aptiktas paragenezėje kartu su granatu ir magnetitu bei biotitu. Piroksenas stipriai deformuotas, ypač Nausodžio plote, kur įgavo rombo formą (13 pav. K). Ortopiroksenas patyrė granuliaciją, todėl jo pakraštyje susidarė nauji maži grūdai. Vietomis tie grūdai ištyso šlyties kryptimi ir suformavo asimetrines uodegas. Dažnai piroksenas yra labai gerai išsilaikęs ir nepakitęs dėl antrinių procesų.

Ortopirokseno dūlėjimo vietose susidarė atskiri plyšiai, užpildyti jau vėliau susidariusia medžiaga. Tryškių plote aplink pirokseną matomi naujai susidarę granato ir amfibolo



13. pav. Mikrostruktūros tirtų uolienų iš Telšių deformacijos zonos demonstruoja skirtingą plastinės deformacijos pobūdį: A) Plagioklazo reliktas su paprastu dvynučiu rodo čarnokitoido magminę kilmę (Genčiai-10), SN; B) Plagioklazaras su banguotu užgesimu ir sukimosi požymiais čarnokitoidiniame mezomilonite (Nausodis-5), SN; C) Stipriai ištemptas plagioklazaras (centre) čarno (Nausodis-2), SN; D) Ištempti kvarco grūdai deformuotame čarnokitoido (Mamiai-1), SN; E) Kvarcas su netaisyklingomis ribomis susidarė dėl grūdų-ribų migracijos perkristalizacijos (Genčiai-4), SN; F) Dalinai perkristalizuotas plagioklazaras į naujus mažesnio dydžio grūdus čarnokitiniame ultramilonite (Girkaliai-3). Milonitinę foliaciją ypač gerai žymi juostinis kvarcas, SN; G) Stambus granatas su magnetite ir biotito tarpais silpnai deformuotame čarnokitoido (Eitučiai-1), NN; H) Stambus granatas

perkristalizuotas į smulkesnius, kurie išsidėstę palei foliaciją čarnokitoidiniame mezomilonite (Nausodis-2), NN; I) Granatas pilnai perkristalizuotas į smulkius granatus čarnokitiniame milonite (Girkaliai-3), NN; J) Silpnai deformuotas čarnokitoidas sudarytas iš plagioklazo, K-feldšpatu, pirokseno, biotito ir granato (Vydmantai-1), SN; K) Asimetrinė pirokseno forma rodo kairinio stūmio kryptį ir rodo sukimasi čarnokitiniame mezomilonite (Nausodis-2), SN; L) Ortopiroksenas perkristalizuotas į smulkius piroksenus čarnokitoidiniame ultramilonite (Girkaliai-3), NN; M) Sulenktas biotito kristalas su dalinai perkristalizuotu jo pakraščiu, iš kurio susidarė nauji grūdai akiniame milonite (Genčiai-4), SN; N) Krenuliacinį klivažą rodo smulkiagrūdis biotitas. Tokios struktūros susidarė kompresijos metu čarnokitoidiniame ultramilonite (Girkaliai-3), SN; O) Mirmekitai, susidarė spaudimo sąlygomis lygiagrečiai grūdo ilgosios ašies čarnokitiniame akiniame milonite (Genčiai-4), SN. Sutrumpinimai: Plagioklazas (Pl), kvarcas (Qtz), granatas (Grt), piroksenas (Px), biotitas (Bt), magnetitas (Mgt), mirmekitas (Mr), Sukryžiuoti nikoliai (SN), nesukryžiuoti nikoliai (NN). Nuotraukų dydis yra 3 mm, išskyrus O – 1,5 mm. Baltos rodyklės rodo deformacijos intensyvumo didėjimą.

supantys jį plonomis juostelėmis (15 pav. K). Piroksenas yra labai pakitęs dėl antrinių procesų, todėl jo cheminę sudėtį sunku nustatyti. Jis atpažįstamas pagal išlikusią mineralo formą remiantis kitų gręžinių analize. Amfibolai (<1 mm) dar rasti Vėlaičių gręžinyje, kur jie yra kryptingai išsidėstę, dalis jų yra stipriai ištempti ar/ir budinuoti. Gręžiniuose Mikoliškės-1 ir Pabalvė-1 piroksenas nebuvo aptiktas.

Ultramilonitai

Ultramilonitas surastas Girkalių plote. Jį sudaro šie pagrindiniai mineralai: plagioklazas, granatas, biotitas, kvarcas, ortopiroksenas, K-feldšpatas, ±klinopiroksenas, nurodantys skvarbiają foliaciją. Iš akcesorinių mineralų išplitę cirkonas, monacitas ir apatitas.

Plagioklazas

Stambūs plagioklazai (4 mm) ultramilonituose yra teta (θ) arba sigma (σ) formos, kurią nurodo jų uodegos, sudarytos iš perkristalizuotos smulkiagrūdės (~ 0,1 mm) plagioklazo ir sudaro branduolio-apvadėlio struktūrą (15 pav. H). Pirminiuose stambiuose plagioklazuose gausu kampuotos formos intarpų, ypač biotito ir magnetito. Stambių plagioklazų pakraščiuose nauji plagioklazo grūdai susidarė dėl dinaminės perkristalizacijos. Vietomis porfyroklastus kerta plyšiai ar mikrozonos, užpildytos smulkiagrūdžiais plagioklazų agregatais.

Granatas

TDZ ultramilonituose granato grūdai yra nustatyti dviejų dydžių. Pavieniai granatai yra išlikę elipsės ar ištemptos formos apie 2,5 mm ilgio, o kiti – mažesni nei 0,2 mm, (15 pav. L). Granatai talpina gausius biotito, rečiau kvarco ir plagioklazo intarpus.

Kartu su plagioklazu ir biotitu nurodo skvarbiają foliaciją. Uolienoje yra pastebimas nevienodas deformacijos pasiskirstymas, ypač grėžinyje Girkaliai-3. Tie granatai, kurie pateko į aukštos įtampos zoną, pamažu nyko (mažėjo) (13 pav. I), o žemos įtampos zonose granatai tapo atriboti ir išliko mažiau pakitę bei stambesni (15 pav. L). Tokie stambūs granatai yra apjuosti šleifu, sudarytu iš smulkiagrūdžių plagioklazo, kvarco ir biotito. Mikrostruktūrinė analizė rodo, kad dinaminės perkristalizacijos metu granatų pakraščiai buvo stipriai aptrinti ir susiformavo smulkiagrūdžiai granatai, susitelkę į grupes žemos įtampos zonose ir suformuodami plonus sluoksnius uolienoje (13 pav. I).

Biotitas

Biotitas yra rudos spalvos, jo dydis kinta nuo 0,1 mm iki 0,5 mm. Smulkiagrūdis biotitas dažniausiai yra išsidėstęs viena kryptimi ir sudaro skvarbiają foliaciją. Aukštos įtampos srityse smulkiagrūdžiai biotitai jungiasi į plonas juosteles, kurios apjuosia granatus ir plagioklazus. Taip pat biotitas aptinkamas tarpų pavidalu plagioklaze ir granate. Vietomis išlikę stambesni biotito grūdai yra netaisyklingos formos, su banguotu užgesimu ar lenkimo juostomis. Atskiromis juostelėmis smulkiagrūdis biotitas kartu su rūdiniais mineralais sudaro krenuliacinio raukšlėtumo juosteles, kurios slūgso apie 30° kampu pagrindinės foliacijos atžvilgiu (13 pav. N ir 15 pav. O).

Kvarcas

Kvarcas sudaro granoblastines sankaupas. Šių grūdų ribos nėra visiškai lygios, jos tarpusavyje jungiasi 120° kampu. Dalis kvarco yra plonų juostelių formos (13 pav. F), susidariusios dėl dinaminės perkristalizacijos. Tuo tarpu poligoninis kvarcas rodo, kad grūdai jau atsistatė po įtampų esant aukštai temperatūrai, t. y. postdeformaciniame etape dekompresiniame režime. Tokios tekstūros ypač gerai išlikę grėžinio Girkaliai-3 pavyzdžiuose.

Piroksenas

Ortopiroksenų grūdai ultramilonituose rasti trijose pozicijose: piroksenų porfyroklastai (1 mm), smulkūs piroksenai (0,2 mm, 15 pav. H) porfyroklasto pakraštyje ir porfyroklastų uodegose. Piroksenų porfyroklastai yra ištemti ir sulenkti, tarsi būtų sugofruoti. Dalis piroksenų taip stipriai ištempti, kad įgavo juostelių pavidalą, kurios išsidėstę lygiagrečiai skvarbiosios foliacijos. Porfyroklastų pakraščiuose dėl grūdų ribų perkristalizacijos susidarė smulkiagrūdžiai nauji piroksenų grūdai – ortopiroksenai ir

klinopiroksenai (0,2 mm). Taip pat dar matomi smulkūs piroksenai ištemptų porfyroklastų „uodegose“ (13 L pav.). Jie yra apvalios formos apie 0,2 mm dydžio. Stambūs porfyroklastai su asimetrinėmis uodegomis yra svarbūs kinematiniai rodikliai.

3.2 2. Granitoidai ir pegmatitai: silpnai deformuoti ir mezomilonitai

Silpnai deformuoti granitai ir pegmatitai

Silpnai deformuotos granitinės gyslos slūgso nedarniai su talpinančia uoliena, t. y. čarnokitoidais ir juos nedarniai kerta (12 pav. D). Makroskopiškai, tai raudonos spalvos granitas, kurio struktūra kinta nuo smulkiagrūdžio iki vidutingrūdžio (12 pav. A). Jis išplitęs tik vakarinėje TDZ dalyje – Girkalių, Genčių, Kretingos ir Vydmantų plotuose. Gyslų storius yra sudėtinga išmatuoti, nes kerne tėra išlikęs tik vienas viršutinis arba apatinis jų kontaktas su čarnokitoidais kerne. Jų storis kinta nuo kelių iki 10 centimetrų. Mikroskopiškai jį sudaro šie pagrindiniai mineralai: K-feldšpatai, biotitas, kvarcas, kurie išsidėstę netvarkingai ar su labai silpnai išsivysčiusiu mineralų kryptingumu. Iš akcesorių mineralų yra būdingi monacitas, cirkonas ir rūdiniai mineralai. Cirkono grūdai šiame darbe datuoti U/Pb metodu, SHRIMP technologija. Genčių plote granitas yra labiau stambiagrūdis ir mažiau padūlėjęs nei kituose plotuose.

Pegmatito gyslos yra stambiagrūdės, rausvos spalvos (12 pav. E). Jos surastos Girkalių ir Genčių plotuose. Jų kontaktas ryškus su talpinančia uoliena, storis siekia nuo keliasdešimt centimetrų iki metro. Pegmatitą sudaro mikroklinas, kvarcas ir biotitas. Dalis jų talpina pseudotachilito gyslas.

Mezomilonitai

Stambiagrūdžiai granitiniai milonitai (12 pav. J) aptiktos Girkalių, Kretingos, Nausodžio, Genčių, Laužų, Kulių ir Pabalvė grėžiniuose. Milonitizuotų granitinių gyslų polinkio kampas yra kaip ir čarnokitoidinių milonitų – vertikalus ar 80°, t. y. jie slūgso darniai su čarnokitoidiniais milonitais (12 pav. J). Makroskopiškai, tai stambiagrūdžiai, raudonos spalvos granitai. Kontaktas tarp čarnokitoidinių milonitų ir

granito gyslų yra ryškus ir darnus. Šių gyslų storį galima įvertinti apytiksliai, nes nėra paimta vientiso kerno. Didžiausias storis yra apie 2 metrai.

Mikroskopiškai nustatyta, kad šiuos granitus sudaro tokie pagrindiniai mineralai: plagioklazas, K-feldšpatai, kvarcas, biotitas bei labai reti granato grūdai. Iš akcesorinių mineralų yra magnetitas, apatitas, ilmenitas, cirkonas ir monacitas. Cirkonų grūdai šiame darbe tirti U/Pb metodu, SHRIMP technologija.

K-feldšpatai ir plagioklazai – stambūs ir taip stipriai ištemti jog įgavo ištįsusių linzių ar akių formą. Plagioklazuose, ypač jų branduoliuose matomi antriniai pakitimai, todėl čia susidarė sericitas. Stambius mikroklus gaubia smulkių mikroklino grūdų aureolė. Kvarcas yra dviejų formų: stipriai ištemtas juostelių pavidalo ir granoblastinis. Kvarco grūdai yra su banguotu užgesimu, jų ribos nelygios. Biotitas yra smulkiagrūdis, plokštelių formos, rudos ir žalios spalvos, gausiai paplitę uolienoje. Jie stipriai chloritizuoti ir išdūlėję. Granatai yra reti uolienoje. Veikiant antriniam procesams išliko tik keli jų kryptingai išsidėstę branduoliai. Juose gausu plyšių. Įdomus reiškinys, kad Genčių ploto uolienoje labai dažnas yra ilmenitas, kuris paprastai išsidėstė lygiagrečiai skvarbiajai foliacijai, manytina, kad jis susidarė milonitizacijos metu. Jis kartu su biotitu ir magnetitu sudaro gerai matomas tamsios spalvos kelių milimetrų storio juosteles, gaubiančias stambius feldšpatų grūdus.

3.2.3. Metapelitinės uolienos: ultramilonitai

Ultramilonitai

Ultramilonitas aptiktas Girkalių plote (12 pav. K). Ultramilonitą sudaro granatas, plagioklazas, mikroklinas, kvarcas, biotitas, silimanitas, špinelė, magnetitas, ilmenitas, ±kordieritas. Šioje uolienoje yra nevienalytė sudėtis – viena juostelė sudaryta iš granato, silimanito, plagioklazo ir nedidelio kiekio mikroklino, o kita – iš plagioklazo ir mikroklino bei silimanito (21 pav.), jau be granato. Vietomis ultramilonitas yra brekčijuotas.

Granatų dydis kinta nuo 2,3 mm iki 0,1 mm. Stambių granatų branduoliai talpina biotitą ir silimanitą, kurie galbūt susiformavo su ankstyvąja mineralų paragenezė. Pastebėta, kad silimanitas koncentruojasi granato centre, o pakraštyje išnyksta, tačiau

toje vietoje atsiranda kitas mineralas – hercinitas. Remiantis mineraline analize daroma prielaida, kad granato branduolys ir pakraštys formavosi skirtingais metamorfizmo etapais.

Plagioklazai ir K-feldšpatai vietomis yra sulenkti ir su banguotu užgesimu. Kartu jie jungdamiesi sudaro poligoninę struktūrą.

Kvarcas aptiktas dviejų formų. Vieni grūdai yra plonų juostelių pavidalo, o kiti sudaro netaisyklingos formos granoblastinius agregatus, susiformavusius dėl dinaminės perkristalizacijos.

Biotitas yra smulkiagrūdis, rudos spalvos. Jis šlife matomas plokštelių pavidalu įvairiose pozicijose: pagrindinėje masėje, intarpų pavidalu granate bei atskirais lakštais šalia granato pakraščio. Biotitas yra gan retas.

Silimanitas aptiktas dviejose pozicijose: granato centre ir pagrindinėje masėje. Pirmosios grupės silimanitai yra adatėlių pavidalo, kurios netvarkingai išsidėsčiusios granato branduolyje. Antrosios grupės silimanitai yra plokštelių pavidalo su ryškiu kryptingu išsidėstymu pagrindinėje uolienos masėje. Jie dažniausiai yra greta magnetito, ilmenito ir špinelės mineralų. Špinelė buvo rasta granato pakraštyje ir pagrindinėje uolienos masėje. Rūdiniai mineralai yra išplitę visoje uolienoje. Jie išsidėstė viena kryptimi. Iš jų vyraujantys yra magnetitas ir ilmenitas.

3.2.4. Brekčijos

Brekčijos (14 pav. A, B, C, D, F) rastos gręžiniuose Girkaliai-1, 2, Kretinga-1, 2, 3, Žutautai-1, Mikoliškės-1, Laužai-1, Žarėnai-1 ir Pabalvė-1. Trapioji deformacija ypač gerai išreikšta kristalinio pamato kontakte su nuosėdine danga (14 pav. D). Tai rodo įvairaus dydžio ir kampuotos formos kvarco agregatų nuolaužos, sucementuotos smulkiagrūde mase. Girkalių ploto atskiruose kerno intervaluose uoliena yra stipriai išdūlėjusi – plagioklazas pavirtęs sericito ir molio agregatais, todėl uoliena įgavo raudoną ar pilkai žalią spalvą, o vietomis taip stipriai pakitusi (manoma, dėl hidroterminių tirpalų), kad net sudėtinga nustatyti pirminę uolienos prigimtį. Brekčijavimo metu susidarė šie antriniai mineralai: muskovitas (sericitas), chloritas, kvarcas, epidotas bei karbonatai. Epidotas dažniausiai užpildė plyšius nuolaužų cementa-



14 pav. Kataklažuotų uolienų kerno nuotraukos iš Telšių deformacijos zonos: A) Brekčija su pseudotachilito gyslutėmis iš grėž. Kretinga-3, gyl. 2005 m, B) Brekčijuotas milonitas iš grėž. Genčiai-11, gyl. 2048 m, C) Brekčija, kurioje plyšiai „užgydyti“ epidotu iš grėž. Nausodis-1, D) Brekčija iš grėž. Genčiai-3, gyl. 1944 m, E) Perstūmtas porfiroklastas akiniame milonite iš grėž. Kretinga-1, gyl. 2017 m, F) Brekčija iš grėž. Pabalvė-1, gyl. 1689 m G) Pseudotachilitas pegmatito gysloje iš grėž. Girkaliai-2, 2060 m, H) Brekčijuotas ultramilonitas su kvarco gyslutėmis iš grėž. Girkaliai-2, 2312 m. Kerno skersmuo – 7,8 cm.

cijos metu (14 pav. C). Sericitas ir chloritas susidarė vykstant retrogradinio metamorfizmo sąlygomis. Mikroanalizė rodo, kad feldšpatai buvo pakeisti sericitu, o biotitas– chloritu. Karbonatai aptikti plyšiuose, kurie kerta milonitus įvairiomis

kryptimis (14 pav. B, E, F, H). Didžiausi brekčijos intervalai yra Girkalių ploto gręžiniuose – iki 50 m matomo storio (Motuza, Vėjelytė, 2005). TDZ uolienose matomi plyšiai, kurie išsidėstę netvarkingai keliomis kryptimis. Uolienose rastos apie 1 mm pločio karbonatinės gyslūtės, kertančios milonitą. Dar vieni plyšiai yra užpildyti chloritine medžiaga ir kerne driekiasi beveik horizontalia kryptimi. Taip pat čia aptikti slysmo paviršiai. Genčių plote slysmo paviršių plokštumų polinkio kampas kinta nuo 0° iki 80°, Girkalių plote – kritimo kampai yra 70° ir 40°, Kretingos plote – nuo 0° iki 20° į kerno ašį, Nausodžio, Vydmantų – vertikalūs ir horizontalūs.

3.2.5. Pseudotachilitai

Pseudotachilitai, dar vadinami hialomilonitais, (14 pav. A, G) nustatyti šiuose gręžiniuose: Girkaliai-1, Girkaliai-2, Genčiai-8, Genčiai-10, Genčiai-11, Kretinga-3, Kretinga-4, Kuliai-1. Jie sudaro rudas įvairaus storio, nuo kelių milimetrų iki 1 cm, juosteles su ryškiomis ribomis talpinančioje uolienoje – čarnokitoiduose ir pegmatitinėse gyslose. Mikroskopiškai pseudotachilitas yra sudarytas iš stiklo ir kvarco agregatų nuolaužėlių. Pseudotachilitas susidaro dėl lokalaus uolienų lydymosi prie aukštos temperatūros, atsiradusios staigios trinties metu lūžio plokštumoje. Jei gyslučių storis mažesnis nei 1 cm, tai jų susidarymo kilmė dažniausiai siejama su lūžių aktyvumu trapiosios deformacijos sąlygomis. Dažniausiai pseudotachilitai susidaro viršutinės ir vidurinės Žemės plutos uolienose (Passchier ir Trouw, 2005).

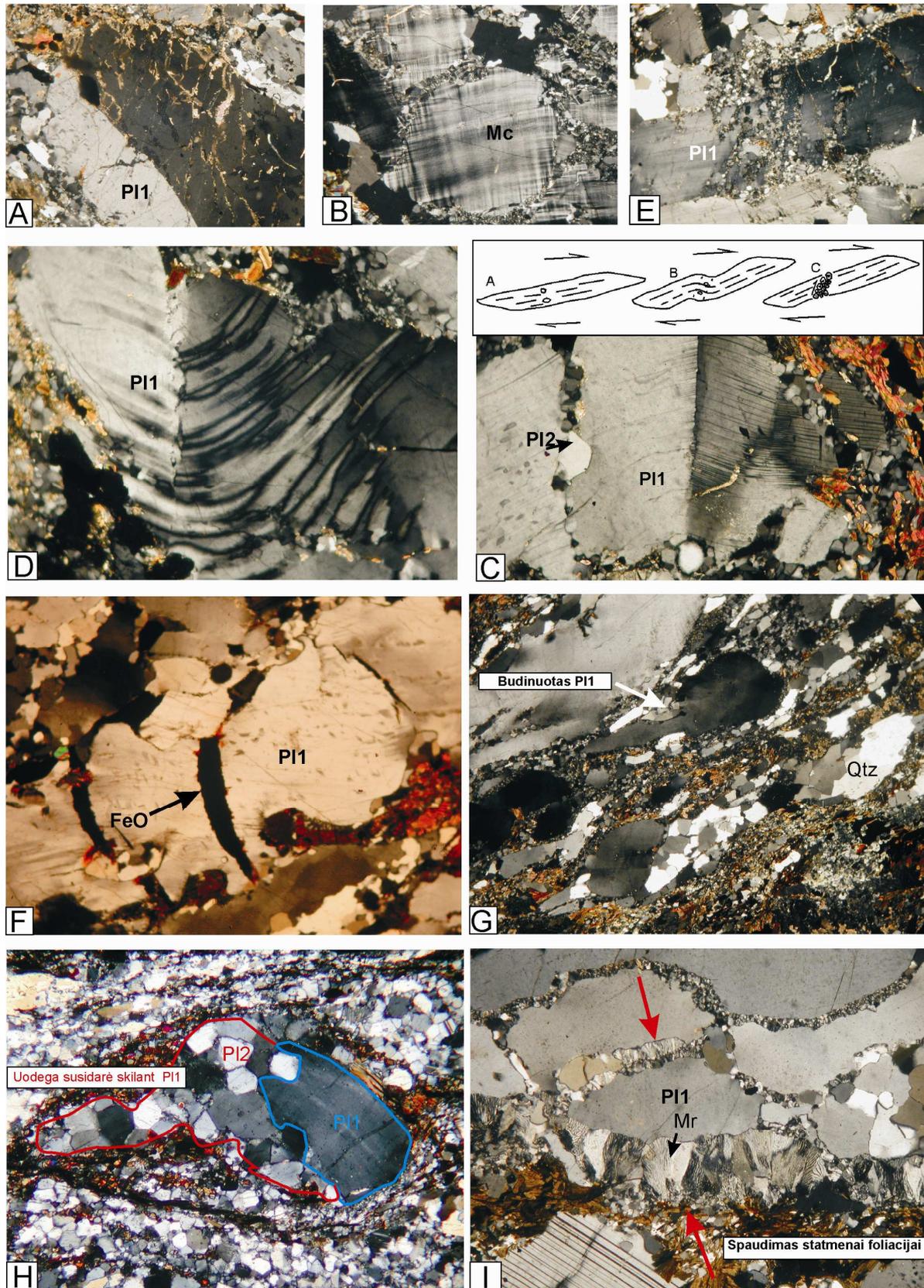
Mikrostruktūrinė analizė ir eksperimentiniai darbai rodo, kad pseudotachilitai susidaro kataklazės pradinėje stadijoje (Fabbri et al., 2000). Jie gali būti požymis tarp skirtingų lūžio uolienų tipų, t. y. kataklazitų be lydymosi ir kataklazitų su pseudotachilitais, kurie susidarė didelio deformacijos greičio (angl. strain rate) ir pakilusios temperatūros lūžio zonoje (Spray, 1969). Lydymosi temperatūra yra sudėtinga nustatyti. Remiantis mikrolitais ir mineralų nuolaužomis pseudotachilitas susidaro lydantis uolienoms prie 750–1600° C. Nedidelis lydymosi tūris atvėsta greitai ir įgauna talpinančių uolienų temperatūrą (Di Toro ir Pennacchion, 2004). Pseudotachilitai labai dažnai randami sausose masyviose, žemo poringumo uolienose, ypač granituose, gneisuose, granulituose, gabruose ir amfibolituose (Passchier ir Trouw, 2005).

3.2.6. Mikrostruktūrų susidarymo procesai

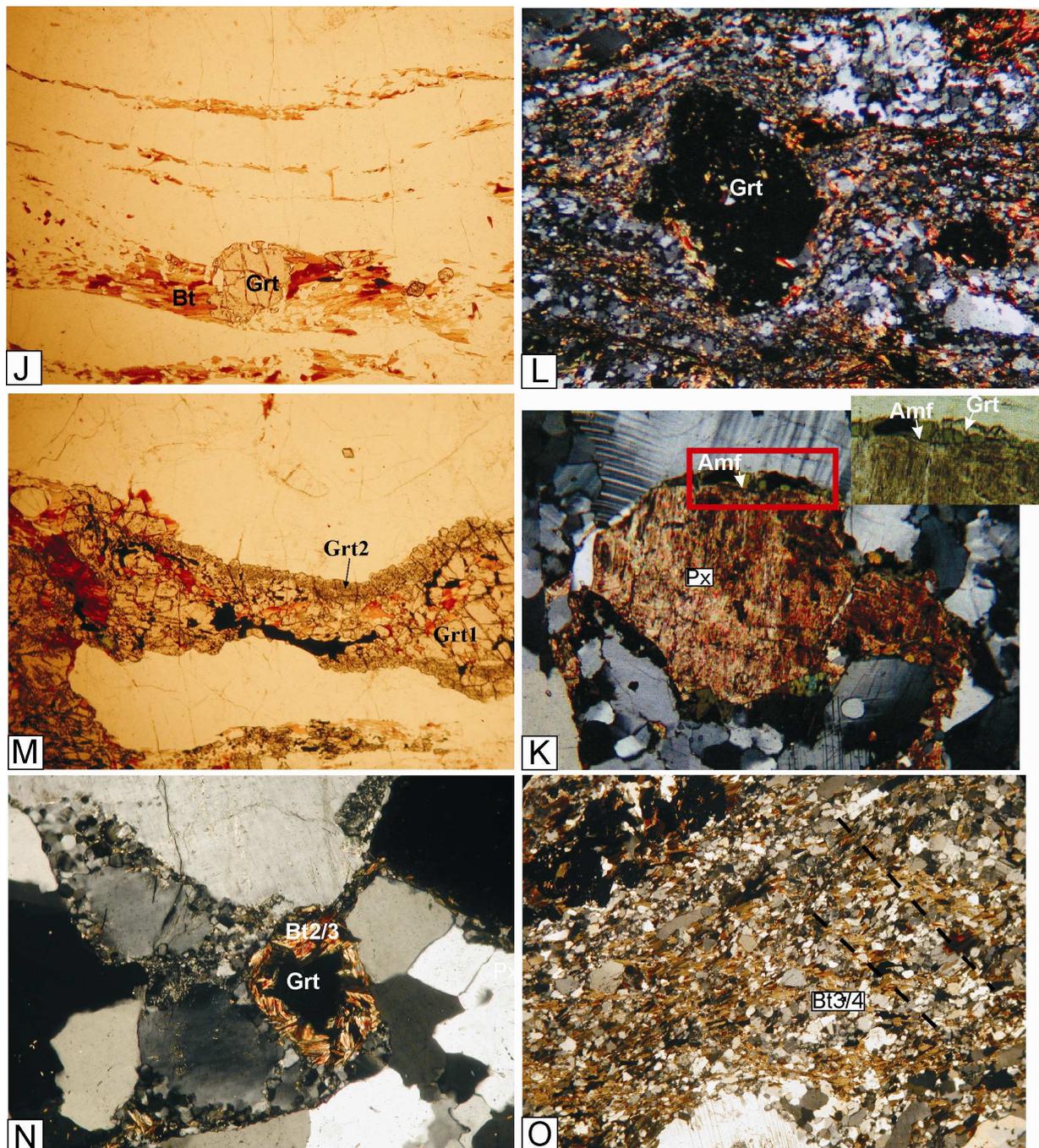
Šiame poskyryje remiantis uolienų mikrostruktūriniais tyrimais siekiama išaiškinti pagrindinius deformacijų mechanizmus Telšių deformacijos zonoje. Deformacijos pobūdžio ir procesų išaiškinimas grūde yra svarbus, siekiant atkurti milonitų susidarymo sąlygas bei susieti deformacijų stadijas su metamorfinėmis reakcijomis ir laiku. Reikia atkreipti dėmesį, kad mezoskopiskai TDZ uolienos dažnai atrodydavo, kad yra paveiktos plastiškosios deformacijos, tačiau mikroskopiskai išryškėdavo ir trapiosios deformacijos požymių. Kadangi deformacijos intensyvumo pobūdis skyrėsi TDZ, todėl susidarė protomilonitai, mezomilonitai, įtraukiant ir akinius milonitus, ultramilonitai bei brekčijos ir pseudotachilitai.

TDZ čarnokitoidinėse uolienose stambūs feldšpatų porfyroklastai ir granato klastai rodo, kad protomilonitai, mezomilonitai ir dalis ultramilonitų susidarė iš stambiagrūdžių čarnokitoidų ir granitoidų bei nuosėdinės kilmės uolienų.

Remiantis mikroanalize Telšių deformacijos zonoje nustatytos dvi plastinės deformacijos fazės (D1 ir D2). D2 fazės metu pagrindiniai mineralai uolienoje buvo plastiškai deformuoti aukštoje temperatūroje dėl grūdų granuliacijos neprarandant jiems sankabumo. Statinės perkristalizacijos metu stabilizavosi grūdai bei jų ribos, todėl sumažėjo paviršiaus energija. Heterogeniškas grūdų dydis Telšių deformacijos zonoje ypač suaktyvino grūdų ribų migraciją. Plastinės deformacijos metu (D1) uolienose vyko dalinė grūdų perkristalizacija (15 pav. G, H, K). Tai rodo smulkiagrūdžiai žėručiai, išsidėstę aplink pirminių žėručių branduolius. Analogiški reiškiniai sutinkami tiriant plagioklazą, kvarcą, ortopirokseną. Tai susiję su vidine deformacija pačiuose grūduose ir jų pakraščio perkristalizacija. Tokių struktūrų susidarymui dažniausiai darė įtaką subgrūdų rotacija (susidaro subgrūdų ribose) ir grūdų ribų migracijos perkristalizacija, vykstanti dėl įtampos, kuri yra priešinga difuzijos kryptčiai ir suformavo netaisyklingas ribas. Šias ribas žymi maži nauji grūdai išilgai ribų. Pastebėta, kad uoliena nevienodai reagavo į įtampas. Ji silpnesnė tose vietose, kur dominuojanti fazė buvo granatas, o ne



15 pav. Tirtų čarnokitoidų mikrostruktūros iš Telšių deformacijos zonos: A) Plagioklazas su paprastais dvynučiais, grėž. Genčiai-10, SN; B) Mikroklinas sus perkristalizuotais pakraščiais, grėž. Genčiai-4, SN; C) Plagioklazas, kuri kerta vėlesnės šlyties juostelės, grėž. Genčiai-10, SN; D) Sulenktas plagioklazas dėl plastinės deformacijos poveikio, grėž. Genčiai-4, SN; E) Progresuojant plastinei deformacijai plagioklaze sulenkimų ir šlyties juostelių daugėja, grėž. Genčiai-4, SN; F) Plagioklaze vėlyvesni plyšiai „užgydyti“ FeO junginiais, SN; G) Budinuotas plagioklazas, Kretinga-2, SN; H) Plagioklaze vėlyvesni plyšiai „užgydyti“ FeO junginiais, SN; I) Mirmekitai, grėž. Genčiai-4, SN.



15 pav. tęsinys: J) Granatas su slėgio šešėliais susidaręs prieš deformaciją ar jos metu iš grėž. Nausodis-5, NN; L) Stambus granatas su sukimosi požymiais iš grėž. Girkaliai-3, SN; M) Granato branduolys ir granato pakraštys su reakciniais požymiais iš grėž. Eitučiai-1, SN; K) Piroksenas su naujais amfibolo ir granato apaugimais iš grėž. Tryškiai-73, SN; N) Biotito vainikinė struktūra, susidariusi aplink granatą iš grėž. Genčiai-4, SN; O) Ultramilonitas su krenuliaciniu klivažu iš grėž. Girkaliai-3, SN. Plagioklazas (Pl), kvarcas (Qtz), granatas (Grt), piroksenas (Px), biotitas (Bt), magnetitas (Mgt), mirmekitas (Mr), Sukryžiuoti nikoliai (SN), nesukryžiuoti nikoliai (NN). Nuotraukų dydis yra 3 mm, išskyrus H – 2,5 ir O – 1,5 mm.

plagioklazas. Plačiai išplitę siauros tarpusavyje besijungiančios šlyties zonos rodo grynosios šlyties (angl. pure shear) poveikį (Hanmer and Passchier, 2001). TDZ minėtos mikrostruktūros – lenkimo juostos, deformaciniai dvynučiai, „branduolio-apvadėlio“

struktūros, susidariusios dinaminės perkristalizacijos metu rodo aukštą temperatūrą. Aukštą temperatūrą rodo ir mineralų paragenezė. D2 metu uolienos santykinai išliko sausos. Pagal Vernon (2004), jei fluidai nepateko į uolieną milonitizacijos metu, tai jos galėjo deformuotis tikrai veikiant aukštai temperatūrai ir izochemiškai (Vernon, 2004). Diskusiniu klausimu lieka ultramilonitų formavimasis: ar jie su mezomilonitais susidarė tuo pačiu metu, ar yra vėlesnės deformacijos stadijos rezultatas. Remiantis C. Passchier ir R. Trouwn (2005) bei Torvela ir kt. (2008) tyrimais yra galimi du variantai lėmę jų formavimąsi. Pirmiausiai, kad mezomilonitai yra jaunesni nei akiniai mezomilonitai, susidarę progresuojant deformacijai siaurose zonose ir didėjant deformacijų ardymo greičiams, kai uolienos buvo iškeltos trapiosios-plastinės deformacijos režime. Iš kitos pusės, jie gali būti vienalaikiai su akiniais milonitais, tačiau jų formavimąsi lėmė reologiniai skirtumai – skirtinga uolienų sudėtis ir struktūra, skirtinga fluidų tekėjimo kryptis ar nevienodas įtampų pasiskirstymas.

Vėlesnės deformacijos metu (D2) uoliena patyrė lokalias įtampas, todėl ji buvo pakartotinai milonitizuota galimai silpnesnėse srityse ar kur lokalizavosi didesnės įtampos susidarant krenuliaciniam raukšlėtumui.

Po milonitizacijos uolienos buvo veikiamos trapiosios deformacijos (D3 ir D4), t. y. jau vyko kataklastiniai procesai, todėl susidarė brekčijuoti milonitai su įvairių krypčių plyšiais, užpildytai chloritu, epidotu arba karbonatais.

3.3. CHEMINĖ MINERALŲ SUDĖTIS

Mineralų cheminė sudėtis buvo tirta Lundo universitete skenuojančiu elektroniniu mikroskopu (SEM) su EDS detektoriumi bei INCA mikroanalizės sistema. Šių tyrimų pagrindinis tikslas – nustatyti mineralo tipą, t. y. detalizuoti cheminę sudėtį stambaus grūdo centre, jo pakraštyje bei smulkiuose grūduose, esančiuose matricoje. Taip pat atrinkti mineralai slėgio–temperatūros (P-T) sąlygų nustatymui geotermobarometrijos metodu. Tokie tyrimai yra efektyvūs, nustatant metamorfizmo etapus ir su jais susijusias deformacijas. Analizuojant mineralus su skenuojančiu elektroniniu mikroskopu (SEM) buvo atsižvelgta į mineralo dydį, jo cheminį zoniškumą ir išsidėstymą uolienoje. Žėručių ir amfibolų sudėtis nustatyta remiantis tarptautine mineralų nomenklatūra (Leake et al, 1997; Rieder, 1998).

TDZ nustatyta granato, biotito, plagioklazo, amfibolo, pirokseno, silimanito, špinelės ir rūdinių mineralų cheminė sudėtis. Tyrimai atlikti iš šių gręžinių: Girkaliai-2 (2355), Girkaliai-2 (2381), Girkaliai-3 (2081), Genčiai-8 (1994,5), Vydmantai-2, Tryškiai-73 (1641). TDZ buvo tirti pavyzdžiai iš silpnai deformuotos čarnokitoidinės uolienos, čarnokitoidinių mezomilonitų, metapelitinio ir čarnokitoidinio ultramilonitų. Tyrimų duomenys pateikti 1, 2, 3 ir 4 lentelėse.

Čarnokitoidinė silpnai deformuota uoliena

Pavyzdys tirtas iš gręžinio Vydmantai-2 (1, 2, 3, 4 lentelės). Vyraujantis plagioklazas yra oligoklazas (An_{29-30}). Pagal Fe ir Mg santykį biotitai patenka į magnetingų biotitų lauką (viena analizė patenka į geležingų biotitų lauką). Tirti granatai yra almandino sudėties (16 pav. D).

Čarnokitoidiniai mezomilonitai

Čarnokitoidiniai milonitai tirti iš trijų gręžinių: Girkaliai-2, Genčiai-8 ir Tryškiai-73. Iš gręžinio Girkaliai-2 (gyl. 2376) mezomilonitą (1, 2, 3, 4 lentelės) sudarantis granatas yra almandino sudėties. Granatai yra akių pavidalo su sukimosi požymiais, išsidėstę uolienoje kryptingai, dažniausiai atskiramis juostomis (16 pav. C). Biotitai buvo tirti dviejose pozicijose: granate ir šalia granato. Fe ir Mg analizių proporcijos rodo, kad pirmieji yra magnetingi, o antrieji – geležingi. Šioje uolienoje buvo tirti plagioklazų porfyroklastų branduoliai ir pakraščiai. Pagal anortito molekulės procentą nustatyta, kad vyrauja andezinas (An_{30-50}), be jo dar aptiktas labradoras (An_{55-54} , dvi analizės).

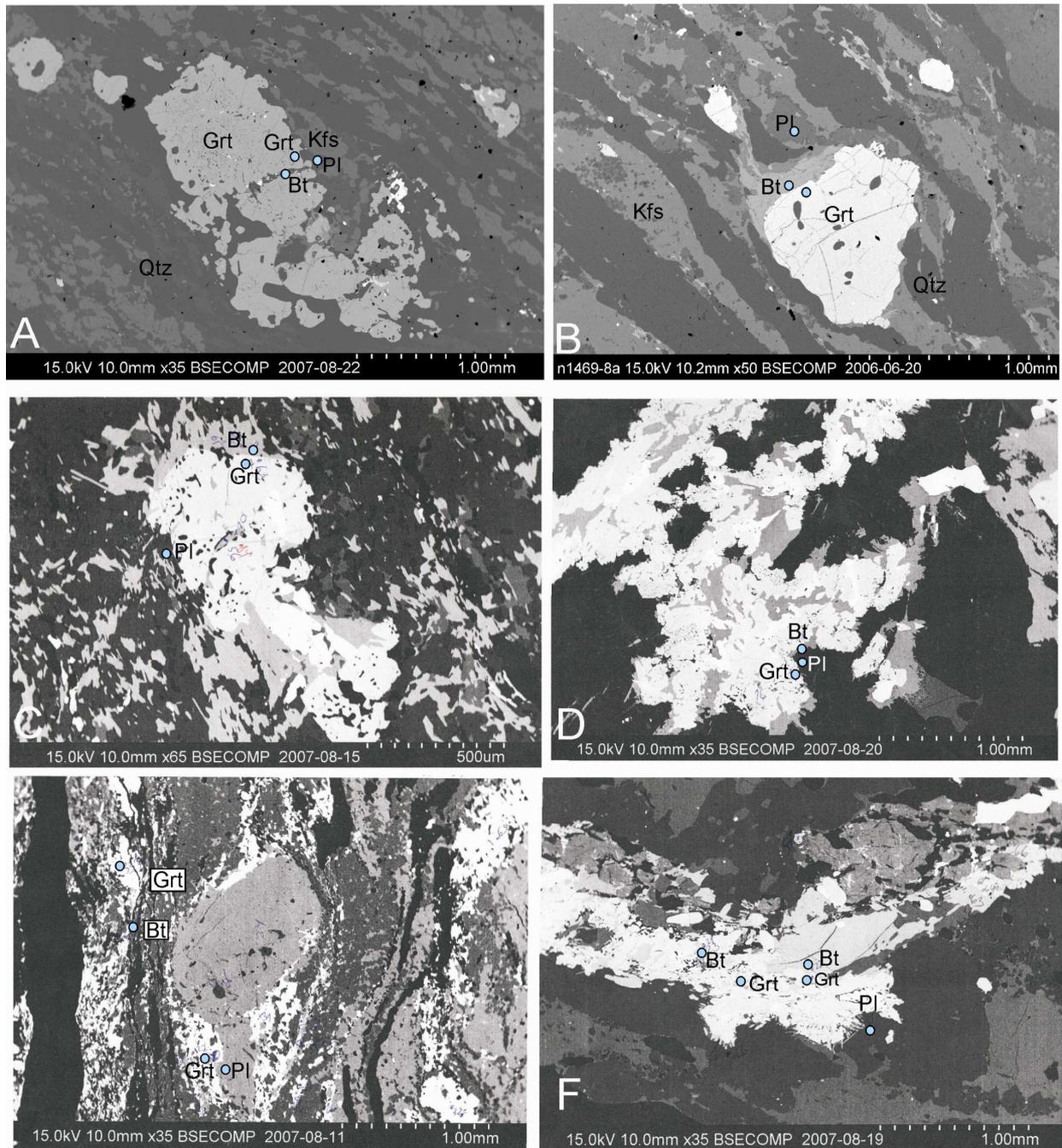
Mezomilonitą iš gręžinio Genčiai-8 (gyl. 1994,5; 1, 2, 3, 4 lentelės) sudaro almandino sudėties granatai (16 pav. B). Jie išsidėstę kryptingai visoje uolienoje. Biotitai buvo tirti dviejose pozicijose: 1) pagrindinėje masėje ir 2) šalia granato slėgio šešėliuose, kur jie sudaro aureolę. Fe ir Mg kiekius abi biotitų grupės patenka į geležingų biotitų lauką. Plagioklazai yra vidutinės sudėties. Pagal anortito molekulės procentą nustatyta, kad plagioklazas yra andezinas (An_{35-42}).

Mezomilonitą (1, 2, 3, 4 lentelės) iš gręžinio Tryškiai-73 (gyl. 1641) sudaro almandinai (16 pav. F). Skirtingai nuo prieš tai aprašytų granatų jie išsiskiria ypatybe, kad yra labai stipriai ištempti. Granatai išsidėstę kryptingai tose uolienos vietose, kur

vyrauja piroksenas ir biotitas, o išnyksta granatas tose vietose, kur pagausėja K-feldšpatas ir plagioklazas. Biotitai buvo tirti trijose pozicijose: 1) tarpai granate, 2) šalia granato, 3) ataugėlės granato pakraštyje. Cheminė analizė rodo, kad vyrauja labiau geležingi biotitai ir tik du taškai patenka į magnetingo biotito lauką, tačiau jie skiriasi aliuminio kiekiu. Nustatytas plagioklazas – andezinas (An_{37-45}). Šioje uolienoje yra amfibolo. Jis dažniausiai esti pirokseno apvadėlių pavidalu. Pagal $Mg/(Mg+Fe)$ ir Si santykį amfibolas priklauso geležingam amfibolui. Amfibolas yra antrinis, susidaręs iš pirokseno. Pirokseno rūšis nenustatyta, nes bendras oksidų kiekis sudaro tik 50%. Analizės yra prastos kokybės, nes piroksenai labai pakitę dėl antrinių procesų.

Metapelitinis ultramilonitas

Iš grėžinio Girkaliai-2 (gyl. 2355) tirtas ultramilonitas (1, 2, 3, 4 lentelės), kuriame yra daug silimanito. Granato grūdai išsidėstę uolienoje kryptingai. Po mikroskopu uolienoje matyti juostuotumas, sudarytas iš skirtingų mineralų. Vienose juostelėse yra daug granato, o kitose – daug K-feldšpato ir plagioklazo, bet be granato. Šioje uolienoje granatas yra skirtingo dydžio, tačiau visi – almandino sudėties (16 pav. A). Dideli granato grūdai turi neryškų zoniškumą: magnis mažėja grūdo pakraščio link, o smulkūs grūdai yra praturtinti geležimi. Jie išplitę visoje uolienoje. Toje vietoje, kur granato pagausėjo, plagioklazo atvirkščiai – sumažėjo. Pagal anortito molekulės procentą nustatyta, kad plagioklazai yra dviejų rūšių: oligoklazas (An_{16-10}) ir albitas (An_{10-2}). Biotitai buvo rasti trijose pozicijose: 1) tarpai granate, 2) maži grūdėliai foliacijoje ir 3) šalia granato. Nustatyta, kad biotitai, esantys uolienos pagrindinėje masėje, yra labiau geležingi, nei biotitai granato grūde ir jo kontakte. Pagal TiO_2 kiekį biotitus galima skirstyti į tris grupes: 1) tarpai granate (daugiau 4,83%); 2) matricoje (daugiau 3,2 %) ir 3) biotitas kontakte su granatu (0,8%). Silimanitas buvo tirtas dviejose pozicijose: 1) granato centre ir 2) pagrindinėje masėje. Pirmosios grupės silimanitai yra adatėlių pavidalo, netvarkingai išsidėstę granato branduolyje $> 1\%$ FeO, vietomis atrodo lyg susuktos į kamuolį. Antrosios grupės silimanitai su $< 1\%$ FeO yra plokštelių (lapelių) pavidalo ir ryškiu kryptingu išsidėstymu pagrindinėje uolienos masėje. Jie dažniausiai yra greta magnetito, ilmenito ir špinelės mineralų. Špinelė buvo rasta granato pakraštyje ir pagrindinėje uolienos masėje. Nustatyta rūšis yra hercinitas. Rūdiniai mineralai yra išplitę visoje uolienoje, kurių vyraujantys yra kryptingai išsidėstę magnetitas ir ilmenitas.



16 pav. Atgal atspindinčių jonų (angl. BSE) nuotraukos. Rutuliukai rodo granatų, biotitų ir feldšpatų, cheminės analizės vietą: A) Grėž. Girkaliai-2 ir B) Genčiai-8 C) Girkaliai-2 (2376), D) Vydmantai-2, E) Girkaliai-3 ir F) Tryškiai-73. Sutrumpinimai: Grt – granatas, Bt – biotitas, Pl – plagioklazas, Qtz – kvarcas, Kfs – kalio feldšpatas.

Čarnokitoidinis ultramilonitas

Iš grėžinio Girkaliai-3 (gyl. 2081) čarnokitoidiniame ultramilonite (16 pav. E) yra skiriami dviejų dydžių granatai: granato grūdai apie 4 mm, likusieji yra stipriai sutrupinti į 0,1 mm dydžio grūdus. Granatai yra geležingi ir priskiriami almandino rūšiai.

Šiame ultramilonite buvo tirti biotitai trijose pozicijose: 1) granate, 2) šalia granato ir 3) pagrindinėje masėje. Visi biotitai patenka į magnezingų biotitų lauką. Tačiau biotitai esantys granate yra mažiau aliuminingi, nei esantys šalia ir pagrindinėje masėje. Ultramilonite (1, 2, 3, 4 lentelės) maži plagioklazai yra andezino (An_{43-46}), tačiau jų branduolio sudėtis kinta – mažėja Ca (An_{29-39}).

Geocheminė mineralų analizė parodė, kad plagioklazo branduoliai yra labiau kalcingi nei jų pakraštys ir smulkūs grūdai, o pirminiai biotitai yra geležingi. Tai rodo, kad milonitizacijos metu susidarė mažiau kalcingi plagioklazai bei labiau magnezingi biotitai nei pirminiai mineralai. Granato cheminis nevienalytiškumas rodo, kad difuziniai procesai taip pat buvo svarbūs (Storey and Prior, 2005).

Lentelė 1. Plagioklazo cheminė sudėtis iš metapelitinio ultramilonito (M-U), čarnokitoidinio ultramilonito, čarnokitoidinio mezomilonito (C-M1, C-M2 ir C-M3) ir čarnokitoidinės sudėties silpnai deformuotos uolienos (C). Sutrumpinimai: B – branduolys, P – pakraštys, M – mažas grūdas matricoje.

Pavyzdžiai		Grk2(2355)	Grk2 (2376)	Grk3(2081)	Gnc8 (1994,5)	Vd2	Trsk73 (1641)
Uolienos		M-U	C-M1	C-U	C-M2	C	C-M3
Mineralai		Plagioklazas					
		M	P	M	B	P	P
Oksidų svoris, %	SiO ₂	63,90	57,94	57,66	59,26	55,41	56,93
	Al ₂ O ₃	22,39	27,9	27,91	26,42	27,27	27,04
	FeO	0	0	0	0	0,43	0
	MnO	0	0	0	0	0	0
	CaO	3,19	8,95	9,41	7,37	9,33	8,87
	Na ₂ O	10,01	6,74	6,48	7,5	6,26	6,62
	K ₂ O	0	0,2	0	0	0,31	0
	SUMA	99,53	101,74	101,47	100,55	99,01	99,46
Oksidai		8	8	8	8	8	8
Katijonai	Si	2,8	2,55	2,55	2,63	2,52	2,56
	Al	1,17	1,45	1,45	1,38	1,46	1,44
	Mn	0	0	0	0	0	0
	Mg	0	0	0	0	0	0
	Ca	0,15	0,42	0,45	0,35	0,45	0,43
	Na	0,85	0,58	0,56	0,65	0,55	0,58
	K	0	0,01	0	0	0,02	0

Lentelė 2. Biotito cheminė sudėtis iš metapelitinio ultramilonito (M-U), čarnokitoidinio ultramilonito, čarnokitoidinio mezomilonito (C-M1, C-M2 ir C-M3) ir čarnokitoidinės sudėties silpnai deformuotos uolienos (C). SG – šalia granato, M – mažas grūdas matricoje.

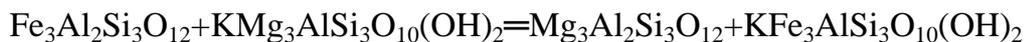
Pavyzdžiai		Grk2(2355)	Grk2 (2376)	Grk3(2081)	Gnc8 (1994,5)	Vd2	Trsk73 (1641)
Uolienos		M-U	C-M1	C-U	C-M2	C	C-M3
Mineralai		Biotitas					
		SG	SG	SG	M	SG	SG
Oksidų svoris, %	SiO ₂	37,68	36,47	37,17	37,52	35,31	36,53
	TiO ₂	1,02	4,52	4,72	4,76	4,46	4,46
	Al ₂ O ₃	18,93	15,73	14,37	16,1	14,48	13,13
	FeO	18,47	19,63	18,63	17,32	15,46	22,52
	MgO	11,42	10,66	12,02	11,34	13,33	9,53
	K ₂ O	9,94	10,08	9,79	9,79	9,55	9,59
	SUMA	97,46	97,09	96,70		92,60	95,76
Oksidai		22	22	22	22	22	22
Katijonai	Si	5,56	5,48	5,58	5,57	5,47	5,65
	Ti	0,11	0,51	0,53	0,53	0,52	0,52
	Al	3,29	2,79	2,54	2,82	2,64	2,40
	Fe	2,28	2,47	2,34	2,15	2,00	2,92
	Mg	2,51	2,39	2,69	2,51	3,08	2,20
	K	1,87	1,93	1,87	1,85	1,89	1,89

Lentelė 3. Granato cheminė sudėtis iš metapelitinio ultramilonito (M-U), čarnokitoidinio ultramilonito, čarnokitoidinio mezomilonito (C-M1, C-M2 ir C-M3) ir čarnokitoidinės sudėties silpnai deformuotos uolienos (C). B – branduolys, P – pakraštys, M – mažas grūdas matricoje.

Pavyzdžiai		Grk2(2355)	Grk2(2376)	Grk3(2081)	Gnc8	Vd2	Trsk73(1641)
Uolienos		M-U	C-M1	C-U	C-M2?	C	C-M3
Mineralai		Granatas					
		B	P	B	B	B	B
Oksidų svoris, %	SiO ₂	36,53	37,52	37,75	39,03	37,37	37,24
	Al ₂ O ₃	21,12	21,32	21,17	22,04	22,08	21,24
	FeO	36,40	33,61	32,87	31,83	33,79	31,48
	MnO	2,43	2,82	1,16	0,95	1,09	1,43
	MgO	1,77	3,01	4,19	4,63	4,95	1,73
	CaO	0,52	1,96	2,28	1,67	2,05	6,53
	Na ₂ O	0	0	0	0	0	0
	K ₂ O	0	0	0	0	0	0
	SUMA	98,77	100,24	99,42	100,15	102	99,66
Oksidai		12	12	12	12	12	12
Katijonai	Si	3,00	3,01	3,02	3,06	2,93	2,99
	Al	2,05	2,01	1,99	2,04	2,04	2,015
	Fe	2,50	2,25	2,20	2,09	2,22	2,12
	Mn	0,17	0,19	0,08	0,06	0,07	0,10
	Mg	0,22	0,36	0,50	0,54	0,58	0,21
	Ca	0,05	0,17	0,20	0,14	0,17	0,56
	Na	0	0	0	0	0	0
	K	0	0	0	0	0	0

3.4. UOLIENŲ GEOTERMOBAROMETRIJA

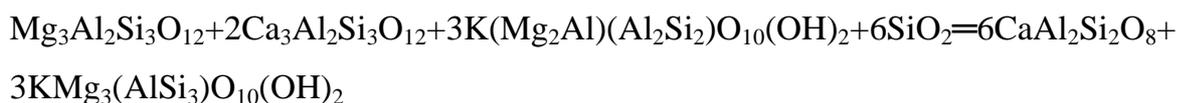
Šio darbo metu mineralų temperatūra apskaičiuota granato-biotito (Grt-Bt) termometru, o slėgis – granato-biotito-plagioklazo-kvarco (GBPQ) barometru pagal *Geothermobarometry* programą (Spear, Kohn, 1999). Granato cheminės savybės yra patikimos ir naudojamos daugelyje geotermobarometrų (Spear, 1992). Dažniausiai naudojamas Fe-Mg pasiskirstymo termometras, kuris pagrįstas Mg ir Fe katijonų mainais tarp granato ir biotito:



(almandinas+flogopitas=piropas+anitas)

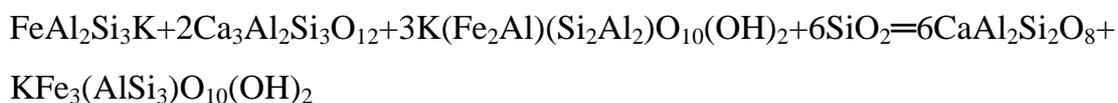
Granato-biotito pora naudojama metamorfinių sąlygų nustatymui todėl, kad šie mineralai išlieka pusiausvyrinėse sąlygose įvairaus laipsnio metamorfinėse uolienose, turinčiose labai įvairaus diapazono cheminę sudėtį ir Fe-Mg pasiskirstymą tarp biotito ir granato, kuris priklauso nuo pusiausvyrinės temperatūros (Chunming and Yusheng, 1999).

Granato-biotito-plagioklazo-kvarco (GBPQ) barometras yra pagrįstas metamorfinėmis reakcijomis, kurios apima didelį uolienos tūrį. GBPQ pusiausvyrinės reakcijos gali vykti plačiame slėgio (nuo aukšto iki žemo) diapazone:



(piropas+grosularas+istonitas+kvarcas=anortitas+flogopitas

ir



(almandinas+grosuliaras+siderofilitas+kvarcas=anortitas+anitas)

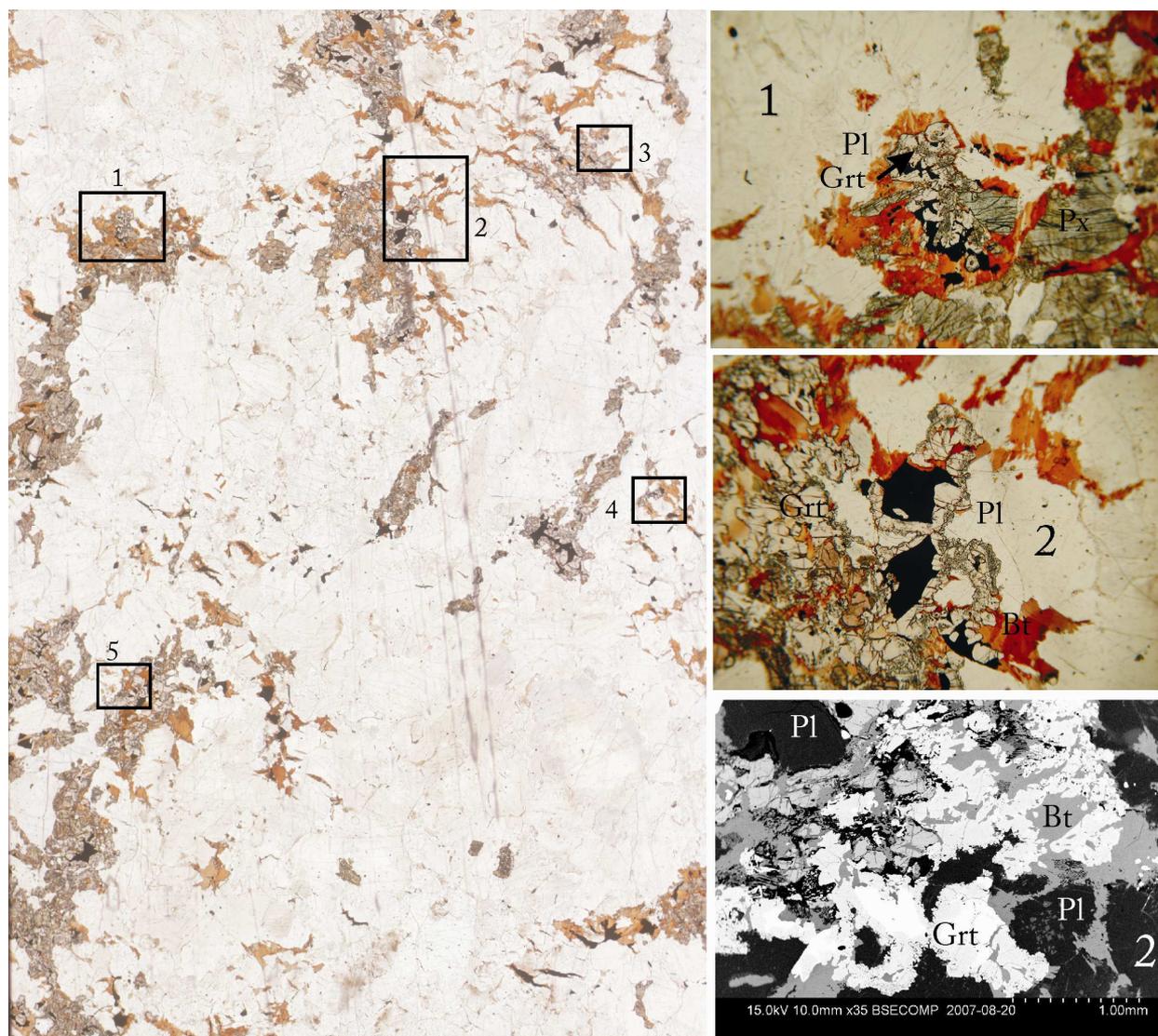
Šis barometras sukalibruotas uolienoms su tokia mineraline parageneze: kvarcas-muskovitas-biotitas-plagioklazaras-granatas.

Šių tyrimų metu buvo nustatyta atskirų mineralų ar jų dalių (branduolio, pakraščio) paragenezė, susidariusių pusiausvyrinėse sąlygose, temperatūra ir slėgis. Penkiems uolienų pavyzdžiams, paimtiems iš grėžinių Girkaliai-2, Girkaliai-3, Tryškiai-

73, Vydmantai-2 buvo nustatyti slėgio-temperatūros (P-T) parametrai (4 lentelė ir 17-21 pav.).

Silpnai deformuota uoliena

Nustatyta, kad iš gręžinio Vydmantai-2 silpnai deformuotose čarnokitoidinėse uolienose (17 pav.) granatai formavosi prie 800°C temperatūros ir 7-8 kbar slėgio. 17 paveiksle matomi granato suaugimai su hiperstenu ir jo viduje.



17 pav. Slėgio-temperatūros matuotos vietos (taškai 1-5) parodytos skenuoto šlifo nuotraukoje (plotis 2 cm) iš gręžinio Vydmantai-1. Nr.1 ir Nr.2 mikroskopinės nuotraukos iš silpnai deformuoto čarnokitoido rodo granato, pirokseno (hypersteno) ir biotito suaugimus (nuotraukų dydis 4 mm, nesukryžiuoti nikoliai). Nr.2. Matomos žiedinės struktūros: granato apaugimai aplink magnetitą. Nr.2 atgal atspindėtų elektronų(BSE) nuotraukoje granato, biotito ir plagioklazo suagimai. Sutrumpinimai: Pl – plagioklazas, Bt – biotitas, Grt – granatas.

Biotitas yra praradęs savo formą, tarsi aplyditas. Matomos žiedinės granato tektūros – granatas apaugęs aplink magnetitą. Granatas šiame šlife tikriausiai yra

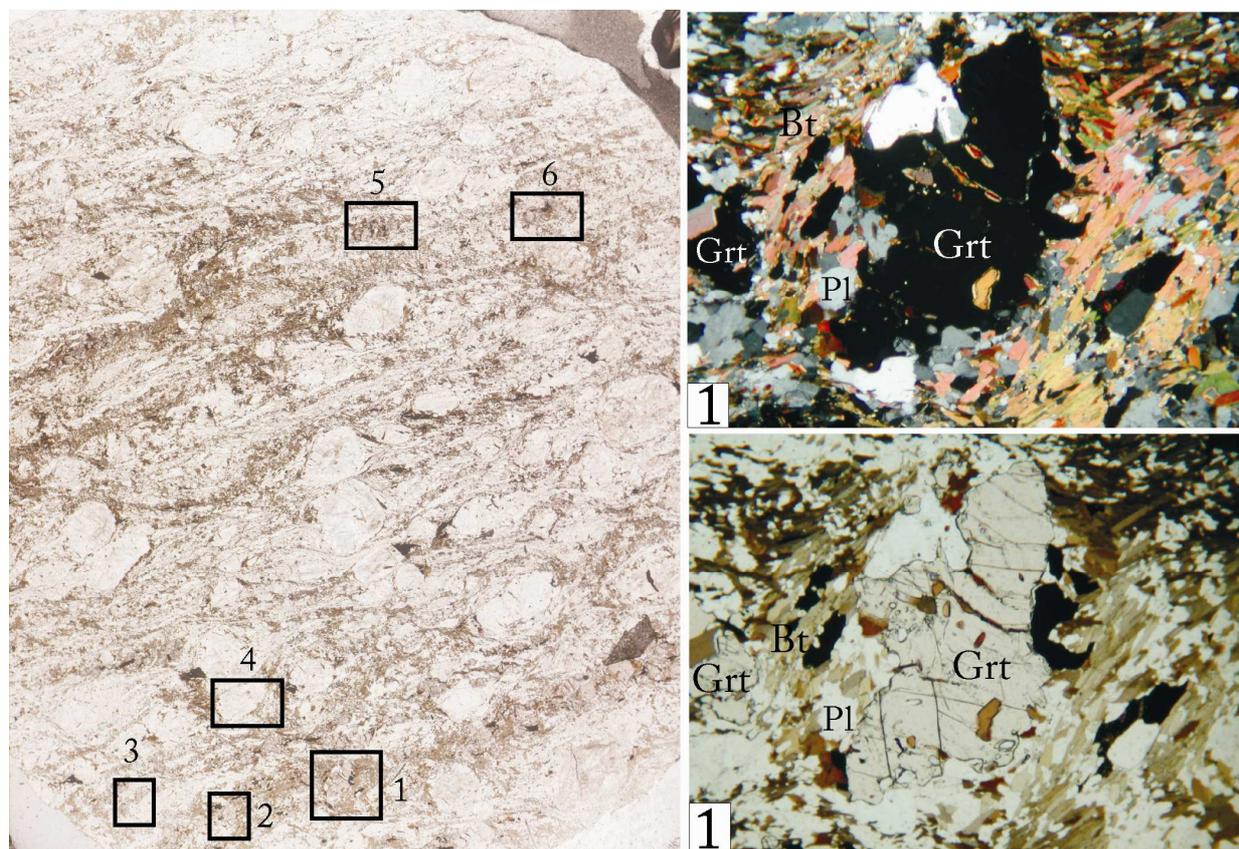
postmagminės kilmės, t. y. susidarė subsolidus stadijoje. Granatas formavosi vykstant reakcijoms tarp ortopirokseno, biotito ir plagioklazo. Atsekamos magminė ir postmagminė (subsolidus) mineralų paragenezės:



Mezomilonitas

Pritaikius geotermobarometriją čarnokitoidiniam mezomilonitui iš gręžinių Girkaliai-2 ir Tryškiai-73 buvo apskaičiuotos temperatūros ir slėgio reikšmės.

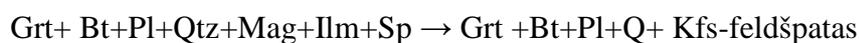
Iš gręžinio Girkaliai-2 čarnokitoidiniame mezomilonite (18 pav.) temperatūra ir slėgis buvo matuoti granato pakraščiuose ir branduoliuose. Analizės buvo



18 pav. Slėgio-temperatūros matuotos vietos (taškai 1-6) parodytos skenuoto šlifo nuotraukoje (plotis 2 cm) iš gręžinio Girkaliai-2/2376. Mikroskopinėse nuotraukose (nuotraukų dydis 3 mm) Nr.1 (sukryžiuoti nikoliai) ir Nr.2 (nesukryžiuoti nikoliai) matomi granato, biotito ir plagioklazo suagimai čarnokitoidiniame mezomilonite. Sutrumpinimai: Pl – plagioklazas, Bt – biotitas, Grt – granatas.

daromos toje vietoje, kur granatas, biotitas ir plagioklazas yra paragenezėje. Nustatyta, kad iš gręžinio Girkaliai-2 čarnokitoide milonitizacijos metu uolienos deformavosi prie

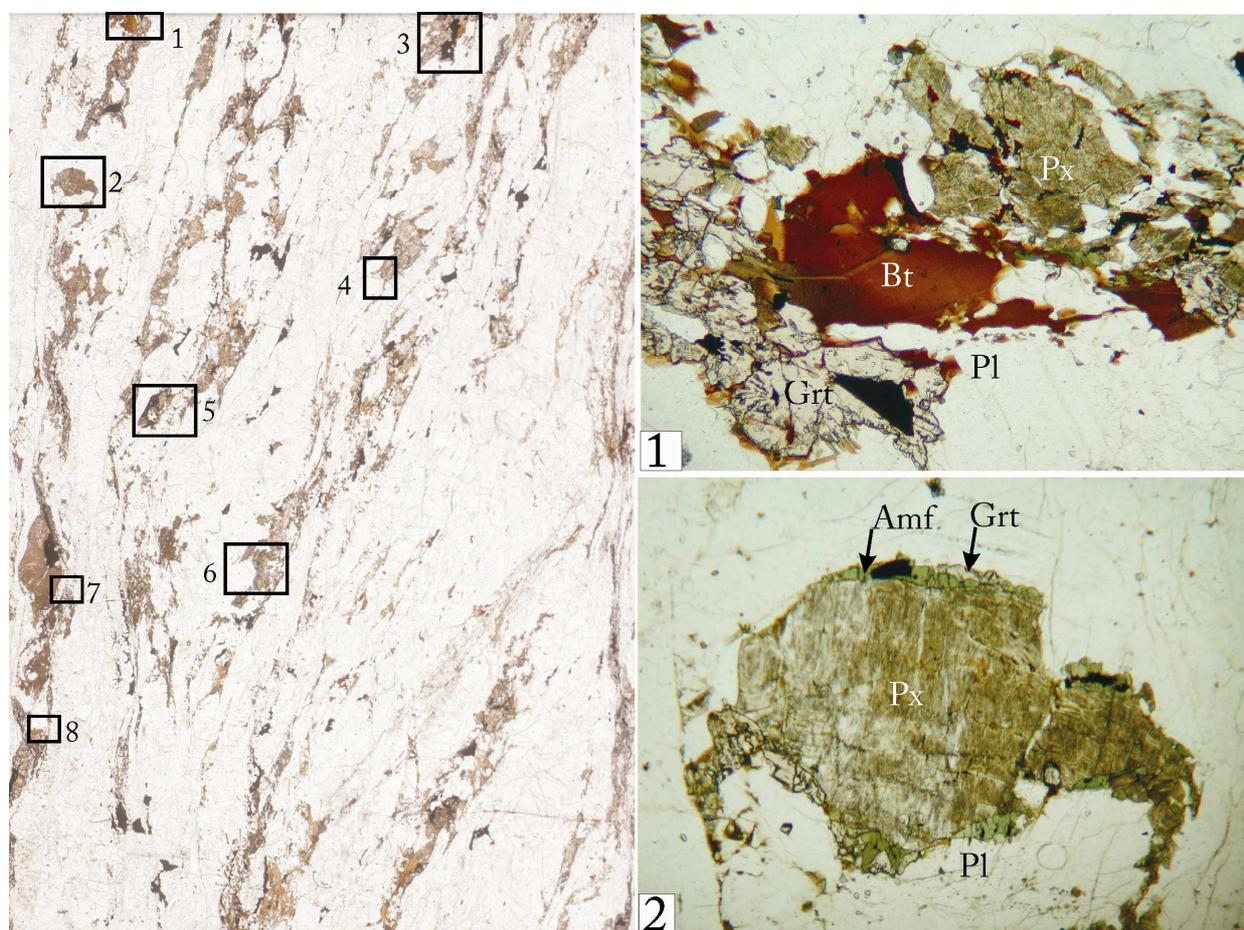
680-750°C temperatūros, o slėgis buvo apie 4-4,5 kbar. Po postmagminės stadijos dėl plastinės deformacijos uolienos buvo pakeistos D1 fazės metu:



Postmagminė

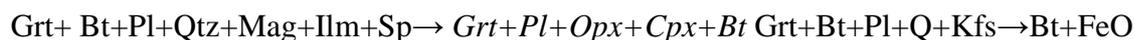
milonitizacija (D1)

Iš gręžinio Tryškiai-73 čarnokitoide rastos dvi granatų generacijos (19 pav.). Vieni granatai yra stambūs ir stipriai ištemti išilgai foliacijos krypties, kiti granatai yra apaugę hipersteną. Stambių granatų slėgio ir temperatūros rodikliai nebuvo braižomi, rodantys, kad mineralai nėra pusiasvyroje. Granato pakraščiai augo aplink hipersteną esant 570°C temperatūrai ir 4,2 kbar, o smulkūs grūdai susidarė esant 500–460°C bei 3–



19 pav. Slėgio-temperatūros matuotos vietos (taškai 1-8) parodytos skenuoto šlifo nuotraukoje iš gręžinio Tryškiai-73/1641. Mikroskopinėse nuotraukose (nuotraukų dydis 3 mm) Nr. 1 (sukryžiuoti nikoliai) matomi granato, biotito ir plagioklazo suaugimai ir Nr.2 (nesukryžiuoti nikoliai) yra granto ir amfibolo apaugimai aplink pirokseną čarnokitoidiniame mezomilonite. Sutrumpinimai: Pl – plagioklazaras, Amf – amfibolas, Bt – biotitas, Grt – granatas, Px – piroksenas.

mams kartu su biotitu ir plagioklazų. Mažų granatų formavimosi sąlygos nustatytos iš tų granatų, biotitų ir plagioklazų, kurie susidarė uolienos matricoje. Gauti duomenys parodė, kad granato branduoliai ir pakraščiai buvo perkristalizuoti milonitizacijos metu prie 680-750°C temperatūros ir slėgis buvo apie 4-4,5 kbar, o maži granato grūdai formavosi esant 650°C temperatūrai ir 3 kbar slėgiui. Metamorfinės reakcijos vyko tokia seka plastinių deformacijų sąlygomis D1 ir D2 fazėmis:

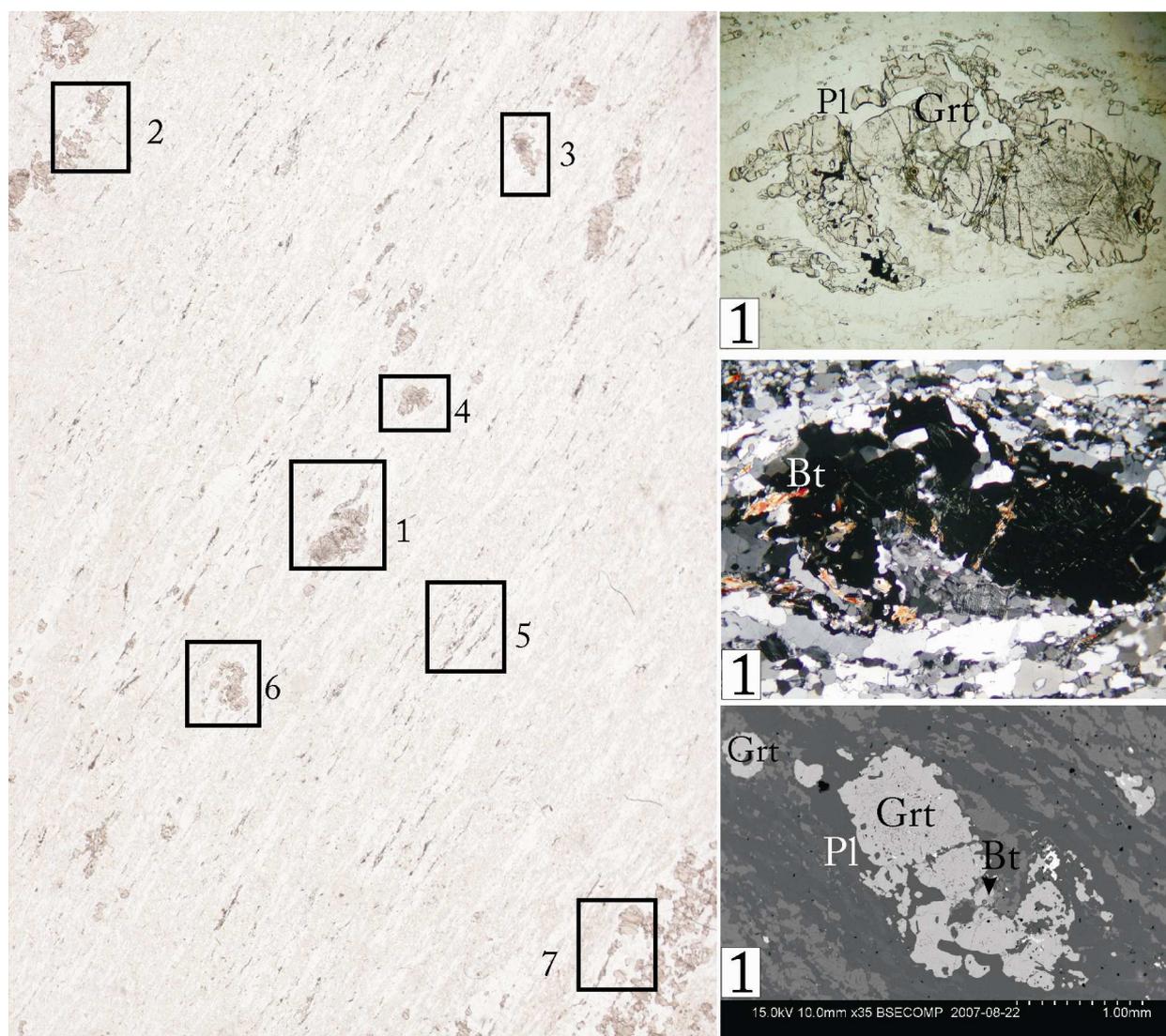


Postmagminė

milonitizacija (D1)

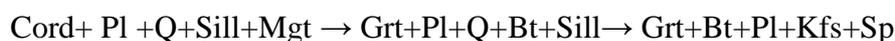
milonitizacija (D2)

Metapelitiniame ultramilonite (21 pav.) buvo tirti granato branduoliai, pa-



21 pav. Slėgio-temperatūros (P-T) matuotos vietos skenuota šlifo nuotraukoje (plotis 2 cm) iš metapelitinio granito (taškai 1-6), gręžinio Girkaliai-2/2355. Mikroskopinės (Nr.1a, Nr.1b, nuotraukų dydis – 2,5 mm) ir atgal atspindėtų jonų (Nr.1.c) nuotraukos rodo granato, biotito ir plagioklazo suaugimus. Sutrumpinimai: Pl – plagioklazas, Bt – biotitas, Grt – granatas.

kraščiai ir maži grūdai. Granato branduolių ir jų pakraščių temperatūros ir slėgio kreivės nebuvo braižomos. Tai rodo, kad jie su biotitu nėra pusiausvyroje. Analizės gautos tik iš mažų granatų. Maži ganatai kartu su biotitais ir plagioklazais buvo atrinkti iš uolienos matricos. Gauti duomenys, parodė, kad jie susidarė prie 680-720°C temperatūros ir 5-6 kbar. Milonitizacijos metu vystėsi tokia mineralų paragenezė:



Magminė *postkinemtinė stadija* *milonitizacija (D1)*

Šio darbo tyrimai parodė, kad čarnokitoidų slėgio-temperatūros sąlygos keičiasi Telšių deformacijos zonoje: 1) Silpnai deformuoti čarnokitoidų kristalizavosi prie 800°C temperatūros ir 7-8 kbar slėgio esant mineralų paragenezei: Grt+Bt+Pl (An₃₀₋₅₀)+Qtz+Mag+Ilm+Sp; 2) Čarnokitoidinės sudėties mezomilonitas ir ultramilonitas susidarė granulitinės-amfibolitinės facijų sąlygomis prie 680-750°C temperatūros ir 4-6 kbar slėgio. Panašios slėgio-temperatūros sąlygos, t. y. 680-720°C ir 5-6 kbar charakteringos metapelitiniam ultramilonitui, kai milonitizacijos metu susidarė tokia mineralų paragenezė: Grt+Bt+Pl+Kfs+Sill+Sp.

Preliminarūs gauti duomenys (4 lentelė) rodo, kad slėgio-temperatūros sąlygos buvo skirtingos nedeformuotose ir milonitizuotose uolienose. Milonitizacija vyko 15-18 km plutos gylyje žemesnėse ir slėgio ir temperatūros sąlygomis nei kristalizavosi čarnokitoidai (30 km gylyje, Motuza ir Motuza, 2011). Tai rodo, kad milonitizacija vyko žemės plutos blokų kilimo metu. Skirtingi slėgio-temperatūros parametrai Telšių deformacijos zonoje gali būti susiję su kai kurių blokų greitesniu kilimu ir intensyvesne erozija.

4 lentelė. Uolienų slėgio ir temperatūros rezultatai iš Telšių deformacijos zonos.

Gręžinio pavadinimas	Uoliena	Metodas	T, °C Stambus grūdas	T, °C Mažas grūdas	Slėgis, kbar Stambus grūdas	Slėgis, kbar Mažas grūdas
Vydmantai-2	Silpnai deformuotas čarnokitoidas	Gt-Bt (T)* GBPQ (P)**	800		7-8	
Girkaliai-3/2081	Čarnokitoidinis ultramilonitas	Gt-Bt (T) GBPQ (P)	680-750	650	4	2,8
Girkaliai-2/2355 (1)	Metapelitinis ultramilonitas	Gt-Bt (T) GBPQ (P)		680-720		5-6
Girkaliai-2/2376 (2)	Čarnokitoidinis milonitas	Gt-Bt (T) GBPQ (P)	720		4-5 kbar	
Tryškiai-73	Čarnokitoidinis milonitas	Gt-Bt (T) GBPQ (P)	570	<500	4,2	2,5-3

*Paklaida granato-biotito (Gt-Bt) geotermometro pagal Ferry and Spear yra ±50°C; **Paklaida granato-biotito-plagioklazo-kvarco (GBPQ) geobarometras pagal Hodges and Spear yra ± 1 kbar

3.5. CIRKONŲ U/Pb GEOCHRONOLOGIJA PAGAL SHRIMP TECHNOLOGIJĄ TELŠIŲ DEFORMACIJOS ZONOJE

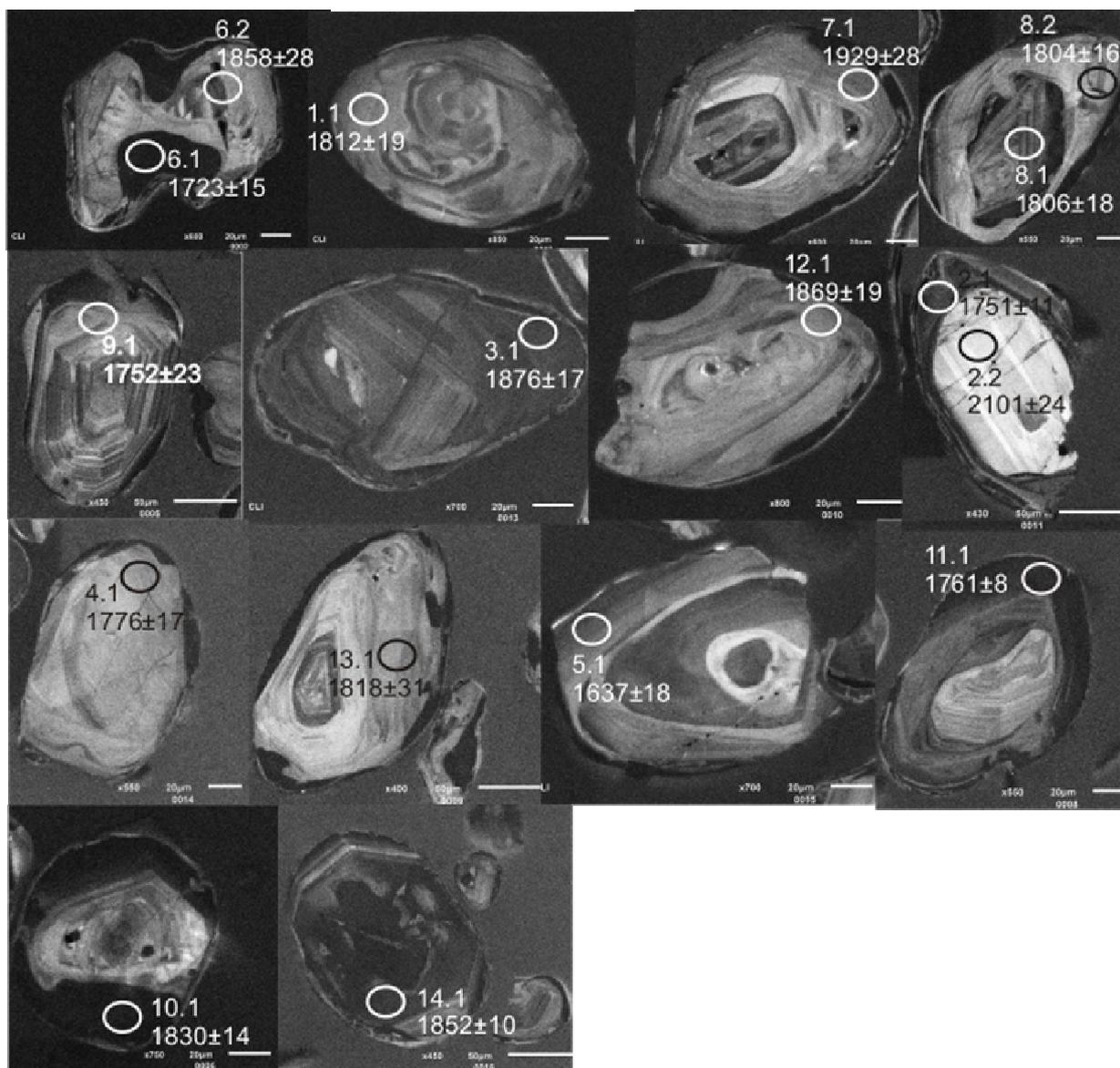
Radiometriniai (izotopiniai) datavimo metodai, pagrįsti radioaktyviųjų cheminių elementų izotopų (motininių) skilimu ir jų produktų (dukterinių) susidarymu, yra naudojami geologinio proceso amžiui nustatyti. Izotopų kiekiai matuojami urano turinčiuose mineraluose, pavyzdžiui, cirkone, monacite, titanite ir kituose mineraluose. Tai vienas patikimiausių būdų, kuriuo galima gauti tikslius rezultatus. Šiame darbe autorės atlikti cirkono ir titanito datavimai U/Pb metodu taikant jautrios aukštos rezoliucijos joninį mikrozondą (angl. SHRIMP) ir terminį joninį masės spektrometrą (angl. TIMS).

Cirkono grūdai buvo atrinkti iš 6 skirtingos sudėties ir įvairaus laipsnio deformuotų pavyzdžių. Pagal protolitą ir deformacijos pobūdį tirtos uolienos iš Telšių deformacijos zonos buvo suskirstytos į dvi grupes: *čarnokitoidai* – silpnai deformuoti (MK-1, MK-2), mezomilonitas (GNC6-2), ultramilonitas (GRK3) ir *granitoidus* – silpnai deformuoti (GRK-2 2046) ir mezomilonitas (GNC6-1).

3.5.1. Čarnokitoidų pavyzdžių apibūdinimas ir rezultatai

Šiame darbe padarytos 68 cirkonų analizės (6 pav. ir 2 lentelė) iš 4 uolienu pavyzdžių (MK-1, MK-2, GNC6-2 ir GRK-3) su skirtingu deformacijos laipsniu (silpnai deformuoti, mezomilonitai ir ultramilonitai).

MK-1 2303. Iš pavyzdžio MK-1 (2303) cirkonai buvo atrinkti iš silpnai deformuoto čarnokitoido. Cirkonų grūdai yra ovalios ir prizmės formos, kurių dydis siekia nuo 110 iki 200 μm . Iš viso buvo datuota 14 cirkonų (17 taškų). Cirkono grūduose katodoluminiscencinės (CL) ir atgal atsispindinčių elektronų (BSE) nuotraukose gerai matomas branduolių osciliacinis zoniškumas. Siauras tamsus cirkono apaugimas (30 μm ir mažesni) matomas CL-nuotraukoje (22 pav.). BSE nuotraukose išryškėja lokalūs grūdo pakeitimai, juos kertantys plyšiai ir intarpai. Cirkono branduolyje U kiekis yra nuo 98 iki 238 ppm (viena analizė – 1270 ppm), o apaugimuose kinta nuo vidutinio (165-309 ppm) iki aukšto (626-1397 ppm). Th/U santykis cirkono branduoliuose yra 0,27-0,65 (viena analizė – 0,02), o jų apaugimuose skirtingas: vienuose pakraščiuose yra 0,18-0,65,



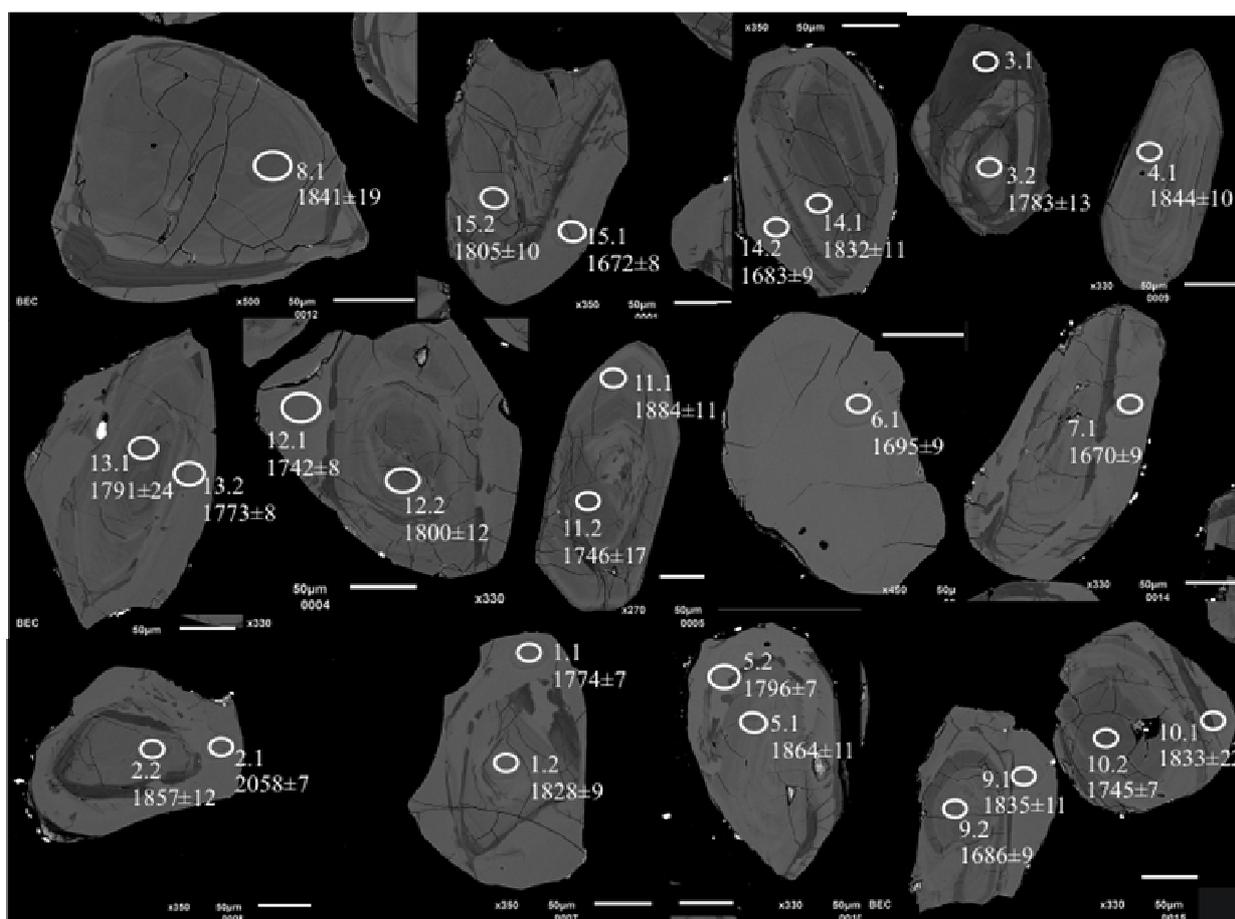
22 pav. Katodoliuminisencinėje (CL) nuotraukoje cirkonai iš pavyzdžio MK-1. CL rodo cirkono grūdų osciliacinę zoniškumą. Rutuliukas rodo SHRIMP analizuotą tašką, jo numerį ir amžių.

o kitos – 0,01-0,06. SHRIMP analizių rezultatai pateikti 4 lentelėje ir parodyti konkordijos diagramoje 28 paveiksle. $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ rodo uolienos amžių (vidurkių) – 1841 ± 13 mln. m. Šis amžius interpretuojamas kaip čarnokitoidų kristalizacijos laikas.

MK-2. Pavyzdys MK-2 yra labiau deformuotas nei MK-1. Cirkonų grūdai yra prizmės ar ovalios formos. Iš viso buvo datuota 15 cirkonų (23 pav.).

CL ir BSE nuotraukose matosi cirkonų branduolio ir apaugimo struktūros. CL vaizdas rodo, kad cirkono branduoliai yra su osciliaciniu zoniškumu, kuriuos juosia tamsūs apaugimo apvadėlis. BSE nuotraukose matomi cirkono branduoliai su įvairios krypties plyšiais bei tarpais (23 pav.). Apaugimuose jų yra žymiai mažiau nei branduoliuose. U/Th santykis yra skirtingas cirkono branduoliuose ir jų apaugimuose:

branduolyje yra 0,008-0,098, išskyrus vieną tašką, rodantį aukštesnį santykį. U kiekis kinta nuo vidutinio iki aukšto (160-978 ppm) bei šešios analizės yra su dideliu kiekiu (1045-2911 ppm). SHRIMP analizių rezultatai pateikti 4 lentelėje ir parodyti konkordijos diagramoje 28 paveiksle. $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ rodo uolienos vidurkių amžių 1814 ± 20 mln. m. Šis amžius interpretuojamas kaip čarnokitoidų kristalizacijos laikas.



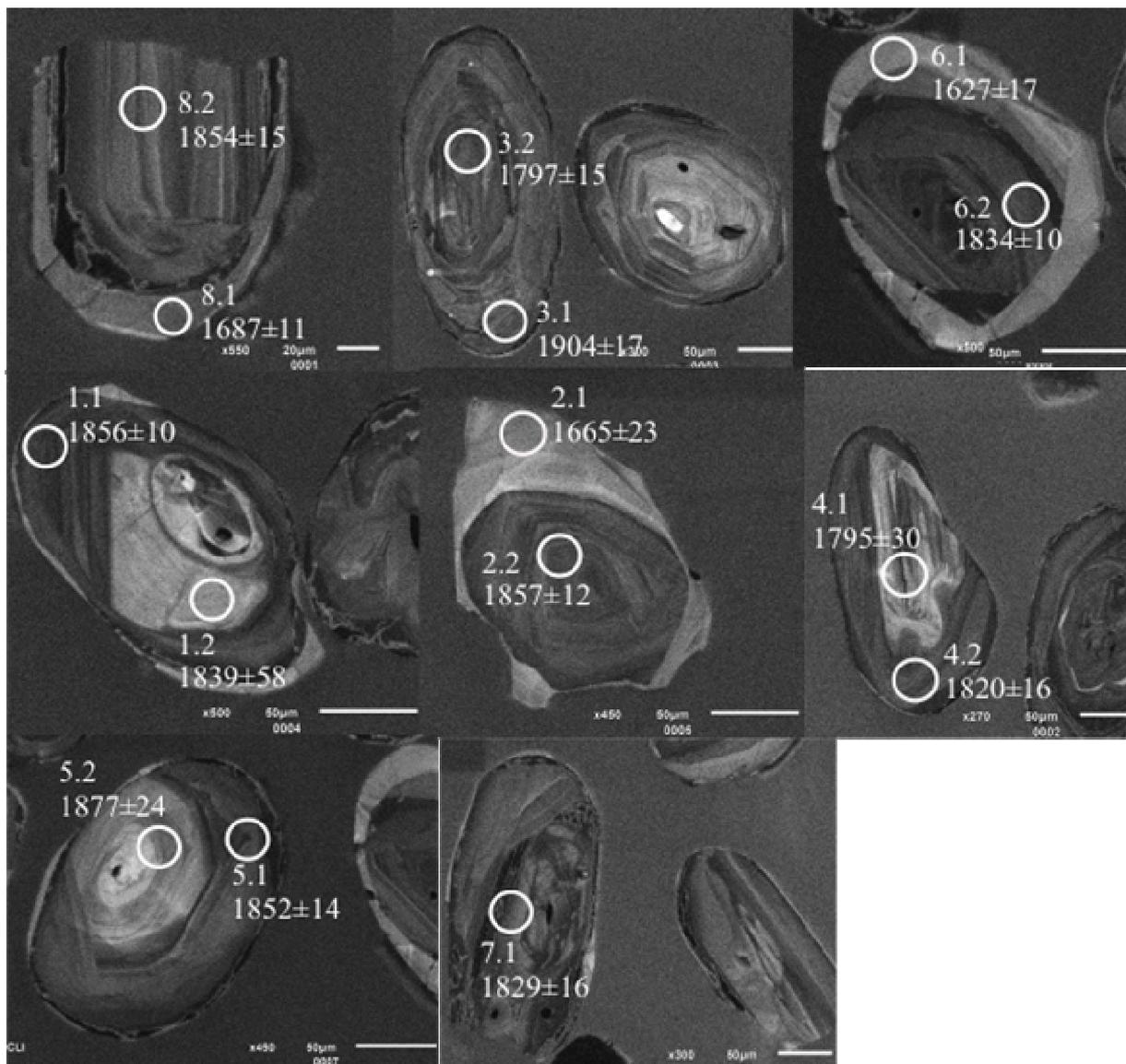
23 pav. Atgal atspindėtų elektronų (BSE) nuotraukoje cirkonai iš pavyzdžio MK-2. Rutuliukas rodo SHRIMP analizuotą tašką, jo numerį ir amžių.

GNC6-2. Pavyzdys GNC6-2 yra čarnokitinis mezomilonitas su stambiomis feldšpatų akimis. Cirkonų grūdai yra ovalios ar prizmės formos, jų dydis nuo 140 iki 300 μm . Iš viso buvo datuota 8 cirkonų grūdai (24 pav.).

Cirkono grūdų branduolių CL vaizdas rodo tamsų branduolį su osciliaciniu zoniškumu, aplink kurį yra šviesus-CL vaizdas, rodantis apaugimo zoną, kurios plotis kinta nuo 10 iki 50 μm (24 pav.). Cirkonų branduoliai ir apaugimai gerai matomi BSE nuotraukose. Th/U santykis cirkono branduoliuose yra 0,145 – 0,649 (viena analizė yra

su 0,091), o U kiekis yra 129 - 569 ppm (viena analizė - 88 ppm). Cirkono pakraščiuose Th/U santykis siekia nuo 0,109 iki 0,319, o U kiekis yra 154 - 563 ppm.

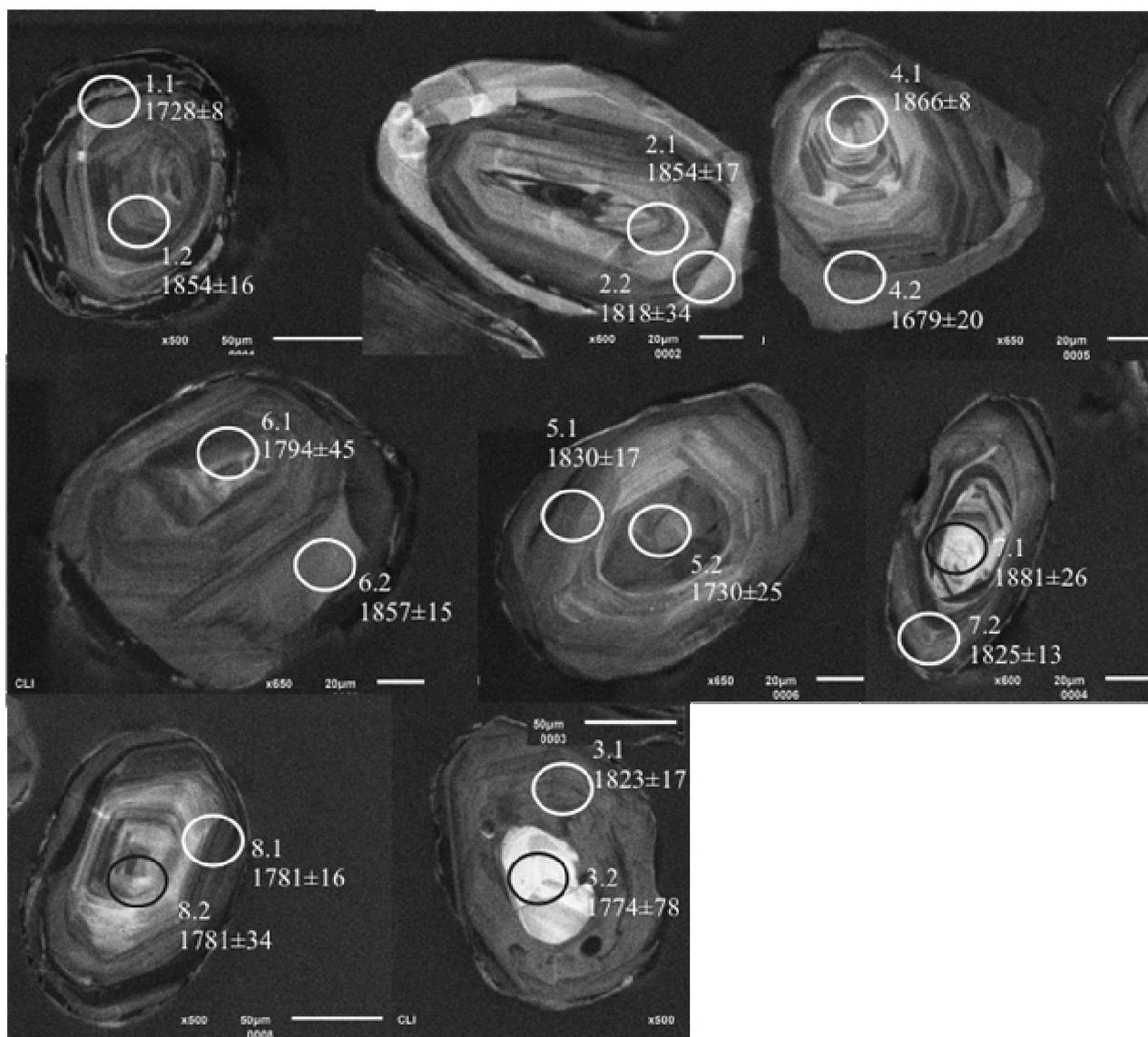
SHRIMP analizių rezultatai pateikti 4 lentelėje ir parodyti konkordijos diagramoje 28 paveiksle. $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ rodo uolienos vidurkių amžių – 1846 ± 12 mln. m., kuris interpretuojamas kaip čarnokitoidų kristalizacijos amžius, o 1679 ± 17 mln. m. rodo cirkonų apvadėlių susidarymo laiką.



24 pav. Katodoluminescencinėje (CL) nuotraukoje cirkonai iš pavyzdžio GNC6-2. CL vaizde matomas cirkono grūdų branduolių osciliacinis zoniškumas ir jų pakraštys yra vėlesnis apaugimas. Rutuliukas rodo SHRIMP analizuotą tašką.

GRK3. Pavyzdys GRK-3 yra čarnokitoidinis ultramilonitas. Cirkonų grūdai yra ovalios ir prizmės formos. Iš viso buvo datuota 8 cirkonų grūdai (25 pav.).

Cirkonų dydis siekia nuo 120 iki 180 μm , paprastai ilgio ir pločio santykis yra 1: 2,5. CL vaizdas (25 pav.) rodo cirkono grūdų branduolių osciliacinę zoniškumą ir šviesų apaugimo apvadėlį ($<20 \mu\text{m}$). Cirkono branduoliuose gausu radialinės ir koncentriškos krypties plyšių. BSE cirkonų nuotraukose matyti daug plyšių. Th/U santykis branduoliuose ir pakraščiuose atitinkamai yra 0,220-1,069 ir 0,165- 0,325 (išskyrus vieną analizę su 0,043). U kiekis branduoliuose ir apaugimuose atitinkamai yra 166-351 ppm (išskyrus vieną analizę 45 ppm) ir 181-364 ppm, išskyrus vieną su aukštu kiekiu (1455 ppm).



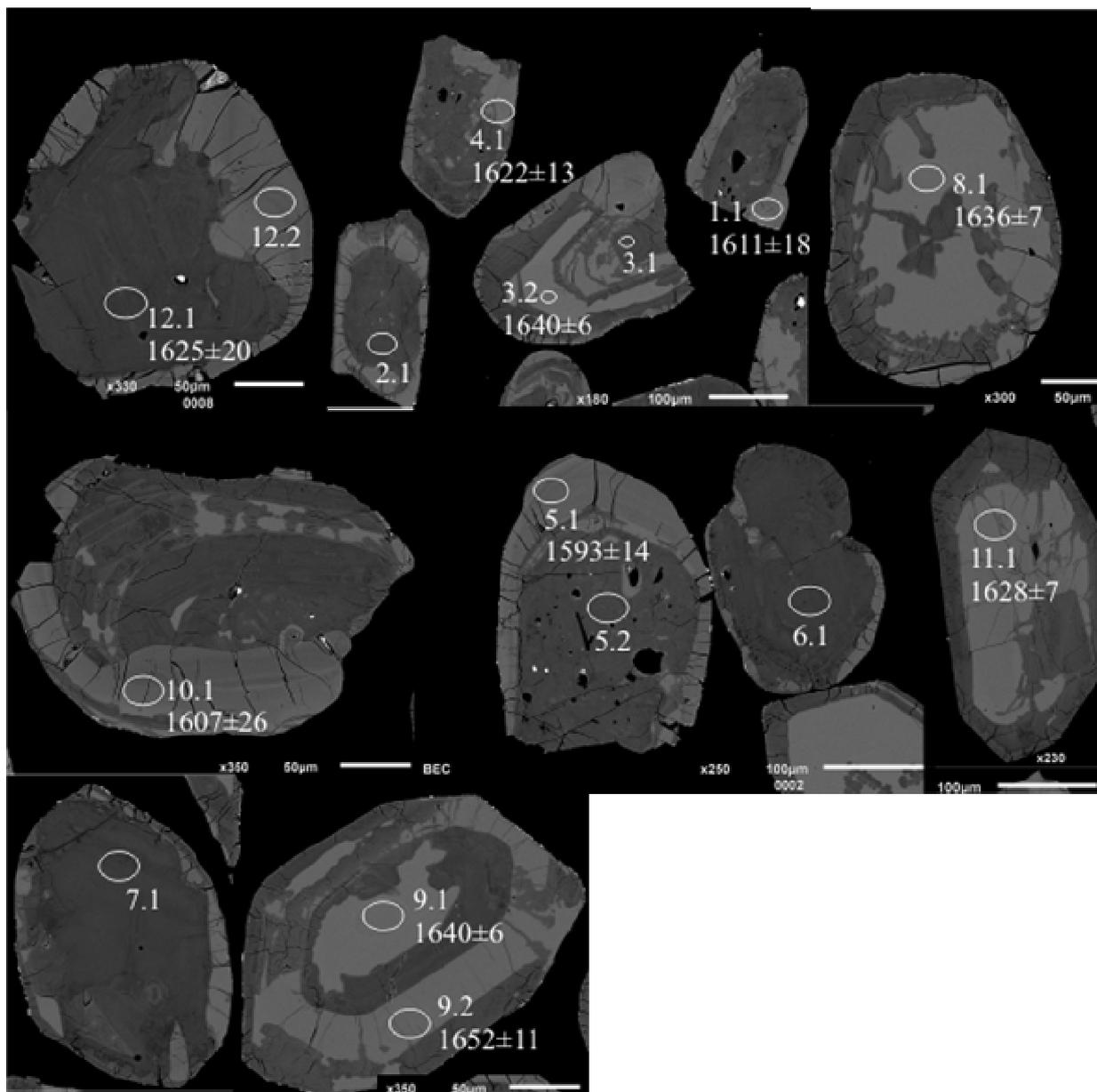
25 pav. Katodoliuminisencinėje (CL) nuotraukoje cirkonai iš pavyzdžio GRK3. CL rodo cirkono grūdų branduolių osciliacinę zoniškumą. Rutuliukas yra SHRIMP analizuotas taškas, jo numerį ir amžių.

SHRIMP analizių rezultatai pateikti 4 lentelėje ir parodyti konkordijos diagramoje 28 paveiksle. Labiausiai $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ konkordiškos analizės yra 1828 ± 16 mln. m. ir rodo

čarnokitoidų kristalizacijos laiką. Cirkonų apaugimų $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ vidurkių amžius yra 1712 ± 18 mln. m., kuris artimas MK-1, MK-2 ir GNC6-2 uolienu pavyzdžių amžiams.

3.5.2. Granitoidų pavyzdžių apibūdinimas ir rezultatai

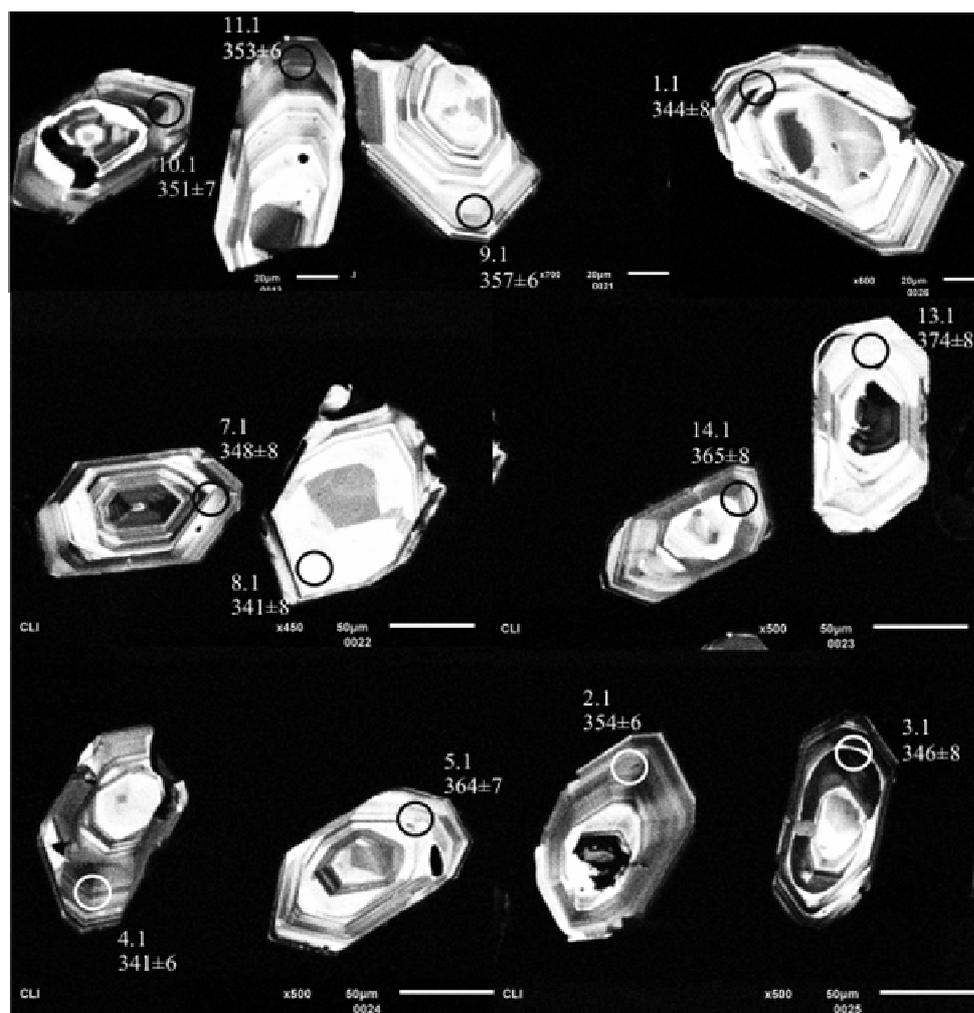
Mezomilonitai (GNC6-1). Pavyzdys GNC6-1-1 yra stambiagrūdis granitas. Cirkonų grūdai yra apvalios ar elipsės formos, kurių dydis yra nuo 110 iki 300 μm . Iš viso buvo datuota 12 cirkonų (26 pav.). CL nuotraukose spalvų intensyvumas yra skirtin-



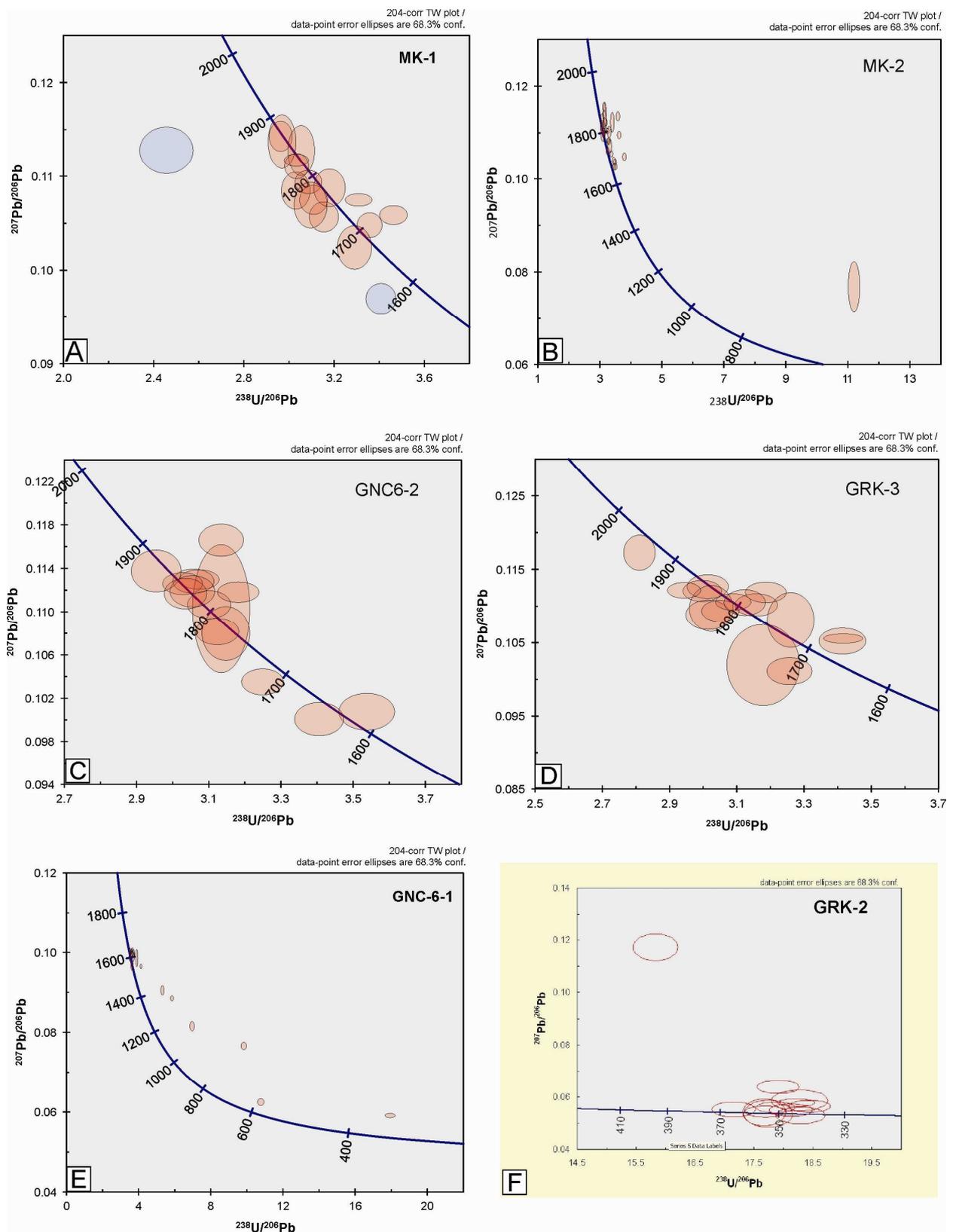
26 pav. Atgal atspindinčių elektronų (BSE) nuotraukoje cirkonai iš pavyzdžio GNC6-1. BSE vaizdas rodo ryškius cirkonų grūdų nevienalyčius domeinus. Tamsūs cirkono domeinai yra su padidintu U kiekiu, o šviesūs – su mažesniu. Rutuliukas rodo SHRIMP analizuotą tašką, jo numerį ir amžių.

gas, rodantis cirkonų heterogeniškumą. Jie sudaryti iš tamsių ir šviesių domenų (30-70 μm). BSE nuotraukos parodė, kad cirkonai yra su daugybe intarpų ir gausu radialinių plyšių, kurie atsišakoja nuo U padidintų cirkono domenų (26 pav.). Cirkonobranduoliuose U/Th kiekis yra 0,037-0,1 ir jų pakraščiuose – 0,120-0,256 (viena analizė yra su 0,53). U kiekis branduoliuose yra 1406-4845, o pakraščiuose kinta nuo vidutinio (475 ppm) iki labai aukšto (2528 ppm). SHRIMP analizių rezultatai pateikti 4 lentelėje ir parodyti konkordijos diagramoje 28 paveiksle. Penkios analizės iš tamsių branduolių su labai dideliu U kiekiu (>2200 ppm) buvo neįtrauktos į diagramą. Cirkono apaugimų analizės (7 analizės) yra konkordantinės, o viena analizė iš branduolio yra arti konkordijos linijos. $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ rodo vidurkių amžių – 1622 ± 12 mln.m. Šis amžius interpretuojamas kaip granitinės intruzijos amžius.

Silpnai deformuotos uolienos (GRK-2). Iš vidutingrūdžio granito pavyzdžio datuota 18 cirkonų gūdų. Nustatyta, kad šiame granite yra dvi grupės cirkonų (27 pav.).



27 pav. Katodoluminisencinėje (CL) nuotraukoje cirkonai iš pavyzdžio GRK-2 2046. CL nuotraukoje cirkonų grūdai yra su aiškiais osciliacinio augimo linijomis. Rutuliukas rodo SHRIMP analizuotą tašką, numerį ir amžių.



28 pav. Geochronologiniai rezultatai Tera-Wasserberg konkordijos diagramose A) ir B) iš silpnai deformuoto čarnokitoido Mikoliškės-1 gręžinio; C) čarnokitoidinio mezomilonito gręžinio Genčiai-6 D) čarnokitoidinio ultramilonito gręžinio Girkaliai-3; E) granitoidinio mezomilonito iš gręžinio Genčiai-6; F) silpnai deformuoto granito iš gręžinio Girkaliai-2.

Pirmosios grupės cirkonų grūdai yra taisyklingos ar beveik taisyklingos formos. Datuota 12 cirkonų grūdų. Katodoliuminisencinėse (CL) nuotraukose šios grupės cirkonai yra prizmės formos su aiškiu koncentrinu, osciliaciniu zoniškumu (30 pav.), charakteringu magminiam augimui. Cirkonų dydis kinta nuo 50 iki 100 μm . U/Pb santykis cirkonuose yra tarp 0,81 ir 2,15, o U kiekis siekia nuo 57 iki 156. $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{Pb}$ santykis (207-koreguotas) rodo vidurkinį amžių – 349,1 \pm 5,7 mln. m. (MSWD=3,2, n=12 iš 14-os). Šis amžius interpretuojamas kaip granito intruzijos magminis amžius. Antrosios grupės cirkonai yra juodi (CL nuotraukoje), apvalios formos, jų dydis kinta nuo 110 iki 200 μm . Datuoti 6 cirkonai (8 taškai). Th/U santykis cirkonuose yra 0,10-0,49 ir U kiekis – 178-958 ppm, išskyrus vieną analizę (61 ppm). Šie cirkonai turi konkordinius $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ (204-koreguotas) amžius – 2643, 2186, 2081, 1887, 1852, 1724, 1663, ir 1476 mln. m. – kurie, manoma, yra ksenolitai, užgriebti iš aplinkinių uolienų magmos įsiskverbimo metu ar lydymosi metu.

Gauti cirkonų datavimai parodė (5 lentelė), kad tirtos uolienos Telšių deformacijos zonoje priklauso čarnokitoidų grupei, kurios amžius yra nuo 1846 \pm 12 iki 1814 \pm 20 mln. m. Jie sudaro Kuršių batolitą Vakarų Lietuvos Granulitiniame domene (Motuza et al., 2008). Deformacijos poveikis magminiams cirkonams nebuvo didelis, tačiau jie buvo paveikti metamiktinių procesų (Hoskin ir Schaltegger, 2003), kai intrudavo granitinės daikos prieš 1622 mln. m.

5 lentelė. U-Pb cirkonų amžiai iš TDZ uolienų

Pavadinimas gręžinio/pavyzdžio	Uoliena	Magminis amžius/ branduolys, mln. m.	Metamorfinis amžius/apaugimas, mln. m
Mikoliškės-1/MK1	Silpnai deformuotas čarnokitoidas	1814 \pm 20*	1733 \pm 15*
Mikoliškės-1/MK2	Silpnai deformuotas čarnokitoidas	1841 \pm 13*	1680 \pm 9*
Genčiai-6-2/GNC6-2	Čarnokitoidinis mesomilonitas	1846 \pm 12*	1679 \pm 17*
Girkaliai3/GRK6-1	Čarnokitoidinis ultramilonitas	1828 \pm 16*	1712 \pm 18*
Genčiai6-1/GRK3	Granitinis ultramilonitas	1622 \pm 12*	
Girkaliai2/GRK2	Silpnai deformuotas granitas	349 \pm 6	

*amžiaus vidurkis labiausiai konkordinių analizių (konkordija < 10%)

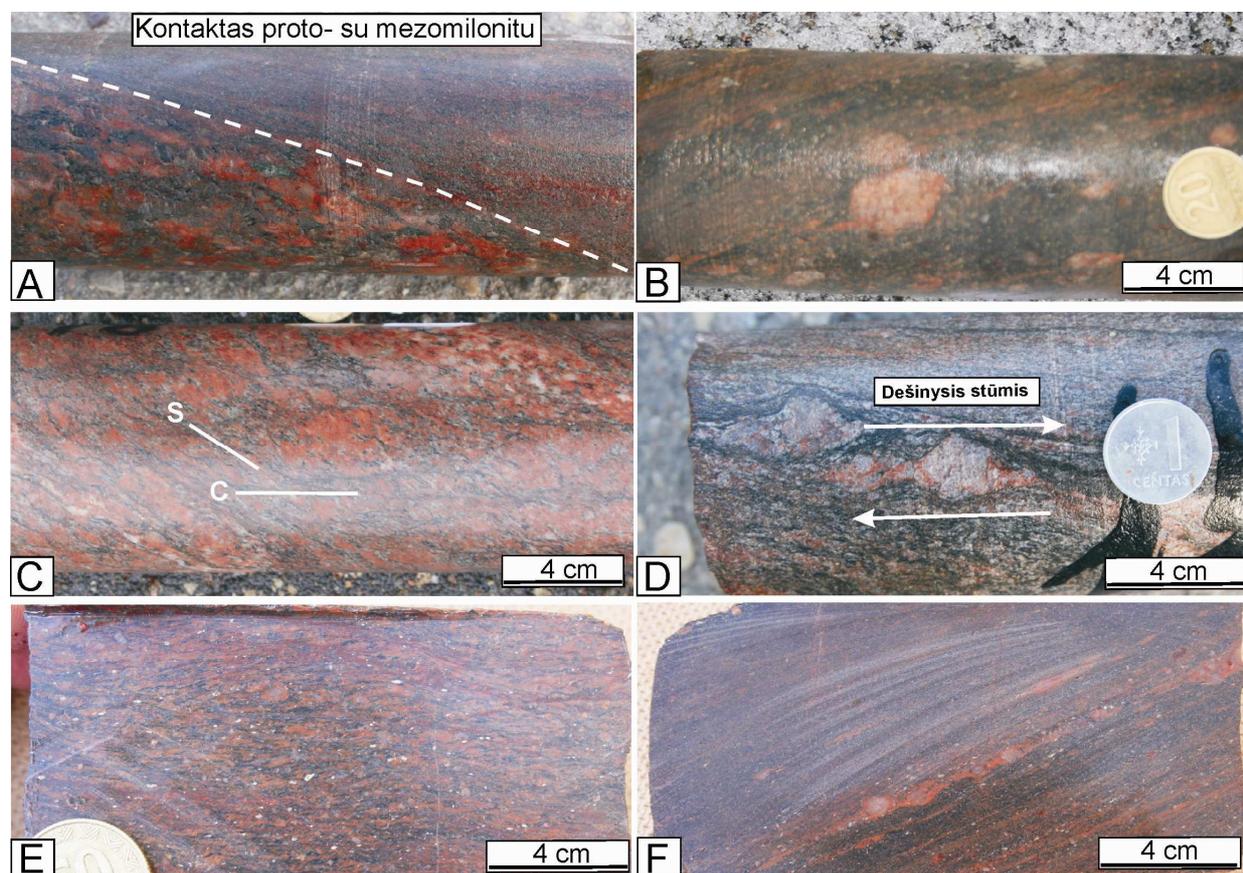
Kadangi šie granitai ir juos talpinantys čarnokitoidai buvo deformuoti vienu metu tos pačios deformacijos, manoma, kad šis amžius rodo Telšių deformacijos zonos formavimosi pradžią ir yra artimas prieš 1580 mln. metų anortozitų-mangeritų-čarnokitų-granitų formavimuisi Latvijoje ir prieš 1602-1595 mln. metų Breven

doleritinių daikų įsiterpimui į plutą Švedijoje (Söderlund, 2006). Tektonoterminio įvykio metu prieš 1733-1679 mln. m. augo cirkonų pakraščiai ir yra susiję su gotiškąja orogeneze. Šarminės intruzijos, susidariusios prieš 350 mln. metų yra Lenkijoje, rodančios, kad proterozojinėje plutoje vyko lydymasis ir sutampa su Girkalių granitinės daikos amžiumi Telšių deformacijos zonoje.

3. 2. DRŪKŠIŲ-POLOCKO DEFORMACIJOS ZONOS CHARAKTERISTIKA

Drūkšių-Polocko deformacijos zonoje uolienos tirtos iš 8 gręžinių: šiaurinėje DPDZ dalyje – iš Novikai-1, Šaškai-2, Schedai-3, Stankovičiai-4, Visaginas-5, Kazimirovo-6, Drūkšiai-324, o pietinėje jos dalyje – iš Tverečius-336.

Gręžinys Novikai-1 yra šiaurinėje Drūkšių-Polocko deformacijos zonos juostoje. Jis įsiskverbęs 13,5 m į kristalinį pamatą. Šiame gręžinyje granitas yra raudonos spalvos, stambiagrūdis, milonitizuotas. Foliacijos kritimo kampas yra 80° visame gręžinyje. Pagal deformacijos pobūdį nustatyti protomilonitas ir mezomilonitas. Kontaktas tarp jų – ryškus ir darnus (29 pav. A). Uolienos deformuotos visame gręžinyje.



29 pav. Makroskopinės nuotraukos iš Drūkšių-Polocko deformacijos zonos: A) Protomilonitas iš gręž. Novikai-1 gyl. 742 m, B) Akinis mezomilonitas iš gręž. Tverečius-336, gyl. 678,4 m, C) S-C mezomilonitas iš gręž. Šaškai-2, gyl. 765 m, D) S-C mezomilonitas su porfyroklastais iš gręž. Šaškai-2, gyl. 759 m, E ir F) Mezomilonitas ir ultramilonitas iš gręž. Tverečius-336, gyl. 678 m.

Gręžinys Šaškai-2 yra rytinėje DPDZ dalyje. Jis įsiskverbęs 17,8 m į kristalinį pamatą. Granitas yra raudonos spalvos, vidutingrūdis. Foliacijos kritimo

kampas grėžinyje kinta nuo 60° iki 80°. Milonite porfyroklastų kiekis svyruoja nuo 10 iki 50%. Būdingi milonitai su S–C struktūromis visame grėžinyje (29 pav. C ir D).

Grėžinys Schedai-3 yra šiaurės vakarinėje DPDZ dalyje. Čia slūgso deformuoti granitai. Šis grėžinys įsiskverbęs 25,5 m į kristalinį pamatą. Milonite foliacijos kritimo kampas nekito ir visame grėžinyje išliko beveik vertikalus – 80°–85°. Uoliena panaši į grėžinio Šaškai-2 deformuotą granitą.

Grėžinys Stankovičiai-4 – rytinėje DPDZ dalyje, Baltarusijos teritorijoje. Šis grėžinys pragrėžtas 22 m į kristalinį pamatą. Visame grėžinyje slūgso milonitizuotas granitas, panašus į grėžinių Šaškai-2 ir Schedai-3. Jis – raudonos spalvos, vidutingrūdis. Foliacijos kritimo kampas yra 80–90°.

Grėžinys Visaginas-5 yra pietvakarinėje DPDZ dalyje, išgrėžtas 25,5 m į kristalinį pamatą. Milonitizuoto granito foliacijos kritimo kampas – 80°. Viršutinėje ir apatinėje grėžinio dalyse aptiktos siauros kataklazės zonelės, kertančios milonitą 10–20° kampu kerno ašies atžvilgiu, o 752 m gylyje kataklazės zonelės polinkio kampas keičiasi – 60°. Jų plotis siekia apie 2 cm. Kataklazės zonelės yra išplitę tik atskirose vietose.

Grėžinys Kazimirovo-6 yra pietrytinėje DPDZ dalyje. Jis išgrėžtas už šiaurės rytinės Lietuvos valstybinės sienos, jau Baltarusijos teritorijoje. Čia slūgso deformuotas granitas su amfibolito gyslomis. Uolienoje būdingos tekėjimo struktūros, panašios į migmatitą. Lyginant grėžinio Kazimirovo-6 uolienas su grėžinių Šaškai-2, Schedai-3, Stankovičiai-4 ir Visaginas-4, uoliena yra mažiau deformuota, t. y. protomilonitas, kurį sudaro 80-90 procentų porfyroklastų, o likusi dalis yra matrica.

Grėžinyje Drūkšiai-324 buvo įsigrėžta į kristalinį pamatą iki 48,7 m šiaurės vakarinėje DPDZ dalyje. Tai giliausiai įsiskverbęs grėžinys į kristalinį pamatą iš visų tiriamų DPDZ. Uolienų foliacijos kampas yra 70°–90°. Pagal mineralinę sudėtį uoliena tikriausiai yra metagabras.

Grėžinys Tverečius-336 yra pietinėje DPDZ dalyje. Jis įsiskverbė 41,1 m į kristalinį pamatą. Nustatyta foliacija uolienose yra 75–90° kerno ašies atžvilgiu. Šiame grėžinyje vyrauja granitoidinis akinis milonitas, kuris vietomis siaurais intervalais virtęs į ultramilonitą (29 pav. B, E, F). Taip pat čia būdingos brekčijos zonos, ypač viršutinėje grėžinio dalyje.

Pagal protolitą DPDZ uolienos skirstomos į dvi grupes: *granitoidai* ir *mafinės arba bazinės uolienos* (amfibolitai ir metagabras). Pagal deformacijos pobūdį

granitoidai skiriami į *protomilonitą*, *mezomilonitą*, *ultramilonitą*, *brekčiją* ir *pseudotachilitą*, o bazinės uolienos yra *silpnai deformuotos*. Šiaurinio DPDZ pakraščio deformuotų uolienu išsidėstymas parodytas 32 paveiksle.

3.2.1. DRŪKŠIŲ-POLOCKO DEFORMACIJOS ZONOS UOLIENŲ PETROGRAFINĖ-MIKROSTRUKTŪRINĖ CHARAKTERISTIKA IR KLASIFIKACIJA

3.2.1.1. Granitoidai: protomilonitai, mezomilonitai ir ultramilonitai

Protomilonitas

Granitinės sudėtis protomilonitas rastas Novikai-1 ir Kazimirovo-6 grėžiniuose. Porfyroklastų yra mažiau nei 50% matricos atžvilgiu. Kerne feldšpatų porfyroklastai yra sigma (σ) ir teta (θ) formos. Jų dydis dažnai siekia apie 3 mm bei vietomis – iki 1,5 cm. Plagioklazas ir kvarcas yra ištemti ar budinuoti.

Granitoidą sudaro K-feldšpatai, plagioklazas, biotitas, kvarcas ir vietomis amfibolas. Akcesoriniai mineralai yra rūdiniai mineralai ir cirkonas. Cirkonas šiame darbe detaliau tirtas U/Pb metodu pagal SHRIMP technologiją. Dalis plagioklazų porfyroklastų yra su polisintetiniais dvynučiais. Plagioklazuose matomi plyšiai, kertantys jį statmenai jo ilgosios ašies atžvilgiu (30 pav. A). Plagioklazai yra dažnai paveikti seritizacijos. Kvarcas ir mikroklinas sudaro ištemtos formos kristalus. Kvarcas yra su banguotu užgesimu (30 pav. C). Biotitas – rudas, plokštelių pavidalo (30 pav. D). Amfibolas yra budinuotas, jį keičia biotitas.

Mezomilonitai ir ultramilonitas

Milonitizuotas granitas slūgso pietiniame DPDZ pakraštyje (grėžiniuose Novikai-1, Šaškai-2, Schedai-3, Stankovičiai-4 ir Visaginas-6). Milonite porfyroklastų kiekis svyruoja nuo 50 iki 90%. Milonitas yra raudonos spalvos su tamsios spalvos juostelėmis. Skirtingai, nei grėžiniuose Novikai-1 ir Visaginas-6, kitų grėžinių mezomilonitui charakteringa savybė yra tai, kad jis turi S/C (arba S–C) struktūras (33 pav. F). C šlyties juostelės yra tiesios, siauros juostos (1–2 mm), sudarytos daugiausiai iš

biotito ir kvarco. Jos slūgso beveik vertikaliai kerno ašies atžvilgiu, į kurias nedideliu kampu atsiremia S struktūros (plokštumos), sudarytos iš feldšpatų (29 pav. C). Taip pat yra išlikusių sigma formos porfyroklastų, rodančių dešininio stūmio kryptį kerno ašies atžvilgiu. Mikroskopiškai foliaciją milonite nurodo feldšpato megakristai, kuriuos apgaubia itin smulkiagrūdė masė iš feldšpato, biotito, kvarco. Taip pat rasti vēlesnės milonitizacijos požymių – C' šlyties juostelės, sudarytos iš biotito ir kvarco. Jos išsidėstę įstrižai pagrindinei milonitų foliacijai.

Uolienos grūdų dydis kinta nuo 4 mm iki 0,2 mm. Plagioklazas ir amfibolas išsiskiria dydžiu iš talpinančios masės – jie yra žymiai didesni. Plagioklazų porfyroklastai (1–4 mm) yra linzių ar elipsės formos. Jų pakraštyje dėl perkristalizacijos susiformavo nauji itin smulkiagrūdžiai (<0,2 mm) plagioklazo grūdai. Dalis feldšpatų turi „liepsnų“ formos pertitus, išsidėsčiusius grūdo pakraštyje. Plagioklazo pakraščiuose matomi slėgio šešėliai, sudaryti iš kvarco ir biotito, išlikę didesnio tempimo vietose. Dalis plagioklazų yra paveikti antrinių procesų, todėl juos keičia molio ir karbonatų mineralai. K-feldšpatai, kaip ir plagioklazai, yra skirtingo dydžio, kintantys nuo 5 mm iki 0,4 mm. Stambūs mikrokliно porfyroklastai yra deformuoti – linzių formos, apsupti smulkiagrūdės perkristalizuotos masės. Mikrokliно kristalus kerta įvairių krypčių plyšiai. Dalis jų perstumti į atskiras dalis. Nustatyti trys kvarco tipai: 1) stambūs (~ 1 mm), stipriai ištempti (dinamiškai perkristalizuoti); 2) vidutinio grūdėtumo (0,1 mm) dinamiškai ir statiškai perkristalizuoti (30 pav. E, G); 3) itin smulkiagrūdžiai agregatai (< 0,01 mm, 30 pav. H). Stambūs kvarco porfyroklastai yra su vingiuotomis (angl. embayment) grūdo ribomis ir banguotu užgesimu, susidarę dėl dinaminės perkristalizacijos. Juostinis kvarcas rodo aukšto laipsnio deformaciją (30 pav. E). Itin sutrintoje smulkiagrūdėje masėje matomos suraukšlėtos kvarco juostelės, įgavusios „z“ raidės formą (30 pav. H). Passchier ir Trouw (2005) jas interpretuoja kaip požymį rodantį pirmiausiai vykusias tempimo, o vėliau spaudimo sąlygas.

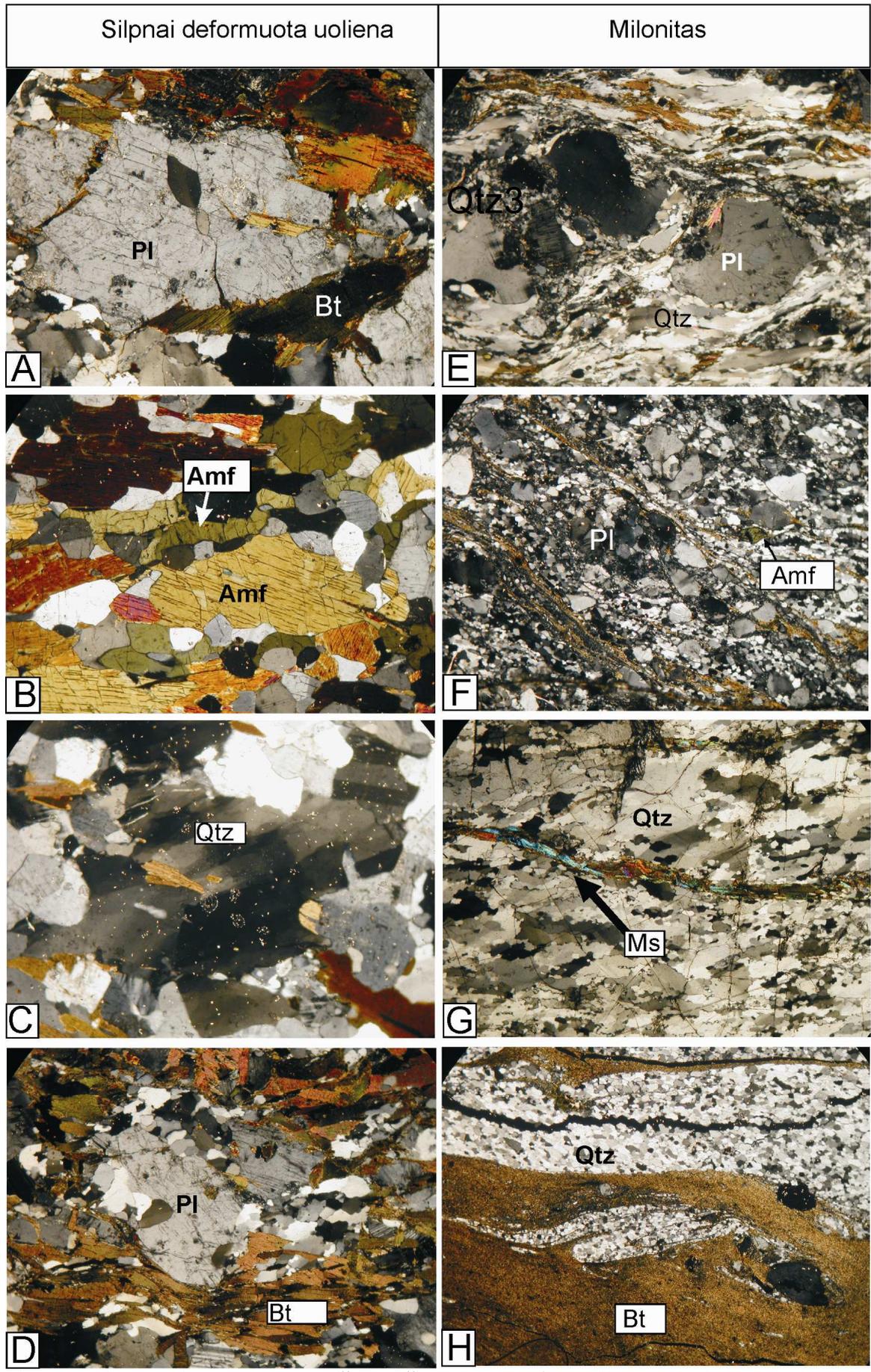
Biotitas yra rudas ar žalsvai rudas. Dalis biotitų išliko atskirais stambiais lakštais, o kita dalis – labai stipriai perkristalizuoti į smulkiagrūdę masę ir sudaro atskiras juosteles. Stambūs biotitai yra budinuoti. Vieni jų turi rombo formą ir vadinamos „žuvimis“ (angl. fish, Simpson, Schmid 1983, Passchier ir Trouw 2005). Stambių biotitų pakraštyje susidarė ištįsusios asimetrinės uodegos iš smulkiagrūdžio biotito. Tokie žuvies formos biotitai yra svarbūs kaip kinematiniai rodikliai, nustatant

stūmio kryptį (Passchier ir Trouw, 2005). Greta biotito yra muskovitas, kurie kartu sudaro juosteles, einančias paraleliai foliacijai ar apgaubiančios plagioklazų porfyroklastus. Gali būti, kad muskovitas formavosi deformacijos ar postdeformacijos metu iš biotito.

Gilesniuose gręžinio gyliuose matomas amfibolas. Dalis amfibolų yra labai stipriai deformuoti: vieni dėl grūdų rotacijos yra stipriai susmulkinti (30 pav. F), kiti – sigma formos. Iš akcesorinių mineralų aptikti rūdiniai mineralai, cirkonas ir apatitas.

Mezomilonitas kvarco dioritinės sudėties yra rausvai pilkos spalvos, sudarytas iš šių pagrindinių mineralų: plagioklazo, kvarco, biotito, amfibolo ir magnetito. Iš akcesorinių – titanitas, ilmenitas, cirkonas, apatitas, monacitas bei antriniai mineralai – epidotas, chloritas, sericitas ir karbonatai. Gręžinyje Tverečius-336 mezomilonite gerai matomos feldšpatų akinės struktūros, todėl šiame darbe jis vadinamas akiniu milonitu. Milonitizuotas granitas slūgso pietiniame DPDZ pakraštyje (gręžiniuose Novikai-1, Šaškai-2, Schedai-3, Stankovičiai-4 ir Visaginas-6) bei Tverečius-336 – šiaurinėje deformacijos zonos pakraštyje.

Kerne gerai matomi stambūs feldšpatų kristalai (~1 cm). Mikroskopiškai vieni plagioklazai yra išlikę su paprastaisiais dvynučiais (33 pav. A), o kiti – su sintetiniais (30 pav. A ir 33 pav. B). Jie rodo protolito magminę kilmę. Porfyroklastai yra akių formos, apjuosti smulkiagrūdės masės šleifu, sudarytu iš biotito, kvarco, feldšpatų ir rūdinių mineralų. Dalis plagioklazų pakito dėl dūlėjimo – čia susidarė sericitas ir chloritas. Mikroklinas, kaip ir plagioklazas yra ovalios ar akių formos. Kristalai 1–2 mm dydžio yra apjuosti smulkiagrūdės masės, o itin smulkūs (0,1 mm) – sudedamoji matricos dalis. Biotitas yra žalsvai rudos spalvos plokštelės. Jis dažniausiai būna paragenezėje su magnetitu ir titanitu. Kvarcas turi nelygias ribas ir banguotą užgesimą. Dalis grūdų yra stipriai ištempti ir dažnai sudaro sankaupas ar atskiras juosteles. Uolienoje yra daug epidoto. Jo smulkūs grūdai išsidėstė grandinėlėmis arba gaubia chloritą bei, galbūt, radioktyvius mineralus (ortitą). Titanitas čia aptiktas kartu su biotitu ir magnetitu. Jie kartu sudaro pagrindinę foliaciją, kuri apjuosia stambesnius kristalus (plagioklazo, mikroklino). Titanitas yra šviesiai rudas, smulkiagrūdis (<0,2 mm). Taip pat dar čia matomi titanito apaugimai plonų juostelių pavidalu aplink magnetitą. Titanito ir cirkono grūdai papildomai tirti U/Pb metodu, SHRIMP technologija.



30 pav. Mikroskopinės nuotraukos iš Drukšų-Polocko deformacijos zonos (nuotraukų dydis – 4 mm, sukryžiuoti nikoliai): Silpnai deformuota uoliena: A) Plagioklazo klastas iš gręž. Kazimirovo-6; B) Ištemtas

amfibolas su perkristalizuotais pakraščiais, grėž. Novikai-1; C) Stambus kvarco grūdas su banguotu užgesimu ir netaisyklingomis ribomis iš Novikai-1; D) plagioklazo-biotito protomilonito nuotrauka iš grėž. Kazimirovas-6; **milonitai**: E) Milonitas su išlikusiais plagioklazo reliktais smulkiagrūdėje biotito ir kvarco matricoje iš grėž. Schedai-3; F) Dalinai perkristalizuotas amfibolas ir plagioklazas S-C milonite iš grėž. Šaškai-2; G) Stambūs kvarco grūdai su netaisyklingomis ribomis ir banguotu užgesimu, susidarę dinaminės perkristalizacijos metu iš grėž. Schedai-3; H) Suraukšlėta poligoninio kvarco gyslutė smulkiagrūdėje biotito-kvarco masėje iš grėž. Šaškai-2.

Minėto mezomilonito viduje buvo rastas *ultramilonitas*, kurį sudaro sudaro K-feldšpatai, labai smulkus rudos spalvos biotitas, kvarcas, epidotas bei tamsieji mineralai (33 pav. G, H). Foliaciją geriausiai žymi kryptingai išsidėstę biotito ir epidoto mineralai bei kvarco mikrojuostelės. Mineralų paragenezė rodo, kad uoliena buvo deformuota intensyvios deformacijos zonoje, bet žemo laipsnio metamorfizmo, epidotinės-amfibolitinės ar žaliųjų skalūnų facijos sąlygomis.

3.2.1.2. Mafinės (bazinės) uolienos: silpnai deformuotos

Amfibolitas yra smulkiagrūdis, juodas, kuriame matyti lygiagrečiai išsidėstę smulkūs plagioklazo kristalai. Jį sudaro raginukė, plagioklazas, biotitas, kvarcas, magnetitas, ilmenitas, titanitas ir apatitas. Foliaciją nurodo kryptingas raginukės, plagioklazo ir biotito mineralų išsidėstymas. Minėti mineralai dažnai ištempti ar suspausti. Juos supa smulkiagrūdis plagioklazas, kvarcas ir biotitas. Protomilonite amfibolo, plagioklazo, biotito ir magnetito dydis kinta nuo 0,5 mm iki 4 mm.

Plagioklazas (~2–4 mm) yra netaisyklingos formos, su polisintetiniais dvynučiais bei amfibolo ir biotito tarpais (30 pav. A). Be plastinės deformacijos požymių, mineraluose aptikti trapiosios deformacijos požymių – plyšių sistemos, kertančios jį skersai. Vietomis plagioklazo grūdai yra pertraukti – sudaro budinas. Dūlėjimo metu plagioklazai patyrė dalinę seritizaciją.

Biotitas yra rudos ir rusvai žalios spalvos, su banguotu užgesimu, išsidėstęs lygiagriačiai amfibolo atskirais lakštais ar sankaupomis (29 pav. D). Dalis biotito lakštų yra nežymiai sulenkti dėl plastinės deformacijos poveikio. Kvarcas įgijo banguotą užgesimą subgrūdus plastinės deformacijos metu (30 pav. C). Akcesoriniai mineralai yra magnetitas, ilmenitas ir titanitas (sfenas). Ilmenitas dažniausiai sudaro įaugimus magnetite „grotelių“ pavidalu, o titanitas – apvadėlius aplink magnetitą. Smulkūs apatito agregatai yra dažni. Pastebėta, kad tose vietose, kur uoliena yra stipriau deformuota

pagausėjo K-feldšpatų. Šlifuose kvarco grūdų dydis kinta nuo ~ 2 mm iki ~ 0,1 mm. Stambūs kvarco grūdai (30 pav. C) yra ištempti, turi banguotą užgesimą ir nelygias ribas, įgytas dinaminės perkristalizacijos metu. Tuos stambius grūdus supa smulkesni, naujai susidarę kvarco grūdai, kurie dažniausiai sudaro atskiras sankaupas (30 pav. C ir F).

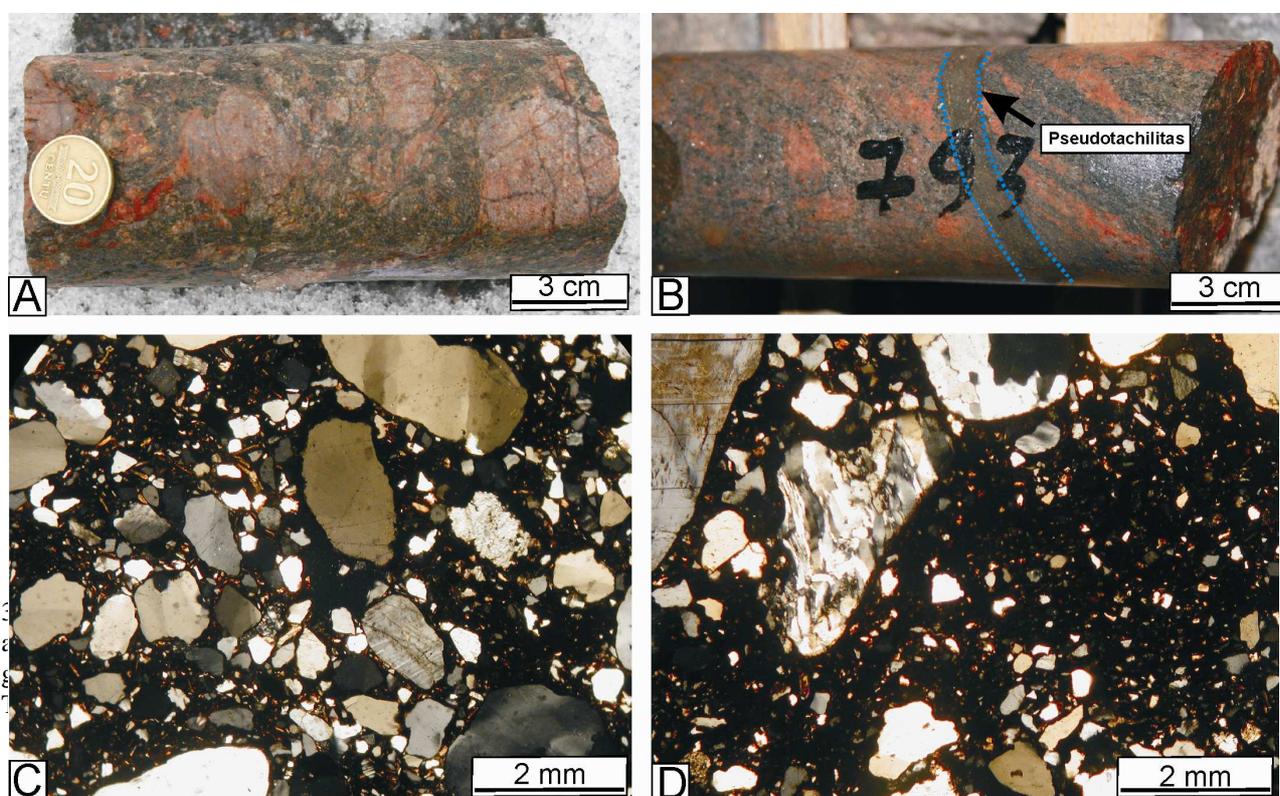
Amfibolas pleochrojuoja nuo žaliai iki šviesiai rudos spalvos. Amfibolo ribos netaisyklingos, jos su įlankėlėmis arba ataugėlėmis. Amfibolai (30 pav. B) yra ištempti, juose matyti subgrūdai, susidarę dėl grūdo atskirų dalių sukimosi stabilių dalių atžvilgiu. Spinduliška amfibolo struktūra susidarė dėl staigaus augimo, kurį skatino fluidai, patenkantys išilgai grūdo ribų (Selverstone, 1993). Amfibolai yra nevienodo dydžio: vieni yra didesni nei 2 mm, o kiti mažesni nei 0,1 mm. Juose daug smulkių ovalios formos rūdinių mineralų bei kvarco intarpų. Netolygiai pleochrojuojantis amfibolas rodo, kad grūdas yra deformuotas – susidarė subgrūdai. Amfibolai kartu su plagioklazų ir kvarcu sudarė poligoninę struktūrą ir išsidėstė viena kryptimi. Stambių grūdų pakraštyje vyko jų skilimas į mažesnius ir subgrūdų formavimasis. Šliffe matyti trapiosios deformacijos požymiai – plyšiai, kurie amfibolą kerta skersai, t. y. jie yra statmeni pagrindinei foliacijai.

Metagabras slūgso grėžinyje Drūkšiai-324. Uolienos priklauso Latgalijos masyvui, Rytų Latvijoje (G. Motuzos komentaras). Uoliena yra pilkos spalvos, mineralų dydis kinta nuo 2 mm iki 0,2 mm. Pagrindiniai uolienos mineralai yra plagioklazas, ortopiroksenas, klinopiroksenas, kvarcas, biotitas bei amfibolas. Akcesoriniai mineralai yra magnetitas.

Optiškai nustatyta, kad uolienoje vyrauja plagioklazo grūdai su gerai matomais polisintetiniais dvynučiais ir lenkimo juostomis. Piroksenai – ortopiroksenas ir klinopiroksenas – kryptingai išsidėstę. Dėl retrogradinių procesų metamorfizmo metu juos keičia amfibolas. Amfibolai yra netaisyklingos formos, vietomis su lenkimo struktūromis, rodančiomis, kad uolienoje grūdai patyrė sukimąsi, todėl susidarė subgrūdai. Biotitai – reti, jie išsidėstė lygiagrečiai foliacijos. Stambių plagioklazo, pirokseno ir amfibolo grūdų pakraščiai patyrė nestiprią perkristalizaciją, todėl susidarė mažesni grūdeliai.

3.2.1.3 Brekčijos

Trapiosios deformacijos produktas yra brekčijos, kurios rastos Schedai-3, Visaginas-6, Tverečius-336 gręžiniuose. Ypač gerai ji matoma Tverečiaus-336 gręžinyje (31 pav.A). Brekčiją sudaro sucementuotos stambaus plagioklazo, biotito bei statiškai perkristalizuoto smulkiagrūdžio kvarco agregatų nuolaužos. Uolienose matomos vėlesnės plyšių sistemos, išsidėsčiusios 50° kampų. Šie plyšiai yra trijų tipų: vieni jų „užgydyti“ biotitu ir magnetitu, kiti – geležies oksidu. Taip pat kerne matyti gausūs slysmo paviršiai, kurių polinkio kampas yra horizontalus ar $70\text{--}80^\circ$.

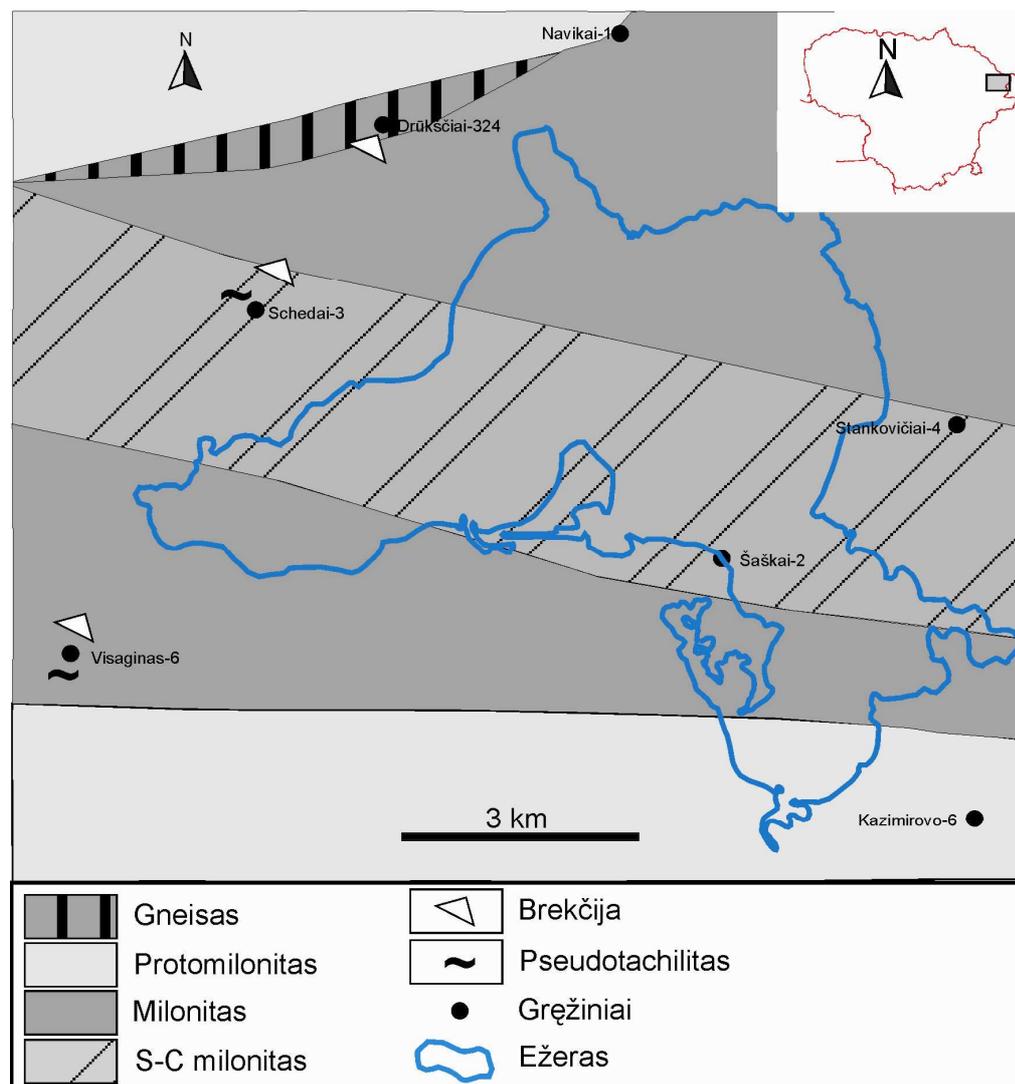


31 pav. Trapiosios deformacijos paveiktos uolienos iš Drukšų-Polocko deformacijos zonos: A) Brekčiuojtas akinis milonitas iš gręž. Tverečius-336 (kerno skersmuo 5,5 cm); B) Milonitas su pseudotachilito gyslute iš gręž. Visaginas-5; C) ir D) Pseudotachilito gysla, sudaryta iš stiklo ir uolienos bei mineralų nuolaužų iš gręž. Tverečius-336.

3.2.1.4. Pseudotachilitai

Gręžinyje Tverečius-336 aptiktas pseudotachilitas yra sudarytas iš kvarco nuolaužų, kurios sucementuotos stikliška mase (31 pav. C ir D). Jis yra rudas, nuo kelių

milimetrų iki 2 cm storio juostelių pavidalo su ryškiomis ribomis kontakte su talpinančia uoliena. Kitame gręžinyje – Visaginas-5– pseudotachilito gyslutė nedarniai kerta milonitą (31 pav. B) ir susidarė jau postkinematinio laikotarpiu. Pseudotachilitai susidaro lydantis uolienai labai pakilus temperatūrai dėl trinties, judant plutos blokams. Susidaręs lydidas trinties vietoje labai greitai atvėsta. Lydimosi metu į jį buvo įtraukta talpinančios uolienos nuolaužų, kurios padikai išsidėstė stikliškoje masėje (Passchier ir Trouw, 2005), pavyzdžiui, kaip 31 C ir D paveikslėliuose.



32 pav. Milonitizuotų ir kataklazuotų uolienų išsidėstymas Drūkšių-Polocko deformacijos zonos šiaurinėje juostoje.

3.2.1.5. Mikroprocesai Drūkšių-Polocko deformacijos zonos uolienose

Mikrostruktūrų deformacijos mechanizmų išsiaiškinimas uolienoje yra svarbus tuo, kad leidžia suprasti grūdų deformacijos pobūdį (kristalo plastiškumą,

plyšiuotumą ir kt.). Deformacijos pobūdis priklauso nuo temperatūros, slėgio (diferencialinio), deformacijos greičio, taip pat nuo uolieną sudarančių grūdų dydžio vienodumo, joje esamo fluidų turinio, uolienos sudėties ir skvarbumo (Passchier ir Trouw 2005; Vernon, 2004; Vernon, Clarke, 2008).

Plastiškoji deformacija gali būti išreikšta keliais būdais: 1) grūdo formos pasikeitimu plastiškoje būsenoje, t. y. vyksta dislokacinis slysmas (kai grūdo atskiros dalys perstumiamos); 2) grūdo formos pasikeitimu dėl difuzijos jo pakraštyje ar viduje, t. y. difuzinis slysmas; 3) tarpgrūdelinis judėjimas, t. y. granuliacinis tekėjimas ar grūdų ribų poslinkis (požymiai: grūdai lygūs, net po didelio deformacijos susikaupimo; grūdelių dydis yra 1-10 μm ; nedidelis kiekis dislokacijų grūde ar visai jų nėra, t. y. nėra subgrūdų; gali nebūti griežto grūdelių kryptingumo (Paterson, 2001).

Kristalas plastiškai keičiasi (dislokacinis slysmas) deformacijos metu dėl plastiškojo tekėjimo, kai grūdas nepraranda vientisumo, todėl vyksta grūdų valkšnumas (angl. creep) ir dvynučiavimas. Šių procesų metu pasikeičia grūdo forma, nes vieno grūdo atskiros dalys pasislenka stabilių dalių atžvilgiu. Susidaro būdingi mikrostruktūriniai požymiai: lenkimo juostos (angl. kink), deformacinės lamelijos (angl. lamellae) ir deformaciniai dvynučiai. Milonitizuotoje uolienoje atskiri grūdai tampa labai išstemti ar perkristalizuoti į smulkių agregatų visumą skirtingai nei aplinkinėse nedeformuotose uolienose. Plastiškosios deformacijos greitis priklauso nuo keleto faktorių: diferencialinio streso, susikaupusios įtampos (angl. strain) kiekio, temperatūros, fluidų slėgio, grūdų dydžio, cheminių elementų aktyvumo ir smulkių grūdų pasiskirstymo stambių grūdų atžvilgiu (Vernon, 2004).

Trapiosios deformacijos metu, skirtingai nei plastinės deformacijos, grūde vyksta trinties procesai ir jame susiformuoja plyšiai, t. y. vyksta kataklastinis tekėjimas (kataklazė), kurio metu vykstant slysmui palei plyšio plokštumą susidaro naujas nesankabus paviršius. Kataklazei būdingas grūdų ribų slysmas, plyšiuotumas ir fluidų veikla (Vernon, 2004). Pagal R. J. Knipe (1989) trapioji deformacija mikroskopiškai gali būti skirstoma į dvi stambias grupes: 1) kai grūdų slysmas vyko palei jų sienelės (ribas), bet plyšiai dar nesusidarė; 2) plyšiai susidarė dėl slysmo.

Šiaurinėje DPDZ juostoje magminę fazę nurodo išlikę stambūs plagioklazai su paprastaisiais dvynučiais grandiorite. Pietinėje DPDZ juostoje pirminės uolienos buvo bazaltai ar ir diabazai, gabrai bei granitai.

DPDZ granitoiduose, amfibolite ir metagabre skirtingi mineralai (kvarcas, feldšpatai, žėručiai, amfibolai) milonitizacijos metu deformavosi skirtingai. Pirmiausiai tai lėmė nevienoda uolienu litologija ir atitinkamai veikė skirtingi deformacijos mechanizmai. Lyginant granitinės ir amfibolitinės sudėties uolienu mikrostruktūras, pastarojoje nustatyta, kad vyravo trapiosios deformacijos mechanizmas, o granitinės sudėties uoliena deformavosi labiau plastinės deformacijos sąlygomis. Plastinės deformacijos struktūros ypač labai gerai išreikštos kvarce.

Dinaminio metamorfizmo ar plastinės deformacijos D1 fazės metu kvarco grūdų stiprus ištempimas, nelygios jų ribos bei dalinė jų perkristalizacija (33 pav. C, D, E, F) rodo, kad vyko dislokacinis grūdų slysmas (angl. slip) ir valkšnumas (angl. creep). Tokios struktūros susidarė esant 400–700° C temperatūrai (Yand ir Tullis, 1991; Passchier ir Trouw, 2005). Mikrostruktūrose išlikę dinaminės perkristalizacijos požymiai grėžiniuose Schedai-3, Stankovičiai-4 ir Šaškai-2 reiškia, kad milonitizacijos metu dominavo du perkristalizacijos mechanizmai – subgrūdų rotacija ir grūdų ribų migracija (Skjerna, 1992; White et al., 1980; Tullis ir Yund, 1985; Stipp et al., 2002, Friscale et al., 2005). Granoblastinės kvarco struktūros rodo, kad po deformacijos kai kuriose vietose uoliena patyrė dalinę streso kompensaciją, ir vyko statinė perkristalizacija, matomai, prie išlikusios gana aukštos temperatūros (apie 500–700° C) ar tose vietose, kur mažiau dalyvavo fluidų (nes grūdų slinkimui statmena kryptimi slysmo plokštumai (angl. climb) reikalinga šiluma). Juostinis kvarcas taip pat rodo, kad milonitizacija galėjo vykti esant >500° C temperatūrai. Kvarco deformavimuisi temperatūra nėra vienintelis svarbiausias veiksnys. Taip pat labai svarbu yra deformacijos (angl. strain) greitis, diferencialinis stresas ir esamas kiekis vandens gardelėje bei išilgai grūdo ribų (Passchier ir Trouw, 2005).

Milonitizacijos metu feldšpatai patyrė skirtingus deformacijos mechanizmus: kataklazę (plyšiuotumą) ir plastinę deformaciją (lenkimo juostelės). Eksperimentiškai nustatyta, kad feldšpatų deformavimasis priklauso nuo metamorfizmo sąlygų. Plagioklazo branduolio-apvalkalo struktūros rodo, kad čia jau vyko grūdų slysmas priešinga slysmo plokštumai kryptimi (angl. climb) vidutinio laipsnio metamorfizmo sąlygomis (450–600°C, todėl perkristalizacija ypač buvo aktyvi jų pakraščiuose. Plagioklazo grūduose susidarę perstūmimai (33 pav. J, angl. synthetic fracture, 33 J pav.) taip pat rodo temperatūrines sąlygas apie 500°C, o grūdo viduje

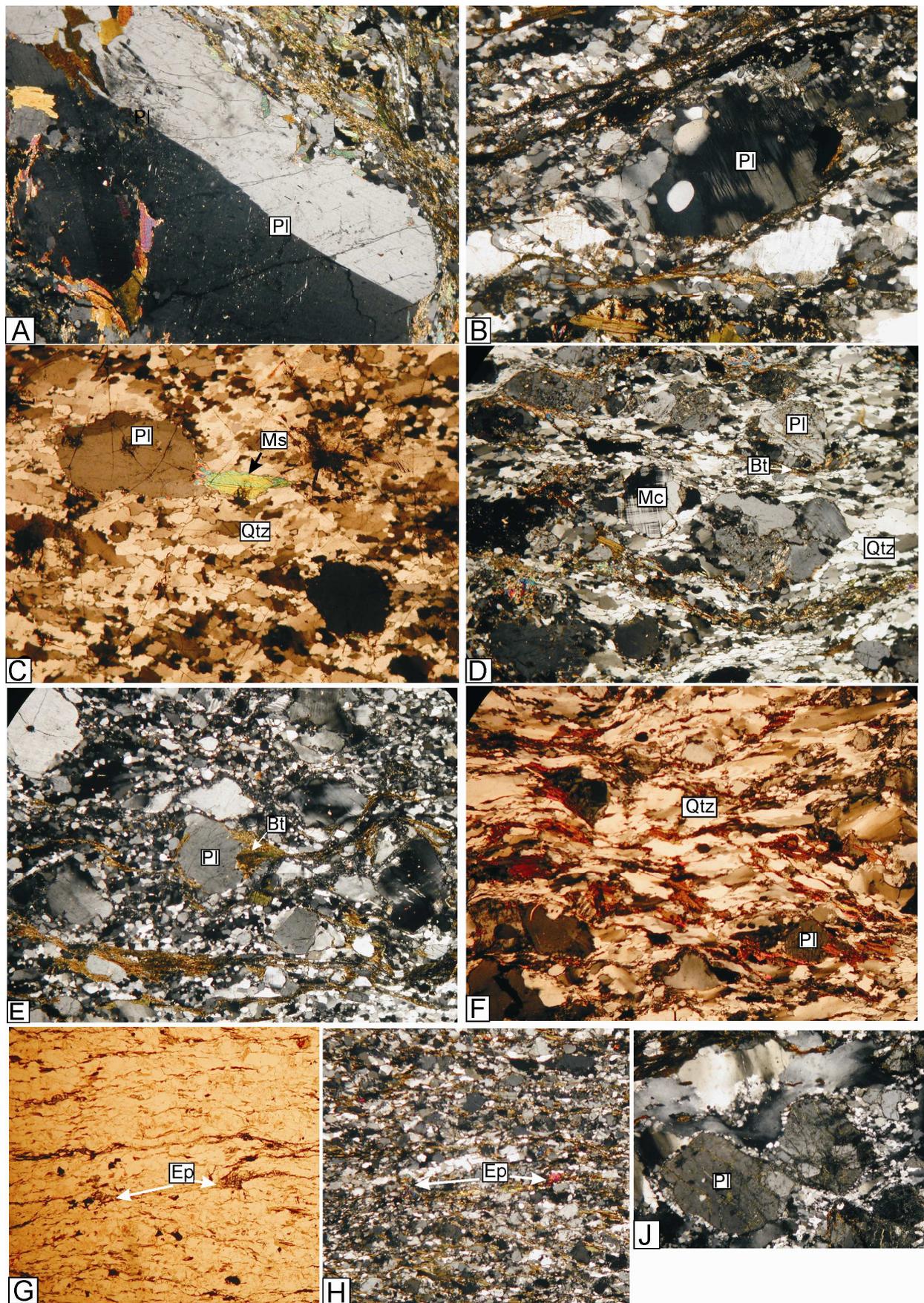
matomos mikrošlyties zonelės vystėsi esant daugiau nei 450°C temperatūrai, bei plagioklazo poligoninė struktūra rodo, kad mineralo valkšnumas (angl. creep) vyko esant 450–500°C temperatūrai (Tullis ir Yand, 1985). Todėl jie tapo ištempti bei sueižėjo plyšiais. Gręžinio Šaškai-2 feldšpate „liepsnos“ formos pertitai (angl. flame), išsidėstę grūdo pakraštyje galbūt susidarė dėl slėgio padidėjimo. Pagal C. Passchier ir R. Trouw (2005) dažnai albito plokštelės (skilimo produktai) K-feldšpate susidaro toje grūdo vietoje, kur išlieka didesnis slėgis. Veikiant antriniam procesams felšpatai buvo pakeisti į kaolinitą ir sericitą.

Amfibolą veikusius mikroprocesus yra sudėtinga nustatyti. Beje, jie mokslininkų dar labai menkai išstudijuoti. Pagal Ross ir Wilks (1996) amfiboluose dažniau pasireiškia trapiosios nei plastinės deformacijos procesai. DPDZ nevienodo dydžio amfibolas uolienoje rodo, kad stambūs amfibolo grūdai dėl mechaninio sukimosi virto į mažesnius grūdus bei vietomis susidarė amfibolo subgrūdai. Spinduliškos formos amfibolai galėjo staigiai augti esant pakankamam fluidų prinešimui išilgai grūdų ribų (Vernon, 2004).

Milonitizacijos metu uolienos buvo perkristalizuotos vyraujant dinaminei perkristalizacijai, tačiau lokaliai vyko ir statinė perkristalizacija. Tokius deformacijų procesus milonituose galbūt lėmė skirtingas fluidų kiekio prinešimas. Remiantis petrografiniais ir mikrostruktūriniais duomenimis, daroma prielaida, kad uoliena buvo deformuota nedideliame plutos gylyje arba buvo labai staigiai iškelti blokai, todėl deformacija įvyko per trumpą laiką, kai metamorfizmo sąlygos keitėsi nuo amfibolitinės iki epidotinės-amfibolitinės ar žaliųjų skalūnų facijos.

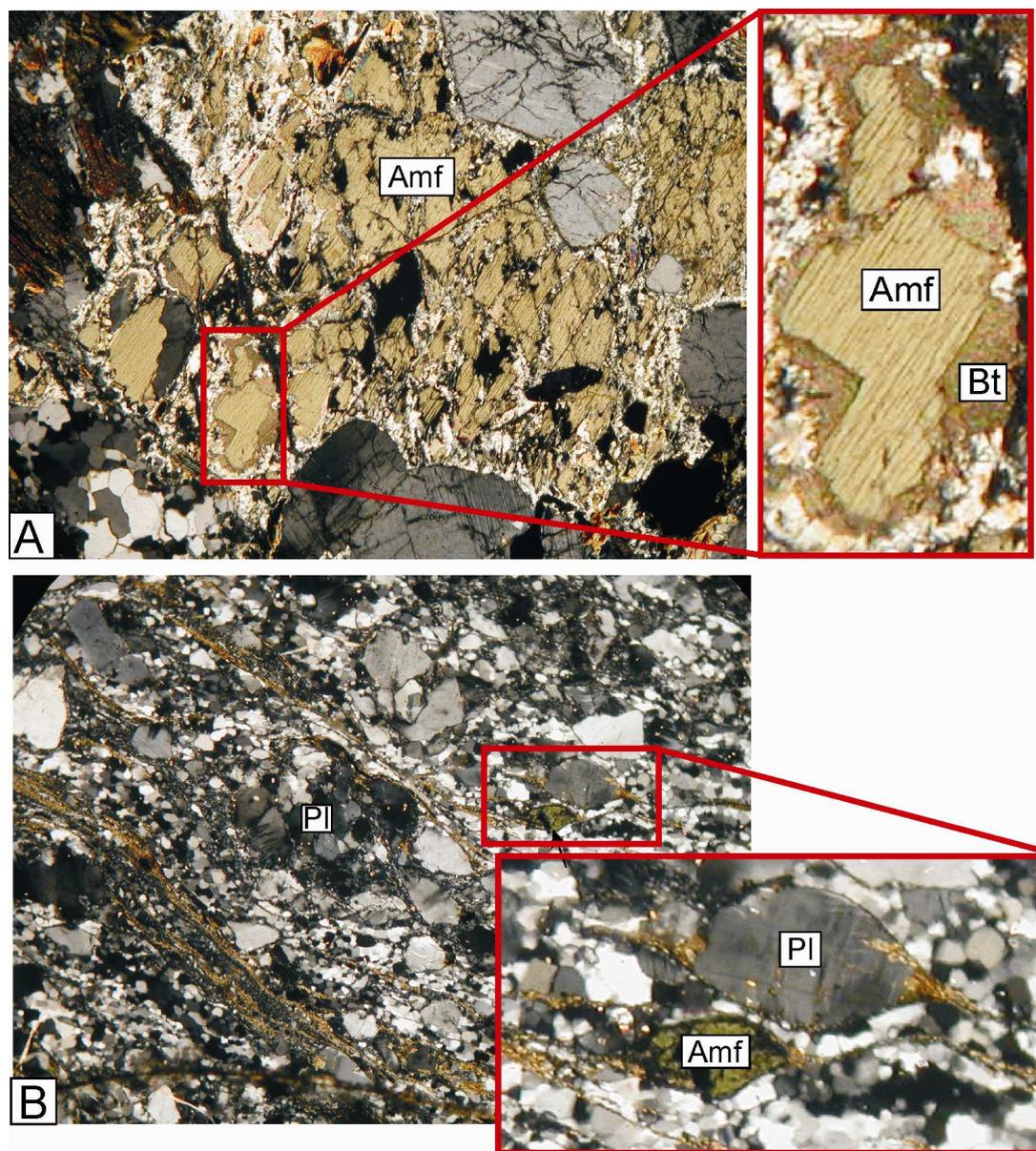
DPDZ vyraujantys milonitai su C/S struktūromis yra indikatoriai, kad milonitizacija vyko nehomogeniškos paprastosios šlyties metu (Lister ir Snoke, 1984; Passchier, Trouw, 2005). Krenuliacinės C'-tipo šlyties juostelės (33 pav. F) susidarė vėliau nei pagrindinė foliacija, jau D2 fazės metu. Jos išplito lokaliu mastu.

Kaip ir TDZ, taip ir DPDZ lieka diskusiniu klausimu ultramilonitų laiko susidarymas. Tyrimai parodė, kad tuo metu vyko retrogradinio metamorfizmo reakcijos dalyvaujant fluidams. Todėl čia susidarė silpnesni žematemperatūriniai mineralai: iš raginukės susidarė biotitas, iš biotito – muskovitas, epidotas – iš plagioklazo, bazinis plagioklazaras buvo keičiamas rūgščiu plagioklazu ar ortoklazu (33 pav. G, H ir 34 pav. A, B).



33 pav. Mikrostruktūros iš Drūkšių-Polocko deformacijos zonos: A) Plagioklazo reliktas iš gręž. Tverečius-336; B) Deformuotas plagioklazas iš gręž. Tverečius-336; D) S-C milonitas su stipriai ištemtais kvarco kristalais ir kataklazuotu plagioklazu iš gręž. Stankovičiai-4; E) Plagioklazas, biotitas ir amfibolas dinamiškai perkristalizuoti iš

grėž. Šaškai-2; F) Milonitas su C' struktūromis iš grėž. Schedai-3; G ir H) Feldšpato-kvarco-epidotinis ultramilonitas iš grėž Tverečius-336; J) Plagioklazas paveiktas trapiosios deformacijos, todėl susidarė plyšeliai, o kvarcas deformavosi plasiškai iš grėž. Schedai-3. Nuotraukų dydis 4 mm, visose nuotraukose yra sukryžiuoti nikeliai, išskyrus G. Sutrumpinimai: Pl – plagioklazas, Ms – muskovitas, Bt – biotitas, Qtz – kvarcas. Mc – mikroklinas, Amf – amfibolas.



34 pav. Mikrostruktūros iš Drūkšių-Polocko deformacijos zonos: A) Retrogradinio metamorfizmo reakcijos – amfibolą keičia biotitas iš grėž. Tverečius-336 (nuotraukos dydis – 0,4 mm); B) Perkristalizuotas plagioklazas šlifo centre, išnašoje – plagioklazo ir amfibolo uodegos rodo dešininį stūmį iš grėž. Šaškai-2 (nuotraukos dydis – 0,4 mm).

Po plastinės deformacijos vyko trapioji deformacija (D3), todėl susidarė brekčijos su įvairios krypties plyšių sistemomis. Pseudotachilitai, kertantys milonitus, gali būti taip pat panašiu metu formavosi.

Gauti rezultatai parodė, kad dvi plastinės deformacijos fazės (D1 ir D2) pasireiškė Drūkšių-Polocko deformacijos zonoje. D1 fazės metu dinaminės

perkristalizacijos struktūros gerai išliko šiauriniame DPDZ pakraštyje. Jos susidarė dėl subgrūdų rotacijos ir grūdų ribų migracijos perkristalizacijos amfibolitinės ir žaliųjų skalūnų facijų sąlygomis. Vėlyvesni grūduose perstūmimai galėjo susidaryti prie 450° C temperatūros (Tullis ir Yand, 1985) plastinės deformacijos D1 fazės metu. Pietnėje DPDZ dalyje su šia D1 faze yra susijęs metamorfinio titanito susidarymas. Epidotu turtingas ultramilonitas susidarė progresnės deformacijos D2 fazės metu. C-tipo struktūros kerta D1 fazės foliaciją. Manoma, kad šios struktūros susidarė vėlyvojoje milonitizacijos stadijoje. Vėliau formavosi trapiosios deformacijos.

3.2.3. CHEMINĖ MINERALŲ SUDĖTIS

Mineralų cheminė sudėtis, kaip ir iš TDZ mineralų, buvo tirta Lundo universitete su skenuojančiu elektroniniu mikroskopu su EDS detektoriumi bei INCA mikroanalizės sistema. Šių tyrimų tikslas – nustatyti biotito, plagioklazo, amfibolo, pirokseno ir rūdinių mineralų cheminę sudėtį milonituose iš gręžinių Schedai–3, Šaškai–2, protomilonite iš gręžinio Kazimirovas – 6 ir silpnai deformuotos uolienos iš gręžinio Drūkšiai–324. Žėručių ir amfibolų rūšis apskaičiuota remiantis tarptautine mineralų nomenklatūra (Leake et al, 1997; Rieder, 1998).

Silpnai deformuota mafinė uoliena

Silpnai deformuota uoliena yra metagabras. Pavyzdys paimtas iš gręžinio Drūkšiai–324, kuriame tirti amfibolas, plagioklazas ir piroksenai (6, 7, 8 lentelės). Amfibolas buvo tirtas trijose pozicijose: 1) didelio grūdo branduolys, 2) didelio grūdo pakraštys ir 3) mažas grūdas. Mg/(Mg+Fe²⁺) ir Si santykis parodė, kad visi amfibolai (branduolys, jo pakraštys ir maži grūdėliai) yra vienodos sudėties, t. y. priklauso geležingai raginukei. Nustatyta, kad branduolyje K-Na kiekis yra šiek tiek didesnis, nei grūdo pakraštyje ir mažuose grūduose. Pagal anortito molekulės procentą plagioklazas yra andezinas (An₄₅₋₄₈). Iš piroksenų aptikti ortopiroksenas ir klinopiroksenas. Ortopiroksenas yra ferosalitas, kuris talpina apie 17% MgO ir 11% FeO, o klinopiroksenas – augitas, kuriame yra apie 17% MgO ir 29% FeO.

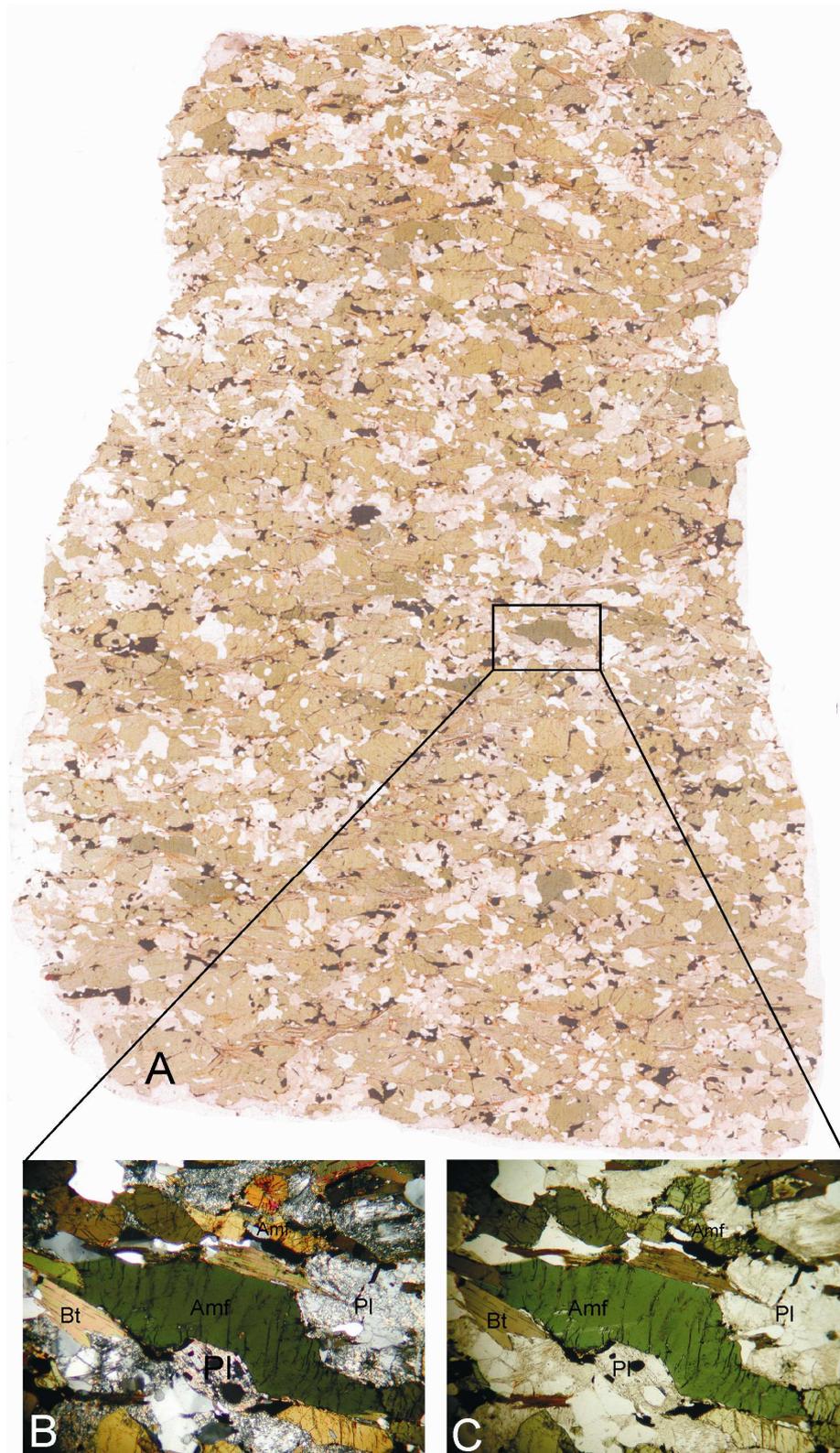
Amfibolinis protomilonitas

Du uolienų pavyzdžiai buvo paimti iš gręžinio Kazimirovo-6 ir Schedai-3. Iš Kazimirovo-6 gręžinio amfibolito tirti amfibolas, biotitas ir plagioklazas (6, 7, 8 lentelės). Amfibolai buvo analizuoti trijose pozicijose: 1) didelio grūdo branduolys, 2) didelio grūdo pakraštys ir 3) maži perkristalizuoti grūdai šalia stambių grūdų (35 pav. A, B, C). Cheminės analizės parodė, kad amfibolų sudėtis vienoda – jie visi priklauso pargasito tipui. Tirti stambūs ir maži biotitai yra panašios sudėties – geležingi. Plagioklazo grūdai pagal anortito molekulės procentą yra bitovnitai (An_{75-78}) ir viena analizė – andezinas (An_{49}). Iš rūdinių mineralų buvo nustatytas magnetitas, o aplink jį titanito apaugimai.

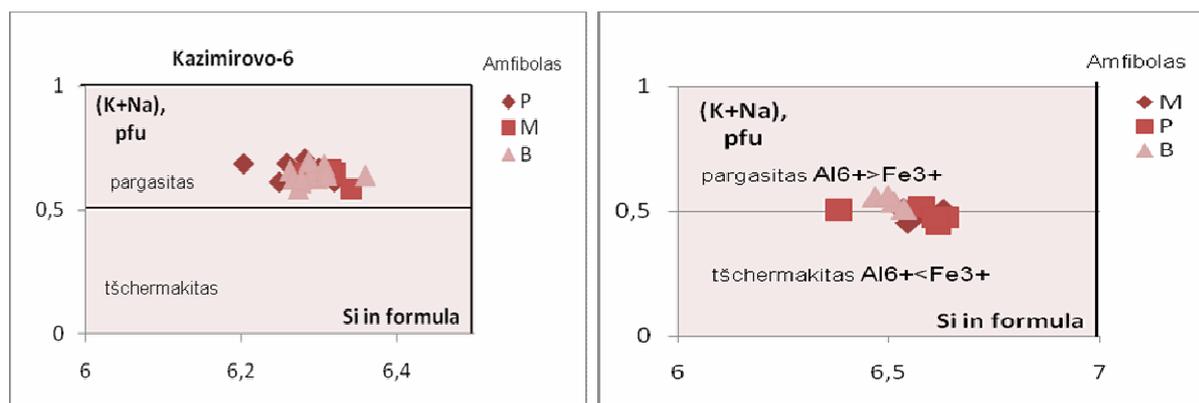
Iš gręžinio Schedai-3 amfibolite buvo tirti amfibolas (37 pav. A ir B), biotitas ir plagioklazas (6, 7, 8 lentelės), kad nustatyti ir palyginti mineralų sudėties pakitimus, nes Schedų gręžinio amfibolitas yra stipriau deformuotas. Amfibolas buvo tirtas trijose pozicijose: 1) didelis grūdas, 2) didelio grūdo pakraštys ir 3) mažas grūdas. Cheminė analizė parodė, kad stambūs grūdai turi skirtingą sudėtį: branduolys yra pargasito, o pakraštys čermakito sudėties. Maži grūdai yra čermakito sudėties bei keli taškai patenka į pargasito lauką. $Mg/(Mg+Fe^{2+})$ ir Si santykis parodė taip pat, kad maži grūdai ir pakraščiai yra čermakitai (viena analizė pakraštelyje gauta magnezinga horndblendas). Tai rodo, kad stiprėjant milonitizacijai kalio ir natrio kiekis mažėjo, o silicio – didėjo. Biotitai čia yra dviejų generacijų. Dideli grūdeliai yra flogopito sudėties, o maži grūdeliai patenka į anito lauką. Plagioklazai yra bazinės sudėties. Pagal anortito molekulės procentą nustatyta, kad plagioklazas yra bitovnito (An_{84-89}) ir andezino (An_{45}) sudėties. Daroma prielaida, kad pirminė uoliena buvo bazinė, gali būti gabro sudėties. Amfibolitų cheminė analizė (Marcinkevičius ir kt., 1995) parodė, kad stipriai deformuotose bazinėse uolienose K ir Na bei Si daugiau nei silpnai deformuotose uolienose. Didelis anortito molekulės kiekis rodo bazinį plagioklazą, susidariusį bazinėje uolienoje, gali būti pirminė uoliena buvo gabras.

Granitinės sudėties mezomilonitas

Mezomilonitas buvo tirtas iš gręžinio Šaškai-2. Gręžinio Šaškai-2 granitinės sudėties milonite buvo tirti plagioklazai ir biotitai. Biotitai buvo tirti dviejose pozicijose: intarpai ir maži grūdai foliacijoje (šlyties juostelėse). Gauti duomenys rodo, kad skirtingi



35 pav. Mikrostruktūrinės nuotraukos iš Drūkšių-Polocko deformacijos zonos: A) Skenuota šlifo nuotrauka iš grėž. Kazimirovo-6: jos plotis kinta nuo 1,5 cm (viršuje) iki 2 cm (apačioje), o ilgis 3 cm. B) ir C) amfibolo (sukryžiuoti nikoliai ir nesukryžiuoti nikoliai, nuotraukos dydis – 4 mm). Sutrumpinimai: Amf – amfibolas, Bt – biotitas, Pl – plagioklasas.



36 pav. Amfibolo branduolio (B), pakraščio (P) ir mažo grūdo (M) cheminės analizės: A) pargasitas iš gręžinio Kazimirovo-6 ir B) gręžinyje Schedai-3 amfibolo vyraujantys branduoliai yra pargasito sudėties, pakraštėliai ir branduoliai – čermakito sudėties.

Lentelė 6. Plagioklazo cheminė sudėtis iš protomilonito (P), mezomilonito (M), silpnai deformuotos uolienos (SD)

Pavyzdžiai		Kzm-6	Schd-3	Drukš-324	Šaškai-2
Uolienos		P	M	SD	M
Mineralai		Plagioklazas			
Oksidų svoris, %	SiO ₂	56,35	45,10	56,57	62,64
	Al ₂ O ₃	28,63	35,25	27,86	24,18
	FeO	0	0	0	0
	MnO	0	0	0	0
	CaO	10,43	18,06	9,86	4,94
	Na ₂ O	5,95	1,21	6,17	9,03
	K ₂ O				
	SUMA	101	99,62	100,46	100,79
Oksidai		8	8	8	8
Katijonai	Si	2,25	2,08	2,53	2,75
	Al	1,49	1,09	1,47	1,25
	Mn	0	0	0	0
	Mg	0	0	0	0
	Ca	0,5	0,89	0,47	0,23
	Na	0,5	0,11	0,54	0,77
	K	0	0	0	0

Lentelė 7. Biotito cheminė sudėtis iš protomilonito (P) ir mezomilonito (M)

Pavyzdžiai		Kzm-6	Schd-3	Šaškai-2
Uolienos		P	M	M
Mineralai		Biotitas		
Oksidų svoris, %	SiO ₂	37,13	37,87	35,33
	TiO ₂	3,14	3,10	2,67
	Al ₂ O ₃	16,64	16,66	15,03
	FeO	16,10	14,92	26,21
	MgO	13,23	14,22	6,13
	K ₂ O	9,80	9,67	9,77
	SUMA	96,00	96,45	95,15
Oksidai		22	22	22
Katijonai	Si	5,52	5,57	5,61
	Ti	0,35	0,34	0,32
	Al	0,92	2,89	2,81
	Fe	2,00	1,83	3,48
	Mg	2,93	3,11	1,45
	K	1,86	1,81	1,98

Lentelė 8. Amfibolo ir piroksenų cheminė sudėtis iš protomilonito (P), mezomilonito (M) ir silpnai deformuotos uolienos (SD)

Pavyzdžiai		Kzm-6	Schd-3	Druks-324	Druks-324	Druks-324
Uolienos		P	M	SD	SD	SD
Mineralai		Amfibolas	Amfibolas	Amfibolas	Opx	Cpx
Oksidų svoris, %	SiO ₂	41,98	43,43	41,66	51,07	51,95
	TiO ₂	1,40	1,40	2,08	0	0
	Al ₂ O ₃	12,97	11,88	11,28	0,76	1,51
	FeO	19,33	16,00	17,69	28,67	11,13
	MnO	0	0	0	0,96	0,59
	MgO	9,27	11,29	9,47	17,24	12,68
	CaO	11,96	11,55	11,16	0,73	21,73
	Na ₂ O	1,29	1,19	1,75	0	0,43
	K ₂ O	1,49	1,13	1,26	0	0
	SUMA	99,62	97,7	96,35	99,42	100,02
Oksidai		23	23	23	3	3
Katijonai	Si	6,26	6,47	6,40	0,99	0,98
	Ti	0,16	0,16	0,24	0	0
	Al	2,29	2,08	2,04	0,02	0,03
	Fe	2,42	1,99	2,27	0,46	0,18
	Mn	0	0	0	0,02	0,01
	Mg	2,06	2,51	2,17	0,50	0,36
	Ca	1,92	1,84	1,84	0,02	0,44
	Na	0,38	0,34	0,52	0	0,02
	K	0,28	0,22	0,25	0	0

biotitai pasiskirsto į atskiras grupes: tarpai yra labiau aliuminingi, o maži grūdai – su mažesniu kiekiu Al⁶⁺. Čia vyrauja K-feldšpatai. Taip pat viena analizė patvirtino, kad yra rūgštus plagioklazas – oligoklazas. Šio gręžinio mineralai paveikti antrinių pakitimų.

3.2.4. CIRKONO IR TITANITO GEOCHRONOLOGIJA PAGAL SHRIMP IR TIMS TECHNOLOGIJAS

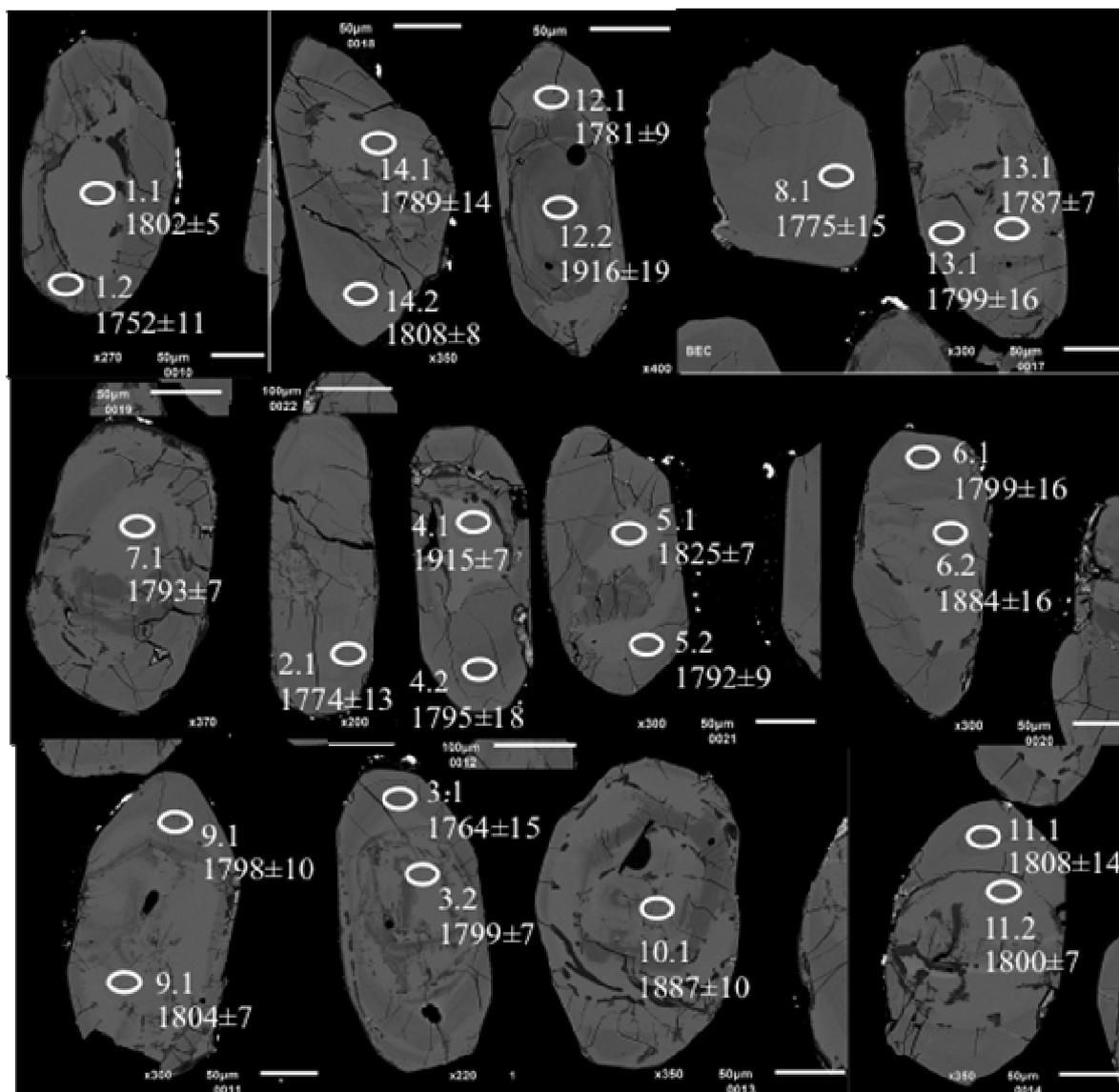
Radiometriniams tyrimams buvo paimti trys uolienų pavyzdžiai iš gręžinių Novikai-1 ir Tverečius-336 (TV336 ir MVK-1) siekiant U/Pb metodu SHRIMP technologija datuoti cirkonus bei U/Pb metodu TIMS technologija nustatyti deformacijos amžių remiantis sindeformaciniu titanitu (TV336).

3.2.4.1. Granitoidų pavyzdžių iš šiaurinės Drūkšių-Polocko deformacijos zonos dalies apibūdinimas ir rezultatai

MVK-1. Iš pavyzdžio MVK-1 cirkonų grūdai buvo atrinkti iš milonitizuoto granito. Apglūdinti cirkonų grūdai yra pailgos formos. Iš viso buvo datuota 14 cirkonų

grūdų. Cirkono grūdų branduolių CL vaizdas rodo branduolį ir jį apaugusius apvadėlius (39 pav.). Cirkono branduoliai nėra vienalyčiai, juose gausu intarpų, radialinės ir koncentriškos krypties plyšių, o apaugimuose – radialinės krypties plyšių.

Cirkonų branduoliai turi aukštą U kiekį ir žemą Th/U santykį, rodantys, kad tie branduoliai yra paveikti vėlesnių magminių fluidų, todėl neišliko juose magminių požymių. Tačiau šie cirkonų branduoliai turi apaugimus su osciliaciniu zoniškumu, rodantys magminę jų kilmę ir galbūt magminės fazės kristalizacijos pabaigą ar prailgintą magmatizmą. SHRIMP analizių rezultatai pateikti 10 lentelėje ir parodyti konkordijos diagramoje 39 A paveiksle. $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ cirkonų branduliai yra 1797 ± 10 mln. m. amžiaus, o jų pakraščiai yra 1788 ± 13 mln. m. Remiantis cirkonų branduolių ir apaugimų U/Pb duomenimis daroma prielaida, kad magmos atvėsimas truko apie 10 mln. metų.

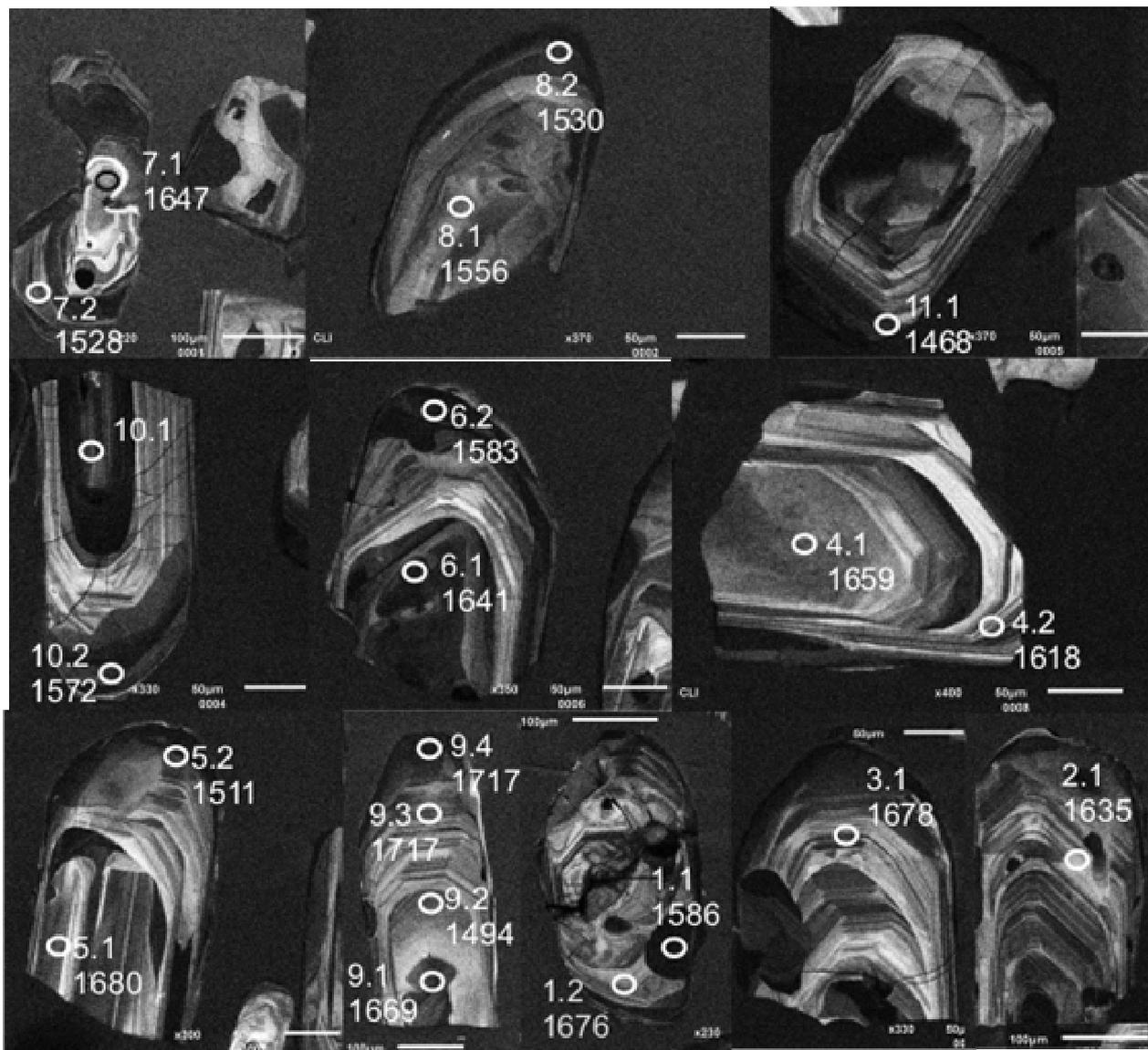


37 pav. Katodoliuminisencinėje (CL) nuotraukoje cirkonai iš pavyzdžio MVK-1. CL rodo cirkono grūdų branduolius su apaugimais. Rutuliukas rodo SHRIMP analizuotą tašką, jo numerį ir amžių.

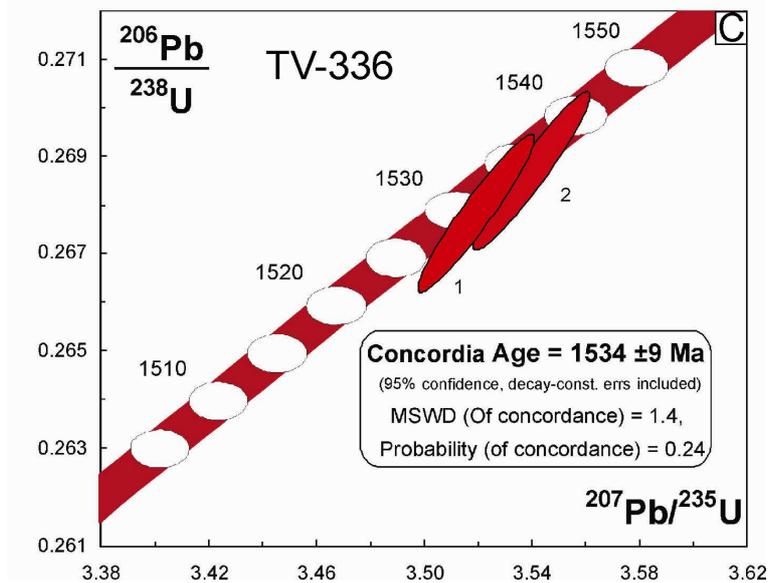
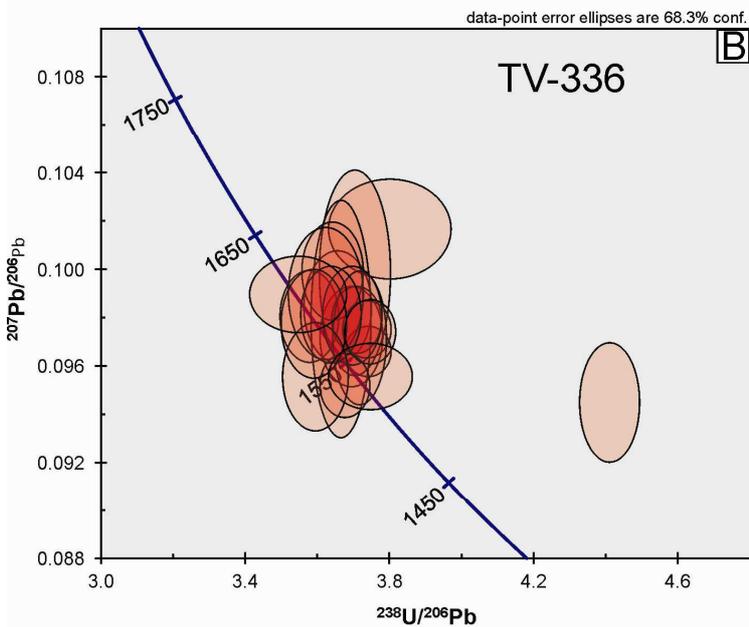
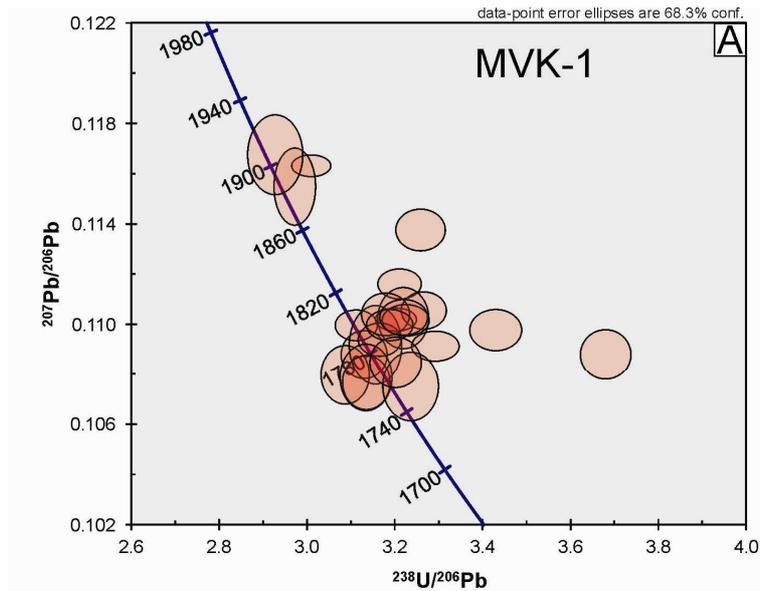
3. 2. 3. 2 Granitoidų pavyzdžių iš pietinės Drūkšių-Polocko deformacijos zonos dalies apibūdinimas ir rezultatai

U/Pb metodas pagal TIMS technologiją

TV336. Pavyzdys TV336 yra kvarco dioritinis akinis mezomilonitas. Iš viso buvo datuota 12 cirkonų grūdų (25 taškai).



38 pav. Katodoliuminisencinėje (CL) nuotraukoje cirkonai iš pavyzdžio TV336. CL rodo cirkono gūdų branduolių osciliacinį zoniškumą, o pakraščeliai – metamorfinį įvykį. Rutuliukas rodo SHRIMP analizuotą tašką, jo numerį ir amžių.



Mezomilonite daugiausia yra išlikę cirkonų nuolaužos, iš kurių galima spręsti, kad cirkonai yra taisyklingos formos. Jų dydis yra nuo 170 iki 350 μm . CL vaizdas rodo (40 pav.), kad cirkono grūdai yra su osciliaciniu zoniškumu. Kai kuriuose grūduose yra matomi apaugimai (CL ir BSE nuotraukose). Cirkono

branduoliuose gausu radialinės ir koncentriškos krypties plyšių. U kiekis yra 46-247 ppm ir Th/U santykis – 0,21-1,22.

SHRIMP analizių rezultatai parodyti konkordijos diagramoje 39 paveiksle. $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ rodo keturias amžių grupes: 1) 1758-1680 mln. m. amžiai rodo ksenokristų amžių; 1580±18 mln. m. amžius yra granitoidų kristalizacijos laikas; 1572-1528

39 pav. Geochronologiniai rezultatai: A) Tera-Wasserburg konkordijos diagrama, kurioje cirkono datavimo analizės (MVK-1) U/Pb metodu (SHRIMP) gautos iš gręž. Novikai-1 (n=19); ir TV-336 ir. B) Tera-Wasserburg konkordijos diagrama, kurioje cirkono datavimo analizės (TV-336) U/Pb metodu (SHRIMP) gautos iš gręž. Tverėčius-336 (n=20) C) Konkordijos diagrama, rodanti U/Pb (TIMS) duomenis iš titanito (pavyzdys TV-336). Paklaida yra 1σ (A, B) ir 2σ (C).

amžiai gali būti rodo milonitizacijos laiką; ir 1511-1494 mln. m. amžiai, manoma, susiję su hidroterminiais procesais.

9 lentelė. Titanito U/Pb izotopiniai duomenys iš pavyzdžio TV-336. Pastabos: ^a – matuotas santykis; ^b nežinomieji (95% konfidencialus lygis) nurodo paskutinius skaitmenis atitinkančių santykių; ^c – koreliacija koeficientu: ²⁰⁷Pb/²³⁵U vs. ²⁰⁶Pb/²³⁸U santykius.

Nr.	Pavyzdžio svoris, mg	Koncentracijos ppm		²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb ^a	Izotopiniai santykiai pataisyti ruošiniui ir bendram Pb ^b				Rho ^c	Amžius, Ma		
		Pb	U		²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁶ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U		²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb
1	1,11	35,4	86,3	778	0,0953±1	0,5953±1	3,5198±70	0,2678±5	0,95	1532±3	1530±3	1534±1
2	1,05	38,6	87,3	713	0,0956±1	0,7171±1	3,5403±71	0,2687±5	0,95	1536±3	1534±3	1539±1

U/Pb metodas pagal TIMS technologiją

Akinio milonito pavyzdys buvo paimtas iš gręžinio Tverečius-336, kuris yra pietiniame DPDZ ruože. Uoliena yra pilkos spalvos su rausvais akių formos feldšpatais. Skvarbiąją foliaciją nurodo feldšpatai, biotitai, kvarcas ir titanitas. U/Pb metodu buvo datuotas titanitas. Titanitas (CaTiSiO₅) yra vienas iš akcesorinių mineralų kristalinėse uolienose, kuris plačiai taikomas metamorfizmo ar deformacijos proceso amžiaus nustatymui. Titanite išmatuotas U ir Pb santykis, t. y. U, susidariusio kristalizacijos metu likutis kristalinėje gardelėje ir radiogeninio Pb kiekis, susidaręs lėtos difuzijos metu, yra tinkamas naudoti geochronologijoje metamorfizmo etapų ir deformacijos procesų datavimui. Titanito datavimas U/Pb metodu yra patikimas būdas ir plačiai naudojamas deformacijos susidarymo laikui nustatyti (Johansson and Johansson, 1993, Högdahl, 2000, Bergman et al., 2006, Hermansson et al., 2007, Torvela et al., 2008).

Titanitas ainiame milonite buvo aptiktas dviejose pozijose: 1) atskiri grūdėliai pagrindinėje foliacijoje ir 2) apaugimai juostelių pavidalu aplink rūdinius mineralus. Toks jo išsidėtymas rodo, kad metamorfizmo metu vieni titanitai augo aplink magnetito grūdus, o kiti formavosi foliacijoje kartu su biotitu, kvarcu ir feldšpatais, kurie gaubia išlikusius

plagioklazo porfiroklastus. Titanitas yra šviesios spalvos, jo dydis – 0,1–0,5 mm.

U/Pb tyrimai buvo atlikti Prekambro geologijos ir geochronologijos institute (IPGG), Sankt Peterburge. Izotopų santykiai buvo nustatyti su *Finnigan MAT 261* masės spektrometru statiniu būdu.

TIMS buvo analizuotos dvi titanito frakcijos, kurių spalva kito nuo rudos iki geltonos. Jų dydis yra 0,2 mm. Kristalai – permatomi, be intarpų. Gautos titanitų analizės parodytos 41 pav. ir 10 lentelėje. Pirmo titanito pavyzdžio svoris siekė 1,11 mg, o antro – 1,05 mg svorio. Abiejuose pavyzdžiuose buvo įvertintos Pb ir U koncentracijos ppm (parts per million) matavimo vienetais. Pirmame pavyzdyje Pb kiekis yra 35,4 ppm ir U – 86,3 ppm, antrame pavyzdyje gautos šiek tiek didesnės U ir Pb kiekiai – atitinkamai 38,6 ir 87, 3 ppm. Taip pat dar buvo išmatuoti $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ izotopiniai santykiai ir papildomai panaudoti $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ir $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ bei $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ ir $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ izotopiniai santykiai pataisyti ruošiniui ir bendram Pb kiekiui (10 lentelė). Gautos reikšmės buvo panaudotos koeficiento $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ palyginimui su $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$, norint atlikti jų santykinę koreliaciją. Gauti $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ ir $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ titanitų duomenys buvo atidėti konkordijos diagramoje (41 pav.). Menamas amžius buvo apskaičiuotas naudojant konstantas, rekomenduotas tarptautinės geomokslų sąjungos (IUGS, Steiger and Jäger, 1977). Pirmo pavyzdžio gautos reikšmės svyravo nuo 1530 ± 3 iki 1534 ± 1 , o antro

10 lentelė. U-Pb cirkonų amžiai iš Drūkšių-Polocko deformacijos zonos uolienų

Pavadinimas gręžinio/pavyzdžio	Uoliena	Magminis amžius/branduolys, mln. m.	Metamorfinis amžius/pakraštys, mln. m.
Novikai-1/MVK-1	Granitinis protomilonitas	1797±10 1788±13 (pakraštys)	
Tverečius-336/TV-336	Grandioritinis mesomilonitas	1580±17	1530±30 ir 1468±29
Tverečius-336/TV-336	Grandioritinis mezomilonitas		1534±9 (titanitas)

*amžiaus vidurkis labiausiai konkordinių analizių (konkordija < 10%)

pavyzdžio izotopinės reikšmės buvo šiek tiek didesnės, jos kito nuo 1534 ± 3 iki 1539 ± 1 . Abi mineralų pavyzdžių analizės parodė, kad jos susidarė vieno metamorfinio etapo metu. Konkordinis amžius – 1534 ± 9 Ma (angl. mean square of weighted deviates – MSWD konkordijos = 1,4; konkordijos tikimybė = 0,24).

Gauti datavimai parodė, kad prieš 1580 mln. m. vyko grandiorito kristalizacija, kuris milonitizuotas tarp 1570 ir 1530 mln. m. laikotarpyje bei hidrotermiškai paveiktas prieš 1511-1468 mln. metų.

11 lentelė. U-Pb cirkonų amžių suvestinė iš Lietuvos uolienu (paskelbtų publikacijose)

Nr.	Grėžinys	Uoliena	Metodas ir mineralas	Laikas, mln.m.	Nuoroda
1.	Macuičiai-1	Opdalitas	U-Pb TIMS, cirkonas	1846±12	Motuzas et al., 2008
2.	Kužiai -65	Grt-Cord granitas	U-Pb TIMS, cirkonas	1840±1,9	Motuzas et al., 2008
3.	Graužai-105	Gneisuotas granitas	U-Pb TIMS, cirkonas	1837±6	Motuzas et al., 2008
4.	Paluknė-1	Čarnokitoidas	U-Pb SIMS, cirkonas	1,82	Skridlaite et al., 2007
5.	Rūkai-1	Qtz monzodioritas	U-Pb SIMS, cirkonas	1447±5	Skridlaite et al., 2007
6.	Gėluva-99	Granitas	U-Pb SIMS, cirkonas	1445±8	Skridlaite et al., 2007
7.	Ž. Naumestis-4	Moncogranitas	U-Pb TIMS, cirkonas	1459±3	Motuzas et al., 2006
8.	Vabalai-1	moncogranitas		1462±8	
9.	Žemiai 347	Metagabras	U-Pb SIMS, cirkonas	1836±17	Rimsa et al., 2001
10.	Vydmantai-1	Čarnokitas	U-Pb SIMS, cirkonas	1815±20	Claeson et al., 2001
11.	Lazdijai-1	Čarnokitas	U-Pb SIMS, cirkonas	1508±11	Skridlaite et al., 2008

4. APIBENDRINIMAS

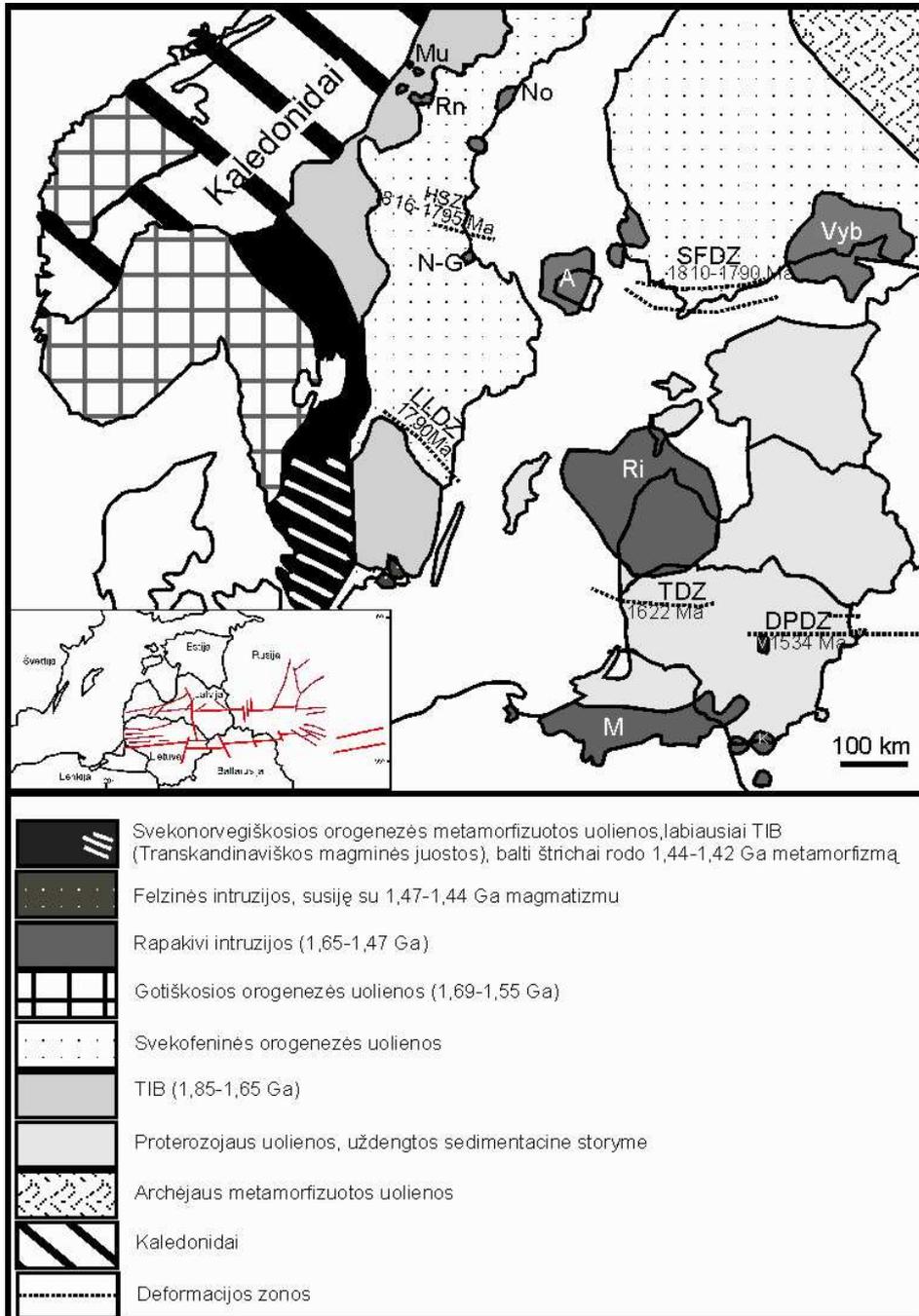
4.1. DEFORMACIJOS STADIJŲ SUSIDARYMO LAIKAS TELŠIŲ DEFORMACIJOS ZONOJE IR REGIONINĖ KORELIACIJA

Apibendrinus gautus deformacijos ir magmatizmo datavimo rezultatus pateikiamas naujas Telšių deformacijos zonos vystymosi scenarijus bei ryšys su kitomis struktūromis Lietuvos kristaliniame pamate ir Baltijos skyde.

Prieš keletą metų remiantis geofiziniais duomenimis buvo iškelta hipotezė, kad Telšių deformacijos zona nusitęsia per Baltijos jūrą ir jungiasi su Loftahamaro-Linčopingo deformacijos zona (LLDZ) Loftahamaro rajone, pietrytinėje Švedijoje (Motuza, 2004, Vėjelytė ir Motuza, 2004, Motuza, Vėjelytė, 2005). Taip pat buvo manoma, kad LLDZ gali jungtis su Nemuno zona ŠV-PR kryptimi (Beunk et al., 1996; Beunk, Page, 2001; Claesson et al., 2001). LLDZ, susidariusi prieš 1800-1780 mln. m., žymi pietvakarinę Berslagento tereno ribą Centrinėje Švedijoje. Pagal dabartinius geocheminius ir izotopinius uolienų duomenis šio tereno riba pratesiama į Šiaurės Vakarų Lietuvą (Skridlaite et al., 2010).

Petrografiniais tyrimais nustatyta, kad TDZ milonitai susidarė iš stambiagrūdžių čarnokitoidų ir granitų bei metapelitų. Įvairaus pobūdžio deformuotų čarnokitoidų (silpnai deformuoti, protomilonitai, mezomilonitai ir ultramilonitai) keturi nauji datavimai vakarinėje TDZ dalyje parodė, kad jų amžius yra nuo 1846 ± 12 iki 1814 ± 20 mln. m. (5 lentelė). Tokie amžiaus skirtumai gali būti yra susiję su daugiafaziniu čarnokitoidų intrudavimu ar skirtingu jų atvėsimu. Ankstesniais tyrimais čarnokitoidų intrudavimo amžius Lietuvoje buvo įvertintas remiantis dviem datavimais. Vienas opdalitų amžius gautas vakarinėje TDZ dalyje iš Vydmantų-1 gręžinio, rodantis, kad čarnokitoidinis magmatizmas vyko prieš 1815 ± 20 mln. m. (Claesson et al., 2001), o iš Macuičių-1 gręžinio čarnokitoidų kristalizacijos amžius, nustatytas terminiu joniniu masės spektrometru, yra $1,846 \pm 12$ mln. m. (11 lentelė, Motuza et al., 2008). Pastarasis čarnokitoidų amžius sutampa su U/Pb metodu terminiu joniniu masės spektrometru gautais cirkonų datavimo rezultatais iš granato-kordierito granito (Kužiai-65 gręžinio) ir granitinio gneiso (Graužai-105), rodantys jų kristalizacijos amžių atitinkamai 1844 ± 5 ir

1837±6 mln. m. Šie granitoidai yra išsidėstę netoli TDZ. Atskiros monacitų dalys opdalite augo prieš 1850 Ma (Šiupariai-3 grėžinys, Skridlaitė et al., 2007). Lyginant magminių įvykių laiką Baltijos jūros regione, mūsų gauti rezultatai iš dalies sutampa su



40 pav. Baltijos šalių ir Fenoskandijos geologinė schema (modifikuota pagal Gaal ir Gorbatshev, 1987; Mansfeld, 2001; Soderlund et al., 2008) R–V krypties deformacijos zonų, trasuojančių per Baltijos jūrą, išsidėstymas Švedijoje, Suomijoje ir Lietuvoje. HSZ – Hasela šlyties zona, SFDZ – Pietų Suomijos deformacijos zona, LLDZ – Loftahamaro-Linčopingo deformacijos zona, TDZ – Telšių deformacijos zona, DPDZ – Drūkšių-Polocko deformacijos zona, M – Mazurijos kompleksas, Ri – Rygos plutonas, K – Kabelių masyvas, V–Veprių masyvas, A – Alando kompleksas, Mu – Mulanseto kompleksas, N –Norkopingo kompleksas, No – Nordingra kompleksas, N-G – Noran ir Gustav masyvas, Rn –Ragunda kompleksas, Vyb – Vybargo masyvas. Įklija rodo Kurzemės-Polocko zoną (Garecky et al., 2002).

Transkandinaviškos magminės juostos (TIB-0) magmatizmu Pietų ir Centrinėje Švedijoje (Andersson et al., 2006; Motuza et al., 2008).

Ankstyvosios gotiškosios orogenezės metamorfizmo apraiškos buvo nustatytos TDZ dalyje. Cirkonų metamorfiniai apaugimai iš tų pačių čarnokitoidinių pavyzdžių augo tarp 1733 ± 15 ir 1679 ± 17 mln. m. (5 ir 11 lentelės). Ankstesni autorių duomenys rodo, kad „pagrindinis“ metamorfizmas vyko ne vėliau kaip prieš 1700 mln. m, kai augo monacitas, cirkonas ir granatas. Slėgio ir temperatūros parametrai gauti iš Vydmantai (Vd-1) ir Palūknė-1 (Pl-1) gręžinių. Vd-1 uolienos buvo metamorfizuotos nuo 650 C° ir 7 kbar iki 500 C° temperatūros ir 3 kbar slėgio bei Pl-1 čarnokitoidai – nuo 760 C° ir 6,5 kbar iki 450 C° temperatūros ir 4 kbar slėgio. Gauti rezultatai rodo izoterminę dekompresiją (Skridlaite et al., 2010).

Šio darbo tyrimų metu nustatyta, kad proterozojaus pabaigoje – mezoproterozojaus pradžioje magmatizmas vyko TDZ. U/Pb metodu pagal SHRIMP technologiją gautas magminių cirkonų amžius iš deformuotų granitinių daikų yra 1622 ± 12 mln. m. (5 ir 11 lentelės). Jis persidengia su anksčiau U/Pb metodu jautriu joniniu masės spektrometru gautu panašiu amžiumi (1620 mln. m.) iš cirkono apaugimų čarnokitoiduose (Vydmantai-1, Claesson et al., 2001). Tačiau šio amžiaus reikšmė nebuvo aiški iki šiol. Taip pat monacitų gautas panašus amžius yra ~ 1600-1590 mln. m., kuris interpretuojamas kaip metamorfizmo laikotarpis, vykęs prie 800 C° temperatūros ir 7 kbar slėgio (Skridlaite et al., 2007). Mes manome, kad 1622 mln m. laikotarpio daikos yra susijusios su 1,58 mln m. amžiaus Rygos plutono įsiterpimu į Žemės plutą (Rämö et al., 1996, Kirs et al., 2004) ir mafiniu magmatizmu centrinėje Švedijoje. Tokio amžiaus uolienų kaip Lietuvos granitinių daikų (1622 ± 12 mln. m.) yra surasta Estijoje ir Latvijoje. Estijoje šio laikotarpio uolienos priskiriamos rapakivi grupei, sudarytai iš dviejų stambių (Marjamaa, 1629 ± 7 mln. m. ir Naissaare, 1624 ± 10 mln. m) ir trijų smulkių (Neeme, Ereda ir Taebala) K-turtingu granitinių štokų Šiaurės Estijoje bei kvarcinio moncodiorito (Abja) pietinėje jos dalyje. Iš viso, 6 rapakivi tipo granitų masyvai rasti Baltijos šalyse (Rämö et al., 1996, Kirs et al., 2004). Daroma prielaida, kad 1,62-1,63 mln. m. laikotarpio granitinės intruzijos ir daikos Rigos plutono periferijoje įsiterpė į plutą ankstyvojoje jo formavimosi stadijoje esant tempimo sąlygoms.

TDZ kerta tyriamus čarnokitoidus ir granitoidus šiaurės vakarų Lietuvoje. Granitoidų (1622 mln. m.) ir čarnokitoidų (1846-1814 mln. m.) tekstūros ir struktūros

rodo, kad uolienos buvo stipriai deformuotos tos pačios milonitizacijos metu. Čarnokitoidai ir stambiagrūdės granitinės daikos buvo milonitizuotos 15-20 km gylyje veikiant plastinei deformacijai amfibolitinės ir granulitinės facijų sąlygomis, t. y. granitinių daikų įsiterpimo metu ar jau po jų įsiterpimo. Tuo tarpu čarnokitoidai kristalizavosi ~ 30 km gylyje (Motuza ir Motuza, šio darbo tyrimai). Šiam milonitizacijos tipui charakteringa ryški beveik vertikali foliacija ir akinių milonitų susidarymas. Pagal petrografinius ir geotermobarometrinius rezultatus nustatyta, kad dinaminio metamorfizmo metu uolienos deformavosi prie 680-750° C temperatūros ir 4-6 kbar slėgio. Remiantis gautu granitinių intruzijų amžiumi, manoma, kad Telšių deformacijos zonoje plastinės deformacijos vystymosi laiko maksimumas yra 1620 mln. m.

Plastinės deformacijos fazės D2 laikas galėjo būti prieš 1460 mln. metų. Mezoproterozojinė TDZ reaktyvacija yra susijusi su granitininėmis intruzijomis tokiomis kaip Žemaičių Naumesčio (Motuza et al. 2006) ir Pilsotės intruzijos (person. koment.), kurios įsiskverbė į čarnokitoidines uolienas. Tuo metu krenuliacinės juostelės gali būti susidarė ultramilonituose kaip atsakas į kompresiją.

Šio darbo tyrimai parodė, kad Lietuvoje nepakankamai yra izotopinių duomenų, todėl sunku galutinai daryti išvadą apie pegmatitų susidarymo laiką čarnokitoiduose. Jų susidarymo amžius gali būti panašus su post-tektoniniais pegmatitais Loftahamaro-Linčopingo deformacijos zonoje. Jų gautas amžius $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ metodu pagal muskovitą yra 1490 mln. m. (Beunk, Page, 2001). Taip pat nėra žinomas pseudotachilitų susidarymo amžius, kurie aptikti čarnokitoiduose ir pegmatituose. Remiantis regioniniais duomenimis, gali būti, kad pseudotachilitai yra dviejų generacijų, panašiai kaip Suomijoje (Torvela et al., 2008). Plastinės deformacijos metu susidariusios uolienuų struktūros vietomis yra užklotos trapiosios deformacijos struktūromis. Brekčija yra dviejų tipų ir rodo, kad čarnokitoidinė brekčija galėjo susidaryti prekambro metu, o brekčija, sudaryta iš čarnokitoidų ir nuosėdinių uolienos nuolaužų – jau fanerozojaus metu. Kaledoninės orogenezės metu vyko stipri TDZ reaktyvacija, todėl nuosėdinėje dangoje susidarė Telšių antstūmis su daugiau nei 200 m amplitude (Stirpeika, 1999, Žvirblis, 1995, Suveizdis, 2003).

Naujais gautais duomenimis nustatyta, kad prieš 350 mln. m. vyko granitų kristalizacija vakarinėje TDZ dalyje. U/Pb SHRIMP duomenys parodė, kad

paleoproterozojinė Lietuvos pluta buvo paveikta ankstyvojo karbono magmatizmo. Girkalių daika yra panašaus amžiaus kaip diabazo daikos Baltijos jūroje (330 ± 12 ir 370 ± 12 mln. m., Birkis, Kanev, 2001) ir šarminės-karbonatitinės intruzijos Lenkijoje tokios kaip Elk (348 ± 8 mln. m., SHRIMP), Pisz (346 ± 5 mln. m.) ir Tajno (348 ± 15 Ma, TIMS). Šios intruzijos susidarė intrakratoninio magmatizmo metu ir susiję su paleozojaus metu vykusiu riftingu Rytų Europos kratone (Demaiffe et al., 2005, Wiszniewska et al., 2010).

Taigi Telšių deformacijos zona rodo ilgus tektoninius „gyvenimo ciklus“ Žemė plutos raidoje. Tirta zona pradėjo formuotis po 1622 mln. m. plastinės deformacijos D1 fazės metu. D1 fazei charakteringa įvairių milonitų tipų susidarymas, tikriausiai, gotiškosios orogenezės laiku. TDZ atsinaujino plastinės deformacijos sąlygomis (D2) prieš 1460 mln. metų Dano-Polonijos orogenezės metu. Mažiausiai du kartus ji reaktyvavo trapiosios deformacijos sąlygomis kambro ir silūro-devono periodais. Ankstyvo karbono magmatizmas užbaigė TDZ raidą.

4.2. MAGMINIAI ĮVYKIAI IR PLASTINĖS DEFORMACIJOS SUSIDARYMO LAIKAS DRŪKŠIŲ-POLOCKO DEFORMACIJOS ZONOJE

Proterozojinė plutos raida šiaurės rytų Lietuvoje iki šiol menkai iširta, todėl labai sudėtinga atkūrėti Drūkšių-Polocko deformacijos zonos vystymosi istoriją. DPDZ raida atkūriama remiantis naujais gautais geochronologiniais duomenimis ir kitų autorių rezultatais iš aplinkinių regionų – Pietų Lietuvos, Latvijos, Baltarusijos ir Lenkijos. Šio darbo metu protolito ir milonitizacijos (plastinės deformacijos) izotopiniai datavimai pirmą kartą atlikti Drūkšių-Polocko deformacijos zonoje. Du anksčiau nežinomi magmatizmo įvykiai buvo atrasti Drūkšių-Polocko deformacijos zonoje.

Drūkšių-Polocko deformacijos zonos uolienos yra heterogeniškos: protomilonitai, milonitai, tarp jų ir akiniai milonitai, ir ultramilonitai, brekčijos ir pseudotachilitai. DPDZ šiaurinėje juostoje vyrauja milonitizuoti granitai bei silpnai deformuotos mafinės uolienos, o pietinėje jos atšakoje – deformuoti granitoidai.

Šiaurinėje DPDZ dalyje granitinio protomilonito (grėžinys Novikai-1) magminių cirkonų amžius yra 1797 ± 10 mln. m. (10 lentelė), kuris interpretuojamas kaip granitinės

magmos įsiterpimo į plutą ir kristalizacijos laikas. Šie cirkonai buvo paveikti vėlesnių magminių fluidų (?) prieš 1788 ± 12 mln. m. Panašaus amžiaus čarnokitoidai (1813 ± 20 mln. m.) yra žinomi grėžinyje Vydmantai-1, Vakarų Lietuvoje (Claesson et al., 2001) ir Mazsalaca granodioritai šiaurės Latvijoje (1816 ± 5 Ma, Mansfeld, 2001). Keli cirkonų ksenokristų branduoliai yra 1916, 1915, 1887 ir 1884 mln. metų amžius. Šie amžiai yra artimi prieš 1890 mln. m. vykusiam magmatizmui Baltarusijos-Podlesės granulitinėje juostoje (BPGJ), Baltarusijoje. Vėliau, prieš > 1879 mln. m. vyko uolienų migmatizacija Baltarusijos-Podlesės granulitinėje juostoje (Taran ir Bogdanova, 2003).

Pietiniame Drūkšių-Polocko deformacijos zonos pakraštyje magminių cirkonų amžius iš akinio milonito (Tverečius-336) yra 1580 mln. m. ir rodo granitoidinio protolito kristalizacijos laiką. Šis amžius yra panašus kaip grėžnyje Genčiai-6 ir 1580 mln. m. laikotarpio Rigos rapakivi plutono bei anortitų-mangeritų-čarnokitų-granitų intruzijų Pietų Suomijoje, Latvijoje ir Estijoje (Ramö et al., 1996). Prailgintas rapakivi magminis aktyvumas atspindi kontinentinio tempimo sąlygas (Korja et al., 1993., Purra ir Floden, 1999).

Nauji amžiaus datavimai parodė, kad plastinė deformacija (fazė D1) Drūkšių-Polocko deformacijos zonoje vystėsi prieš ~ 1530 mln. m. Tai patvirtina U/Pb titanito amžius iš akinio milonito (Tverečius-336), kuris yra 1534 ± 9 mln. m. (Vejelyte et al., 2010). Cirkonų grupė su panašiu amžiumi iš tos pačios uolienos, tikriausiai, taip pat rodo plastinės deformacijos vystymosi laiką DPDZ ir persidengia su gautu TIMS titanito amžiumi. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ metodu gautas analogiškas amfibolo amžius iš gabro Veprių grėžinio (1534 ± 11 mln. m., Skridlaitė et al., 2006). Šie geochronologiniai duomenys rodo, kad mezoproterozojaus laiku vyko stiprūs ir aktyvūs tektoniniai procesai DPDZ. Tuo metu daugybė anortozitų-mangeritų-čarnokitų-granitų (AMCG) ir A-tipo granitoidų intruzijų įsiterpė į Fenoskandijos plutą, pavyzdžiui, Mazurų kompleksas susidarė ŠR Lenkijoje (1525 - 1500 mln. M., Dörr, 2002, Wiszniewska et al., 2002) ir Pietų Lietuvoje (1522 ± 6 ir 1509 ± 8 mln. m., Sundblad et al., 1994), Salmi AMCG intruzijos Karelijoje (Amelin et al., 1997), ir kelios intruzijos Centrinėje Švedijoje (Andersson et al., 2002). Charakteringas bruožas yra tai, kad šios intruzijos dažniausiai yra išsidėstę ties R-V krypties deformacijos zonomis.

Deformacijos fazė D2 Drūkšių-Polocko deformacijos zonoje vyko tarp 1511 ir 1468 mln. m., kai cirkonų pakraščiai augo akiniam milonite (pavyzdys TV-336). Ši

deformacijos fazė D2 mažiau išreikšta nei fazė D1. Jai charakteringa lokalus ultramilonitų ir milonitų su C'-tipo stuktūromis susidarymas. Fazė D2 Drūkšių-Polocko deformacijos zonoje susidarė panašiu laiku kaip ir Telšių deformacijos zonoje. Taip pat to laikotarpio (1460-1450 mln. m.) granitinės intruzijos rastos Vakarų Lietuvoje. Tai Žemaičių Naumestis (Motuza et al., 2006), Pilsotės (Motuzos person. koment.) ir Gėluva (Skridlaite et al., 2007), kurios išsidėsčiusios arti R-V krypties deformacijos zonų. Pietų Lietuvos Lazdijų plote amfibolo atvėsimo laikas iš gabro intruzijos yra 1427-1473 mln. m. (Skridlaite et al., 2006) ir 1470-1490 mln. m. (Bogdanova et al., 2001). Detalios $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronologinės studijos metu Oskarshamn rajone, Pietų Švedijoje (Soderlund, P. et al., 2008) buvo išskirti du tektoniniai įvykiai prieš 1,51-1,47 ir 1,43-1,42 mlrd. m. Po plastinės deformacijos vyko trapioji deformacija, todėl susidarė brekčijos ir pseudotachilitai. Jie galėjo atsirasti vėlyvajame proterozojuje ar/ir fanerozojuje.

Taigi pagrindinė plastinė deformacija bei skirtingų milonitų tipai Drūkšių-Polocko deformacijos zonoje atsirado po 1580 mln. metų magmatizmo. Plastinės deformacijos fazė D1 vyko prieš 1534 mln. metų, o plastinė ar tranzitinė (plastinė-trapioji) fazė D2 vyko tarp 1511 ir 1468 mln. metų, kai vyko plutos kilimas ir fluidų skverbimasis, kuris įtakojo ultramilonitų susidarymą. Trapiosios deformacijos fazė D3 užbaigė Drūkšių-Polocko deformacijos zonos vystymosi istoriją vėlyvajame proterozojuje ar fanerozojuje.

4.3. TELŠIŲ IR DRŪKŠIŲ-POLOCKO DEFORMACIJOS ZONŲ EVOLIUCIJOS PALYGINIMAS

Šių studijų metu remiantis gautais rezultatais yra sugretinamos Telšių ir Drūkšių-Polocko deformacijos zonų formavimosi raida. (5, 10 ir 12 lentelės). Telšių deformacijos zonoje plastinės deformacijos fazė (D1) vyko, kai granitinės daikos prieš 1622 mln. metų įsiterpė į čarnokitoidus, o prieš 1534 mln. metų – Drūkšių-Polocko deformacijos zonoje. Fazė D2 vyko panašiu metu abejose – TDZ ir DPDZ ir rodo tuo metu vyravusias kompresines sąlygas 1500 -1450 mln. m. laikotarpyje.

Telšių deformacijos zonoje trapiosios fazės (D3) metu susidarė brekčijos. Brekčijos galėjo panašiu metu susidaryti ir Drūkšių-Polocko deformacijos zonoje. Fazė D4 yra nustatyta tiksliai TDZ ir susijusi su lūžio susidarymu nuosėdinėje dangoje siluro-devono

laikotarpiu. Telšių ir Drūkšių-Polocko deformacijos zonos priklauso Polocko-Kurzemės lūžių juostai, esančiai vakarinėje Rytų Europos kratono dalyje. Jos susidarė mezoproterozojaus laikotarpyje kaip R-V krypties šlyties sistemos vakarų ir rytų Lietuvoje ir atskleidžia plutos vystymosi istoriją.

Table 12. Pagrindiniai magmatizmo ir deformacijos įvykiai Telšių ir Drūkšių-Polocko deformacijos zonose

Deformacijos zonos	Magminis amžius, mln. m.	Fazė D1, amžius, mln. m.	Fazė D2, amžius, mln. m.	Fazė D3, amžius, mln. m.	Fazė D4, amžius, mln. m.	Magminis amžius, mln. m.
TDZ	1622 granitinės daikos	<1622 plastinė deformacija	~1460 Plastinė deformacija	500 Trapioji deformacija	443-360 Trapioji deformacija	350 Granitinės daikos
DPDZ	1580 grandioritas	1534 Plastinė deformacija	1511-1468 plastinė-trapioji deformacija	Trapioji deformacija vėlyvajam proterozojuje-fanerozojuje		

IŠVADOS

Atlikus petrografinius, mineralų cheminės analizės, geotermobarometrijos ir geochronologinius tyrimus Telšių ir Drūkšių Polocko deformacijos zonose gautos šios išvados:

1. Remiantis petrologiniais ir mikrostruktūriniais tyrimais dvi plastinės deformacijos fazės (D1 ir D2) nustatytos Telšių deformacijos zonoje. Milonitizacijos metu stambiagrūdžiai čarnokitoidai, granitoidai bei pelitai buvo milonitizuoti granulitinės ir amfibolitinės facijų sąlygomis. Fazės D1 sindeformacinės mikrostruktūros susidarė dėl subgrūdų rotacijos ir grūdų ribų migracijos perkristalizacijos, o postdeformacinės – jau streso atsistatymo metu. Fazei D2 charakteringa plastinė deformacija kompresinėmis sąlygomis, kurios metu krenuliacinis klivažas susidarė ultramilonite. Vėliau, plastinės deformacijos struktūros vietomis buvo paveiktos trapiosios deformacijos (D3 ir D4) procesų viršutinėje plutoje, todėl susidarė brekčijos ir pseudotachilitai.
2. Pagrindinės plastinės deformacijos (D1) metu Telšių deformacijos zonoje milonitai susidarė esant 680–750°C temperatūrai ir 4-6 kbar slėgiui 15-18 km plutos gylyje. Slėgio-temperatūros parametru skirtumai Telšių deformacijos zonoje galėjo atsirasti dėl kai kurių blokų greitesnio kilymo ir intensyvesnės erozijos.
3. Silpnai deformuotų čarnokitoidų, jų protomilonitų, mezomilonitų ir ultramilonitų, esančių TDZ, kristalizacijos amžius yra tarp 1846-1814 mln. metų, gautas datavus cirkonus U/Pb metodu pagal SHRIMP technologiją. Šių cirkonų apaugimai augo prieš 1733-1679 mln. m. ir susiję su tektonoterminiu įvykiu gotiškosios orogenezės metu. Prieš 1620 mln. m. granitinės daikos įsiterpė į 1846-1814 mln. laikotarpio čarnokitoidus. Šis magmatizmo etapas yra susijęs su šalia esančiu Rygos plutonu ir rodo jo ankstyvosios stadijos formavimąsi bei lydymąsi plutoje.
4. Kartu čarnokitoidai ir granitinės daikos buvo vienodo laipsnio deformacijos paveiktos D1 fazės metu, todėl Telšių deformacijos zona pradėjo formuotis ne anksčiau kaip prieš 1622 mln. metų. TDZ reaktyvacija vyko prieš 1460 mln.m. ir susijusi su granitinėmis intruzijomis.
5. Vakarinėje TDZ dalyje dar įvyko reaktyvacija prieš 350 mln. m., kai buvo paveikta anksčiau nežinomo ankstyvojo karbono magmatizmo.

6. Dvi plastinės deformacijos (D1 ir D2) buvo nustatytos Drūkšių-Polocko deformacijos zonoje. Dinaminės perkristalizacijos struktūros gerai išliko granitoiduose fazės D1 metu. Jos susidarė dėl subgrūdų rotacijos ir grūdų ribų migracijos perkristalizacijos amfibolitinės- ir žaliųjų skalūnų facijų sąlygomis. Grandioritiniame akiniame milonite titanitas susidarė fazės D1 metu. Epidotinis ultramilonitas charakteringas D2 fazei, kuris susidarė siauromis juostomis dalyvaujant fluidams. C'-tipo šlyties juostelės aptiktos granitoiduose formavosi vėlyvosios milonitizacijos stadijoje. DPDZ reaktyvuojantis trapiosios deformacijos sąlygomis susiformavo brekčijos ir pseudotachilitai.

7. Dvi naujos magmatizmo stadijos remiantis U/Pb geochronologiniais tyrimais nustatytos Drūkšių-Polocko deformacijos zonoje. Novikų granitoidai šiauriniame DPDZ pakraštyje įsiskverbė į plutą tarp 1797 ± 10 ir 1788 ± 13 mln. metų, o pietiniame DPDZ pakraštyje Tverečiaus granitoidai intrudavo prieš 1580 ± 17 mln. metų. Cirkono apaugimų ir titanito datavimai U/Pb metodu su joniniais mikrozodais rodo, kad uolienos buvo milonitizuotos prieš 1534 ± 9 mln. m. Be to tie patys cirkonai buvo hidrotermiškai paveikti prieš 1511 ir 1468 mln. metų.

8. TDZ ir DPDZ, esančios Polocko-Kurzemės lūžių juostoje, formavosi mezoproterozojaus laikotarpiu tarp 1620 ir 1530 mln. m., o reaktyvavo prieš 1460 mln. metų ir vėliau – fanerozojuje.

LITERATŪRA

- Amelin Y. V., Larin A. M. & Tucker R. D. 1997. Chronology of multiphase emplacement of the Salmi rapakivi granite-anorthosite complex, Baltic Shield: implications for magmatic evolution. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **127**. 353–368.
- Andersson, U.B., Högdahl, K., Sjöström, H. & Bergman. 2006. Multistage growth and reworking of the Palaeoproterozoic crust in the Bergslagen area, southern Sweden: evidence from U–Pb geochronology. *Geol. Mag.* **143** (5). 679–697.
- Andersson U. B., Neymark L. A. & Billström K. 2002. Petrogenesis of Mesoproterozoic (Subjotnian) rapakivi complexes of central Sweden: implications from U/Pb zircon ages, Nd, Sr and Pb isotopes. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences*. **92**. 201–228.
- Ankudinov S., Sadov A., Brio H., 1994. Crustal Structure of Baltic Countries on the basis of deep seismic sounding data. [Structure and Evolution of the Crystalline Crust]. *Proc. Estonian Acad Sci.* **43**. 129–135. [In Russian].
- Bergman S., Sjöström H., Högdahl K. 2006. Transpressive shear related to arc magmatism: The Paleoproterozoic Storsjön-Edsbyn Deformation Zone, central Sweden. *Tectonics*. **25**. 1–16.
- Beunk F. F. 1996. Geology of the Loftahammar Area. – Amsterdam, 1–44 p.
- Beunk F. F., Page L. M. 2000. Structural evolution of the accretional continental margin of the Paleoproterozoic Svecofennian orogen in southern Sweden. *Tectonophysics*. **339**. 67–92.
- Beunk F. F.; Page L. M.; Wijbrans J. R.; Barling J. 1996. Deformational, metamorphic and geochronological constraints from the Loftahammar-Linköping Deformational Zone (LLDZ) in SE Sweden: Implications for the development of the Svecofennian Orogen. *GFF*. **118**. 9.
- Birkis A., Kanev S., 1991. Early Permian diabasic sills in the Baltic Sea. Bulletin of the Geological Survey of Estonia, Tallin. 1 p.
- Blenkinsop T. 2000. Recognition of deformation, microstructures and mechanisms in rocks. New York, NY, USA: Chapman & Hall. 1–105 p.

- Bogdanova S.V., Page L.M., Skridlaite G., Taran L.N. 2001. Proterozoic tectonothermal history in the western part of the East European Craton: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronological constraints. *Tectonophysics*. **339** (1-2). 39.
- Bogdanova. S. 2005. The East European craton: some aspects of the Proterozoic evolution in its south-west. *Mineralogical society of Poland-Special papers*. **26**. 18–24.
- Bogdanova S., Gorbatshev R., Grad M., Janik T., Guterch A., Kozlovskaya E., Motuza G., Skridlaite G., Starostenko V., Taran L., & EUROBRIDGE and POLONAISE working groups. 2006. EUROBRIDGE: new insight into the geodynamic evolution of the East European Craton. 2006. *European Lithosphere Dynamics*. 599–625.
- Bogdanova S. V. 2008. The 1.50–1.45 Ga Danopolonian Orogeny: from accretion to collision? *28th Nordic Geological Winter Meeting Abstract Volume*. 134.
- Bogdanova S., Bingen B., Gorbatshev R., Kheraskova T.N., Kozlov V.I., Puchkov., Volozh Yu.A. 2008. The East European Craton (Baltica) before and during the assembly of Rodinia. *Precambrian Research*. **160**. 23–45.
- Claesson S., Bogdanova S. V., Bibikova E. V, Gorbatshev R. 2001. Isotopic evidence for Proterozoic accretion in the basement of the East European Craton.. *Tectonophysics*. **339**. 1–18.
- Chunming and Yusheng, 1999. Reviews in garnet-biotite geothermometer: Its versions, inherent problems of accuracy and precision, and perspective for further research. *Chinese Journal of Geochemistry*. **18**. 54–61.
- Czuba, W., Grad, M., Luosto, U., Motuza, G., Nasedkin, V., POLONAISE P5, W.G., 2002. Upper crustal seismic structure of the Mazury complex and Mazowsze massif within East European Craton in NE Poland. *Tectonophysics*. **360**. 115-128.
- Demaiffe, D., Wiszniewska, J., and Brassinnes S. – A petrological–geochemical overview of the Tajno carbonatite complex (NE Poland): Comparison with the Kola Carbonatite Province (Russia). 2005. *Special papers Mineralogical Society of Poland*. 26: 29-35.

- Di Toro, G. Pennacchioni. 2005. Fault plane processes and mesoscopic structure of a strong-type seismogenic fault in tonalites (Adamello batholith, Southern Alps) *Tectonophysics*. **402**. 55– 80.
- Dörr W., Belka Z., Marheine D., Schastok J., Valverde-Vaquero P. & Wiszniewska ,J. 2002. U/Pb and Ar-Ar geochronology of anorogenic granite magmatism of the Mazury complex , NE Poland. *Precambrian Research* . **119**. 101–120.
- Fabbri O, Lin A, Tokushige H (2000) Coeval formation of cataclasite and pseudotachylyte in a Miocene forearc granodiorite, south-ern Kyushu, Japan. *J Struct Geol* 22:1015–1025
- Ferry J. M., Spear F. S. 1978. Experimental calibration of the Partitioning of Fe and Mg between biotite and garnet. *Contribution to Mineralogy and Petrology*. **66**. 113–120.
- Fettes D., Desmons J. 2007. *Metamorphic Rocks a Classification and Glossary of Terms*. Cambridge University press. 244 p.
- Frisicale M. C., Martinez F. J., Dimieri L. V., Dristas J. A. 2005. *Journal of South American Earth Sciences*. **19**. 433–444.
- Gall G., Gorbatshev R. 1987. An Outline of the Precambrian Evolution of the Baltic Shield. *Precambrian Research*. **35**. 15–52.
- Gailius R., Grigelis A., Jankauskas T. ir kt. 1993. Lietuvos geologija. Mokslas. 447 p.
- Garetsky, R. G., Apirubyte, R. A., Dankevich, I. V. & others. 1990. On horizontal displacements of large crustal blocks in the western part of East-European platform. *Doklady of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, Series B*. 6–8.
- Garetsky, R. G., Karataev, G. I., Astapenko, V. N. & Dankevich, I. V. 2002. The Polotsk-Kurzeme fault belt. *Doklady Academy Nauk BSSR*. **46**. 85–89.
- Gorbatshev R., Bogdanova S., 1993. Frontlines in the Baltic Shield. *Precambrian Research*. **64**. 3–22.
- Hanmer S. 2000. Matrix mosaics, brittle deformation, and elongate porphyroclasts: granulite facies microstructures in the Striding–Athabasca mylonite zone, western Canada. *Journal of Structural Geology*. **22**. 947–967.
- Hanmer S., Passchier C., 2001. Shear-sense indicators: A review. Geological Survey of Canada. 87 p.

- Hermansson T., Stephens M., Corfu F., Andersson J., Page L. 2007. Penetrative ductile deformation and amphibolite-facies metamorphism prior to 1851 Ma in the western part of the Svecofennian orogen, Fennoscandian Shield. *Precambrian Research*, **160**. 250–278.
- Hermansson T., Stephens M. B., Corfu F., Page L. M., Andersson J. 2008. Migratory tectonic switching, western Svecofennian orogen, central Sweden: Constraints from U/Pb zircon and titanite geochronology. *Precambrian Research*, **153**. 29–45.
- Högdahl K. 2000. Late-orogenic, ductile shear zones and protolith ages in the Svecofennian Domain, central Sweden. *Doctor theses of Stockholm University*. 82 p.
- Högdahl K., Sjöström H. 2001. Evidence for 1.82 Ga transpressive shearing in a 1.85 Ga granitoid in Central Sweden: implications for the regional evolution. *Precambrian Research*. **105**. 35–56.
- Hoisch T. D. 1990. Empirical calibration of six geobarometers for the mineral assemblage quartz + muscovite + biotite + plagioclase + garnet. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. **104**. 225–234.
- Hoskin P.W.O. ir Schaltegger U. 2003. The composition of zircon and igneous and metamorphic petrogenesis. *American miner.* 27-62.
- Johansson L., Johansson Á. U/Pb age of titanite in the Mylonite Zone, southwestern Sweden. 1993. *GFF*. **115**. 1–7.
- Yliniemi J., Tiira T., Luosto, U., Komminaho K., Giese R., Motuza G., Nasedkin V., Jacyna J., Šečkus R., Grad M., Czuba W., Janik, T., Guterch A., Lund C. E., Doody J. J., EUROBRIDGE'95: deep seismic profiling within the East European Craton. 2001. *Tectonophysics*. **339**. 154–175.
- Yund R. A., Tullis J., 1991. Compositional changes of minerals associated with dynamic crystallization. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. **108**. 346–55.
- Kärki A., Lajoki K., Luukas J. 1993. Major Paleoproterozoic shear zones of the central Fennoscandian Shield. *Precambrian Research*. **64**. 207–223.
- Kepežinskas K. 2001. Evolution of the Magmatic Rocks in the Southeastern Baltic Region. Geologijos institutas. 153 p.

- Kirs, J., Haapala, I. & Rämö, O.T., **2004**: Anorogenic magmatic rocks in the Estonian crystalline basement. *Proc. Estonian Acad. Sci. Geol.* **53**. 210-225.
- Knipe R. J. 1989. Deformation mechanisms – recognition from natural tectonites. *Journal of Structural Geology.* **11**. 127–46.
- Krogh, T. E. 1973. A low-contamination method for hydrothermal decomposition of zircon and extraction of U and Pb for isotopic age determination. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **37**. 485–494.
- Korabliova L., Sliupa S. 2006. Relationship of the relief and potential fields of lithuania and their influence on surface geodynamic processes. *Annual Report of the Lithuanian Geological Survey for 2005*. 52–54.
- Korja A., Korja T., Luosto U., and Heikkinen P. 1993. Seismic and geoelectric evidence for collisional and extensional events in the Fennoscandian Shield implications for Precambrian crustal evolution. *Tectonophysic.* **219**. (1-3). 129–152.
- Kurlovich D., Bogdanova S.V., and Karabanov A.K. The Cenozoic activity of the Polotsk-Kurzeme fault belt in the East European Craton and its influence on the topography. *Geophysical Research Abstracts.* **11**. EGU General Assembly 2007. CD disc.
- Leake B. E., Woolley A. R., Arps C. E. S., Birch W. D., Gilbert M. C., Grice J.D., Hawthorne F. C., Kato A., Kisch H.J., Krivovichev V. G., Linthout K., Laird J., Mandarino J., Maresch W. V., Nicel E. H., Rock N. M. S., Schumacher J.C., Smith D.C., Ungaretti L., Whittaker E. J. W., Youzhi G. 1997. Nomenclature of amphiboles Report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on New Minerals and Mineral Names. *Eur. J. Mineral.* **9**. 623-651.
- Lister G. S., Snoke A. W. 1984. S–C mylonites. *Journal of Structural Geology.* **6**. 617–38.
- Ludwig K. R. 1991. PbDat for MS-DOS, version 1.21 U.S. *Geological Survey Open-File Report.* 88–542. 35.
- Ludwig K. R. 1999. ISOPLOT/Ex.Version 2.06. A geochronological toolkit for Microsoft Excel. *Berkley Geochronology Center Special Publications.* **1a**, 49.

- Ludwig K.R. 2009. Berkeley Geochronology Ctr. Special Publication vol. 5 (2009), 104 p.
- Lund C. E., Gorbatshev R., Smirnov A. 2001. A seismic model of the Precambrian crust along the coast of southeastern Sweden: the Coast Profile wide-angle airgun experiment and the southern part of FENNOLORA revisited. *Tectonophysics*. **339**. 93–111.
- Mansfeld J. 2001. Age and ϵ_{Nd} constraints on the Paleoproterozoic tectonic evolution in the Baltic-Sea region. *Tectonophysics*. **339**. 135–151.
- Marcinkevičius V., Laškovas J. 1996. Ignalinos atominės elektrinės rajono tektoninės sąlygos. *Geologijos akiračiai*. **1-2**. 8–22.
- Marcinkevičius V., Laškovas J. 2007. Geological structure of the Ignalina Nuclear Power Plant area. *Geologija*. **58**. 16–24.
- Marfin S., Skripkina T., Žvykas A., Šliaupa A. 1994. The diorite-granodiorite-granite complex in Southwest Lithuania. *Geologija*. **16**.
- Motuza G. ir Motuza V. 2011. Charnockitic rocks in the crystalline basement of Western Lithuania: implications on their origin and correlation with the Askersund suite in SE Sweden. *Geological Quarterly*. **55 (1)**. 63–70
- Motuza. 2004. Viršutinės plutos sandara ir raida. Lietuvos Žemės gelmių raida ir ištekliai. 11–17.
- Motuza G., Čečys A., Kotov A. B., Salnikova E. B. 2006. The Žemaičių Naumištis granitoids: new evidences for Mesoproterozoic magmatism in western Lithuania. *GFF*. **128**. 243–254.
- Motuza G., Motuza V., Salnikova E., Kotov A. 2008. Extensive charnockitic-granitic magmatism in the crystalline crust of West Lithuania. *Geologija*. **1 (61)**. 1–16.
- Motuza G., Skridlaitė G. Gilieji litosferos sluoksniai. Lietuvos mokslas. 1999. 63 – 80.
- Motuza G., Staškus V. 2009. Seniausios Lietuvos uolienos. *Geologijos akiračiai*. 41–47 p.
- Motuza G., Vejelyte I. 2005. Telšių skalūnavimo zonos charakteristika. *Geologija*. **49**. 1–9.
- Pačėsa, A., Šliaupa, S., Satkūnas, J. 2005. Recent Earthquakes in the Baltic Region and Seismic Monitoring Lithuania. *Geologija*, **50**, 8–18.

- Passchier C.W. and Simpson, C., 1986. Porphyroclast systems as kinematic indicators. *Journal of Structural Geology*. **8**. 831–844
- Passchier C. W., Trouw R. A. J. 2005. *Microtectonics*. Berlin: Springer-Verlag. 289.
- Paterson M. S. 2001. A granular flow theory for the deformation of partially molten rock. In: Borland J., Ord A. (eds.). *deformation Processes in the Earths Crust*. *Tectonophysics*. **335**. 51–61.
- Puura and Floden, 1999 V. Puura and T. Floden, Rapakivi-granite-anorthosite magmatism—a way of thinning and stabilisation of the Svecofennian crust, Baltic Sea Basin. *Tectonophysics*, **305** (1999), pp. 75–92.
- Raimbourg H., Toyoshima T., Harima Y., Kimura G. 2008. Grain-size reduction mechanisms and rheological consequences in high-temperature gabbro mylonites of Hidaka, Japan. *Earth and Planetary Science Letters*. **267**. 637–653.
- Rämö O. T., Huhma H., Kirs J. 1996. Radiogenic Isotopes of the Estonian and Latvian Rapakivi Granite Suite: New Data from the Concealed Precambrian of the East European Craton. *Precambrian Research*. **79**. 209–226.
- Rieder M., Cavazzini G., Dyakonov Y. S., Frank-Kamenetskii V. A., Gotardi G., Guggenheim G., Koval P., Muler G, Neiva A. M. R., Radoslovich E. W., Robert J. L., Sasssi F. P., Takeda H., Weiss Z., Wones D. R. 1998. Momenclature of the mica. *The Canadian Mineralogist*. **36**. 41–48.
- Rimsa A., Bogdanova S., Skridlaite G., Bibikova E. 2001. The Randamonys TTG-intrusion in Southern Lithuania: Evidence of an 1.84 Ga Island arc. EGU XI, Strasbourg–France, 8 April. *Journal of Conference Abstract*. **6**. 1.
- Ross J. V, Wilks K. R. 1996. Microstructure development in an experimentaly sheared orthopyroxene granulite. *Tectonophysics*. **256**. 83–100.
- Simpson C., 1985. Deformation of granitic rocks across the brittle-ductile transition. *Journal of Structural Geology*. **7 (55)**. 503–511.
- Simpson C., Schmid S. M. 1983. An evaluation of criteria to deduce the sense of movement in sheared rocks. *Bulletin of the Geological Society of America*. **94**. 1281–8.

- Simpson C., Wintsch R. P. 1989. Evidence for deformation induced K-feldspar replacement by myrmekite. *Journal of Metamorphic Geology*. **7 (2)**. 261-275.
- Shelley D. 1993. Igneous and metamorphic rocks under the microscope. Cambridge. 445.
- Skjerna L. Microstructures in the Nytorp Shear Zone, southeastern Sweden. 1992. *GFF*. **114**. 195-208.
- Skridlaitė G. 1994. The metamorphism of metapelitic granulites from West Lithuania. *Geologija*. **16**. 21–27.
- Skridlaitė G. Motuza G. Precambrian domains in the Lithuania: evidence of terrane tectonics. *Tectonophysics*. 2001. 113 – 133.
- Skridlaitė G. Smilgienė, Z. 2004. Metamorfizmo raida ir tektoninės sąlygos. Lietuvos Žemės gelmių raida ir ištekliai. 40–46.
- Skridlaitė G., Bogdanova S., Page L. 2006. Mesoproterozoic events in eastern and central Lithuania as recorded by $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages. *Baltica*. **19**. 91–98.
- Skridlaite G., Whitehouse M., and Rimša A. 2007. Evidence for a pulse of 1,45 Ga anorthosite-mangrite-carnokite-granite (AMCG) plutonis min Lithuania: implications for the Mesoproterozoic evolution of the East European Craton. *Terra Nova*. **19 (4)**. 294-301.
- Skridlaite G., Baginski B., Whitehouse M. 2008. Significance of ~1.5 Ga zircon and monazite ages from charnockites in southern Lithuania and NE Poland. *Gondwana Research*. **14**. 663–674.
- Skridlaite G, Bogdanova S., Taran L., Krezeminska E., Wiszniewska J., Whitehouse M. 2009. Over 400 m.y. metamorphic history of the Fennoscandian lithospheric segment in the Proterozoic (the East European Craton). *Geophysical Research Abstracts*. **11**. EGU General Assembly 2009. CD disc.
- Skridlaite G, Bogdanova S., Baginski B., Whitehouse M. 2010. Metamorphism and magmatism in the western East European Craton: implications for 1.84 to 1.45 Ga evolution in Lithuania *Geophysical Research Abstracts*. **11**. EGU General Assembly 2009. CD disc.

- Söderlund P., Page L., Söderlund U. 2008. ^{40}Ar – ^{39}Ar biotite and hornblende geochronology from the Oskarshamn area, SE Sweden: discerning multiple Proterozoic tectonothermal events. *Geological Magazine*. **145** (6). 790–799.
- Söderlund, U., 2006. U-Pb baddeleyite ages of Meso- and Neoproterozoic dykes and sills in central Fennoscandia: a review. In: Dyke Swarms – Time Markers of Crustal Evolution. E. Hanski, S. Mertanen, T. Rämö, J. Voullo, (eds.). A.A. Balkema Publishers, 75-84.
- Spear F. S., Kohn M. J. 1999. GTB manual program. 42 p.
- Spear F. S. 1992. Thermobarometry and P-T paths from granulite facies rocks: an introduction. *Journal of Precambrian Research*. **55**. 201-207.
- Spray A. 1969. Metamorphic textures. – Oxford, England, Pergamon Press. 350 p.
- Stacey J. S., Kramers I. D. 1975. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model. *Earth and Planetary Science Letters*. **26** (2). 207–221.
- Steiger R. H., Jager E. 1976. Subcommission of Geochronology: conversion of the use of decay constants in geo- and cosmochemistry. *Earth and Planetary Science Letters*. **36** (2). 359–362.
- Stirpeika A. 1999. Tectonic Evolution of the Baltic Syncline and Local Structures in the South Baltic Region with Respect to their Petroleum Potential. Vilnius. 122 p.
- Storey C. D., Prior D. J. 2005. Plastic Deformation and Recrystallization of Garnet: A Mechanism to Facilitate Diffusion Creep. *Journal of Petrology*. **46** (12). 2593–2613.
- Suzuki K. ir Kato T. 2008. CHIME dating of monazite, xenotime, zircon and polycrase: protocol, pitfalls and chemical criterion of possibly discordant age data. *Gondwana Research*, **14**, 569 - 586.
- Suveizdis P. 2003. Lietuvos tektoninė sandara. Vilnius. 159 p.
- Šliaupa S., Zakarevičius A., Stanionis A. 2006. Strain and stress fields of the Ignalina NPP area from GPS data and thin-shell finite element modelling, NE Lithuania. *Geologija*. **56**. 27–35.
- Šliaupa S., Katinas V., Vosylius G., Šliaupienė R., Vėjelytė I. 2002. Telšių lūžio paleoįtampų rekonstrukcija. *Geologija*. **38**. 12–23.

- Šliaupa S. 2002. Telšių lūžio kinematinė tipitizacija Vakarų Lietuvoje: struktūrinė ir laidumo fluidams prognozė. *Geologija*. **38**. 24–30.
- Šliaupa S., Popov M. 1999. Linkage between basement and neotectonic linear structures in Lithuania. *Litosfera*. **2**. 23 – 36.
- Šliaupa A. 1998. Neotectonic Structures of Lithuania and Adjacent Territories. *Litosfera*. **2**. 37 – 46.
- Taran L. N, Bogdanova S. V. 2003. Metamorphism of Paleoproterozoic paragneisses in the Belarus-Podillyaseie granulite belt: prograde – retrograde evolution. *Petrology*. **11**. 425–442.
- Torvela T., Mänttari I., Hermansson T. 2008. Timing of deformation phases within the South Finland shear zone, SW Finland. *Precambrian Research*. **160**. 277-297.
- Tullis, J. and Yund, R.A. 1985. Dynamic recrystallization of feldspar: a mechanism for ductile shear zone formation. *Geology*. **13**. 238-241.
- Tullis, J. and Yund, R.A. 1987. Transition from cataclastic flow to dislocation creep of feldspar: mechanisms and microstructures. *Geology*. **15**. 606-609.
- Väisänen M., Skyttä P. 2007. Late Svecofennian shear zones in southwestern Finland. *GFF*. **129**. 55–64.
- Van der Pluijm B., Marshak S., 2004. Earth Structure. New York, W.W. Norton. 574 p.
- Vernon R. H. 1976. Metamorphic processes. London. 1–2
- Vernon R. H. 2004. A practical guide to Rock Microstructure. Cambridge. 594 p.
- Vernon R. H., Clarke G. L. 2008. Principles of metamorphic petrology. Cambridge university press. 446 p.
- Vėjelytė I., Bogdanova S., Salnikova J., Yakovleva S. and Fedoseenko A. 2010. Timing of ductile shearing within the Drukšiai-Polotsk deformation zone, Lithuania: a TIMS U/Pb titanite age. *Estonian Journal of Earth Sciences*. **59**. 3–9.
- Vejelyte I., Motuza G. 2004. Telsiai Shear Zone and Druksiai Tectonic Zone: petrology and their correlation with Swedish shear zones. *GFF Abstract Volume 126*. Stockholm. p. 41.
- White S. H., Burrows S. E., Carreras J., Shaw N. D., Humphreys F. J. 1980. On mylonites in ductile shear zones. *Journal of Structural Geology*. **2**. 175–87.

- Wiszniewska J., Claesson S., Stein, H., Vander Auwera J. & Duchesne J.-C. 2002. The north-eastern Polish anorthosite massifs: petrological, geochemical and isotopic evidence for a crustal derivation. *Terra Nova*. **14**. 451–460.
- Wiszniewska J., Krzemińska E., Krzemiński L., Demaiffe D., Stein H., Williams I.S. 2010. A new Early Carboniferous Alkaline Province in the crystalline basement of NE Poland // Abstract volume of Goldschmidt Conference 12 p. Knoxville, USA.
- Wu C-M, Zhang J, Ren L-D. 2004. Empirical garnet–biotite–plagioclase–quartz (GBPQ) geobarometry in medium- to high-grade metapelites. *Journal of Petrology*. **45**. 1907–1921.
- Zakarevičius A., Stanionis A. 2005. Žemės plutos horizontaliųjų judesių tyrimas ANSYS programa. *Geodezija ir kartografija*. **31**. 3-11.
- Zakarevičius A., Stanionis A. 2004. Horizontaliųjų žemės plutos poslinkių ir deformacijų modeliavimas baigtinių elementų metodu. *Geodezija ir kartografija*. **30**. 35-40.
- Zakarevičius A., Stanionis A. 2003. Horizontaliųjų Žemės plutos deformacijų Ignalinos atominės elektrinės rajone sklaidos ypatumai. *Geodezija ir kartografija*. **29**. 119–123.
- Žvirblis A. 1995. Kai kurie Telšių regioninio lūžio raidos ypatumai. *Geologijos akiračiai*. **1**. 52–56.
- Айзберг Р. Е. 2007. Разломы земной коры Беларуси. Минск Красико-Принт. 1-369.
- Гайлюс Р. 1969. Магматические и метаморфические комплексы докембрия Литвы. Диссертация на соискание учёной степени кандидата геолого-минералогических наук.
- Островский А. А. 1995. Зона древнего рифтообразования под Балтийским Морем. *Доклады Академий Наук*. Том 342. **5**. 680-685.
- Сувейздис, П. 1979. Тектоника Прибалтики. Вильнюс. 89 с.

Archyvinė medžiaga

- Čyžienė J., Šliaupa S. 2006. Lietuvos–Latvijos pasienio teritorijos prekvartero geologinis žemėlapis 1:200 000 masteliu.
- Jacyna J., Motuza G., Nasedkin V., Sidarov, V., Korabliova L., Lokutijevskis, V., Baršauskaitė D. 1999. Giluminis seisminis zondavimas (GSZ) profilyje Šeštokai-Paberžė. LGT fondai
- Krasnevič B. 1994. Geoterminio gręžinio Vydmantai-2 geologinė sąranga. Gargždai. LGT fondai.
- Krasnevič B. 1994. Nausodžio naftos telkinio sąranga ir ištekliai. Vilnius. LGT fondai.
- Krasnevič B. 1994. Kretingos naftos telkinio sąranga ir ištekliai. Vilnius. LGT fondai.
- Krasnevič B., Kepežinskas K. 1993. Geoterminio gręžinio "Vydmantai-1" geologinė ataskaita. Gargždai. LGT fondai.
- Korabliova L., Popov M. 1995. Gravitacinė 1:50000 masteliu nuotraukos Ignalinos plote ataskaita. Vilnius. LGT fondai.
- Novik D., Krasnevič B. 2001. Girkaliai-3D project. Field operation final report. Interpretation report. Gargždai. LGT fondai.
- Novik D., Krasnevič B. 2001–2002. Interpretation report. Nausodis 3D Project. Gargždai. LGT fondai.
- Stirpeika A. 1991. Girkalių ploto geologinė sąranga bei naftingumas. LGT fondai.
- Stirpeika A., Krasnevič B. 1991. Eitučių ir Tūbausių plotų geologinė sąranga bei naftingumas. Vilnius. LGT fondai.
- Апирубите Р. А. 1974. Усовершенствование методики использования гравимагнитных съемок для выявления разломов и прилазломых структурных зон в Литве. Вильнюс. ЛГТ.
- Апирубите Р. А., Гедвилайте Н. М., Сабайтене В. Б. 1977. Обобщение материалов гравимагнитных работ в южной Прибалтике. Вильнюс. ЛГТ.
- Апирубите Р. А., Сабайтене В. Б., Ягминас Е. А. 1983. Отчет о научно-исследовательской работе изучение связи структур кристаллического фундамента с глубинным строением земной коры южной Прибалтики по комплексу геофизических данных Вильнюс. ЛГТ.

- Kuzik Э. П. 1968. Обобщение данных геофизики и бурение по региональным паботам в Прибалтике и уточнение структурных платоб на площадях детальных исследований Бружбинской и Северо-Гусевской. Поваровка. ЛГТ.
- Kuzik Э. П., Лукашова А. В., 1969. Отчёт по теме геолого-геофизическая характеристика разреза осадочной толщи Балтиской синеклизы и составление сводных времёных капт по отражающим горизонтам. Поваровка. ЛГТ.
- Марцинкявичюс В., Буцявичюте С., Вайтонис В., Гуобите Р., Дансявичене Д., Канопене Р., Лашков Е., Марфин С., Рачкаускас В., Юозапавичюс Г. 1995. Отчет о проведенной ком-плексной геолого-гидрологической и инженерно-геологи-ческой съемке м-ба 1:50 000 в районе Игналинской АЭС на территории листов N-35-5-Г-в, г, N-35-6-В-в, г, N-35-17-Б, N-35-18-А, N-35-17-Г-а, б, N-35-18-В-а, б, в пределах Литовской Республики и Республики Беларусь, с доизучением геолого-гидрогеологических и инженерно-геологических условий в пределах Латвийской Республики (Друкшяйский объект). Вильнюс. Т. 1, кн. 1, 290 с.
- Вайтонис В. Валюкевичюс Ю., Гасюнас В., Кыртинайтис А., Мешкаускас В. 1976. Отчёт о комплексных геолого-гидрогеологических съёмачных работах на территориях листа Но-35-IX (в пределах Литовской ССР) в масштабе 1 200000, проведенных в 1973-1974 г. ЛГТ.

PUBLIKACIJŲ SĄRAŠAS

1. **Vėjelytė I.**, Bogdanova S., Salnikova J., Yakovleva S. and Fedoseenko A. 2010. Timing of ductile shearing within the Drukšiai-Polotsk deformation zone, Lithuania: a TIMS U/Pb titanite age. *Estonian Journal of Earth Sciences*. **59**. 3–9.
2. Motuza G., **Vėjelytė I.** 2005. Telšių skalūnavimo zonos charakteristika. *Geologija*. **49**. 1–9.

PRANEŠIMAI KONFERENCIJOSE

1. **Vejelyte I.**, Bogdanova S., Yi K. and Cho M. Two newly recognized magmatic events in the Proterozoic crystalline basement of eastern Lithuania: SHRIMP U-Pb zircon ages. *30th Nordic Geological Winter Meeting, Reykjavik, Island (in press)*
2. **Vejelyte I.**, Yi K., Cho M., Kim N. and Lee T. 2011. Intracratonic Carboniferous granites in the Paleoproterozoic crust of Lithuania: new SHRIMP U-Pb zircon ages. Goldschmidt, Prague, Czech Republic.
3. **Vėjelytė I.** 2010. Petrographic study of the mylonites in the Druksiai-Polotsk deformation zone in the Lithuania. “Bonds and Bridges: Mineral Sciences and their applications - Everything on natural and analogous solid matter and its interactions” 20th General Meeting of IMA (IMA2010) Budapest, Hungary.
4. **Vėjelytė I.** 2010. Studies of microstructures of deformed charnockitic rocks in the Telsiai deformation zone, Lithuania. *Geophysical Research Abstracts*. 12. European Geosciences Union General Assembly, Viena, Austrija.
5. **Vejelyte I.** Bogdanova S. Salnikova J. 2010. Age of the Druksiai-Polotsk deformation zone, Lithuania: a U/Pb dating of metamorphic titanite. *Geophysical Research Abstracts*. 12. European Geosciences Union General Assembly, Vienna, Austrija.
6. **Vejelyte I.**, Bogdanova S., Salnikova J., 2010. Titanite U-Pb dating of a mylonite from the Druksiai-Polotsk deformation zone, East Europe Craton. 53rd Scientific Conference for Young Students of Physics and Natural Sciences, Vilnius, Lithuania. p.26-27.
7. **Vėjelytė I.** 2010. Microstructural analysis of charnockitic rocks in the Telsiai deformation zone, Lithuania. SIMP Short Course on Microstructure 2010: 129

Microstructures and Physico-Chemical Properties of Earth and Planetary Materials.
Verbania, Italija.

8. **Vejelyte I.** Bogdanova S. Salnikova J. 2010. U/Pb age of titanite in the Druksiai-Polotsk deformation zone, Lithuania. *Abstracts and Proceedings of the Geological Society of Norway of 29th Nordic Geological Winter Meeting*, January 11–13, Oslo, Norway. 205-206.
9. **Vejelyte I.** Bogdanova S. Salnikova J. 2009. Microstructural characteristics and timing of ductile deformation of the Druksiai-Polotsk deformation zone in NE Lithuania: East European Craton. *MAPT 2009: Mikro-analysis, processes, time: conference programme and abstracts*, 30th August-4th September, 2009, Edinburg, UK. p. 186-187.
10. **Vejelytė I.** 2008. The Telšiai shear zone: a major deformation feature of the Palaeoproterozoic crust in the west Lithuania. Abstract Volume of 33rd International Geological Congress (IGC). CD disc.
11. **Vejelyte I.** 2008. A high-T ultramylonite in the western part of the Telšiai Shear zone in Lithuania, East European Craton. Abstract Volume of 28th Nordic Geological Winter Meeting, Aalborg-Denmark. p. 6.
12. Memeti V., **Vejelyte I.**, Paterson S. R. 2006. Magmatic lobes as key locations for unraveling complex internal processes in magma chambers: an example from the Tuolumne Batholith, Sierra Nevada, California, USA. *Bulletin of the Geological Society of Finland*, Special Issue I. p. 102.
13. Motuza G., **Vejelyte I.** 2006. Ductile shear zones in Precambrian basement of Lithuania. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 8. Austria. p. 1–2.
14. **Vejelyte I.**, Motuza G. 2004. Telsiai Shear Zone and Druksiai Tectonic Zone: petrology and their correlation with Swedish shear zones. *GFF Abstract Volume 126*. Stockholm. p. 41.