

TARTU ÜLIKOOL  
LOODUS- JA TEHNOLOOGIATEADUSKOND  
ÖKOLOOGIA JA MAATEADUSTE INSTITUUT  
GEOLOOGIA OSAKOND

**Kristiina Ojamäe**

Siluri karbonaatkivimite lasuvusrikked Pandivere kõrgustiku  
edelaosas ja nende mõju tehnoloogilise lubjakivi maardlatele

Magistritöö

Juhendajad: Ph. D Alar Rosentau  
Ph. D Leho Ainsaar  
Ph. D Väino Puura

## Sisukord

Sissejuhatus.....	3
1. Lasuvusrikked Põhja-Eesti aluspõhjas .....	4
1.1 Lasuvustingimused ja -rikked.....	4
1.2 Rikete mõju erinevate maavarade kvaliteedile .....	11
2. Karinu ja Metsla maardlate ümbruskonna geoloogiline ehitus.....	13
3. Materjal ja meetodid.....	16
4. Tulemused.....	18
4.1 Lasuvustingimused Karinu ja Metsla maardlate ümbruses .....	18
4.2 Lasuvusrikked ja nende mõju lubjakivi kvaliteedile.....	26
5. Arutelu .....	38
5.1 Lasuvusrikked .....	38
5.2 Rikete mõju lubjakivi kvaliteedile .....	42
Kokkuvõte.....	44
Summary .....	45
Tänuavaldused.....	46
Kasutatud kirjandus .....	47
Lisad .....	50

## Sissejuhatus

Eesti alal on settelises aluspõhjas esinevad kümneid kilomeetreid pikad joonelised rikkevööndid, mis lõikavad nii kristalliinset aluskorda kui ka settelist aluspõhja. Nendes rikkevööndites leidub arvukalt lõhelisuse vööndeid, kus kivimid on purustatud, kurrutatud, väikestest murrangutest läbitud ja karstunud. Eesti alal neid detailsemalt uuritud just Kirde-Eestis seoses laiaulatuslike põlevkivi ja fosforiidi leviku uuringutega (Vaher *et al.* 1962; 1983; Puura, 1986; Puura *et al.* 1987). Rikkevööndite ulatus ja paiknemine annavad eelkõige teadmisi maavara kvaliteedi kohta ning on olulised allmaakaevandamisel ohutuse tagamiseks.

Tehnoloogilise lubjakivi uuringutest (Tallinn, 1968; 1974; 1989 jt.) on teada, et rikkevööndeid esineb samuti Siluri karbonaatkivimites Pandivere kõrgustikul, kuid nende levikut ning mõju lubjakivi kvaliteedile ei ole põhjalikumalt uuritud. Tehnoloogiline lubjakivi paikneb siin geoloogiliselt Juuru lademes, Siluri ladestus. Tehnoloogilise lubjakivi põhiliseks kvaliteedinõudeks on selle kõrge CaO sisaldus ning lisandite (MgO ja lahustumatu jäägi) vähene hulk. Tektooniliste rikete esinemine aluspõhjas võib mõjutada aga oluliselt lubjakivi koostist – rikketsoonides esineb suures mahus dolomiidistumist, väikeseid murranguid ja karsti, mis enamikel juhtudel vähendab lubjakivi kvaliteeti.

Käesoleva töö eesmärgiks on uurida Siluri karbonaatkivimite lasuvusrikkeid Pandivere kõrgustiku edelaosas, Karinu ja Metsla tehnoloogilise lubjakivi maardlate ümbruses ja selgitada nende mõju maavara kvaliteedile. Töös on põhiline informatsioon lubjakivikihtide struktuuri ja eriti rikete kohta saadud puursüdämike andmestikust. Abistavaks meetodiks on näivtakistuse elektro-profileerimisuuringud. Karinu ja Metsla maardlate lähistel on varasemalt tehtud kolm sellist geofüüsikalist uuringut (Perens *et al.* 1976; Tallinn, 1989; Bastani *et al.* 2012), millega on püütud määrata tektooniliste rikete asukohti.

Käesolev töö on ennekõike rakendusliku suunitlusega, mis tehti koostöös Nordkalk AS-iga uurimaks võimalikke tulevikuperspektiive tehnoloogilise lubjakivi kaevandamisel. Töö raames analüüsiti varasemalt antud piirkonnas kogutud informatsiooni põhjal Siluri karbonaatkivimite lasuvustingimusi. Koostati detailsed geoloogilised kaardid ja läbilõiked, milles uuriti, kas Kirde-Eestis esinevad rikked jätkuvad ka Karinu ja Metsla maardlate lähistel ning võrreldi neid. Uuriti, millist mõju avaldab riketega kaasnev kivimite purustumine, dolomiidistumine ja karstumine tehnoloogilise lubjakivi kvaliteedile.

# 1. Lasuvusrikked Põhja-Eesti aluspõhjas

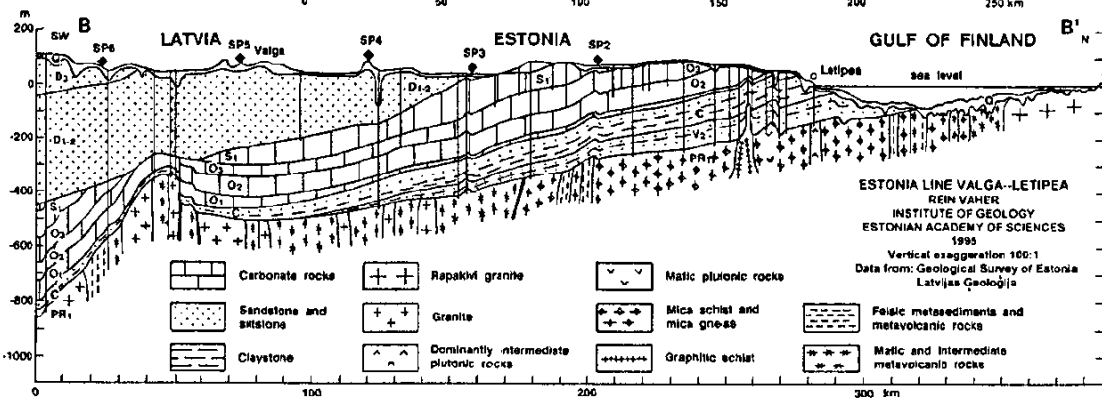
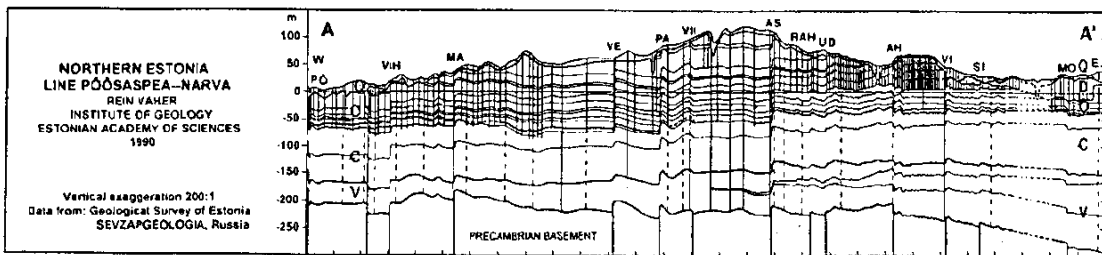
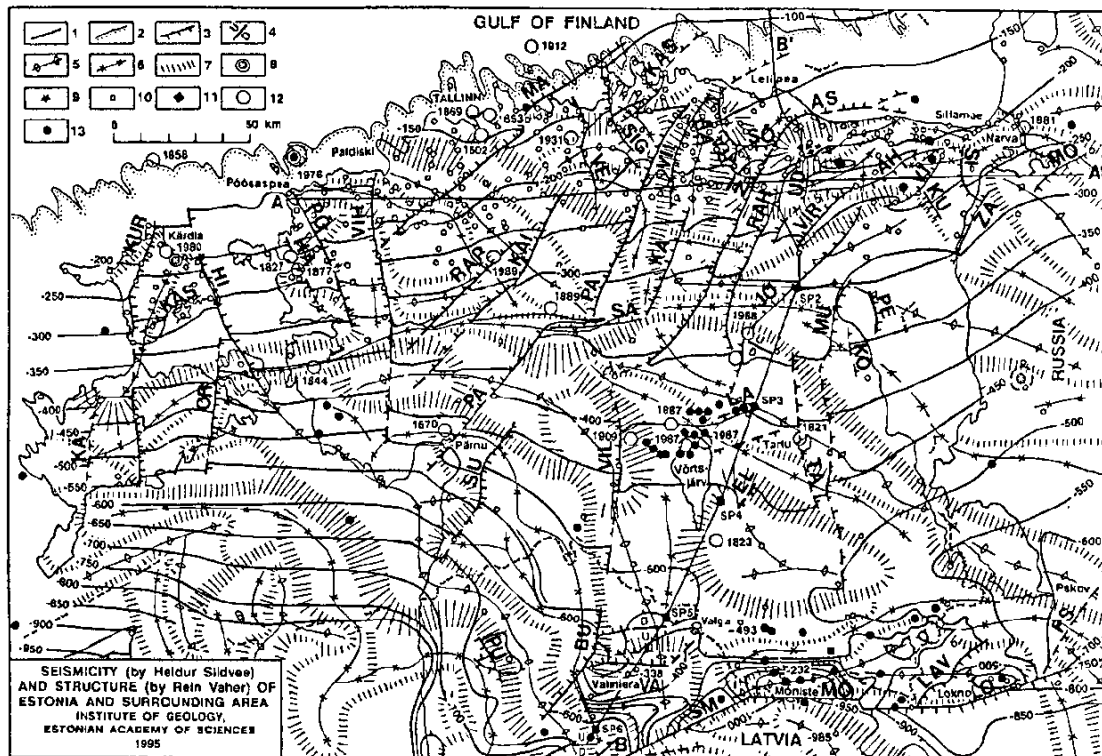
## 1.1 Lasuvustingimused ja -rikked.

Eesti paikneb Ida-Euroopa kraatoni loodeservas, mis Eelkambriumis tegi läbi mitmeid kurrutus- ja moondefaase. Territooriumile on iseloomulik kahekorruseline struktuurne ehitus – all Proterosoikumi kristalne aluskord, millel lasub suure ajalise põiksusega Paleosoiline setteline pealiskord (Joonis 1). Eesti ala geoloogilist ehitust ja arengut on mõjutanud erinevad regionaalsed platvormsed struktuurid. Põhjakaarde jääb ulatuslik Arhaikumini ja Proterosoikumi vanusega kristalsete kivimite avamusala – Balti kilp. Aluskorra pealispind süveneb lõuna suunas, kus asub Balti süneklis – ulatuslik laskunud aluskorraga ning paksu platvormse settekompleksiga täitunud ala.

Suhteliselt madalas sisemeres kujunenud platvormi setteline pealiskord on alla kilomeetri paksune ning Eesti piires tektooniliselt suures osas rikkumata. Kuigi puuduvad ulatuslikud rikked, on esinenud sellegipoolest väiksema ulatusega tektooniliste pingete perioode, kui Baltika paleokontinent või selle hilisem järglane Ida-Euroopa kraaton põrkus triivides teiste paleokontinentidega. Üheks selliseks etapiks oli Kaledoonia kurrutus, mil Baltika põrkus Põhja-Ameerika kontinendi Laurentiaga ning kujunes meist loodesse jääv Kaledoonia mäestik.

Aluspõhjalised kivimikihid levivad Eestis aluskorra pealispinnaga praktiliselt paralleelselt, omades monoklinaalset lasuvust, mis väljendub nõrga regionaalse 10-14' lõunasuunalise kallakusena (Joonis 1, läbilõige B–B'). Aluspõhja lasuvus on regionaalses mõttes väga ühtlane ning tektooniliselt rikutud vaid väikseamplituudiliste lasuvusrikkete (Joonis 1, läbilõige A–A') ja sekundaarselt muutunud kivimite vöönditega. 120–300 meetri paksust settelist aluspõhja ning selle all lamavat kristalliinset aluskorda lõikavad joonelised rikkevööndid (Joonis 1), mille pikkus on tavaliselt kümneid kilomeetreid ning laius 1–5 km. (Vahter, 1983; Kattai, 1986). Nendes rikkevööndites esineb arvukalt lõhelisuse vööndeid, kus kivimid on purustatud, läbitud väikestest murrangutest, intensiivselt karstunud ja dolomiidistunud.

Joonelised rikkevööndid asetsevad kristalliinse aluskorra murrangutel ja on tingitud ilmselt aluskorra plokkide vertikaalsetest liikumistest. Rikked jagavad monoklinaalse lasuvuse mitmeteks erineva suurusega plokkideks, mille liikumisel on välja kujunenud astmeline reljeef. Eesti jääb Fennoskandia kilbi ja Balti süneklisi vahelisse üleminekualasse, kus rikkevööndite plokkide liikumise amplituudid on olnud väikesed, tavaliselt 5-10 meetrit.



**Joonis 1.** Eesti ja ümbritseva ala settelise pealiskorra ja kristalliinse aluskorra struktuurikaart (Sildvee ja Vaher, 1995).

Erandjuhtumitel on nihkeamplituud suurem, kuid ei ulatu ka siis üle 50 meetri (Puura, 1986). Võrdluseks, Balti sünekliaisi keskosas (Lätis) on aluspõhja pealispinnas olevad plokid nihkunud kuni 600 meetrit (Suveizdis, 1979).

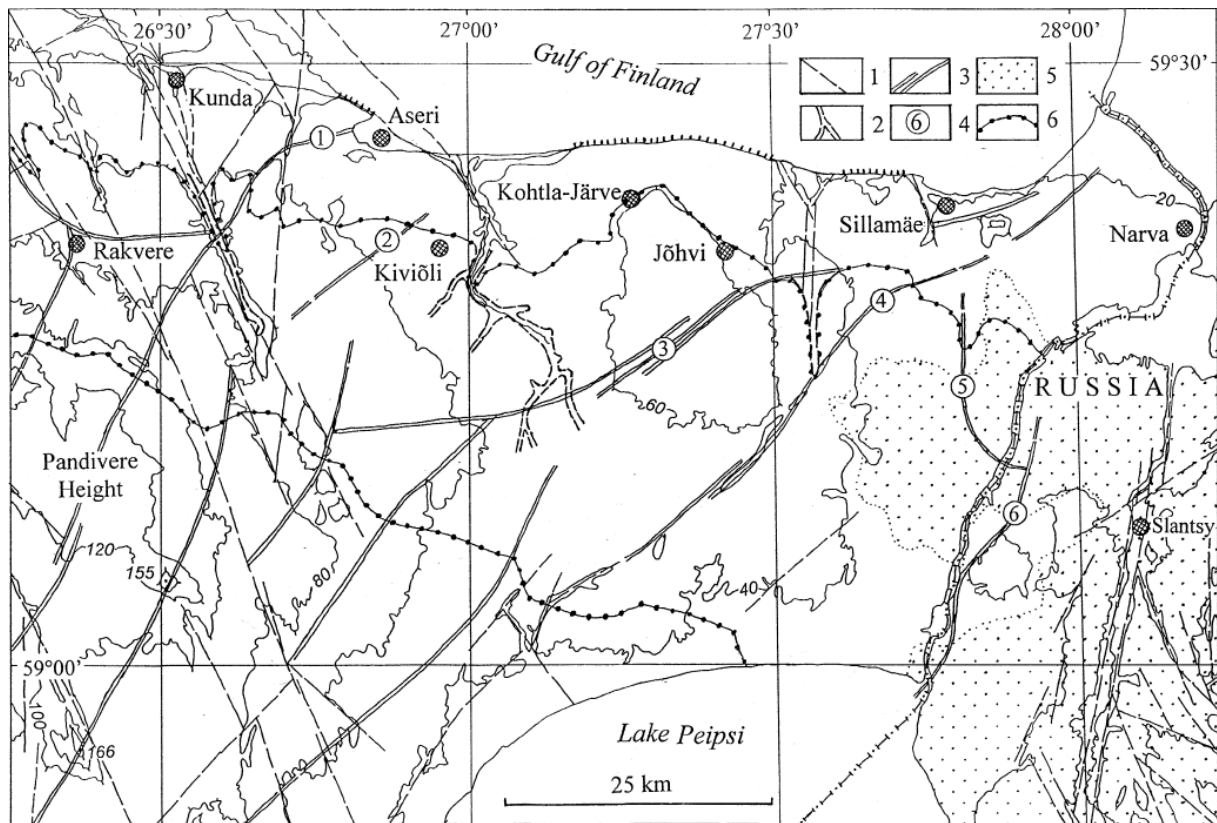
Aluspõhja puurimine ei võimalda rikkevööndite ehitusest saada ühest vastust. Need ei ole oma morfoloogialt ei klassikalised kurrud ega murrangud. Peamiseks morfoloogiliseks

elemendiks on reeglina settekompleksi fleksuurilaadne paine ning väikese amplituudiga antiklinaal rikkevööndi kerkinud tiival ja sünkliinaal laskunud tiival (Vaher *et al.* 1978).

On pakutud, et Põhja-Eestis olevad rikkevööndid on tõenäoliselt seotud Kaledoonia orogeneesiga ja on Hilis-Siluri või Vara-Devoni vanusega (Puura *et al.* 1983). Valdav kirdesuunaline (80–55°) rikete orientatsioon ja suur murrangute hulk korreleerub tektooniliste pingetega Kaledoonia kurrutuse Skandia faasiga, mil ekvaatori lähedal paiknev Baltika laama serv sukeldus Laurentia laama alla. Skandia orogeneesi maksimum oli 407 miljonit aastat tagasi (Roberts, 2003).

Eestis on rikketsoone detailsemalt uuritud ennekõike Kirde-Eestis (Vaher *et al.* 1962; 1983; Puura, 1986; Puura *et al.* 1987) seoses laiaulatuslike põlevkivi ja fosforiidi leviku uuringutega (üle 10 000 puuraugu 2900 km<sup>2</sup> kohta). Just põlevkivi uuringutega on saadud kõige rohkem konkreetseid teadmisi tektoonika osas, sest maa-alusel kaevandamisviisil peab ohutuse tagamiseks ning maavara otstarbekaks kaevandamiseks arvestama kõiki tektoonilisi rikkeid. Kirde-Eestis on joonelisi rikkevööndeid kaardistatud ja uuritud ligi 20. Eesti põlevkivimaardlas on dokumenteeritud rida suuri tektooniliste rikete vööndeid, nagu Aseri, Ahtme, Sonda, Viivikonna jt. (Joonised 2; 3; 4; 5).

Aluspõhi on lõhestatud valdavalt põhjakirde kuni kirde-edelasuunaliste (5–25°) või kaarekujuliste loode- (kuni põhja-) kagu (kuni lõuna-) suunaliste (310–335°) jooneliste rikkevööndite poolt erineva suuruse ja kujuga plokkideks (Vaher, 1983). Kirdesuunalised rikkevööndid on välja kujunenud Ordoviitsiumi aluspõhjalisse kivimisse, eelistatult põlevkivi leiukoha läänepoolsemas osas. Ülejäänud ilmnevad aga enamasti idapoolses osas, kus Ordoviitsiumi kivimid on osaliselt kaetud Devoni settekivimitega (Sokman *et al.* 2008). Rikketsoonide vertikaalne amplituut jääb 5 kuni 25 meetri vahele, kusjuures enamikel riketel on tõstetud ida-kagutiib (erandiks on Viitna ja Ahtme rikked). Lõhed on tavaliselt peaaegu vertikaalsed ja oma iseloomult võrdlemisi erinevad. Vööndite laius on 1–5 km ning pikkus ulatub 10-st kuni 150 kilomeetrini (Kattai *et al.* 1980; Vaher, 1983; Kattai, 1986). Suuremad rikked esinevad regulaarsete, umbes 12–16 kilomeetrise vahedega. Kitsad jõeorgud ühilduvad tihti riketega ning osad neist on täitunud Kvaternaari-aegsete setetega. Puurimistulemustega on tõestatud, et rikkevööndid läbistavad kogu settekivimite kompleksi ning need võivad olla seotud aluskorras esinevate süvamurrangutega (Puura & Vaher, 1997).



**Joonis 2.** Lineaarsed rikkevööndid Põhja-Eestis. Legend: 1 – jõeorud maismaal ja avamerel; 2 – aluspõhja kivimisse lõikavad maetud ürgorud; 3 – rikkevööndid; 4 – murrangud: (1) Aseri, (2) Sonda, (3) Ahtme, (4) Viivikonna, (5) Sirgala ja (6) Zagrivskaya; 5 – Ordoviitsiumi kivimitel lasuvate Devoni settekivimite avamusala; 6 – majanduslikus mõttes olulise põlevkivi levikuala. (Sokman, 2008)

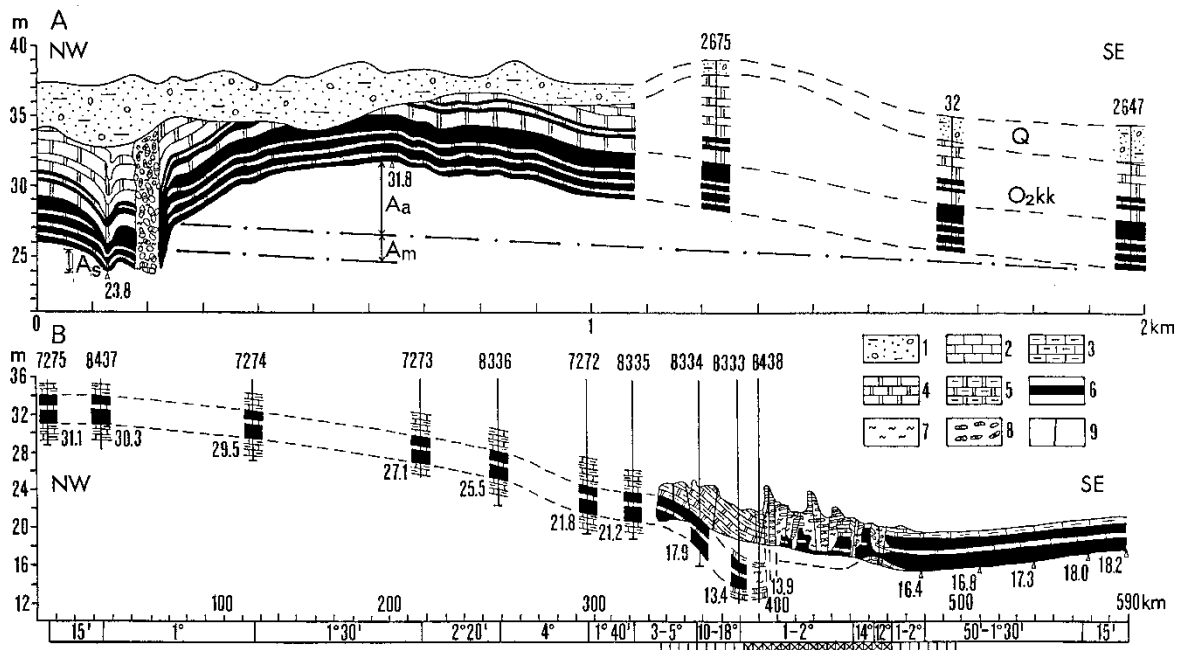
Rikked seostuvad 2–3 kilomeetrise lainepikkusega antiklinaali ja sünkliinaali kurdudega, mida läbistavad veel väiksemad kurrud. Need lokaalsed antiklinaalid on paari meetri kõrgused ja esinevad tihti rikete tõstetud tiibades. Sünkliinaalid esinevad aga langenud tiivas (Vaher *et al.* 1978). Rikked koosnevad sageli viiest-kuuest või enamast paralleelsest murrangukogumist, mis vahelduvad kurrutatud ja murtud aluspõhjakiivimite plokkidega. Enamike kurrutiibade kihilisus on väikese nurga all ( $1-4^\circ$ ), kuid mõni kurrutiib omab ka  $18-45^\circ$  kallakust. Väiksema lainepikkusega (5–20 m) ja amplituudiga (2–3 m) kurrud ning ka karstiilmingud on peamiste rikketsoonide vahel välja arenenud juhuti. Kogu põlevkivi kaevandusalal läbi viidud eritakistuse uuring näitab hulgaliselt (üle 700) kitsaste ja silmnähtavalt madalama eritakistusega tsoonide levikut, mis on vastavuses väiksemate aluspõhja murdude ja lõhedega. Sellised anomaaliad on joondunud paralleelselt põhiliste riketega ja võivad olla kuni kilomeetri pikkused (Vaher, 1983).

Jooneliste rikkevööndite vahelisel alal läbivad aluspõhja tektoonilised vertikaalilähedased lõhed ja nende süsteemid. Lõhed esinevad tihedamini loode-kagusuunaliselt, harvem edela-

kirdesuunaliselt. Loodesuunalised lõhed (asimuut 310–340° NW) on väljapeetud levikusuunaga, sirge pinnaga ning võivad olla kas kinnised, avatud või täidetud savika materjaliga (Tallinn, 1981). Üksikute lõhede vahekaugused on kümneid meetreid, kuid võib kohata ka kolmest kuni viiest lähestikku paiknevast lõhest koosnevaid tsoone. Kirdesuunalised lõhed (asimuut 50–70° NE), mille paksus võib olla mõnest millimeetrist kuni 15 sentimeetrini, on tihti täidetud liivakiviga. Üksikute lõhede ja liivakividaikide vahekaugused on enamasti mõõdetavad sadade meetritega. Piki liivakiviga täidetud lõhesid esinevad tihti kuni ühe meetri kõrgused antiklinaalsed kerked. Peale vertikaalsete lõhede on kaevandustes jälgitavad ka horisontaalsed lõhed, mis esinevad tihti põlevkivi ja lubjakivi kihtide kontaktidel. Piki neid võivad olla toimunud väheolulised horisontaalsed nihked, reegline lõuna suunas.

Enamasti jäetakse rikked kaeväljade vahele või karjäärides lihtsalt kaevandamata. Erandiks on kaarekujuline kirde suunaline Ahtme rike (Joonis 3B), kus siseehituse uurimiseks rajati 1975-1978. aastatel läbi Ahtme rikkevööndi kõige kitsama osa 500 meetri laiune tunnel mööda tootsa kihi lamamit. Selgus, et rike on tsonaalse ehitusega, mille võib väljast sissepoole jagada kolmeks eraldiseisvaks tsooniks. Välimine tsoon on kergelt kurrutatud ja lõheline, kusjuures kihtide kallakus jääb 1–4° vahele. Järgmine tsoon koosneb lõhelistest ja painutatud aluspõhja kivimitest, kus põlevkivi orgaaniline aine on oksüdeerunud, lubjakivi dolomiidistunud ning esineb nõrk sulfiidne mineraliseerumine püriidi, markasiidi, sfaleriidi ja galeniidiga. Umbes 80 meetri laiune sisemine tsoon moodustub purustatud kavernoosset dolokivist ja osaliselt sinakast karstisavist. Sisemises tsoonis on kihid kallutatud 12–18° (Kattai *et al.* 1980). Viivikonna rikke (Joonis 3A) geoloogiline ehitus on Ahtme rikkele sarnane – lameda antiklinaalse kurru kirdetiival on kihid surutud kitsasse sünkliinaali, mille tiival on moodustunud purustusvöönd (Puura & Vaher, 1997).

2005. aastal avati kaevetööde käigus Põhja-Kiviõli kaeväljal varasemalt puurimistöode ja elektrilise eritakistuse mõõtmisega kindlaks määratud Sonda tektooniline rike (Sokman *et al.* 2008) (Joonised 4 ja 6). Kaevetööd andsid võimaluse rikke järjest avanevaid osi detailselt dokumenteerida.



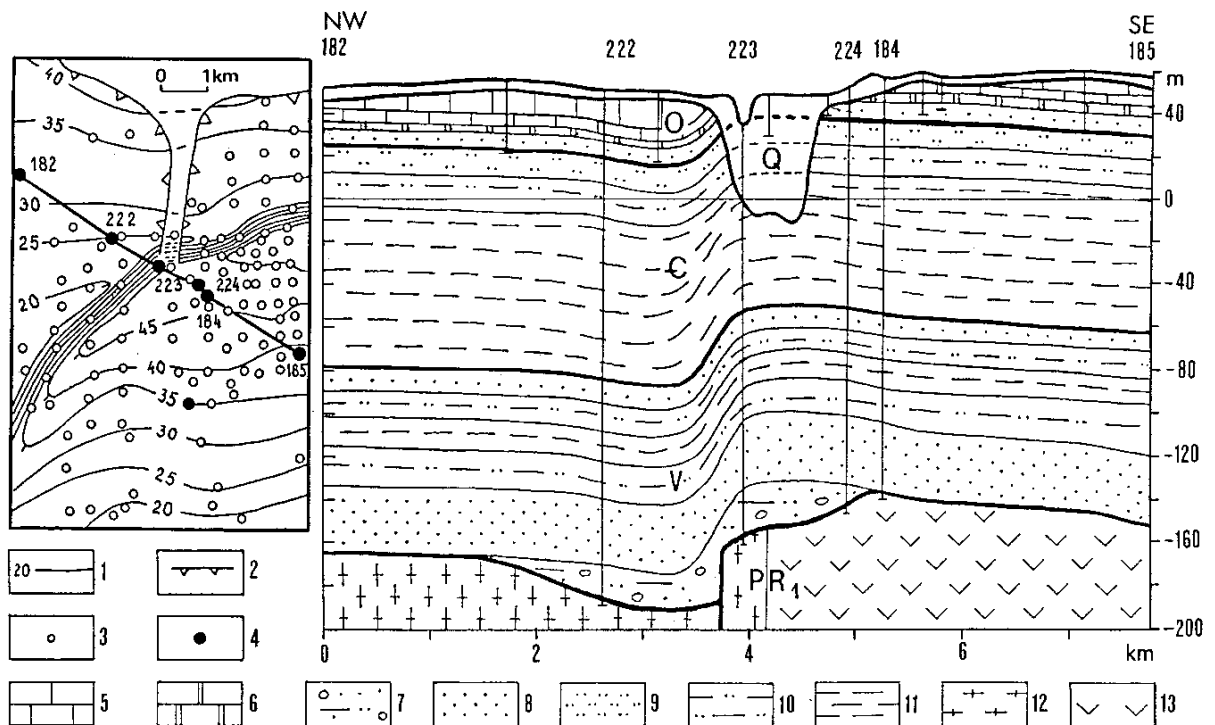
**Joonis 3.** Lineaarsete tektooniliste rikete ehitus: A – Viivikonna rike ja B – Ahtme rike (Kattai & Viigissaar, 1980). 1 – kvaternaarisetted; 2 – lubjakivi; 3 – savikas lubjakivi; 4 – dolokivi, 5 – savikas dolokivi; 6 – kukersiid; 7 – karstisavi; 8 – purustusvöönd, 9 – kihtide kallakus (Puura & Vaher, 1997, viidates Vaher, 1983).

Elektrilise näivtakistuse mõõtmise eesmärk oli uurida tektooniliste riketega kaasnevaid karstumisprotsesse põlevkivikihis ning ümbritsevas lubjakivis. Sonda rike kujutab endast umbes 200 meetri laiust kirdesuunalist kurrutusvööndit, mis koosneb paralleelsetest avatud antiklinaalsetest ja sünkliinaalsetest kurdudest, tiibade haardega 20-30 m. Kurdude lainepikkus on 35–50 meetrit ja amplituud 7–8 m (Sokman, 2008). Kihtide maksimaalse painde piirkonnas lõikavad kurde sageli murrangud, mis on pisut kaldu loode suunas või peaaegu vertikaalsed.

Ka Pandivere kõrgustiku edelanõlval on aluspõhja kivimite plokkide liikumise tagajärjel kujunenud mitmesugused tektoonilised struktuurid, mis kontrollivad kivimeis lõhede süsteeme ja sekundaarseid muutusi, esmajoones dolomiidistumisvööndeid. Tektooniliste nihete tagajärjel on kirjeldatud alal välja kujunenud kaks valdavalt lõhede süsteemi: kirde-edela- ja loode-kagusuunalised. Viimaste levik on laialdasem ja rikete väljenduslaad intensiivsem. Rikete intensiivsus ja ulatus on erinev, kohati hääbuvad rikked piki leviku suunda täielikult (Tallinn, 1981). Ulatuslikest joonelistest rikkevöönditest paigutab Puura (1986) Pandivere edelaosas Kahala rikkevööndi. Rikkevööndi asimuut on 20-30°, pikkus umbes 45 km, laius 2–4 km. Esinevate rikete vertikaalne amplituud on kuni 15 meetrit ning kagusuunaline tiib on üles kergitatud loodesuunalise suhtes. Kahala rikkevöönd läbib kogu Juuru ladet (Puura & Vaher, 1997).



**Joonis 4.** Põhja-Kiviõli põlevkivikarjääri serval paiknevas Sonda rikketsoonis on äärtes jälgitav kivimikihtide paine ning keskosas purustusvöönd. Foto: Leho Ainsaar



**Joonis 5.** Osa Põhja-Eesti kaardist ning Aseri rikkevööndi geoloogiline läbilõige, milles on näha vööndi paiknemine kristalliinse aluskorra murrangul (Puura & Vaher, 1997, viidates Vaher, 1983).

## 1.2 Rikete mõju erinevate maavarade kvaliteedile

Kvaliteetse lubjakivi leviku määramisel on tektooniliste rikete paiknemise ja iseloomu väljaselgitamine väga suure tähtsusega, sest tektooniliste rikete, lõhede ja karbonaatkivimite kvalitatiivsete omaduste vahel valitseb tihe seos. Kõrge CaO ja madala MgO sisaldusega tehnoloogiline lubjakivi esineb peamiselt Siluri aegsetes kivimites, Tamsalu kihistu ülemises osas. Viimase levik ja kvaliteet on aga tektooniliste riketega kaasnenud plokkide liikumisel või erosiooni tõttu osaliselt häiritud. Siinkohal on oluline tunda tektooniliste liikumiste iseloomu – ühel juhul võib riketega kaasneda ainult kivimite mehaaniline purustamine, kuid teisel juhul kaasneb tektooniliste rikete ja lõhede süsteemidega ka hüdrotermaalsete lahuste liikumine. Esimesel juhul võib tiheda lõhedevõrgu puhul olla kivim purustunud killustiku või isegi „tektoonilise jahu“ tasemeni (Tallinn, 1981). Teisalt kaasneb purustumisega tavaliselt aga ka metasomatoosi käigus kivimite dolomiidistumine ning murrangutes võivad esineda karstumisprotsessid ja sulfiidne mineralisatsioon (Vaher *et al.* 1962; Kattai *et al.* 1980).

Dolomiidistumine on protsess, mille käigus lubjakivi muutub osaliselt või täielikult dolomiidiks. Põhiliseks lubjakivi moodustavaks mineraaliks on kaltsiit ( $\text{CaCO}_3$ ), kuid dolokivil mineraal dolomiit ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ). Dolomiidistumise käigus ongi kaltsiumiioonid asendunud kivimisiseste keemiliste protsesside toimel magneesiumiioonidega. Magneesiumirikkad lahused tsirkuleerivad eelkõige tektooniliste rikete alal esinevates purustatud kivimites, muutes nende koostist. Rikete vahele jäävad monoliitsed lubjakivid lahuseid ei juhi, mistõttu jäävad need aga muutumata. Ordoviitsiumi ja Siluri karbonaatkivimite dolomiidistumine võib olla toimunud mageda põhjavee ja Devoni merebasseinist kivimitesse tunginud merevee segunemise võõndis (Kiipli, 1983).

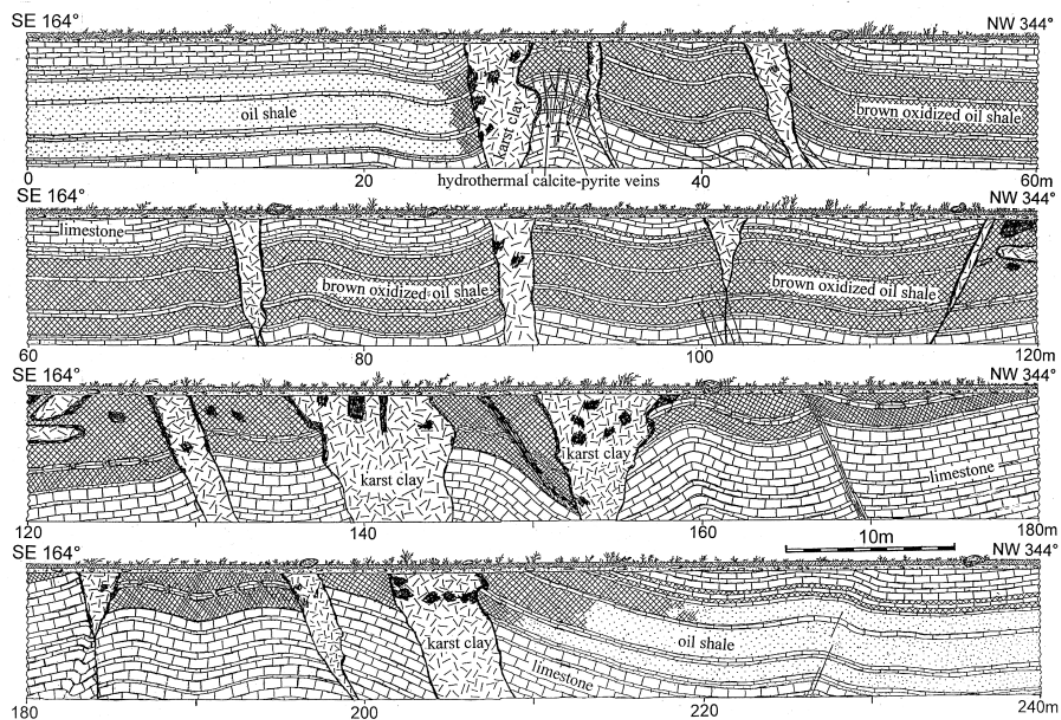
Eesti aluspõhja lubjakivid on rikkevõõndites sageli dolomiidistunud ja sisaldavad tihti kaltsiidi- ja püriidisooni, vahel esinevad markasiidi, galeniidi, sfaleriidi ja barüüdi mineraalid. Dolomiidistunud kivim on keskmise- kuni jämedakristalliline, poorne, sagedasti väikeste kavernidega.

Dolomiidistumise käigus toimuvad nii põlevkivis kui fosforiidis märgatavad muutused. Kukersiidikihindis esineb sekundaarset dolomiidistumist tektooniliste rikete, karstunud alade ja põlevkivi maardla idaosa Devoni-aegsete setendite levikualadel (Pitšugin *et al.* 1976). Rikkevõõndites on põlevkivi kerogeen oksüdeerunud, dehüdrogeenunud ja humifitseerunud ja seeläbi on kivim kaotanud suurema osa oma kütteväärtusest ja õlisisaldusest (Puura, 1986).

Ka fosforiidikihis kaasneb rikkevöönditega dolomiidistumine ning sellest tulenevalt MgO sisalduse märgatav tõus (MgO sisaldus >1%; Vaher, 1983; Puura *et al.* 1987).

Koos dolomiidistumisega esineb rikkevööndites ka karstmumisprotsesside jälgi (Joonis 6). Põlevkivi levikualal eristatakse pinna- ja süvakarsti, mis võivad olla omavahel ka seotud (Gazizov, 1971). Vertikaalsete riketega purustatud ja leostunud karbonaatsetes kivimites tekivad karstikanalid, langatused ja tühimikud. Viimased võivad olla täitunud savi ja liivaga. Pinnakarst levib vahetult Kvaternaarisetete all ja on jälgitav pindmiste karstivormidena: lehtritena, uuretena jms. Süvakarsti on detailselt uuritud põlevkivi tootsa kihi tasemel, kus see on avatud paljudes kaevanduskäikudes. Kõik karstisoonid on välja arenenud vaid piki kirdesuunalisi, eeskätt liivdaikidega lõhesid, millega seostatakse ka nende teket. Pindalaliselt on need kitsad, läätsja kujuga 50 – 70° kirde suunas väljavenitatud alad.

Karstunud riketes võib välja eraldada kolm erinevat tsooni (Gazizov, 1971). Sisemise osa moodustab kuni 15 meetri laiune leostunud vöönd, kus põlevkivi on asendunud sinaka karsti- ehk jääksaviga. Seda ümbritseb kuni 20 meetri laiune kivimite purustusvöönd. Kõige välimiseks osaks on lõhestustsoon, kus on 20-30 meetri ulatuses lõhestatud kivimid. Levin (1972) eristab karstisoonides kaht vööndit – keskosas levivat jääksavi ning seda ümbritsevat leostumise ja metasomaatilise dolomiidistumise vööndit.



**Joonis 6.** Sonda rikketsooni läbilõige Põhja-Kiviõli karjääris (Sokman *et al.* 2008).

Karstisooni laius on tihti alumises osas kitsam, mistõttu on jääksavivööndid geoloogilisel läbilõikel lehtrikujulised. Põlevkivi ja savi kontaktil esineb reeglina mõne sentimeetri paksune musta, oksüdeerunud põlevkivi ääris. Selle põhjustavad põlevkivi orgaanilise aine lagunemisel tekkivad taandavad tingimused, millest annab tunnistust rauaioonide kahevalentseks taandumine. Karstisoonid ulatuvad tavaliselt põlevkivikihtidest sügavamale jääva lubjakivini, mis on läbi kogu rikkevööndi dolomiidistunud. Jääksavis esinevad samad terrigeensed mineraalid, mis rikete poolt muutmata põlevkivis: hüdrovilk, päevakivi, kvarts, kloriid jt. (Kattai *et al.* 2000).

Väljaspool lineaarseid rikkevööndeid esineb karsti harva – Ahtme ja Estonia kaevandustes on nende osakaal väiksem kui 1% kaevandusalast. Tammiku, Viru ja Sompa kaevandustes esineb karsti 2-4% alast ning Kiviõli, Kohtla ja Käva maardlates karst praktiliselt puudub. Kesk-Devoni kivimites süvakarst puudub, kuid Narva karjääris just põikselts lasuvate Devoni kivimite all on Kukruse lademe lubjakivid kõikjal praktiliselt dolomiidistunud ja põlevkivikihid kohati oksüdeerunud või asendunud saviga. Seetõttu võib Eesti põlevkivimaardla karsti teket dateerida kui Kesk-Devoni eelset protsessi.

Kuksema karstiväli paikneb Pandivere kõrgustiku lääneosas, Järva-Jaani lähedal. Heinsalu (1967) on Kuksema karstialal loendanud üle 100 karstilehtri, mis esinevad enamasti väikeste ümmarguste lohkude näol ning mille läbimõõt on 1–5 m ja sügavus 0,5–1 m. Suuremate lehtrite läbimõõt on kuni 70 m ja nende sügavus ulatub kuni 3,3 meetrini. Enamik ovaalseid lehtreid on kirde-edelasuunalised, jälgides seega mattunud karstivälja üldist orientatsiooni, aluspõhja reljeefi ja karstivälja läbiva tektoonilise rikke suunda. Sügavamad karstilehtrid on koondunud karstivälja keskel asuvale suurema Kvaternaarisetete paksusega alale. Karstumine oli kõige intensiivsem arvatavasti umbes 50 miljoni aasta vältel Paleogeenis ja Neogeenis, kui ala kerkis tektooniliste tõusuliikumiste tulemusena ja meri oli Eesti suhtes üle 100 meetri madalam tänapäevasest tasemest (Heinsalu, 1997).

## **2. Karinu ja Metsla maardlate ümbruskonna geoloogiline ehitus**

Karinu ja Metsla maardlad paiknevad Pandivere kõrgustiku edelaserval, lähimad suuremad asulad on Järva-Jaani, Rakke ja Tamsalu. Piirkonna absoluutkõrgus on keskmiselt 100-110 meetrit. Topograafiliselt kujutab ala endast lainjat või künklikku moreenmaastikku, mille suhteline kõrgus kõigub tavaliselt 3-5 m, harvem 8-10 m piirides. Kvaternaarisetetest setetest

esinevad erinevad Ülem-Pleistotseeni glatsiaalsed, glatsiofluviaalsed, kohalike jääpaisjärvede setted ning Holotseeniaegsed soo- ja järvesetted.

Rajooni enamlevinud maavaraks on lubjakivi, kuid leidub ka tellissavi, liiva, turvast, järvelupja ja –kriiti. Alal leidub nii ehitus- kui ka tehnoloogilist lubjakivi, millest viimane on oluliselt hinnalisem. Tehnoloogilise lubjakivi kasulik kiht paikneb Tamsalu kihistus, Juuru lademes, Llandoverly ladestikus, Siluri ladestus (Tabel 1). Tamsalu kihistu on põhiline Eesti kõrge kvaliteedilise tehnoloogilise lubjakivi leidumise koht. Juuru lademe karbonaatsed kivimid paiknevad enamasti vahetult Kvaternaari setete all, kuid kohati katab neid lisaks ka Raikküla lademe argillitne dolomiidikas lubjakivi. Tamsalu kihistu on uuritavas rajoonis laialdase levikuga. Kihistu paksus võib kõikuda 8,0-18,0 meetri vahel (Nestor, 1997), kusjuures suurimad paksused esinevad Võhmata-Aavere ja Karinu ümbruses (Tallinn, 1978).

Tamsalu kihistus eraldatakse alt üles kaks kihistikku: Tammiku ja Karinu. Tammiku kihistik esineb kirjeldatavas rajoonis laialdaselt ja üldjoontes kordab selle avamus Tamsalu kihistu avamust. Tammiku kihistiku moodustavad üldiselt biomorfed jämedetriidsed pentameriidlubjakivid (*Borealis-kehvel*), mis koosnevad 50-70% ulatuses brahhiopoodide *Borealis borealis* karbipoolmikest või nende murdosadest ja tsementeerivast peene- või keskmiseteralisest kaltsiidist. Detriidis esineb veel stromatopooride, teiste brahhiopoodide liikide ja korallide fragmente. Kivim on tavaliselt massiivne, harvem keskmisekihiline. Rohkesti esineb roheka mergliga kaetud stüloliitpindu, mille kihistiku alumises osas lisanduvad roheka, kollakasroheka või hallika mergli lainjad vahekihid. Kihistiku paksus kõigub tavaliselt 5-9 m piirides, suurimad paksused ulatuvad Pandivere kõrgustikul 13,5 meetrini (Tallinn, 1968; 1974). Tektooniliste rikete ja karstumisprotsesside tõttu on lubjakivid valdavalt dolomiidistunud. Tammiku kihistikul lasuv Karinu kihistik levib võrdlemisi piiratud alal. See on tingitud antud alal Raikküla ea esimesel poolel valitsenud lühiajalisest tõusuliikumisest ja järgnenud kulutusprotsessidest, mille vältel kulutati suurem osa Tamsalu kihistu ülemise osa kivimeist. Kihistiku paksuseks on tavaliselt üks meeter. Karinu kihistikus esinevad valdavalt hallikaskollased, beežikad, kollakasrohelist või valkjashallid poolafaniitsed või peenekristallilised massiivsed lubjakivid, dolomiidikad lubjakivid, harvem dolomiitlubjakivid ja lubidolomiidid arvukate stromatopooride ja roheka mergliga kaetud stüloliitpindadega ning õhukeste lainjate vahekihtidega. Faunast esinevad peamiselt stromatopoorid (Tallinn, 1978).

**Tabel 1.** Uuringualal esinevate kihtide stratigraafia ja litoloogia (Nestor, 1997 alusel).

	Lade	Kihistu	Kihistik ja kihid	Litoloogia
Silur, Llandovery	Raikküla (S <sub>1rk</sub> )	Nurmekund (S <sub>1nr</sub> )	Järva-Jaani (S <sub>1rkJ</sub> )	Savikas lubjakivi
	Juuru (S <sub>1jr</sub> )	Tamsalu (S <sub>1tm</sub> )	Karinu (S <sub>1TmK</sub> )	Pentameriidlubjakivi, Mudalisteraline lubjakivi
			Tammiku (S <sub>1TmT</sub> )	Pentameriidlubjakivi, Borealis-kehvel
		Varbola (S <sub>1vr</sub> )		Savikas lubjakivi
Ordoviitsium	Porkuni (O <sub>3pk</sub> )	Ärina (O <sub>3ar</sub> )		Mudalisteraline lubjakivi

Raikküla lade on uuritavas rajoonis võrdlemisi laia levikuga. Karinu maardla piires on tegemist ainult Järva–Jaani kihtidega ning sedagi vaid maardla lääneosas. Nimetatud kihid (S<sub>1rkJ</sub>) on antud rajoonis võrdlemisi laia levikuga ja sisuliselt kattub nende avamusala Raikküla lademe avamusega. Kihistiku paksus kõigub 4–6 m piirides. Kivimiliselt esinevad valdavalt kollakas-, rohekas- või violetjashallid kirjuvärvilised peenekristallilised massiivsed dolomiidikad lubjakivid, lubjakad dolomiidid ja savikad dolomiidid. Kihistikule on iseloomulik erepunaste laikude ja viirgude ning ränikonkretsioonide esinemine. Sageli on kivim kavernoosne või esinevad hallika mergli vahekihid (Tallinn, 1978).

Tamsalu kihistus paikneva tehnoloogilise lubjakivi põhiliseks kvaliteedinõudeks on selle kõrge puhtusaste ehk selles sisalduvate lisandite vähene hulk. Tamsalu-Karinu-Rakke piirkonnas on varem uuritud tehnoloogiliseks toormeks sobiva CaO sisaldusega lubjakivide levikut. Leiti, et kõrge kvaliteediga kivim levib Tamsalu kihistu ülemises osas ning alumine osa on tihti kihilise dolomiidistumise tõttu maavarana sobimatu (Olesk, 2009) Tehnoloogilist lubjakivi kasutatakse keemilisest koostisest lähtuvalt mitmes tehnoloogilises protsessis nagu tsemendi tootmisel, lubja põletamisel, paberi- ja metallitööstuses, samuti põllumajanduses (loomasöötade toorainena, maaparandus), heitvete puhastamisel, joogivee töötlemisel ning muudel eesmärkidel. Lubjakivi põletamiseks peab kivimis olema kõrge CaO ning madal MgO ja lahustumatu jäägi sisaldus. Nn põletuslubjakivi seisukohast on tähtsamad Karinu, Metsla, Rakke, Aavere, Võhmuta ja Tamsalu maardlad.

### 3. Materjal ja meetodid

Käesolevas töös kasutatud materjal pärineb Eesti Geoloogiafondist riikliku geoloogilise kaardistamise (Kõrvel & Kõrvel, 1963; Kala & Eltermann, 1966), tehnoloogilise lubjakivi otsimis- ja luuretööde (Tallinn, 1968, 1974, 1978, 1989; Sidorova, 1957; Täht, 2004; Korbut, 2007) ning geofüüsikaliste uurimistöde aruannetest (Perens *et al.* 1976; Tallinn, 1989; Bastani *et al.* 2012) Karinu ja Metsla maadlate ümbruses. Lisaks kasutati töös Nordkalk AS poolt 2008. ja 2010. aastal puuritud ja analüüsitud puursüdamike kirjeldusi ja keemiliste analüüside tulemusi. Ülalnimetatud uuringute andmed, sealhulgas puuraukude üldinfo, litoloogia ja kivimite keemiline koostis on varasemalt koondatud Mapinfo andmebaasi (Olesk, 2009), mida käesoleva töö raames täiendati litoloogiliste detailkirjelduste ning mõningate Metsla maardla uute puursüdamiku andmete osas.

Käesoleva uurimuse raames koostati Karinu ja Metsla maardlate struktuurikaardid ning geoloogilised läbilõiked. Struktuurikaartide koostamisel kasutati GIS tarkvara MapInfo Professional ja Vertical Mapper.

Struktuurikaartide maardlate piirjooned pärinevad Maa-ametist. Kõik kaardid on antud töös L-Est 97 koordinaatsüsteemis.

Struktuuripindade kaartide koostamiseks kasutati kihi lamami puuraukude absoluutkõrguste andmeid, millest arvutati kauguskaalutud interpolatsioonimeetodiga (Inverse Distance Weighting) struktuuripindade võre (piksli suurus 50x50 meetrit) kihid. Kihi paksuse arvutamisel lahutati lamav struktuuri võrepind lasuvast. Kihi paksuse arvutamisel kasutati ja täiustati omaltpoolt ka maapinna digitaalset kõrgusmudelit (50x50), mis on koostatud Nõukogude Liidu topograafiliste kaartide kõrgusandmete põhjal mõõtkavas 1: 10 000 (Olesk, 2009)

Geoloogiliste läbilõigete joonestamiseks kasutati programmi CorelDraw. Koostati kaks üldist läbilõiget A-A' pikkusega 13 km ja B-B' pikkusega 11 km ning 6 detailsemat C-C'; D-D'; E-E'; F-F'; G-G' ja H-H', mille pikkused varieeruvad keskmiselt 2,5–3,5 km vahel. Igale geoloogilisele läbilõikele koostati kolme erineva keemilise ühendi sisalduse skeemid: CaO, MgO ja lahustumatu jäägi suhtes. Geoloogilistele läbilõigetele lisatud graafilised keemiliste ühendite skeemid koostati programmi Microsoft Excel abil.

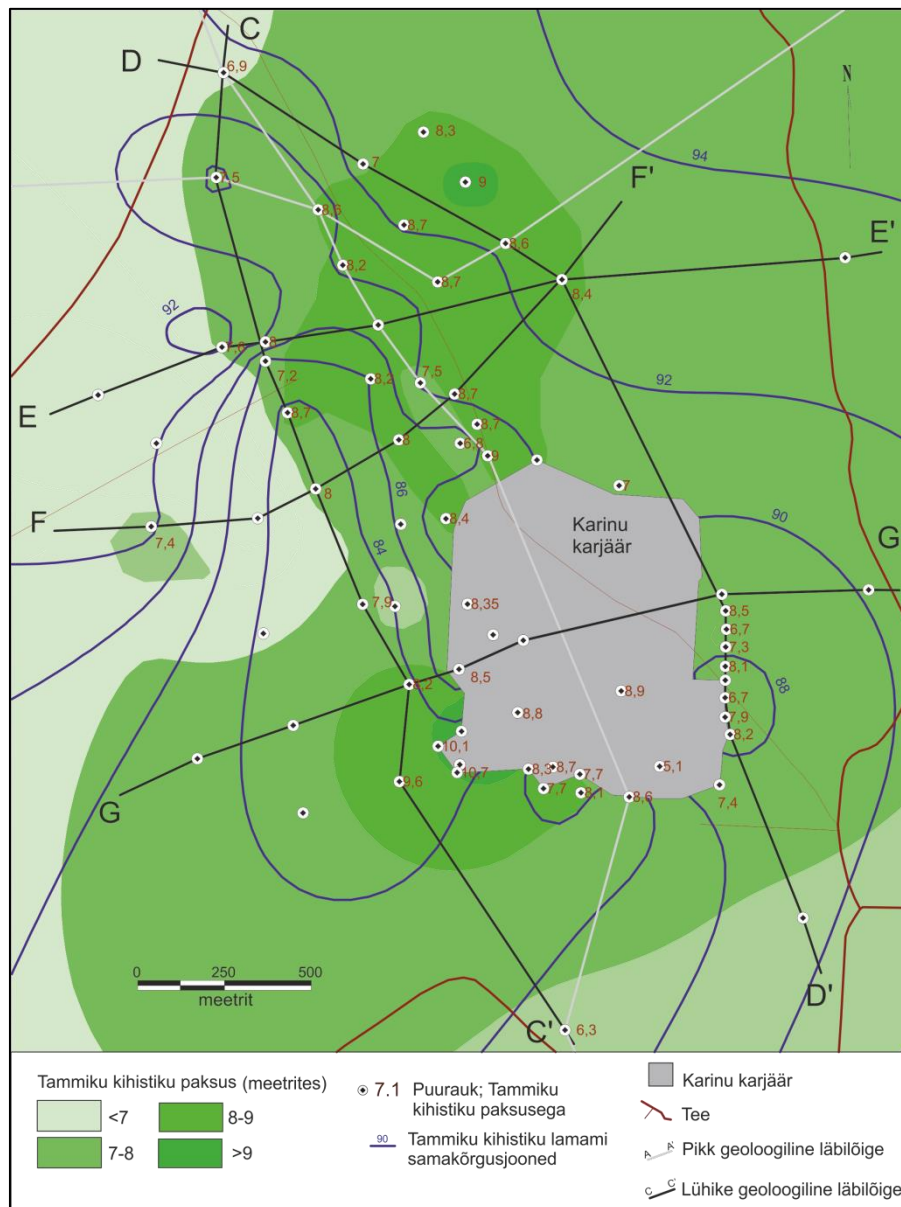
Rakke lubjatehast ning Karinu karjääri haldav Nordkalk AS eelistab tehnoloogilise lubjakivi materjalis järgnevaid parameetreid: CaO >50%; MgO <2.8%, lahustumatu jääk ( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) <2%.

Lisaks puursüdamike litoloogia ja kvaliteedi andmetele olid antud töös täiendavaks abiks ka alal varasemalt teostatud geofüüsikalised mõõtmised, mille käigus mõõdeti kivimi elektrieritakistust, mis on mõjutatud kivimi füüsikaliste omaduste poolt, nagu varieeruv litoloogiline ja keemiline koostis. Uuringuala ümbruskonnas on tehtud kolm geofüüsikalist uuringut. Esimene neist viidi läbi üldise geoloogilise kaardistamise käigus mõõtkavas 1:50 000 Pandivere kõrgustikul (Perens *et al.* 1976). Teine detailsem uuring hõlmas Karinu maardlast lääne poole jäävat ala, mille tulemusena koostati kaart mõõtkavas 1:10 000 (Tallinn, 1989). Kolmas, raadio-magnettelluurne uuring viidi läbi Karinu maardla läheduses, mille tulemusena täpsustati kivimkihtide lasuvust (Bastani *et al.* 2012).

## 4. Tulemused

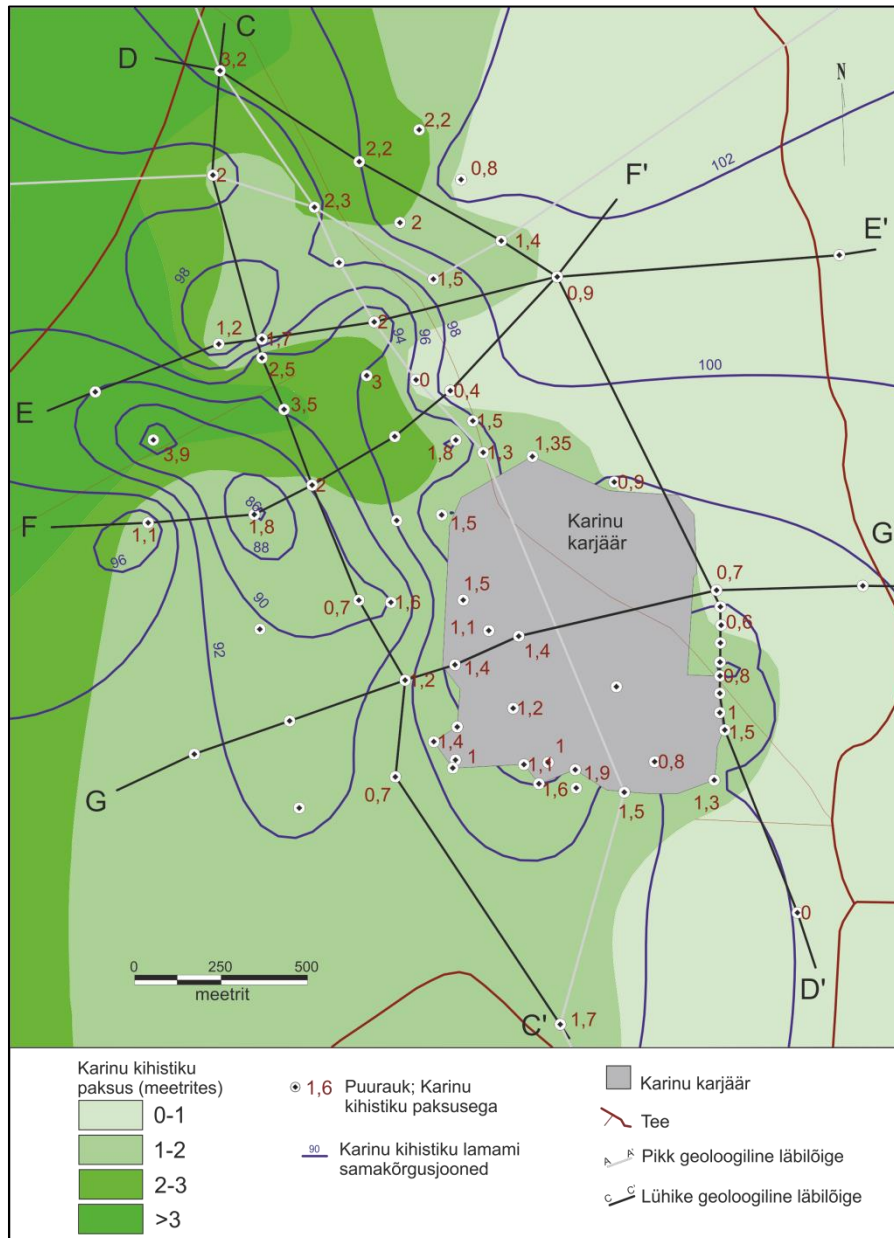
### 4.1 Lasuvustingimused Karinu ja Metsla maardlate ümbruses

Karinu ja Metsla maardlate ümbrusala kohta koostati 8 paksuse ja struktuurikaarti, mille alusel iseloomustati uuringuala erinevate geoloogiliste kihtide lasuvustingimusi. Tehnoloogiline lubjakivi esineb Tammiku (Joonis 7) ja Karinu (Joonis 8) kihistikes.



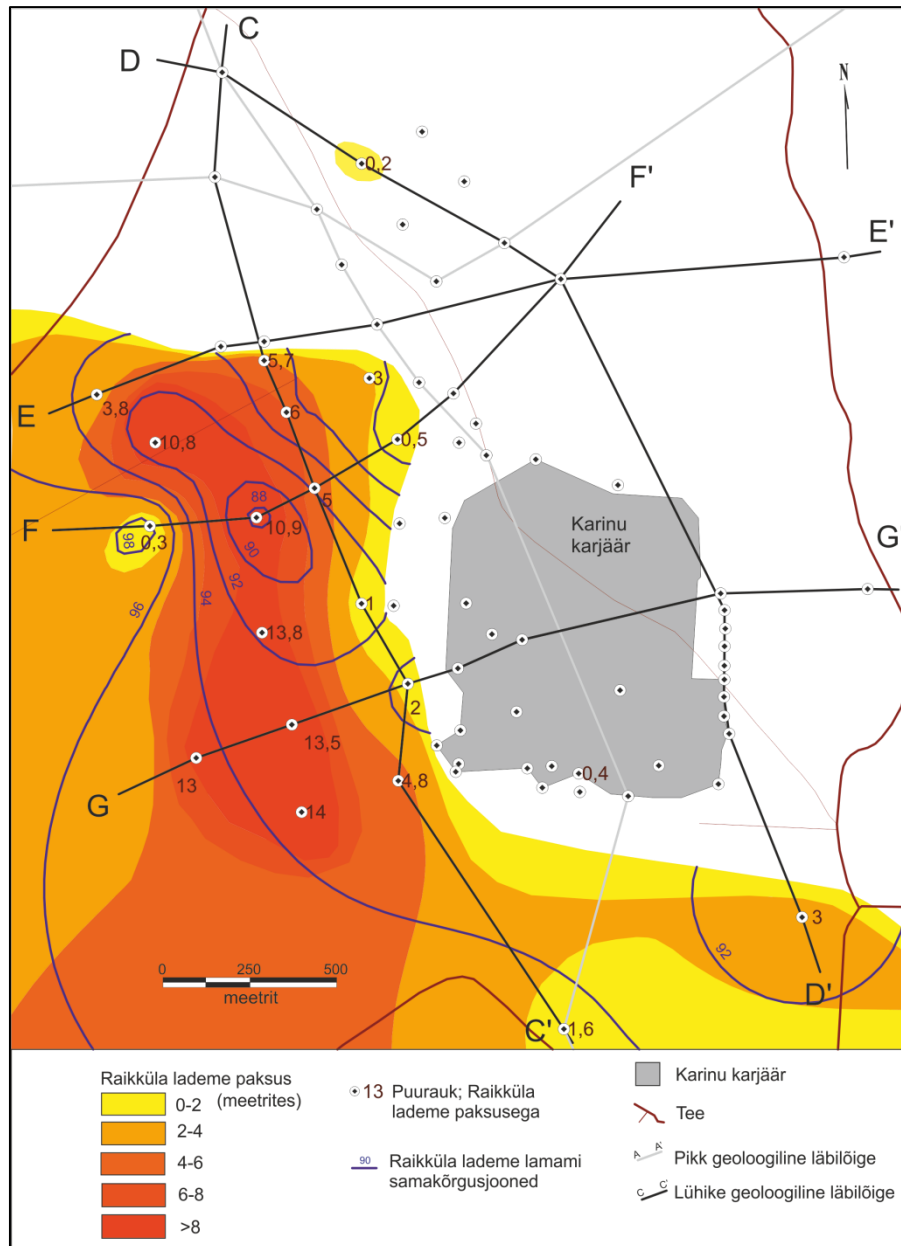
**Joonis 7.** Karinu karjääri ümbrusesse jääva Tammiku kihistiku paksuse ja struktuurikaart. Tammiku kihistiku paksus jääb 6–11 m piiresse, olles suurim ala keskosas. Tammiku lamam paikneb rajooni kirdeosas 94 m sügavusel ning laskub kirdest üle kümne meetri sügavamale edela suunda. Karjäärist lääne suunas moodustub lamami samakõrgusjoontest lokaalne pikliku kujuga depressioon.

Enamus puuraukudest läbivad tervet Tamsalu kihistut, kuid leidub ka puurauke, milles on puurimine lõpetatud juba Tammiku kihistiku sees ning seetõttu pole seal võimalik määrata kihistiku täpset paksust. Karinu kihistik on tugevalt mõjutatud erosioonist, mistõttu selle paksused on väikesed või kohati puudub kihistik täielikult.

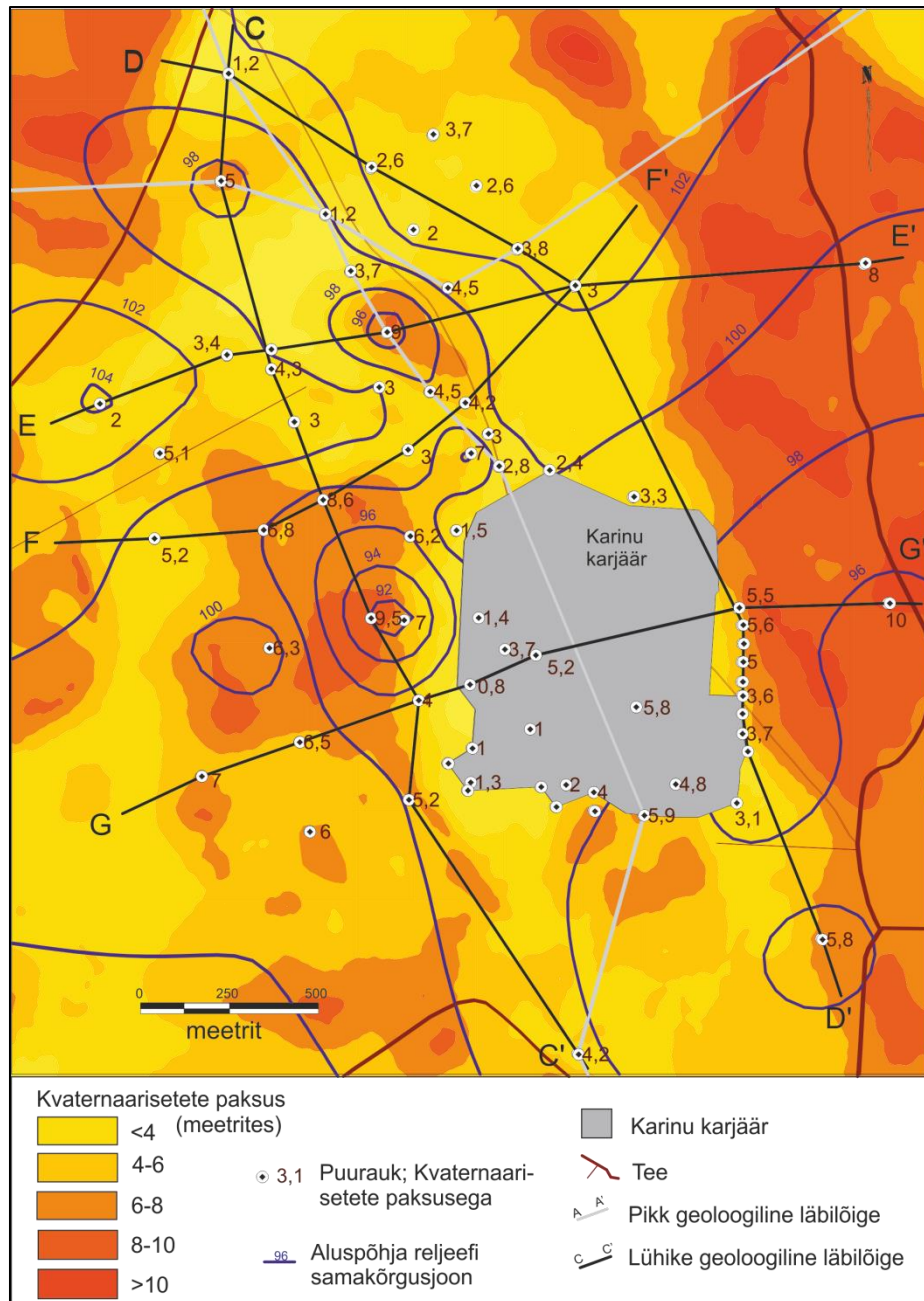


**Joonis 8.** Karinu karjääri ümbrusesse jääva Karinu kihistiku paksuse ja struktuurikaart. Kihistiku paksus jääb keskmiselt vahemikku 1–2 meetrit, kusjuures väheneb läänest ida suunas. Idaosas esineb ka alasid, kus kihistik puudub täielikult. Sarnaselt Tammiku kihistikule, langeb ka Karinu kihistiku lamam kirdest edela suunas 102-lt meetrilt 86 meetrini. Karinu karjäärist lääne suunas moodustub ka Karinu kihistiku lamami samakõrgusjoonest lokaalne depressioon.

Tehnoloogilise lubjakivi kihti Tammiku ja Karinu kihistikes katavad Raikküla lademe kivimid (Joonis 9) ning Kvaternaarisetted (Joonis 10).



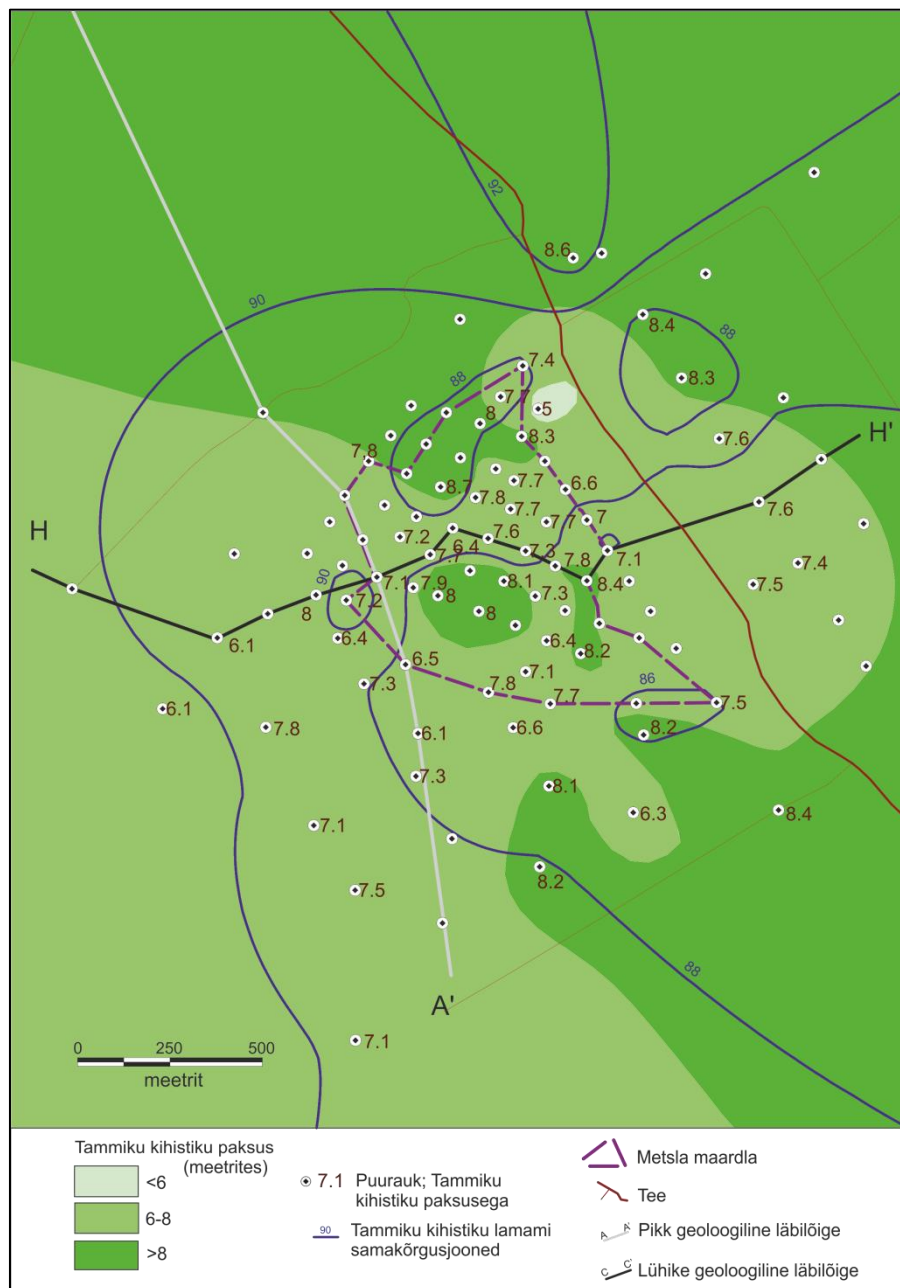
**Joonis 9.** Karinu karjääri ümbrusesse jääva Raikküla lademe paksuse ja struktuurikaart. Karinu karjäär ja sellest idasse, põhja ja loodesse jääv ala on Raikküla lademe kivimist vaba. Lademe paksused ulatuvad alal üle 13 meetri. Läbilõikel F–F' paiknevas kõige läänepoolsemas puursüdamikus on Raikküla lademe paksus ümbritseva alaga võrreldes erandlikult väike. Läbilõigete E–E' ja G–G' läänepoolses osas on puurimine lõpetatud lademe sees, mistõttu Raikküla lade võib läänepoolsel alal hoopis pakseneda, mitte väheneda, nagu näidatud kaardil. Karinu karjäärist lääne suunas ilmneb sarnaselt lasuvate kivimkihtidega Raikküla lamamis depressioon.



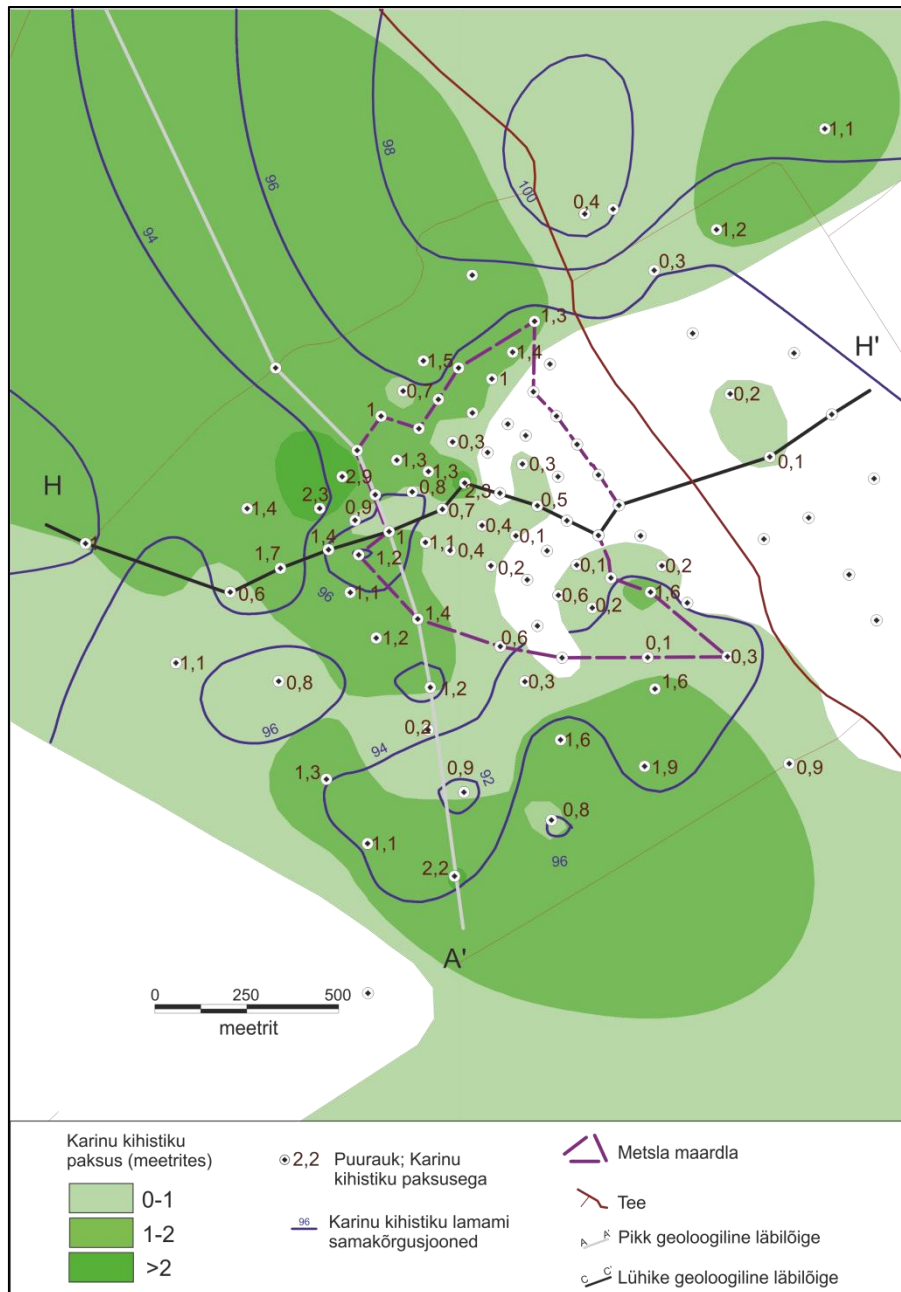
**Joonis 10.** Karinu karjääri ümbrusesse jäävate Kvaternaarisetete paksuse ja alumise kihipinna struktuurikaart. Kvaternaarisetted katavad ala edelaosas Raikküla ladet ning ülejäänud alal Karinu kihistikku. Suurimad setete pakused jäävad uuritava ala idaossa, kus eraldub reljeefis põhja-lõuna suunaline piklik setete vall. Ka aluspõhja pealispinnas võib täheldada varem mainitud piklikku depressiooni Karinu karjäärist lääne ja loode suunas – 300 meetri jooksul langeb aluspõhi kuni 10 meetrit.

Kvaternaarisetete paksus alal on piisavalt suur, et varjata suures osas muutuseid aluspõhja lasuvuses LIDARi reljeefivarjutuskaardil (Kõrgusandmed: Maa-amet, 2008–2011). Kaardil esineb väiksemaid ringjaid vorme ning kõrgendatud alana võib kohati täheldada Raikküla lademe avamuse joont.

Metsla maardla paikneb Karinu karjäärist vähem kui kolme kilomeetri kaugusel kagu suunas. Kõrgekvaliteediline tehnoloogiline lubjakivi esineb ka seal Tammiku (Joonis 11) ja Karinu (Joonis 12) kihistikes.

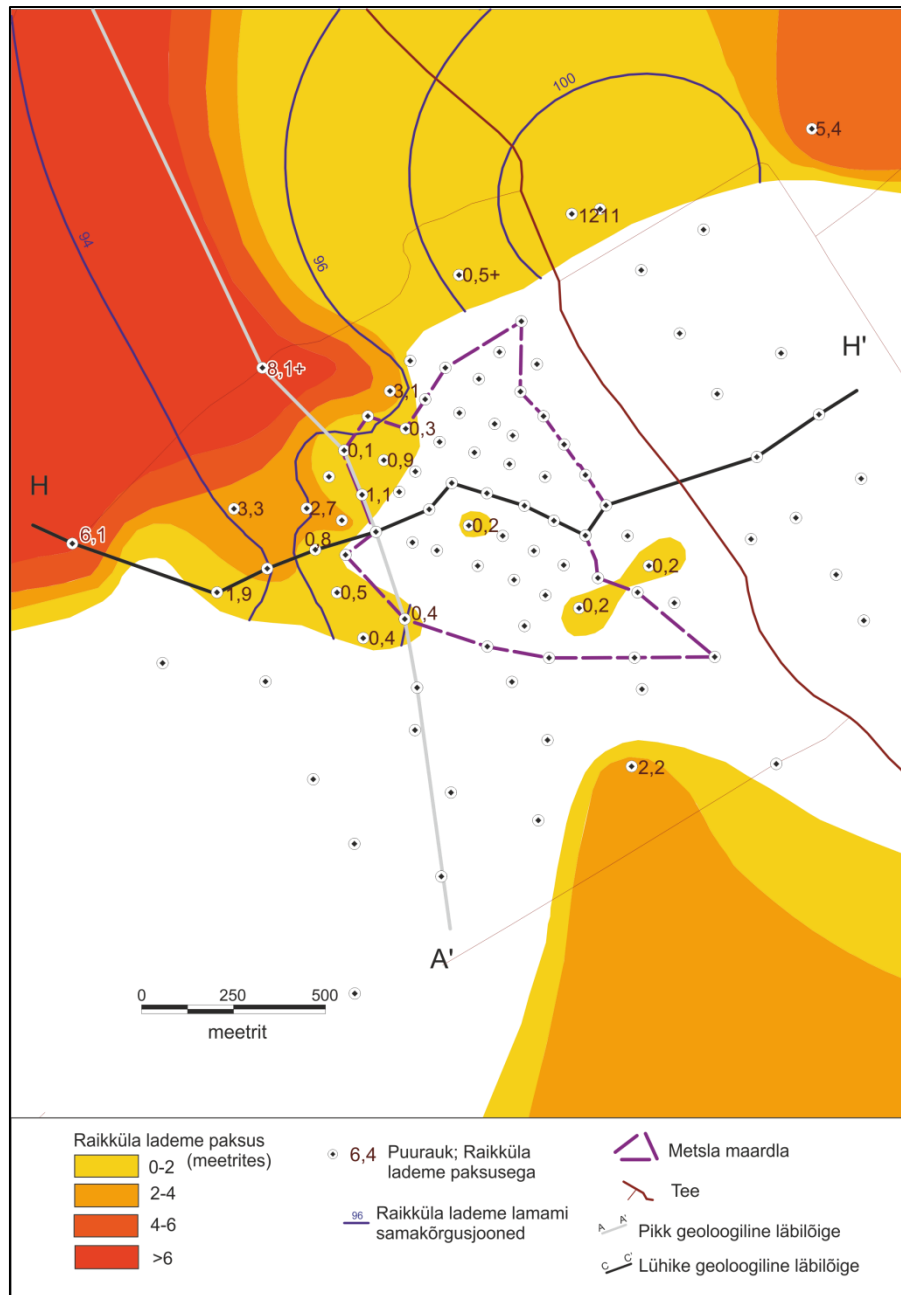


**Joonis 11.** Metsla maardla ümbrusesse jääva Tammiku kihistiku paksuse ja alumise kihipinna kaart. Tammiku kihistiku paksus on Metsla maardla ümbrusalas Karinu karjääri ümbrusalaga võrreldes ühtlasem ja veidi väiksem, jäädes 6–9 meetri vahemikku. Tammiku kihistiku lamam on võrreldes põhjapoolsete aladega väiksemate absoluutkõrguste vaheliste erinevustega. Selget kihipinna langemise trendi on raske välja eraldada, kuid võib täheldada maksimaalselt 6 meetrilist langust loodest kagusse või põhjast lõunasse.

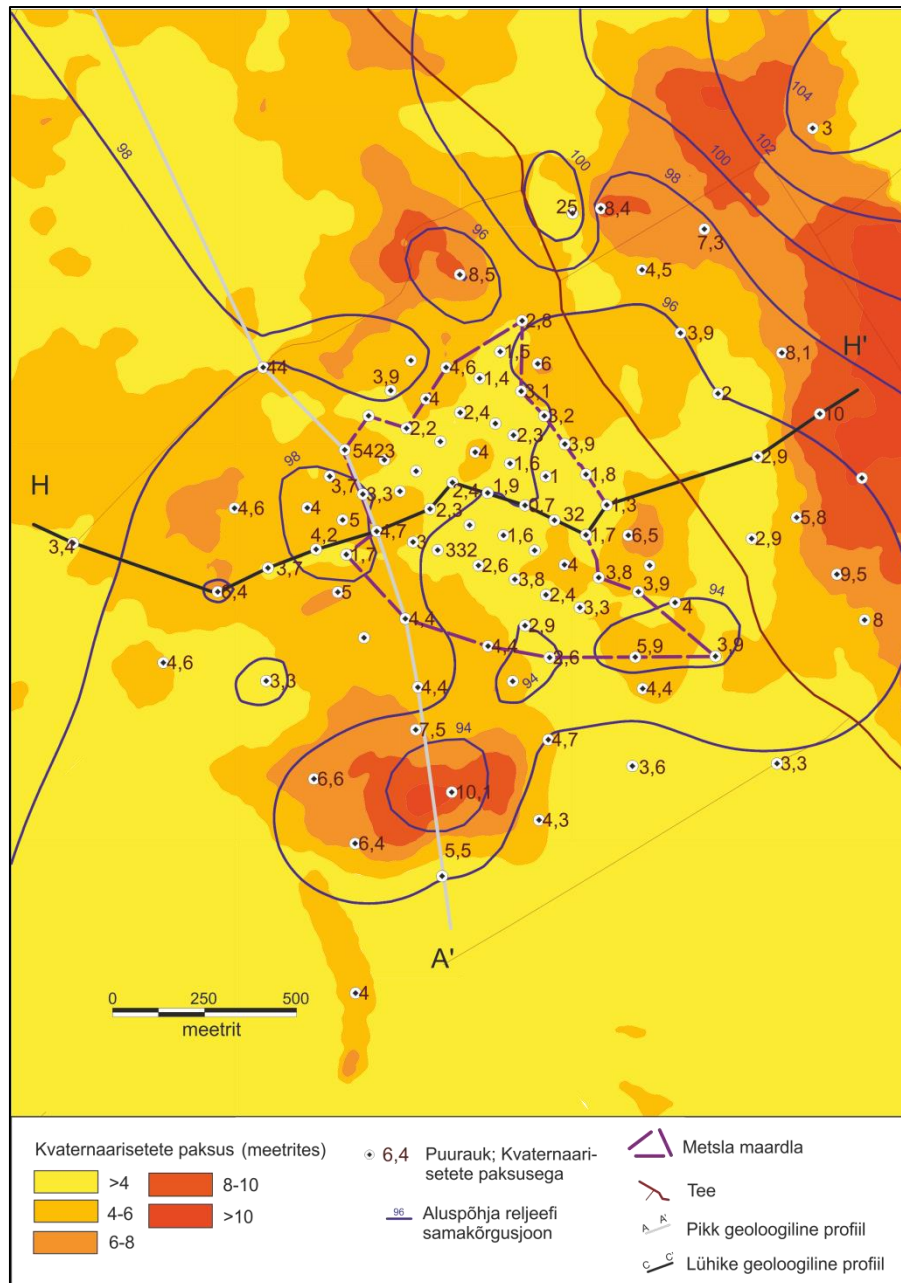


**Joonis 12.** Metsla maardla ümbrusesse jääva Karinu kihistiku paksuse ja alumise kihipinna kaart. Kihistiku paksus jääb sarnaselt Karinu karjääri ümbrusalaga keskmiselt 1–2 meetri vahemikku, aga jäädes avamuse piiril vaid mõnekümne sentimeetri paksuseks. Metsla maardlast lääne suunas puudub kihistik täielikult või esineb laiguti ning ka maardlast kagu suunas on alust eeldada kihistiku puudumist. Karinu kihistiku alumine kihipind langeb rajooni põhjaosas kirdest edelasle 100-lt meetrilt 92 meetrini. Rajooni kesk- ja lõunaosas esineb kihistik laiguti või puudub piisavas koguses puuraugu andmestikku, et mõista täielikult lamami asetsemise seaduspärasust.

Tehnoloogilise lubjakivi kihti Tammiku ja Karinu kihistikes katavad ka Metsla maardla ümbruses Raikküla lademe kivimid (Joonis 13) ning Kvaternaarisetted (Joonis 14).



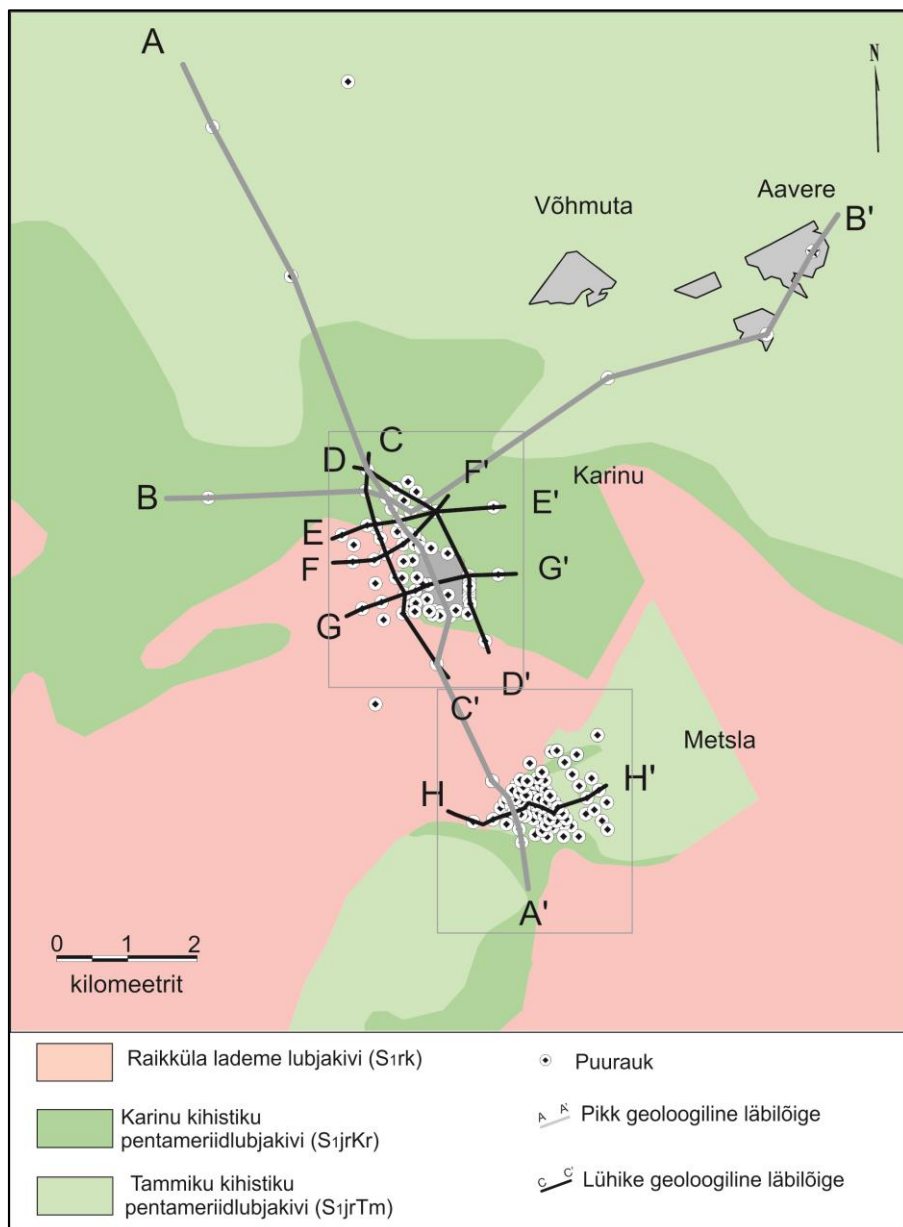
**Joonis 13.** Metsla maardla ümbrusesse jääva Raikküla lademe paksuse ja alumise kihipinna kaart. Raikküla lade esineb Metsla maardlast põhja, lääne ja lõuna suunas ning laiguti ka rajooni keskel. Lademe paksus küündib rajooni loodenurgas üle 8 meetri. Lademe alumine pind langeb idast läände 100-lt meetrilt 94 meetrini.



**Joonis 14.** Metsla maardla ümbrusesse jääva Kvaternaarisetete paksuse ja alumise kihipinna struktuurikaart. Kvaternaarisetted katavad rajooni põhja- ja lõunaosas Raikküla ladet ning keskmisel alal Tammiku ja Karinu kihistikke. Suurimad setete paksused jäävad sarnaselt Karinu karjääri ümbrusalale piirkonna idaossa, kus eraldub reljeefis välja sama piklik setete vall. Pakused ulatuvad seal üle 10 meetri. Ka maardlast lõuna ja edela suunda jääb väiksema ulatusega kõrgendatud ala, mille suhteline kõrgus küündib samuti üle 10 meetri. Aluspõhja pealispind langeb kirdest edela suunas 104-lt meetrilt 94 meetrini.

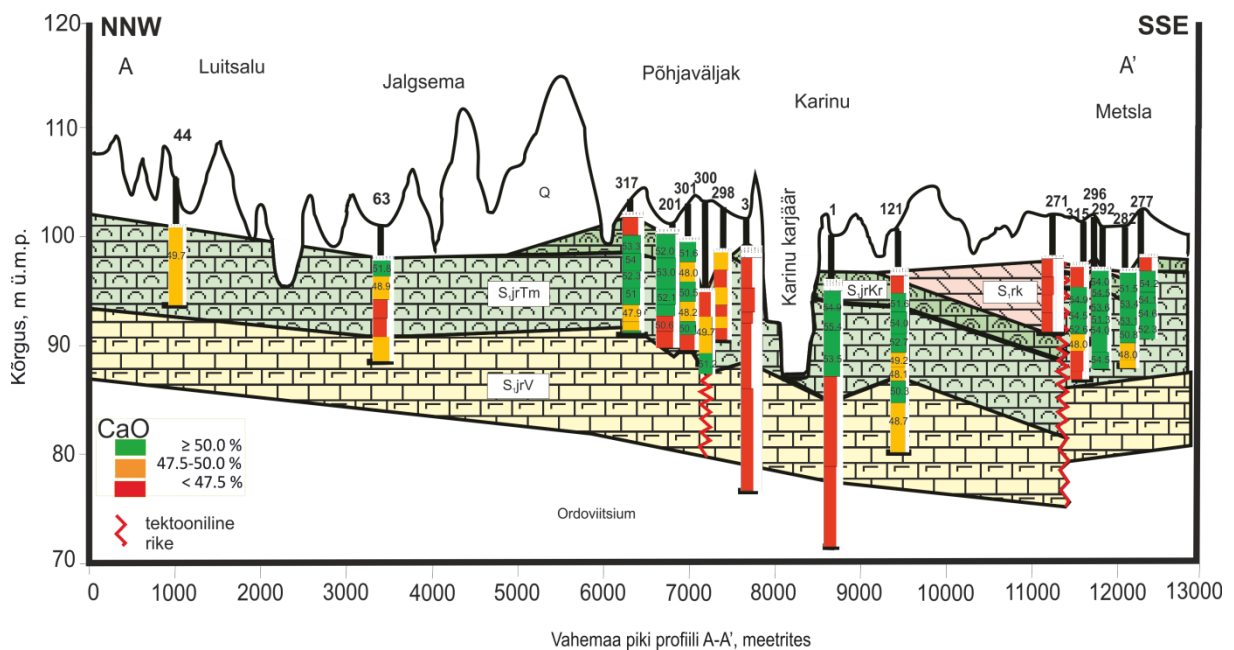
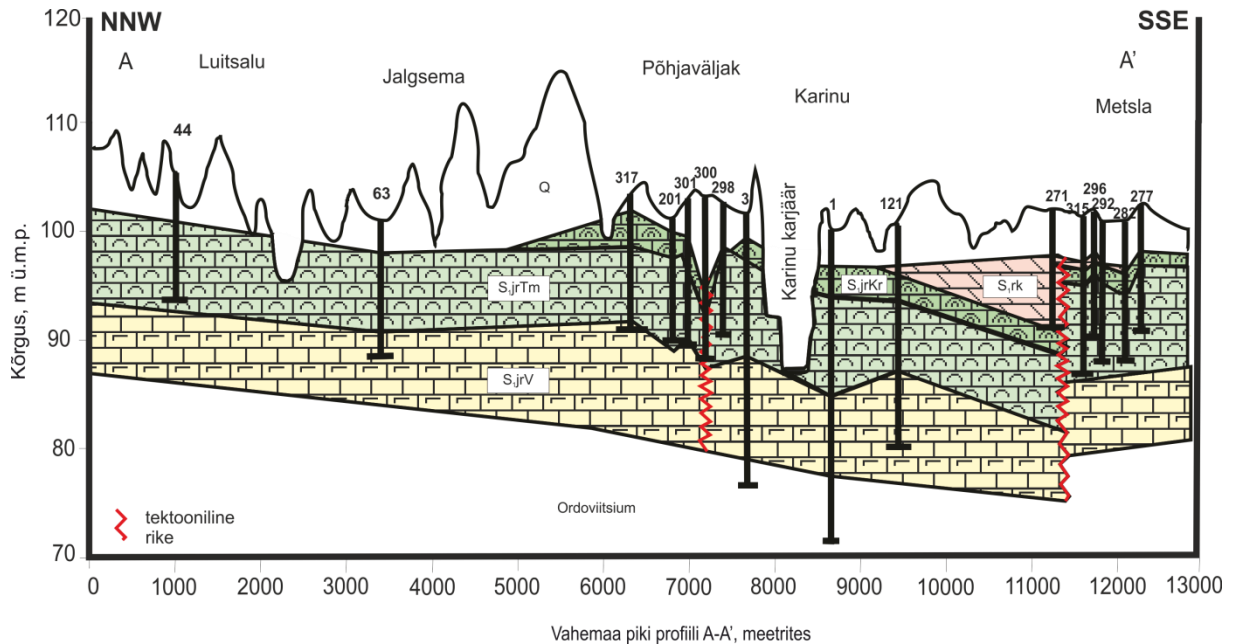
## 4.2 Lasuvusrikked ja nende mõju lubjakivi kvaliteedile

Karinu ja Metsla maardlate ümbruse kohta koostati 8 geoloogilist läbilõiget (Joonis 15). Pikad põhja-lõuna (A-A') ning ida-lääne (B-B') suunalised geoloogilised läbilõiked läbivad Karinu, Metsla ja Aavere maardlaid. Lühikesed läbilõiked C-C' ja D-D' on loode-kagu suunalised, läbides põhjast Karinu põhjaväljakut ja ning lõunast Karinu maardla ümbrusalasid. Ülejäänud kolm läbilõiget (E-E', F-F' ja G-G') on lääne-ida (edela-kirde) suunalised ja ristuvad läbilõigetega C-C' ja D-D'. H-H' läbib Metsla maardla ümbrust.



**Joonis 15.** Karinu ja Metsla maardlate ümbrusala kaart ning geoloogiliste läbilõigete asetus. Uuringualal paljanduvad Raikküla lademe ning Karinu ja Tammiku kihistike lubjakivid ning seda läbivad kaks pikka ning kuus lühikest geoloogilist läbilõiget. Raamidega on tähistatud detailsemate kaartide asetus (Joonis 23; 26).

Läbilõikel A-A' (Joonis 16) langevad aluspõhja kivimid põhjast lõunasse umbes 1–2 meetrit kilomeetri kohta. Põhjaosas, Luitsalu ja Jalgsema piirkonnas, on ära erodeeritud nii Karinu kihistik kui ka Raikküla lade. Keskosas puudub vaid Raikküla lade ning lõunaosas, Metsla läheduses, esinevad kõik üksused. Tammiku kihistik on kogu ulatuses püsiv, jäädes keskmiselt 7 m paksuseks. Aladel, kus esineb Karinu kihistik, jääb selle paksus alla 2 meetri.



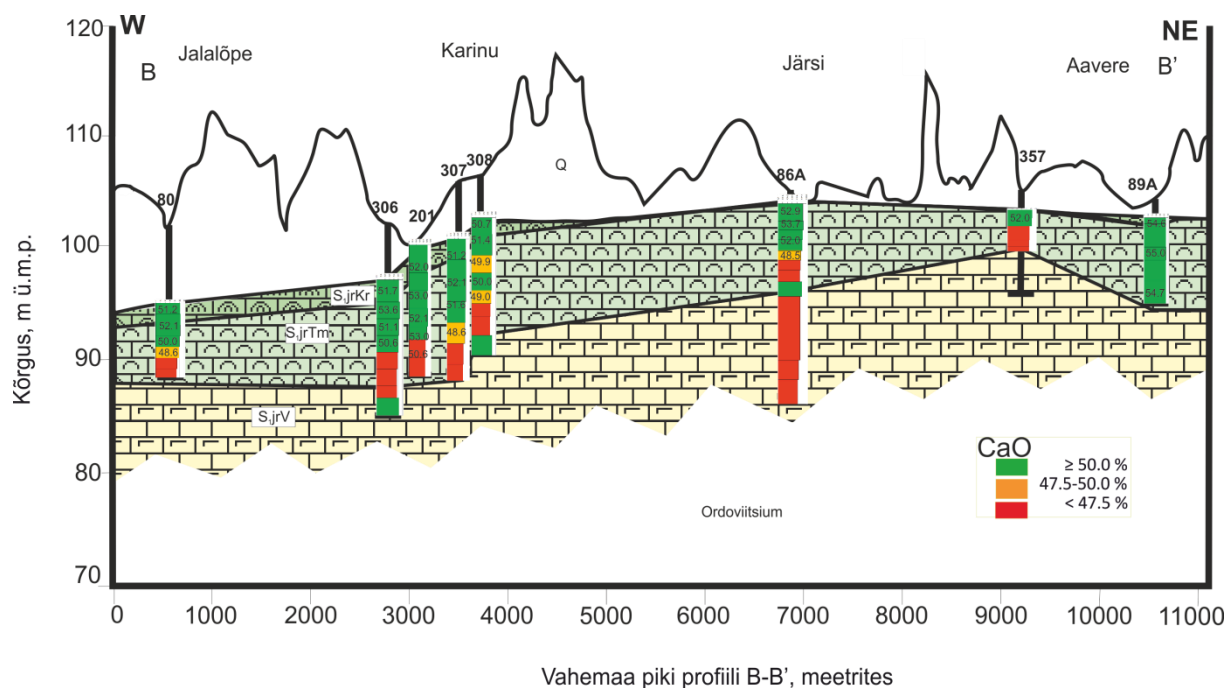
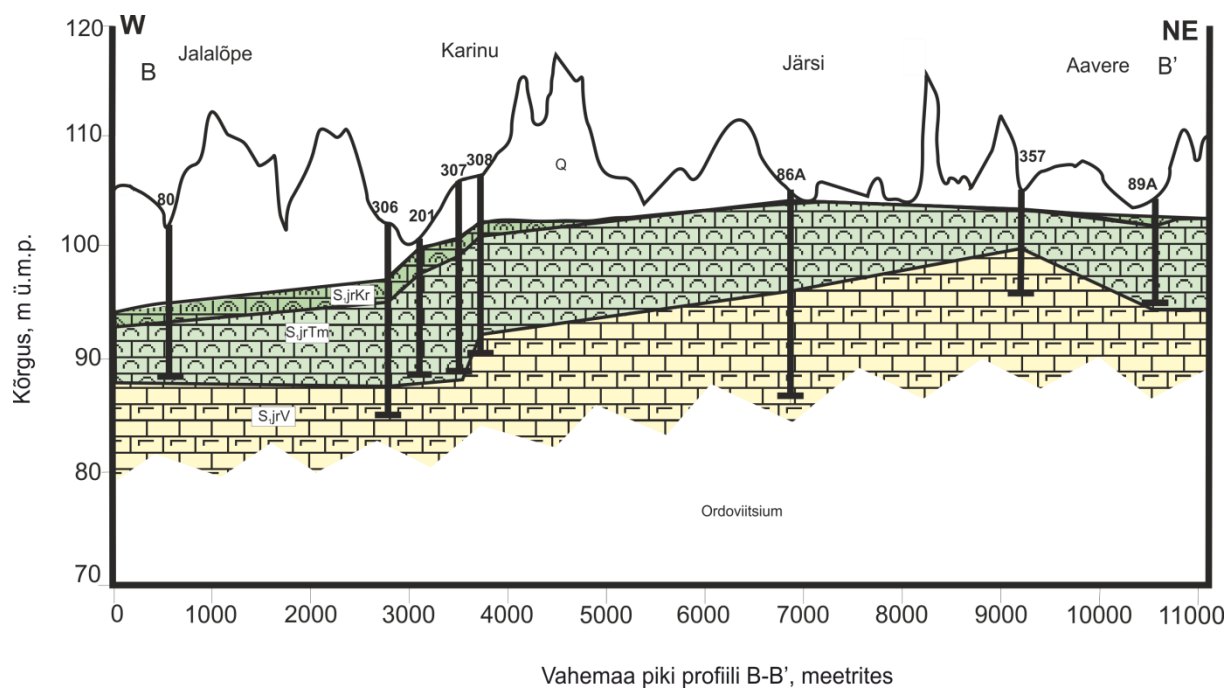
**Joonis 16.** Põhja-lõuna suunaline pikk geoloogiline läbilõige A–A' ja selle CaO sisaldus.

Läbilõikel A–A' võib välja eraldada kaks riket. Väiksem neist esineb Karinu karjääri ja Põhjaväljaku vahel puuraukude 300 ja 298 kohal, kus vertikaalne nihkeamplituud on 5 meetrit

ja tõstetud on rikke kagutiib. Suurem tektooniline rike jääb Metsla karjäärast vahetult põhja. Puurauk 271 ei läbi Raikküla ladet, mistõttu pole nihkeamplituudi võimalik määrata, kuid see ulatub üle 7 meetri ning ka sellel rikkal on tõstetud kagutiib. Läbilõikel on murrang kujutatud kõige väiksema võimaliku ulatusega, tõenäoliselt on see tegelikkuses veelgi sügavam.

Läbilõike A–A' põhjaosas on tehnoloogilise lubjakivi täpset kvaliteeti vähese puurimistöõde hulga tõttu raske hinnata. Karinu ja Metsla karjääri ümbruses leidub üldiselt hea kvaliteediga lubjakivi, kus CaO sisaldused kivimis on kuni 55% (Joonis 16), MgO sisaldus jääb alla 2,0% ning lahustumatut jääki on alla 1% (Lisa 1). Hea kvaliteediga lubjakivi leidub üldjoones pigem Tamsalu kihistu kesk- ja ülaosas. Erandina läbi kogu puuraugu ulatuse on lubjakivi kvaliteet halb eelpool mainitud Karinu karjääri lähistel paikneval rikkast mõjutatud alal, kus CaO sisaldused Karinu ja Tammiku kihistikel langevad keskmiselt vahemikku 44–49% ning MgO 5%. Ilmselt on rikkast mõjutatud ka puurauk 3, kus CaO sisaldus langeb 30%-ni samas kui MgO sisaldus tõuseb 12%-ni. Lahustumatu jäägi sisaldused kivimis on rikkast vähem mõjutatud, jäädes 1,5% juurde, ainult puuraugu 3 juures on sisaldused tõusnud 15%-ni. Metsla maardla lähistel paikneva rikke kohal puudub informatsioon lubjakivi kvaliteedi kohta, kuna puurauku pole läbi Raikküla lademe puuritud.

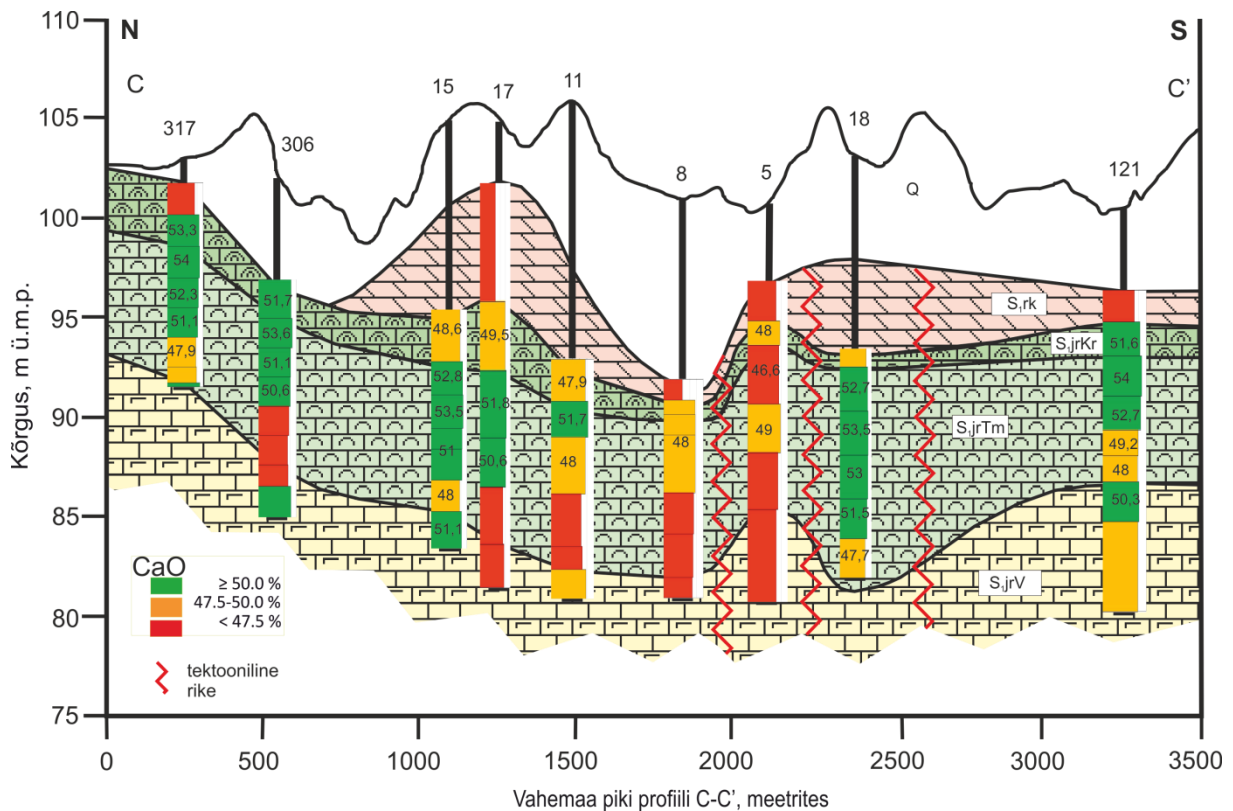
Läbilõikel B-B' (Joonis 17) on aluspõhja pealispind idaosas madalam, kui kesk- ja lääneosas. Kihhi paksused on antud rajoonis tihti muutlikud ning on näha, kuidas need Juuru lademe lääneosas õhenevad. Läbilõike kesk- ja lääneosas on terve Karinu kihistik ning osa Tammiku kihistiku ülemisest osast erodeeritud. Osaliselt levib Karinu kihistik Aavere maardla läheduses vaid laiguti. Raikküla lademe avamusala B-B'-le ei ulatu. Antud läbilõikel ei tule välja ühtegi suuremat tektoonilist iseärasust, lokaalselt on näha vaid väikeseid fleksuure lubjakivis (nt. puuraugu 308 kohal esineb vertikaalne nihe amplituudiga 4 meetrit 200 meetri kohta võrreldes kõrvalasuva puurauguga 307). Tehnoloogilise lubjakivi kvaliteet on läbilõikel B-B' hea, jäädes kaevandamisnormide piiresse, ainult puuraugu 308 MgO sisaldus on veidi kõrgem (3–4 %) (Lisa 2).



**Joonis 17.** Lääne-ida suunaline geoloogiline läbilõige B-B', mis läbib Karinu ja Aavere maardlaid ning selle CaO sisaldus.

Läbilõikel C-C' (Joonis 18) võib aimata aluspõhja kivimite kerget põhja-lõunasuunalist kallakust. Karinu ja Tammiku kihistikud on kogu ulatuses püsivad, kahe kihistiku paksus kokku jääb tavaliselt vahemikku 10-15 meetrit. Raikküla lade on põhjaosas ära erodeeritud, kuid kesk- ja lõunaosas esineb. Raikküla lade on profiili põhjaosas täielikult ära erodeeritud, kuid esineb siiski kesk- ja lõunaosas. Raikküla lademe paksused on kesk- ja lõunaosas

suhteliselt väikesed (2-6 meetrit), sest profiil läbib lademe avamusala piiriala, mistõttu selle ülemine osa on ära erodeeritud.



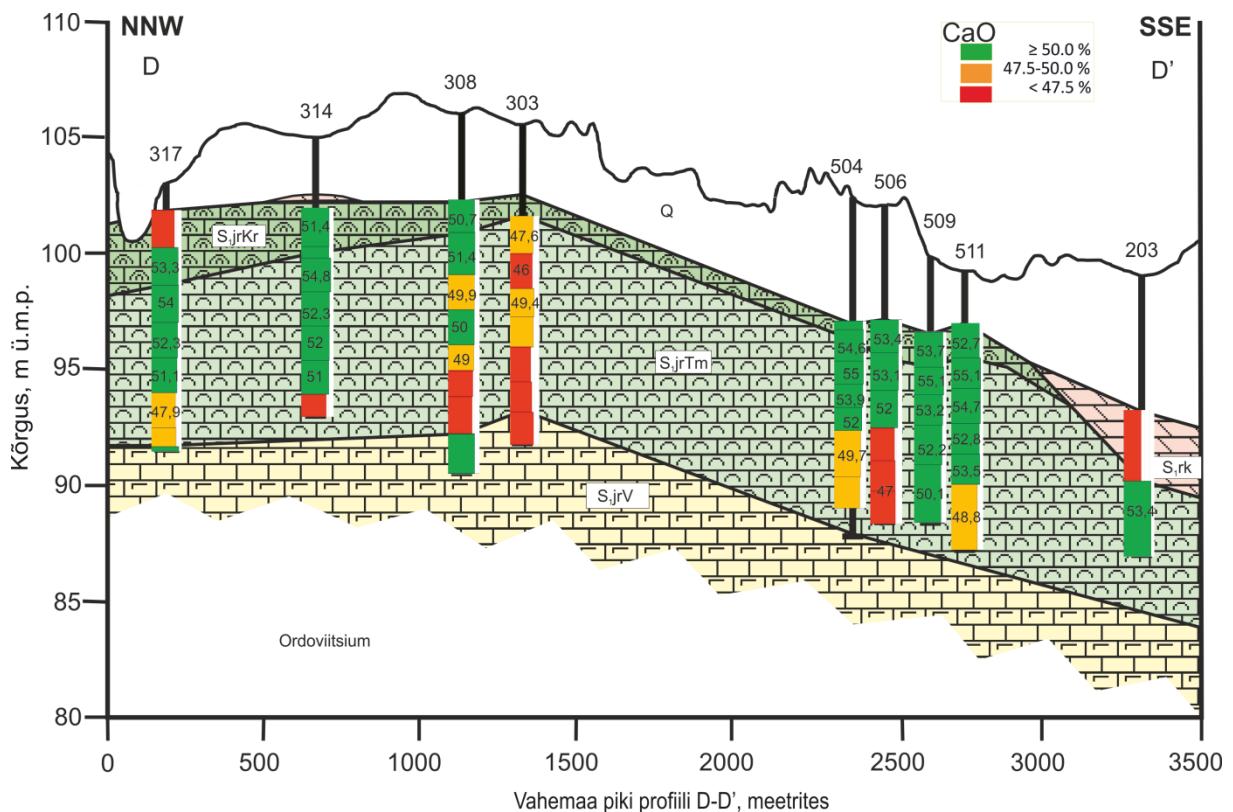
**Joonis 18.** Loode–kagu suunaline läbilõige C–C’ CaO sisaldusega.

Tektooniliselt võib täheldada, et läbilõike keskosas (puuraukude nr. 11, 8 ja 5 ümbruses) on kivimkihid omavahel nihkes. Selline kihtide sügavusvahe pole küll väga suur, kuid annab alust kahtlustada antud alal tektoonilise rikke olemasolu. Nihke vertikaalne amplituud on 10 meetrit ning rikke kagutiib on tõstetud loodetiiva suhtes. Ka litoloogiliselt on nii puuraukude 5 ja 18 kui ka puurauku 8 lähedal paikneva puurauku L16 kirjeldustes välja toodud, et kivimid on seal tugevalt purustatud (Tallinn, 1989; Sidorova, 1957).

Tektoonilise rikke läheduses (puuraukudes 8 ja 5) on tehnoloogilise lubjakivi kvaliteet Juuru lademes ümbritseva alaga võrreldes kehvem – CaO sisaldus jääb keskmiselt 30–48% ja MgO 5–12% juurde. Lahustumatu jäägi sisaldust pole rike olulisel määral mõjutanud ning selle väärtused jäävad keskmiselt alla 2%, mis on ka piirnormiks (Lisa 3). Rikkest puutumata jäänud alad põhjas ja lõunas on CaO ja MgO sisalduse poolest tehnoloogilise lubjakivi tootmiseks kõlbulikud. CaO sisaldused jäävad seal vahemikku 51–54% ning MgO puhul keskmiselt 1,9–2,9%.

Läbilõikel D-D' (Joonis 19) on kivimkihtide lõunasuunaline kallakus selgemini nähtavam, kui C-C' puhul, sest aluspõhja kivimid on painutamata. Karinu ja Tammiku kihistute paksus on kokku endiselt 10-15 meetrit. Lõunaosas katab Raikküla lade Juuru lademe kivimeid, põhjaosas on see erodeeritud. Märkimisväärsed tektoonilised rikked puuduvad, esineb väike fleksuur puuraugu 308 ja 303 juures.

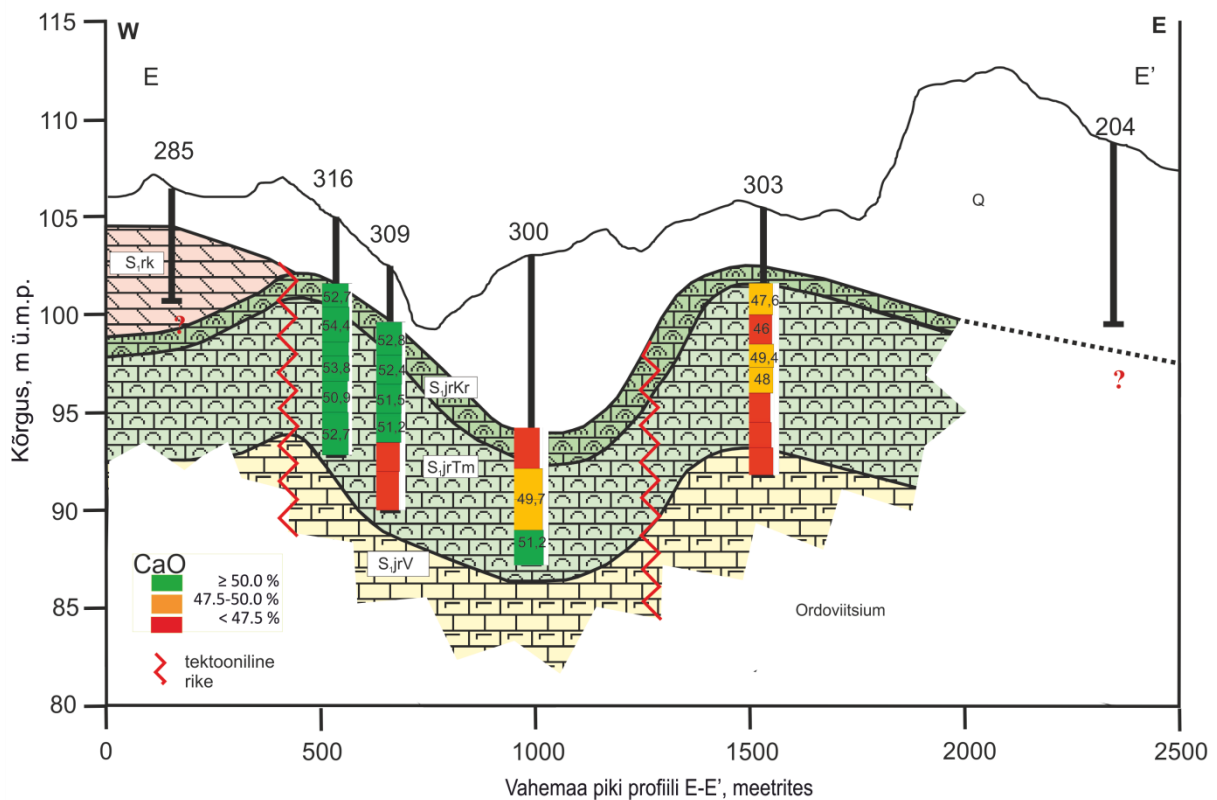
Tehnoloogilise lubjakivi kvaliteet on läbilõiget läbivates puuraukudes üldiselt kaevandamiskõlbulik. CaO sisaldused ulatuvad kuni 55%-ni (Joonis 22), head kvaliteedinäitajad on ka MgO-I (alla 2,5%) ja lahustumatul jäägil (alla 1%). Eranditena võib välja tuua puuraugud 308 ja 303, mille CaO sisaldused jäävad keskmiselt 46–49% ja MgO-I keskmiselt 4–7% vahele. Lahustumatu jäägi sisaldus on painde juures hea, alla 1,5% (Lisa 4).



**Joonis 19.** Loode-kagu suunaline läbilõige D–D' CaO sisaldusega.

Läbilõikel E–E' (Joonis 20) esineb Raikküla lade vaid kõige läänepoolsemas osas, ülejäänud alalt on see ära erodeeritud. Juuru lademe paksus on kogu ulatuses suhteliselt ühtlane, keskmiselt veidi üle 10 meetri. Idaosas katab aluspõhja kivimeid paksem Kvaternaarisetete vall, mistõttu puurimisega ei ole jõutud aluspõhja kivimiteni.

Läbilõikel esineb kaks tektoonilist riket. Esiteks, läänepoolses osas võib täheldada riket aluspõhja kivimites puuraukude 285 ja 316 vahel. Selle nihkeamplituudi on raske määratleda, sest puuraugus 285 on puurimine lõpetatud juba Raikküla lademes ning puudub informatsioon selle paksuse ja seetõttu ka Juuru lademe lasuvussügavuse kohta. Rikke idatiib on tõstetud läänetiiva suhtes. Karinu kihistik võib olla veel sügavamal, kui on interpreteeritud läbilõikel E–E', millest tulenevalt oleks tektoonilise rikke olemasolu veelgi selgem. Teiseks, on läbilõikel E–E' näha ka puuraugu 300 kohal üle 5 meetri sügavust kivimkihtide nihet. Rikke idatiib on tõstetud läänetiiva suhtes. Sama olukord esineb ka ristuväljal läbilõikel A–A', kus tekib puuraugu 300 läheduses samuti ümbritseva alaga võrreldes ka põhja-lõuna suunas 5 meetri sügavune nihe.

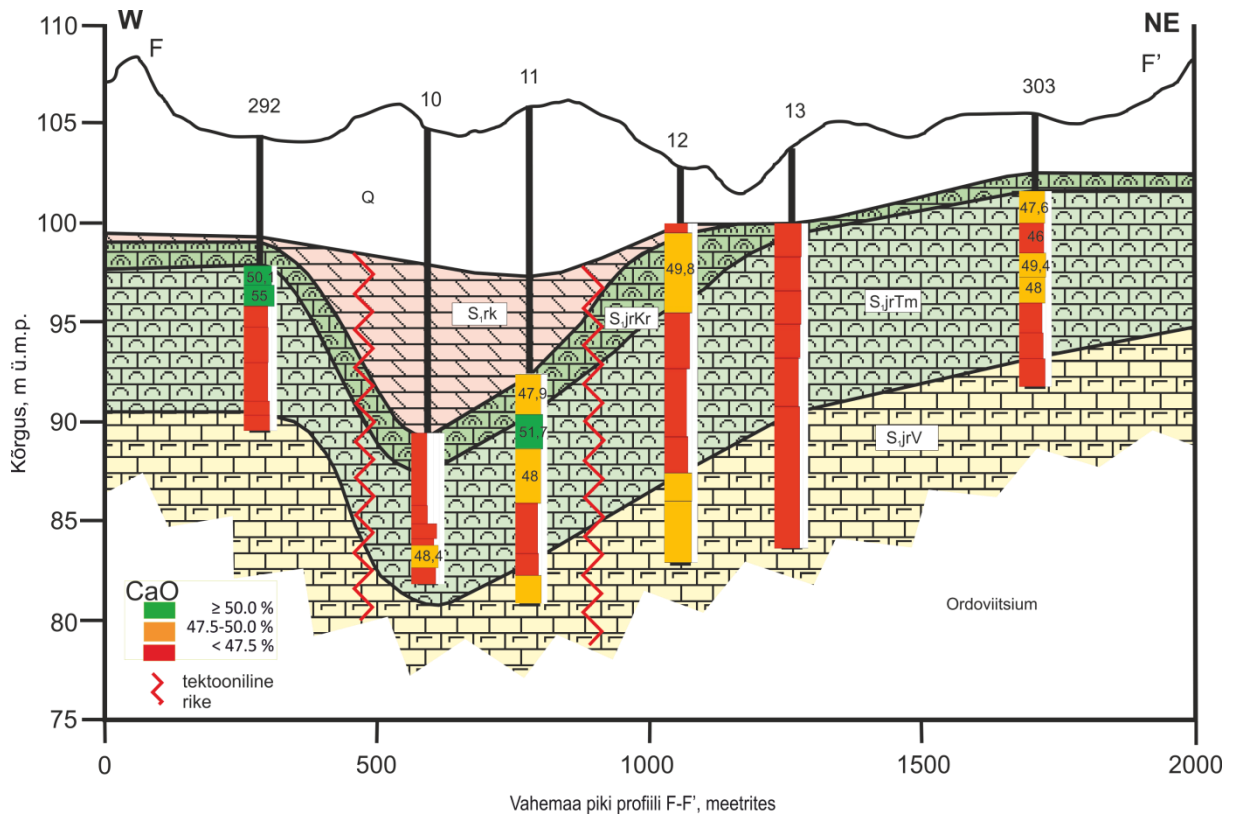


**Joonis 20.** Lääne-ida suunaline läbilõige E–E' CaO sisaldusega.

Lubjakivi keemiline koostis on kehvem puuraukude 300 ja 303 juures ning neid analüüsiti juba varasemalt vastavalt A–A' ja D–D' juures. Kuigi puuraug 316 asub ilmselt üsna rikke lähedal, on selle kvaliteet siiski hea (Lisa 5).

Läbilõikel F–F' (Joonis 21) jätkub olukord, kus läänepoolset ala katab Raikküla lade ning ida pool paljandub Karinu kihistu. Puuraukude 10 ja 11 juures on Raikküla lademe paksus oluliselt suurem, kui ümbritseval alal.

Tektooniliselt on läbilõikel kivimkihid puuraukude 10, 11 ja 12 vahel tugevas paindes. Lisaks saab puuraukude 292 ja 10 vahel välja eraldada rikke, mille vertikaalne amplituud on üle 11 meetri. Rikke puhul on erinevalt eelnevatest rikestest tõstetud läänetiib idatiiva suhtes. Tehnoloogilise lubjakivi kvaliteet on läbi kogu läbilõike kehv. CaO sisaldused jäävad keskmiselt 40–45% vahele ja MgO 6–8 %. Lahustumatu jäägi sisaldus on hea, jäädes 4–6 meetri ulatuses keskmiselt alla 2% (Lisa 6).



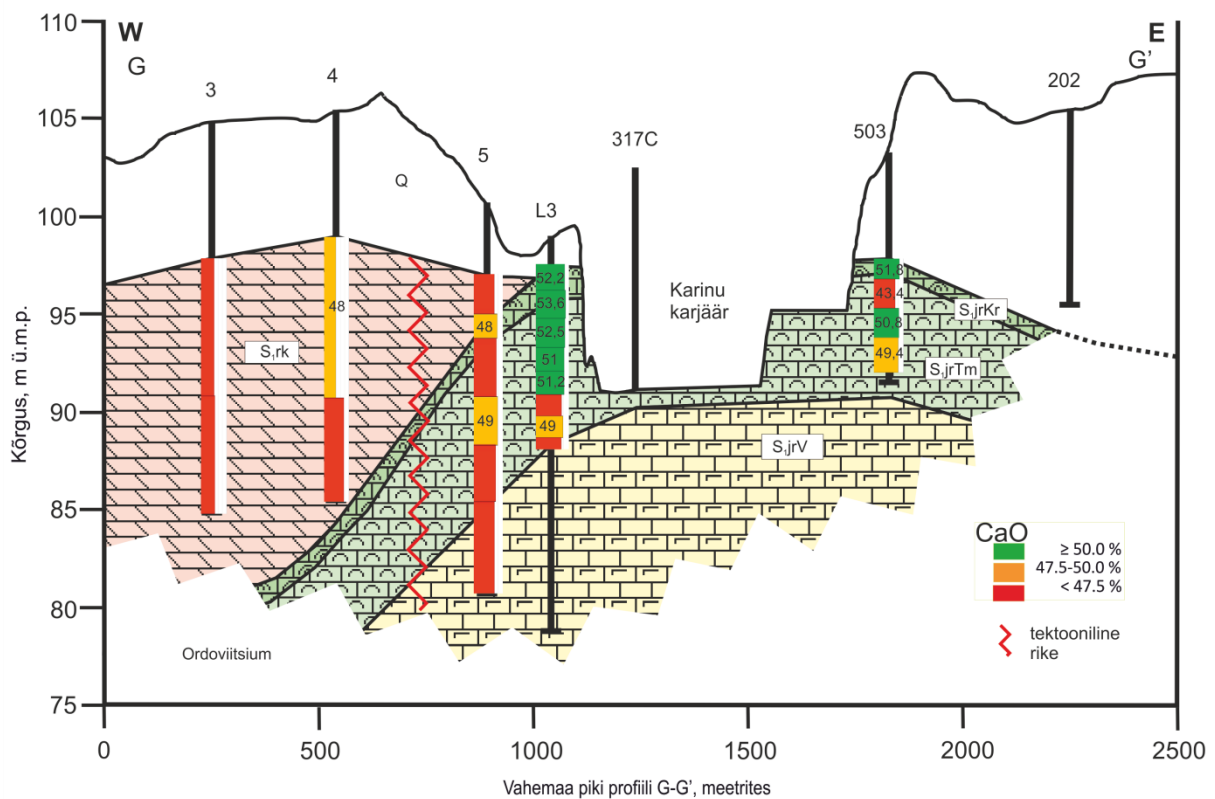
**Joonis 21.** Edela-kagu suunaline läbilõige F–F' CaO sisaldusega.

Läbilõige G–G' läbib Karinu karjääri (Joonis 22). Endiselt esineb Raikküla lade vaid läbilõike läänesosas, kusjuures jätkub trend sarnaselt F–F'-ile, kus Raikküla lademe paksus suureneb väga väikese vahemaa jooksul. Puuraukude 4 ja 5 vahel esineb ilmselt tektooniline rike, mille nihke amplituud on üle 13 meetri ja tõstetud on kirdepoolne rikketiib.

Lubjakivi kvaliteet on rikke juures (puurauk 5) kehv: CaO 45%; MgO 5%. Lahustumatu jäägi väärtused on taaskord head ja jäävad alla 2% (Lisa 7).

Ühendades eelpool geoloogilistel läbilõigetel üles märgitud rikked, moodustub Karinu karjäärilist lääne suunas, Raikküla lademe avamusel, kaks rikkevööndit, mis on põhja-lõuna ning loode-kagu suunalised (Joonis 23). Mõlemad rikkevööndid on vähemalt 1,5 km

pikkused. Need võivad edasi pikeneda lõuna suunas, mööda Raikküla lademe avamusala, kuid selle kinnitamiseks või ümberlukkamiseks puudub puuraukude andmestik.



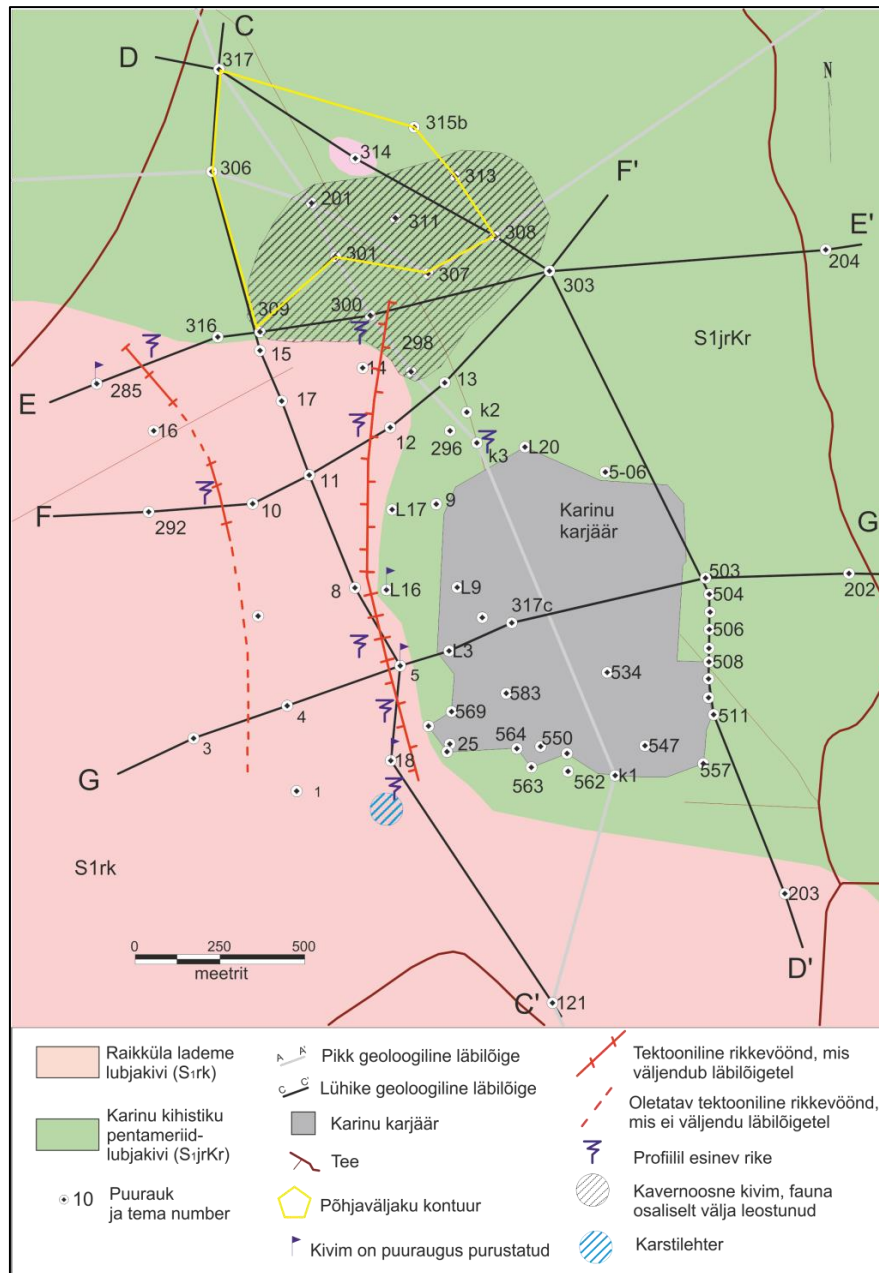
**Joonis 22.** Lääne-ida suunaline läbilõige G–G’ CaO sisaldusega.

Karinu karjäärist loodesse jääb ala, kus puuraukude litoloogias on kirjeldatud Tammiku kihistiku lubjakivi kavernoossena – kivimist on fauna kohati välja leostunud (Joonis 23). See ei anna veel alust kahtlustada antud alal karstiprotsesse, kuid viitab siiski mingisugusele sekundaarsele muutusele kivimis. CaO, MgO ja lahustumatu jäägi sisaldused kivimis on aga alal tehnoloogilise lubjakivi kaevandamise seisukohalt endiselt väga head. Erandina on kehv kvaliteet puuraugus 300, kuid selle puhul võib kahtlustada juba eelnevalt kirjeldatud rikke mõju (Läbilõigetel A–A’ ja E–E’).

Lisaks on K. Tallinn (1989) kirjeldanud Karinu karjäärist edelasse jääval alal (pa. 18-st lõunas) geofüüsikalise mõõtmise andmetel karstilehtrit, mis paikneb 25 m sügavusel. Kuigi antud alal puuduvad puuraugu andmed ning seetõttu pole teada ka kivimi kvaliteet, on siiski kõige lähedamal paikneva puuraugu nr 18 kvaliteet hea.

Hea kvaliteediga lubjakivi on eraldatud Karinu karjäärist loode suunas paiknevale Põhjväljaku alale, kus kivimi keemiline koostis on kaevandamiseks sobilik ja

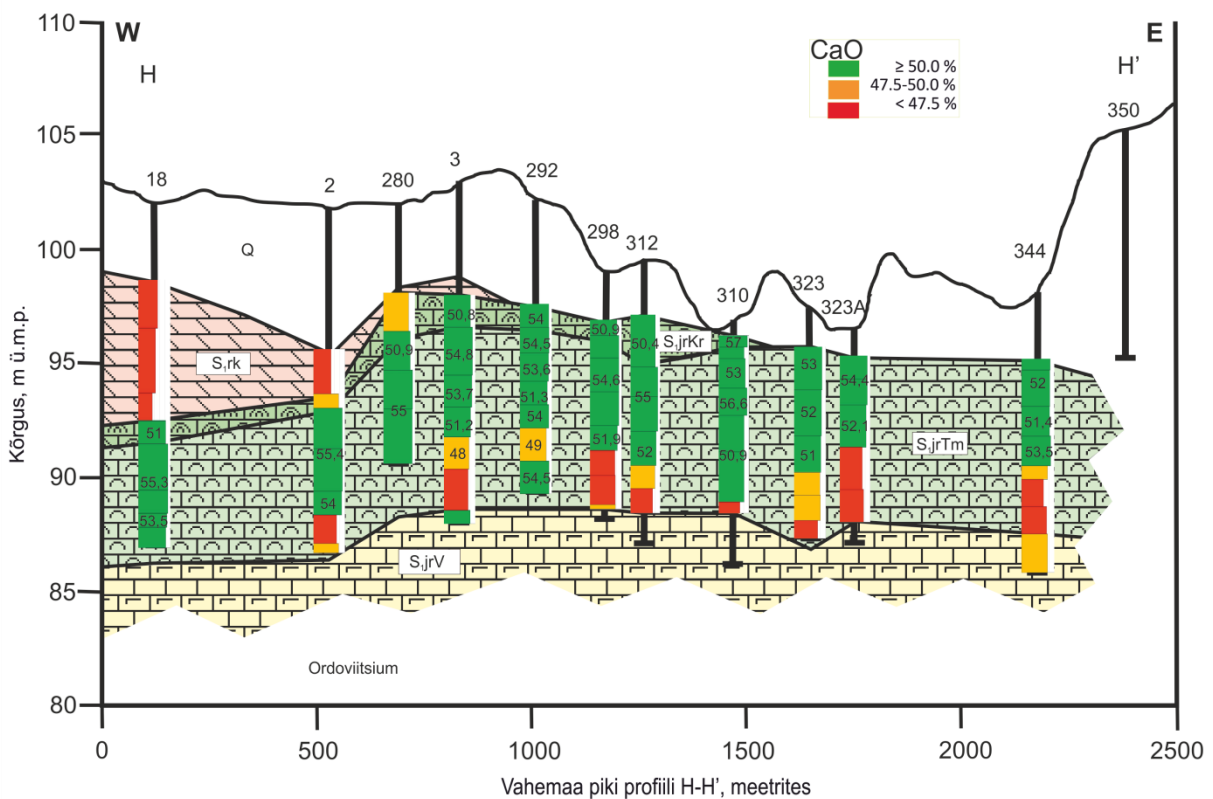
Kvaternaarisetete paksused väikesed, jäädes keskmiselt 1 – 2 meetri piiresse (Joonised 23; 10).



**Joonis 23.** Puursüdame andmetel koostatud läbilõigete alusel väljaeraldatud rikkevõndide oletatav asend Karinu piirkonnas. Aluspõhja kivimitest paljanduvad kaardi lõuna- ja edelaosas Raikküla lade ning põhja- ja kirdeosas Juuru lademe Karinu kihistu.

Metsla maardla paikneb geoloogiliselt suuremas osas Karinu ja Tammiku kihistute avamusalal, sellest põhja, lõuna ja lääne suunas paljandub Raikküla lade. Läbilõikel H–H' (Joonis 24) levib Raikküla lade lääneosas 6 meetri paksusena ning siis kiildub Metsla maardla juures välja. Karinu kihistik esineb lääne ja keskosas, jäädes 1–2 meetri

paksuseks, idaosas kihistik puudub. Tammiku kihistik on püsiv läbi kogu läbilõike, jäädes keskmiselt 5-8 meetri paksuseks.

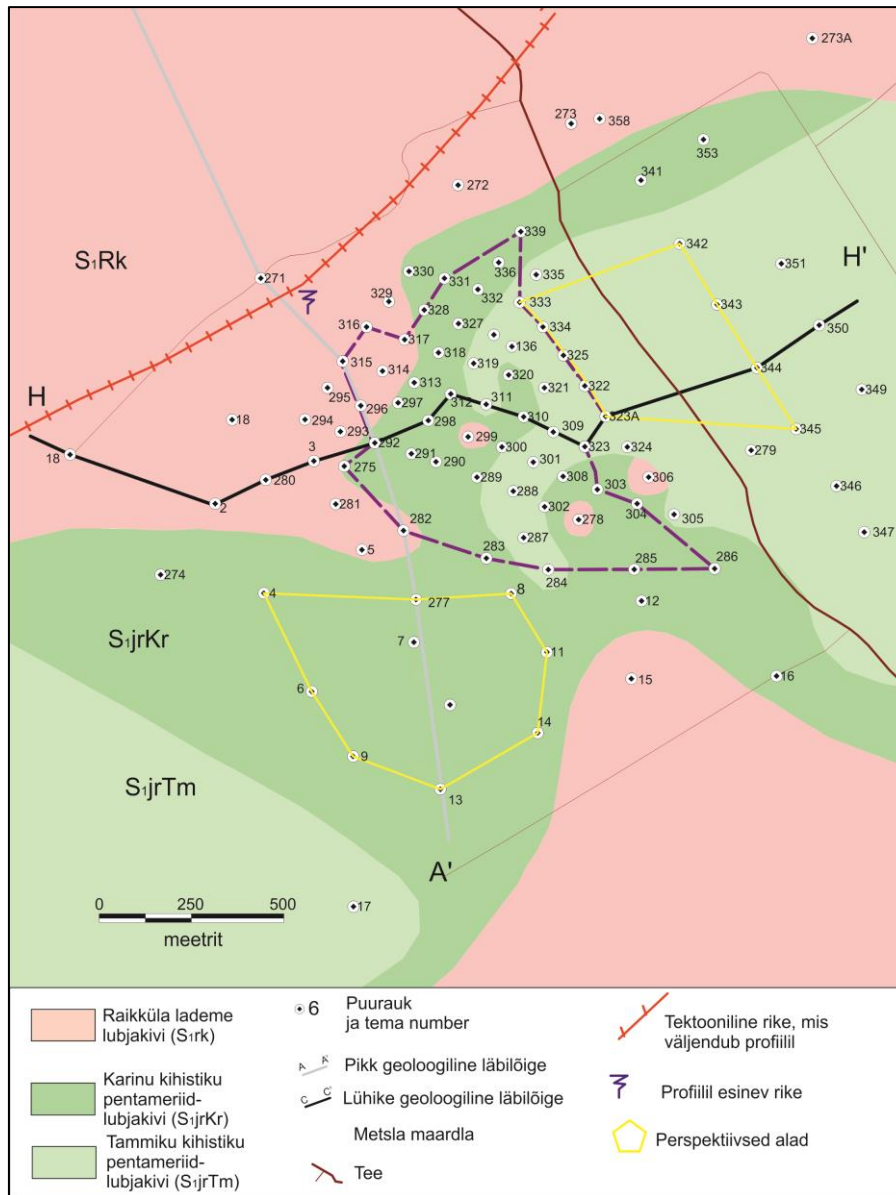


**Joonis 24.** Lääne-ida suunaline läbilõige H–H' CaO sisaldusega.

Metsla maardla ala on võrreldes Karinu karjääri ümbrusega tektooniliselt üsna rikkumata. Kogu piirkonnas esineb vaid üks rikkevöönd, mida kirjeldati läbilõikel A–A puuraugu 271 lähistel (Joonised 16 ja 26). Läbilõige H–H' paikneb kirjeldatud rikkevööndist lõuna suunas, enamvähem paralleelselt. Kogu ülejäänud Metsla maardla piirkond on tektoonilises mõttes suhteliselt rahulik, esineb vaid lokaalseid paindeid, mis ei väljendu lubjakivi kehvemas kvaliteedis.

Metsla maardla ümbrusala tehnoloogilise lubjakivi kvaliteet on võrreldes Karinu karjääri ümbrusala parem ja vähem muutlik. Maardlas ja selle läheduses esineb kõrge CaO sisaldusega kivimit, küündides kohati isegi üle 57% (Joonis 24). Nii MgO kui lahustumatu jäägi sisaldus kivimis on keskmiselt alla 2% (Lisa 8). Hea kvaliteediga kivimi paksus jääb keskmiselt 5–7 meetri vahele, kuid leidub ka puurauke, kus kasuliku kihi paksus on 9 meetrit. Parima kvaliteediga kivim jääb sarnaselt Karinu alale pigem Tamsalu lademe ülemisse ja keskmisesse ossa. Kehvem kvaliteet või väiksema paksusega kasulik kiht esineb pigem aladel, kus lubjakivi katab Raikküla ladet. Halvima kvaliteediga kivim esineb Metsla maardlast põhja

suunas, kus esineb tektooniline rike. CaO sisaldused langevad seal kivimis kuni 30%-ni, MgO puhul tõusevad aga kuni 16%-ni ning lahustumatu jäägi sisaldus 10%-ni.



**Joonis 26.** Metsla maardla lähedal väljaeraldatud rikke asend. Rikke täpsem suund on määratud varasemate geofüüsikaliste uuringute põhjal (Perens, 1976). Aluspõhja kivimitest paljanduvad kaardi põhja-, loode- ja lõunaosas Raikküla lade ning keskosas Juuru lademe Karinu ja Tammiku kihistikud.

Hea kvaliteediga lubjakivi on eraldatud Metsla maardlast edela ja kirde suunas paiknevatele aladele, kus kivimi keemiline koostis on kaevandamiseks sobilik (Joonis 26).

## 5. Arutelu

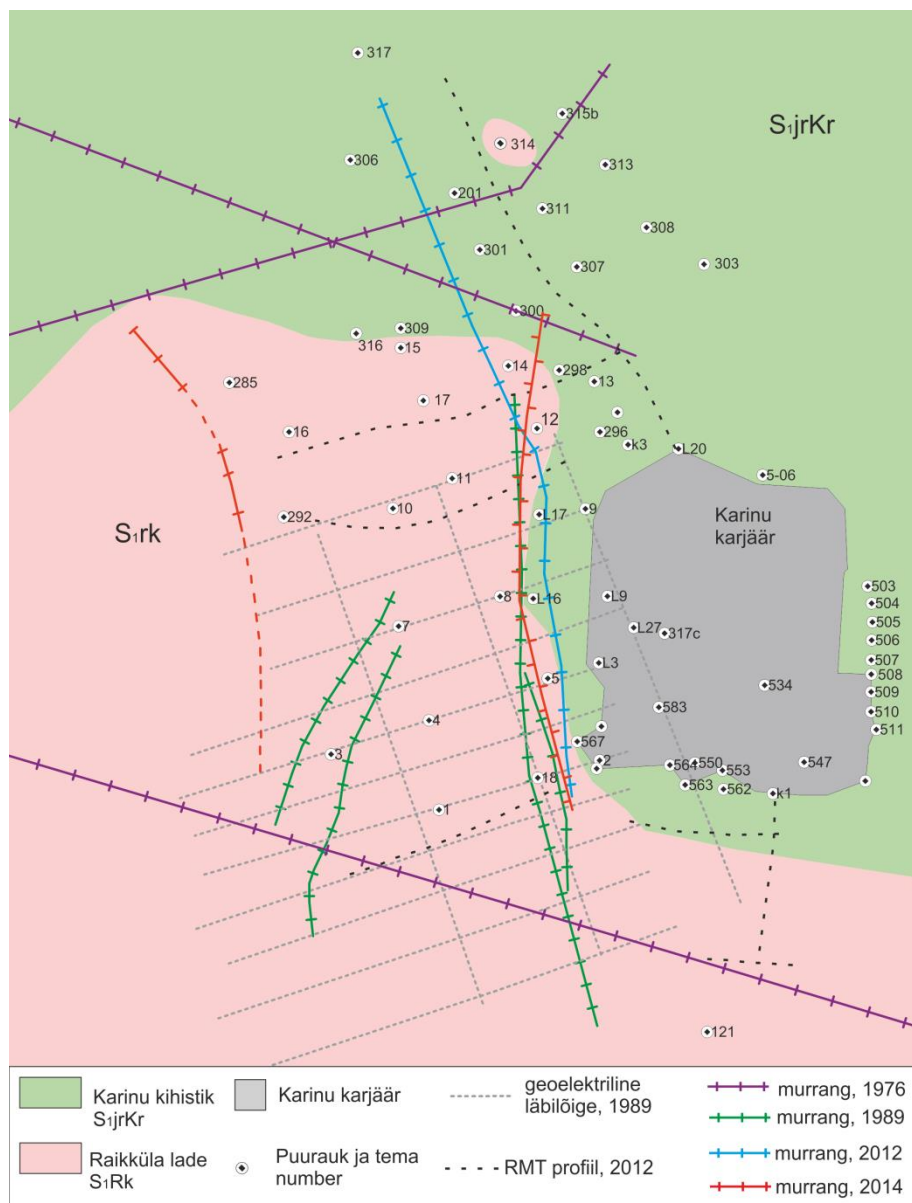
### 5.1 Lasuvusrikked

Käesolevas töös koostatud paksuse ja struktuurikaartidel ilmneb, et Karinu ja Metsla maardlad paiknevad üldjuhul Karinu ja Tammiku kihistike avamusosal ning et kattev Raikküla lademe kivim piirab maardlaid mitmest küljest. Aluspõhja kivimkihid langevad üldjuhul kirdest edela suunas, olles Karinu rajoonis suurema kallakuse ja muutlikusega kui Metslas. Karinu karjäärast lääne suunas moodustub erinevate kihtide lamamite samakõrgusjoontest lokaalne pikliku kujuga depressioon, mida võib seostada alal esinevate tektooniliste rikkevöönditega. Seda kinnitavad hästi antud töös koostatud geoloogilised läbilõiked. Kuigi ka Metsla maardlast põhja jääb rikkevöönd, ei kajastu see nii selgelt kaartidel, sest piirkonnas on piisava täpsusega kihtide lasuvuse kirjeldamiseks liiga hõre puuraukude võrgustik. Sellegipoolest, on rike hästi esindatud alal läbival geoloogilisel läbilõikel.

Karinus võib geoloogiliste läbilõigete põhjal välja eraldada karjäärast vahetult lääne suunas kaks lokaalset rikkevööndit, mis asetsevad üldjuhul Raikküla lademe avamusosal. Neist läänepoolsem on kergelt loode-kagu suunaline ning idapoolsem põhja (loode-)-lõuna suunaline. Metsla maardlast vahetult põhja eraldati välja murrang, mis on aga kirde-edela suunaline ning paikneb samuti Raikküla lademe avamusosal. Need rikkevööndite suunad korreleeruvad üsna hästi varasemalt Põhja-Eestis uuritud rikete suundadega, mis on üldjuhul kirde-edela või loode (põhja)-kagu (lõuna) suunalised (Vaher, 1983). Morfoloogiliselt iseloomustab riket kivimis ilmselt fleksuurilaadne paine, mis on purustatud ja läbitud väiksematest murrangutest.

Rikkevööndite paiknemisele annavad osalist kinnitust ka uuringualal läbiviidud kolm näivtakistuse elektroprofileerimise uuringut. Esimene geofüüsikaline uuring viidi läbi geoloogilise kaardistamise käigus mõõtkavas 1:50 000 (Perens *et al.* 1976) Pandivere kõrgustikul ning uuringu tulemusena tuvastati kolm rikketsooni (Joonis 27). Neist lõunapoolsem on paigutatud loode-kagu suunaliselt puuraukude 18 ja 121 vahele, kuid läbilõikel C-C' see ei väljendu. Käesoleva töö läbilõigetel ei esine sellise paiknemise ja suunaga rikked, nagu on ära märgitud 1976. aasta töös Karinu karjäärast loode suunas. Antud rikkeid tuleks käsitleda siiski hüpoteetilistena, sest need tsoonid on Karinu piirkonnas määratletud ainult kahe geofüüsikalise profiili tulemuste ja aerofotode abil

Teine geofüüsikaline uuring viidi läbi Karinu maardlast lääne poole jääval alal, mille tulemusena koostati kaart mõõtkavas 1:10 000 (Tallinn, 1989). Antud töös tehti Raikküla lademe avamusalal 14 geoelektrilist profiili, kogupikkusega 18,6 km (Joonis 27). Uuringu tulemusena identifitseeriti neli põhja-lõuna või kirde-kagusuunalist rikketsooni. Kõikidel põhja-lõuna suunaliste geoelektriliste läbilõigete puhul ilmneb, et uuringuala läänepoolset ala iseloomustavad madalamad eritakistuse näitajad kui idaosa. Mitmetel profiilidel esineb vertikaalne litoloogiline kontakt, mida võib kirjeldada kui tektoonilist rikkevööndit. Uuringutel on rike (mis paikneb piki karjääri läänekülge) jälgitav kuni 70 m sügavuseni, selle nihkeamplituudiks on kuni 20 m ning rikke idatiib on tõstetud läänetiiva suhtes.



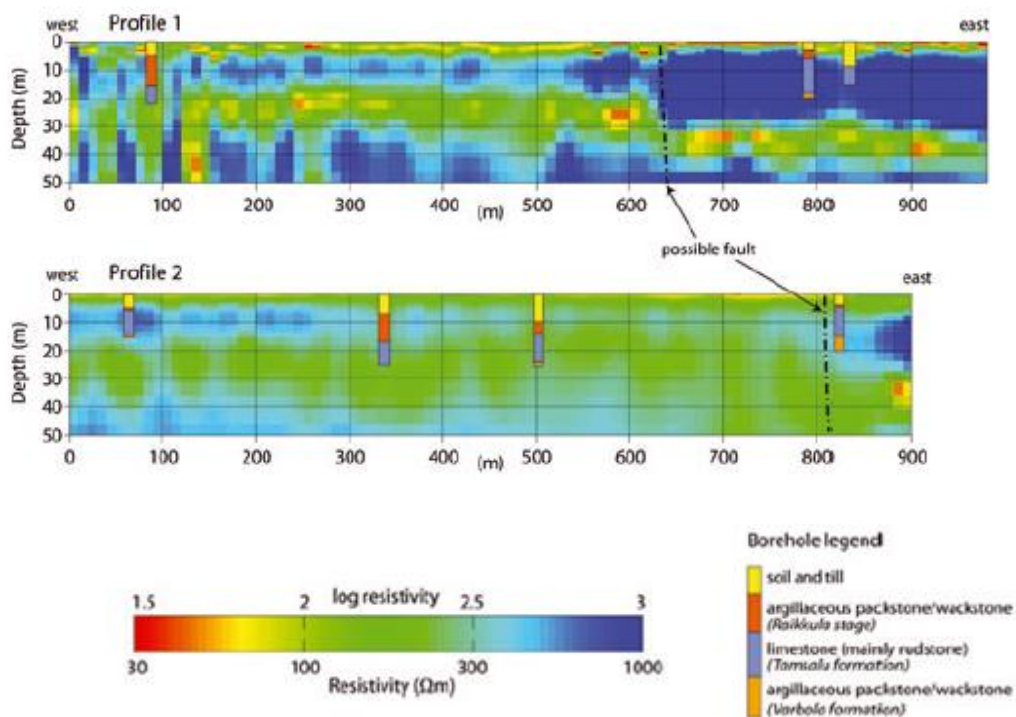
**Joonis 27.** Karinu karjääri ümbruses tehtud geofüüsikalised uuringud ja nende abil määratud tektoonilised rikked. Kasutatud allikad: Perens *et al.*, 1976; Tallinn, 1989 ja Bastani *et al.*, 2012.

Ka käesolevas töös koostatud läbilõigetel ilmneb Karinu karjäärilist lääne suunas, karjääriga paralleelne rikkevöönd (Joonis 23). Nimetatud rikkevöönd järgiks üpris täpselt Raikküla lademe avamusala piiri, kuid sellega on vastuolus puurauk 12. Pole välistatud, et antud puurauk on valesti positioneeritud, seoses Nõugogude Liidu aegse kaardistamise ebatäpsusega. Rikkevöönd ühtib aga suhteliselt hästi läbilõike C–C' kesk- ja lõunaosaga (Joonis 18), kus tuleb rike väga hästi välja puuraukude 8 ja 5 vahel ning väiksemad painded Tammiku kihistikus esinevad ka puuraukude 18 põhja ja lõuna suunas. Rike väljendub ka kolmel ida-lääne suunalisel rikkevööndiga ristuväljal läbilõikel. Kõigil juhtudel on tõstetud idapoolne rike tiib läänepoolse suhtes (Joonised 20; 21; 22). Läbilõikel F–F' ei ole kihtide paine niivõrd suur, et ainult selle põhjal riket välja eraldada, vaid on esitletud pigem arvestades teisi läbilõikeid ja alal tehtud geofüüsikat. Antud rikkevööndi vertikaalne nihkeamplituud jääb seda läbivatel geoloogilistel läbilõigetel vahemikku 7–11 meetrit või enam. See korreleerub hästi Kirde-Eestis uuritud riketega, kus aluspõhi on riketega liigestatud plokkideks, mille vertikaalne nihkeamplituud on kuni 15 meetrit ning samuti on tõstetud tavaliselt ida-kagutiib. Puuraugu ega geofüüsikalise andmestiku põhjal pole võimalik määrata, missugune on kihtide maksimaalse painde piirkonnas neid lõikavate murrangute suund ning on selles töös kujutatud vertikaalselt. Käesolevas töös pikendati võrreldes Tallinna (1989) uuringuga antud rikkevööndit põhja suunas Karinu kihistiku avamusalal puurauk 300-ni. Sealse rikke paigutus, vertikaalne nihkeamplituud ja tõstetud rikke idatiib ühtib hästi lõunapool eelnevalt kirjeldatud rikkevööndiga. Samuti võiks vööndi pikkust pikendada ka lõuna suunas, kuid selle kinnitamiseks puudub piisav puurimistöde andmestik.

K. Tallinn (1989) märkis oma töös veel kaks eelnevast rikkevööndist läänepool paiknevat kirde-kagu suunalist rikkevööndit. Käesolevas töös puudub selle kinnitamiseks piisav puurauguandmestik, kuna puurimine on antud alal lõpetatud Raikküla lademes. Samas ei saa nende esinemist ka välistada. Antud rikked võiks kaudselt ühendada aga käesoleva töö läänepoolsema rikkevööndiga (Joonis 23). Antud rike ei tule läbilõigetel nii selgelt välja kui idapoolne rike ning need on märkimisväärselt erineva tõestuastmega. Rike esineb selgelt läbilõikel F–F', puuraukude 292 ja 10 vahel, kus rikke läänetiib on kergitatud idatiiva suhtes. Raikküla lademes toimub ebatavaliselt järsk paksuste vähenemine läbilõikel F–F', mis tuleb välja ka Raikküla lademe paksuse ja struktuurikaardil (Joonis 9). Läbilõikel E–E' on erinevalt eelnevast tõstetud aga idatiib, mistõttu ei saa neid kahte riket nii kindlalt ühendada, kui idapoolsel rikkevööndil. Lõunapoolsel alal puudub rikkevööndile kinnitus, sest puudub piisav

puurimissügavus läbilõikel G–G'. Põhjasuunas lõpeb rike enne lõikumist B–B'-ga, sest selle eripärasusi enam ei esine.

Kolmas geofüüsikaline uuring viidi läbi Karinu maardla läheduses (Bastani *et al.* 2012) ning selle tulemusena saadi RMT andmed seitsmel 250-1500 meetri pikkusel profiilil (Joonis 27). Töös koostatud profiilide 2D-mudelitel (Joonis 28) eristub hästi kolm eraldatud elektrilise eritakistusega kihti – kõrge eritakistusega kiht (Tamsalu pentameriidlubjakivi) on kahe madalama kihi vahel (pealmised Raikküla lademe lubjakivid ja Kvaternaarisetted ning all dolomiitlubjakivi Varbola kihistikus). Eritakistuse mudelid korreleeruvad hästi olemasolevate lähedal paiknevate puuraukude andmetega, kuigi geoelektrilisel läbilõikel ei eristu kihtide vahelised piirid nii selgelt kui puuraukude litoloogias. Kolmel läbilõikel interpreteeriti geoelektrilisel läbilõikel järsud muutused kihtide lasuvuses, mis viitavad tektoonilise rikke olemasolule. 2012. aasta teostatud uuringus paigutati rikkevöönd sarnaselt Tallinna (1989) tööle piki Karinu karjäärist lääne poole jäävat ala, kuid osaliselt rohkem karjääri suunas, Karinu kihistiku avamusalale. Käesoleva töö geoloogilised läbilõiked kinnitavad aga pigem rikkevööndi esinemist Raikküla lademe avamusalal või selle piiril. Lisaks on Bastani *et al.* (2012) rikkevööndit pikendanud pikalt edasi põhja suunas (Karinu karjäärist loode suunas), kuigi puudub seda kinnitav geofüüsikaline ja puuraukude andmestik.



**Joonis 28.** Eritakistuse sügavuse 2D-mudelid profiilidel 1 ja 2. Mudelile on kantud puuraukud, mis paiknevad profiilide läheduses. Võimalikud rikete asukohad on märgitud musta punktiir-joonega (Bastani *et al.* 2012).

Metsla maardla ümbruses on hüdrogeoloogilise ja ehitusgeoloogilise kaardistamise käigus teostatud mõõtkavas 1:50 000 maaparanduse eesmärgil samuti geofüüsikalisi uuringud. Nende abil on määratud üks ulatuslik kirde-edela suunaline rikkevöönd Raikküla lademe avamusalal, Metsla maardlast põhja suunas (Joonis 26; Perens *et al.* 1976). Käesolevas töös kinnitab seda läbilõikel A–A' esinev murrang. Antud murrang on Karinu karjääri ümbruses esinevatega riketega võrreldes ilmselt nii oma levikult kui ka vertikaalse nihkeamplituudi osas ulatuslikum.

Pandivere kõrgustiku edelaosas on varasemas kirjanduses välja toodud piirkonna suurimaks lasuvusrikkeks Kahala rikkevöönd, mis läbib Juuru ladet (Puura & Vaher, 1997). Kuigi puudub täpne kinnitus asjaolule, et käesoleva töö uuringuala on seotud selle rikkevööndiga, sobitub see siiski hästi rikete paigutuse ja orientatsiooni poolest. Sellest võib järeldada, et Karinus ja Metslas esinevad rikked on oma tekkelt tõenäoliselt seotud Kaledoonia orogeneesiga ja on Hilis-Siluri või Vara-Devoni vanusega.

## **5.2 Rikete mõju lubjakivi kvaliteedile**

Tektooniliste riketega kaasnevad kas lihtsalt kivimite purustamine või lisaks ka sekundaarsed muutused nagu dolomiidistumine ja karstumisprotsessid. Sekundaarse dolomiidistumise tagajärjel väheneb tehnoloogilise lubjakivi CaO sisaldus kivimis ning MgO sisaldus suureneb. Karinu ja Metsla karjääri ümbruses leidub üldiselt hea kvaliteediga lubjakivi, kus CaO sisaldused kivimis on 51–54%, MgO sisaldused jäävad keskmiselt vahemikku 1,9–2,9% ning lahustumatul jäägil alla 2%. See sobitub Rakke lubjatehast ning Karinu karjääri haldava AS Nordkalkile kvaliteedinõuetega, mille tehnoloogilise lubjakivi kvaliteedi parameetriteks materjalis on CaO >50%; MgO <2,8% ning lahustumatu jääk <2%. Käesolevas töös koostatud geoloogiliste kaartide ja läbilõigete põhjal võib järeldada, et kaevandamiseks sobiv kõrgekvaliteediline tehnoloogiline lubjakivi leidub pigem Tamsalu kihistu kesk- ja ülaosas. Tammiku kihistiku alumine osa on sageli rikastunud MgO-st, mis põhjustab lubjakivi kvaliteedi langust ning antud nähtus ei ole seotud rikkevöönditega.

Kõige otsesemalt mõjutavad tehnoloogilise lubjakivi kvaliteeti tektoonilised rikked. Tektooniliste rikete läheduses on kivimid tihti purustatud ja dolomiidistunud ning CaO ja MgO sisaldused jäävad vastavalt vahemikku 30–48% ja 5–12%. Lahustumatu jäägi sisaldust rikkevööndid olulisel määral ei mõjuta ning selle väärtused jäävad rikete piirkonnas endiselt keskmiselt alla 2%. Võiks eeldada, et karbonaatides toimuvate sekundaarsete muutustega on

kaasnenud suurem lahustumine, mis väljenduks lahustumatu jäägi kõrgema väärtusega kivimis, kuid uuringualal jääb lahustumatu jäägi sisaldus kivimis tavapäraselt normi piiresse nii aladel, kus esineb rikkeid kui ka Karinu karjäärast loodesse jääval kavernoossema lubjakiviga alal. See võib tähendada, et kas alal kas pole riketega seoses toimunud ulatuslikku lahustumist või on piirkonnas esineva kivimis lahustumatu jäägi hulk niivõrd väike, et isegi lahustumisel ei tõuse selle väärtus protsentuaalselt üle piirnormi.

Siiski ei saa väita, et lubjakivi kvaliteet on madalam ainult piirkondades, kus geoloogilisel või geofüüsikalisel läbilõikel on tuvastatud rike. Näitena võib siinkohal tuua Karinu karjäärast vahetult põhja jääva ala, kus puuraukudes k3, k2, 13 ja 303 – millest viimased kaks esinevad ka läbilõikel F–F' (Joonis 21) – esineb madalama kvaliteediga lubjakivi, kuid geoloogilisel läbilõikel ei esine olulisi muutuseid kihtide lasuvuses. Antud piirkonna kivimi kehvem kvaliteet on ilmselt sellegipoolest seotud tektooniliste riketega kaasneva dolomiidistumisega. Teise erandina võib välja tuua puuraugu 18, mis esineb läbilõikel C–C', kus kivim on puuraugus purustunud ning sobitub hästi alal paikneva rikkevööndi alasse, kuid lubjakivi kvaliteet on endiselt hea. Seega, kuigi ilmneb selge seos tektoonilistes rikes toimunud dolomiidistumise ja tehnoloogilise lubjakivi kehvema kvaliteedi vahel, ei tähenda purustunud kivim alati kehvemat kvaliteeti ega ka rikkumata lasuvus kõrgekvaliteedilist lubjakivi.

Põhja-Eesti põlevkivikihis kaasnevad rikete vööndites dolomiidistumisega orgaanilise aine oksüdeerumine kivimi kütteväärtuse langus (Puura, 1986). Fosforiidikihis kaasneb rikkevöönditega dolomiidistumine ning sellest tulenevalt MgO sisalduse märgatav tõus (>1%) (Vaher, 1983). Pandivere kõrgustikul toimub dolomiidistumine aga karbonaatkivimitesse, kuid on protsessi ja mõju poolest sarnane eelpool nimetatud maavaradele.

Lähtudes uuringualal määratud tektoonilistest riketest ja nendega seotud kivimi kvaliteedimuutustest võib Karinu ja Metsla maardlate lähistel välja eraldada kolm ala, kus lubjakivi edasised detailuuringud ja kaevandamine võiksid olla perspektiivsed. Karinu karjäärast loodes on piiritletud Põhjaväljaku ala (Joonis 23), kus ei esine rikkeid ning lubjakivi kvaliteet on kõrge. Metslas võib välja eraldada kaks ala – maardlast idas Karinu kihistiku avamusalal ja läänes Tammiku kihistiku avamusalal (Joonis 26). Antud alad iseloomustavad samuti tasased lasuvustingimused ja kõrge lubjakivi kvaliteet. Antud soovitusel lähtuvad siiski vaid lubjakivi kvaliteedi analüüsist, arvestamata paljude muude aspektidega, nagu näiteks Kvaternaarisetete paksus, hüdrogeoloogia, inimasustuse paiknemine, loodus- ja muinsuskaitsealad.

## Kokkuvõte

Käesolev töö on rakendusliku suunitlusega, mis tehti koostöös Nordkalk AS-iga uurimaks võimalikke tulevikuperspektiive tehnoloogilise lubjakivi kaevandamisel Karinu ja Metsla maardlate ümbruses. Magistritööst selgus, et uuringualal esinevad tektoonilised rikked, mis on seotud Kirde-Eestis laialdaselt uuritud jooneliste rikkevöönditega. Karinu ja Metsla maardlate läheduses paiknevad rikked on sarnaselt Kirde-Eestis esinevatele kas kirde-edela, põhja-lõuna või loode-kagu suunalised. Rikkevööndite vertikaalne nihkeamplituud jääb üle seitsme meetri ning ricketel on enamasti tõstetud ida- või kagutiib. Morfoloogialt kujutavad rikked ilmselt fleksuurilaadseid paineid, mis on läbistatud väiksemate murrangute poolt.

Geoloogiliste kaartide ja läbilõigete abil määratleti Karinu karjääri lähistel kaks ning Metsla maardla ümbruses üks rikkevöönd. Lisaks andsid sellele suures osas kinnitust ka uuringualal läbi viidud geofüüsikalised mõõtmised.

Hea kvaliteediga lubjakivi ( $\text{CaO} >50\%$ ,  $\text{MgO} <2,8\%$ , lahustumatu jääk  $<2\%$ ) paikneb Tamsalu kihistu Tammiku ja Karinu kihistikes. Tektoonilistes ricketes on toimunud lubjakivis sekundaarsed muutused, nagu kivimi purustumine ja dolomiidistumine, mis on vähendanud tehnoloogilise lubjakivi kvaliteeti. Nendel aladel on kivimis vähenenud  $\text{CaO}$  (30–48%) ja suurenenud  $\text{MgO}$  (5–12%) sisaldus. Lahustumata jäägi sisaldused jäävad ka rikkevööndite piires üldjuhul heaks (alla 2%). Aladel, kus lasuvustingimustes rikkeid ei esinenud, on üldjuhul ka lubjakivi kvaliteet parem ning sobivam tehnoloogilise lubjakivi kaevandamiseks.

## Summary

### **Fracture zones in the Silurian carbonate complex in Southeastern part of the Pandivere Upland and their impact to the quality of the technological limestone resources**

This study was carried out in the frame of cooperation project with Nordkalk Corp. to survey the high quality limestone resources in the surroundings of Karinu and Metsla deposits. In the study area fracture zones were discovered which can be connected with the well studied linear zones of disturbances in Northeastern part of Estonia. Fracture zones have a N-NE or NW trend, with total vertical amplitude of more than seven meters and with uplifted of the E or SE part. These fracture zones occur as a flexure, which is combined with faults.

The distribution of the fracture zones and their impact to the limestone resources were analysed using detailed geological maps and cross-sections around Karinu and Metsla deposits. Also geophysical profiles were taken into consideration to locate the fracture zones.

High quality of limestone occurs in the Tamsalu formation, Tammiku and Karinu members (CaO >50%, MgO <2,8%, insoluble residue <2%). Alterations of deformed rocks within the fracture zones causes dolomitization and disruption of the limestone and complicate the structure of deposit. This affects mining conditions from the technical point of view and also causes a loss of quality in technological limestone resources. In the zones of disturbances lower quality of the limestone is represented with decreased content of CaO (30–48%) and increased content of MgO (5–12%). The content of insoluble residue does not seem to be affected by the fracture zones. In the areas with no fracture zones the high quality of the limestone is usually found.

## **Tänuavaldused**

Soovin tänu avaldada oma juhendajatele Alar Rosentaule, Leho Ainsaarele ja Väino Puurale, kes olid suureks abiks konsulteerimisel. Eriline tänu Alarile töös kasutatud metoodika välja õpetamise eest, mis on olnud oluliseks töövahendiks minu edasises töös Eesti Geoloogakeskuses. Tänan ka kolleegi Kaja Zavitskajat EGK-st, kes oli abiks vene keelse geoloogilise terminoloogia tõlkimisel.

## Kasutatud kirjandus

- Bastani, M., Persson, L., Beiki, M., Harinen, R. 2012. A radio magnetotelluric study to evaluate the extents of a limestone quarry in Estonia. *Geophysical Prospecting* 61, 678–687.
- Gazizov, M. 1971. | Газизов, М. 1971. Карст и его влияние на горные работы. Москва, Недра, 203.
- Heinsalu, Ü. 1967. Karst Eestis. *Eesti Loodus* 9, 542–547.
- Heinsalu, Ü. 1997. Karst ja looduskeskkond Eesti NSV-s. Tallinn, Valgus, 6–16.
- Kala, E., Eltermann, G. 1966. | Кала, Е., Елтерманн, Г. 1966. Отчет Паидеского отряда о комплексной геолого-гидрогеологическое съемке масштаба 1:200 000 тсентралной тшастии ЕССР (лист О-35-VIII) за 1963-1966 годы. *EGF* 2927.
- Kattai, V., Vingissaar, P. 1980. The structure of the Ahtme tectonic fault zone. *Proc. Estonian Acad. Sci. Geol.* 29 (2), 55-62 (vene keeles, inglise keelse kokkuvõttega).
- Kattai, V., 1986. | Каттай В.А., 1986. Карстовые нарушения в промышленной залежи Эстонского месторождения кукурситов и закономерности их проявления. *Горючие сланцы*, 3/3, 225–233.
- Kattai, V., Saadre, T., Savitski, L. 2000. Eesti Põlevkivi: geoloogia, ressurs ja kaevandamistingimused. Tallinn. *Eesti Geoloogiakeskus*, 226.
- Kiipli, T. 1983. *Eesti NSV Teaduste Akadeemia Toimetised*. Geoloogia, 3, 110–117 (vene keeles, inglise keelse kokkuvõttega).
- Korbut, S., Peikre, K. 2007. Järvamaa Karinu lubjakivimaardla Nordkalk AS mäeeraldise jääkvaru geoloogiline uuring (varu seisuga 02.11.2006.a.). *EGF* 7970.
- Kõrvel, V., Kõrvel, N. 1963. Rakvere Rühma aruanne komplekssest geoloogilis-hüdrogeoloogilisest kaardistamisest mõõtkavas 1:200 000 lehel O-35-IX 1960.-1963.a. *EGF* 2072 (vene keeles, eesti keelse kokkuvõttega).
- Levin, A. S., 1972 | Левин А. С. 1972. Древний глубинный карст Ленинградского месторождения горючих сланцев. *Автореферат дисс. канд. геол. минер. наук*, Ленинград, 24.
- Nestor, H., 1997. Juuru Stage. Rmt.: Raukas, A., Teedumäe, A. (toim.). Geology and Mineral Resources of Estonia. *Estonian Academy Publishers*, Tallinn, 89–92.
- Olesk, K. 2009. Juuru lademe lubjakivi sobivus tehnoloogiliseks toormeks Pandivere lõunaosas. Magistritöö. Tartu Ülikool Geoloogia osakond. Käsikiri Tartu Ülikooli Geoloogia osakonna raamatukogus.

- Perens, R., Eltermann, G., Lang, T., Laas, L., Noppel, M., Perens, H., Jalakas, T., Norman, A., Kursheva, V. 1976. Aruanne hüdrokeoloogilisest ja ehitusgeoloogilisest kaardistamisest mõõtkavas 1:50 000 maaparanduse eesmärgil (Uulu-Leina ja Järva-Jaani objekt) ning aruanne katsetootmise seisemo-uuringutest kaardistamise juures (Järva-Jaani ja Ambla objekt). *EGF 3391* (vene keeles, eestikeelse kokkuvõttega).
- Pitšugin *et al.* 1976. | Питчугин, М., Пуура, В., Вингисаар, П., Ерисалу, Э. К., 1976. Региональные проявления метасоматической доломитизации в связи с тектоническими нарушениями в нижнепалеозойских Цевальной Прибалтики. *Сов. геология*, 10, 78 - 90.
- Puura, V., Raudsepp, R., Tuuling, I., Rass, V. 1983. Fault zones and dolomitization in the north-eastern part of the Rakvere phosphorite bearing area. *Eesti NSV Teaduste Akadeemia Toimetised*, 32, 101–109.
- Puura, V., 1986. Balti põlevkivibasseini kukersiidikihtkonna ehitus. *NSV Teaduste Akadeemia Toimetised, Geoloogia*. Tallinn, Valgus, 55–62 (vene keeles, eesti keelse kokkuvõttega).
- Puura, V., Vaher, R., Tuuling, I. 1987. Rakvere fosforiidirajooni geoloogia ja maavarad. *Eesti NSV Teaduste Akadeemia Toimetised*. Tallinn, Valgus, 90–103 .
- Puura, V., Vaher, R. 1997. Cover structure. Rmt.: Raukas, A., Teedumäe, A. (toim.). *Geology and mineral resources of Estonia. Estonian Academy Publishers: Tallinn*, 167-177.
- Roberts, D. 2003. The Scandinavian Caledinides: event chronology, palaeogeographic settings and likely modern analogues. *Tectonophysics* 365, 283–299.
- Sidorova, I., Haham, A. 1957. Aruanne geoloogilistest uuringutöödest Karinu lubjakivi-maardlas 1956.a. *EGF 809* (vene keeles, eesti keelse kokkuvõttega).
- Sokman, K., Kattai, V., Vaher, R., Sõstra, Ü. J. 2008. Influence of tectonic dislocations on oil shale mining in the Estonia deposit. *Oil Shale* 25, 175–187.
- Suveizdis, P. 1979. | Сувейздис, П. 1979. Тектоника Прибалтики. *Моклас, Вильнюс*, 1–92.
- Tallinn, K. 1968. Aruanne väikese Mg-sisaldusega lubjakivide otsimis- ja eelluuretoode tulemuste kohta Paide rajoonis Järva-Jaani alevi ümbruses 1965-1966.a. *EGF 2973*
- Tallinn, K. 1974. Aruanne lubja tootmiseks kõlblike lubjakivide detailsete uuringute tulemuste kohta Võhmuta, Metsla, Aavere ja Karinu maardlatel 1971-1973.a. *EGF 3294*
- Tallinn, K. 1978. Aruanne magneesiumivaesete lubjakivide eeluuringutest lõuna pool Karinu karjääri 1977.a. *EGF 3525*.
- Tallinn, K. 1981. Tektooniliste rike tähtsusest magneesiumivaeste lubjakivimaardlate otsingul Pandivere kõrgustiku edelaosas. Rmt.: Pirrus, E. (toim). *Settekivimid ja tektoonika. Eesti Loodusuurijate Selts Eesti NSV Teaduste Akadeemia juures*. Tallinn, 126–132.

Tallinn, K. 1989. Ehituslubjakivi otsingud Rakke Tehasele Paide rajoonis (Karinu maardla). *EGF* 4337 (vene keeles, eesti keelse tõlkega).

Täht, K. 2004. Tehnoloogilise lubjakivi esinemisvõimaluste hinnang Kesk-Eestis, Tamsalu ja Hilliste kihistikis. Tallinn. *EGF* 7644.

Vaher, R., Puura, V., Erisalu, E. 1962. Tectonics of North-eastern Estonia. *Eesti NSV Teaduste Akadeemia Geoloogia Instituudi Uurimused*. Tallinn, 319 – 335.

Vaher, R., Kala, E., Puura, V. 1978. | Вахер Р., Кала Э., Пуура В. 1978. Линейные дислокации осадочного чехла Северной Эстонии. *Rmt.*: Лашков Е. (toim.). Локальные структуры Белоруссии и Прибалтики. *Тезисы VII годовичного совещания Комиссии по тектонике Белоруссии и Прибалтики*. Вильнюс, 31–34.

Vaher, R. 1983. Tectonics of phosphorite – oil shale basin of the northeast Estonia. *Acad. of Sciences of Belorussian SSR. Cand. Theses*, Minsk, 22 (vene keeles, inglise keelse tõlkega).

## Lisad

Lisa 1. Läbilõige A–A' MgO ja lahustumatu jäägi sisaldusega

Lisa 2. Läbilõige B–B' MgO ja lahustumatu jäägi sisaldusega

Lisa 3. Läbilõige C–C' MgO ja lahustumatu jäägi sisaldusega

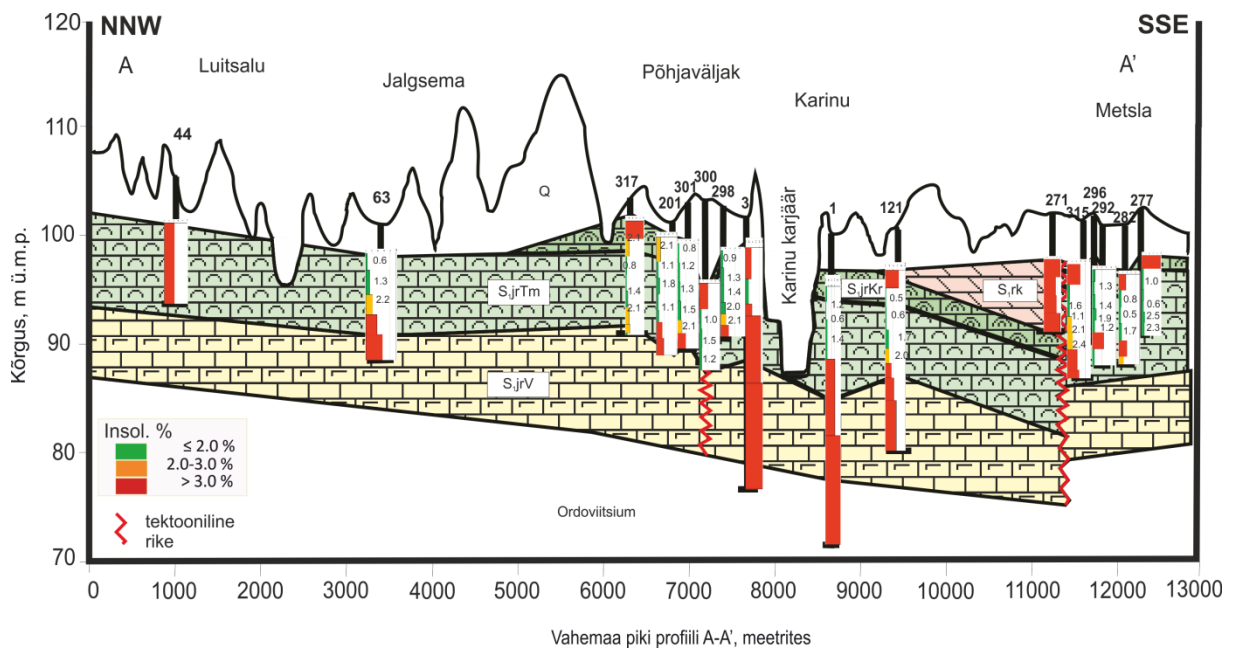
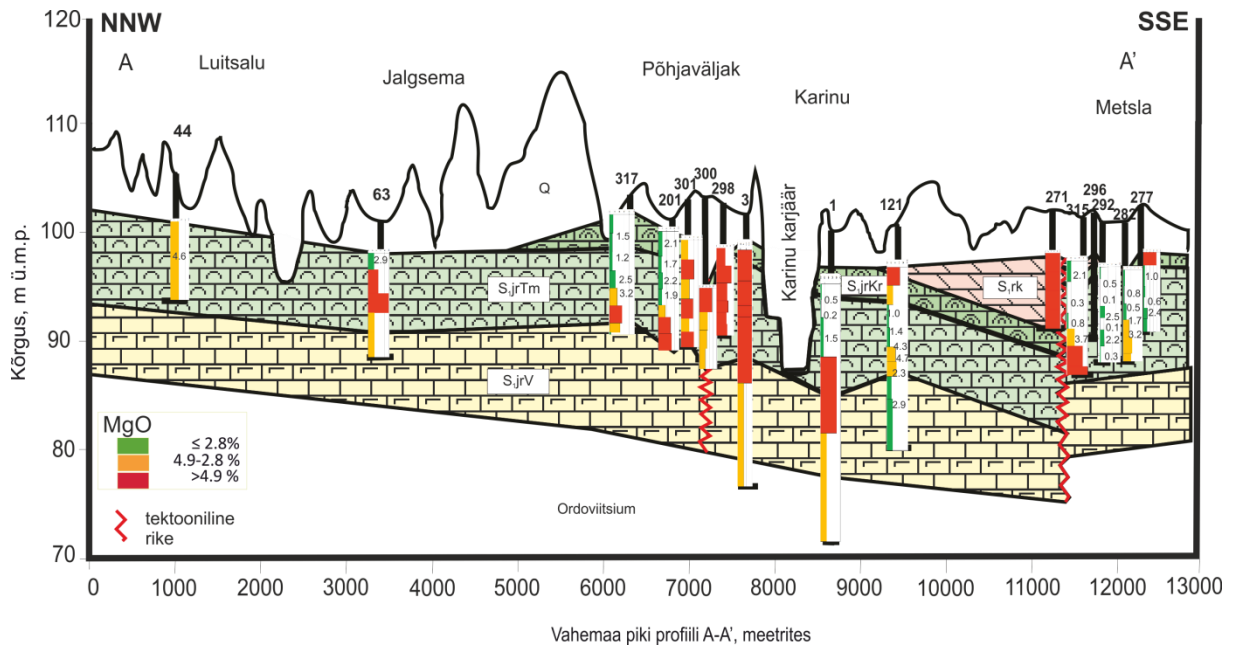
Lisa 4. Läbilõige D–D' MgO ja lahustumatu jäägi sisaldusega

Lisa 5. Läbilõige E–E' MgO ja lahustumatu jäägi sisaldusega

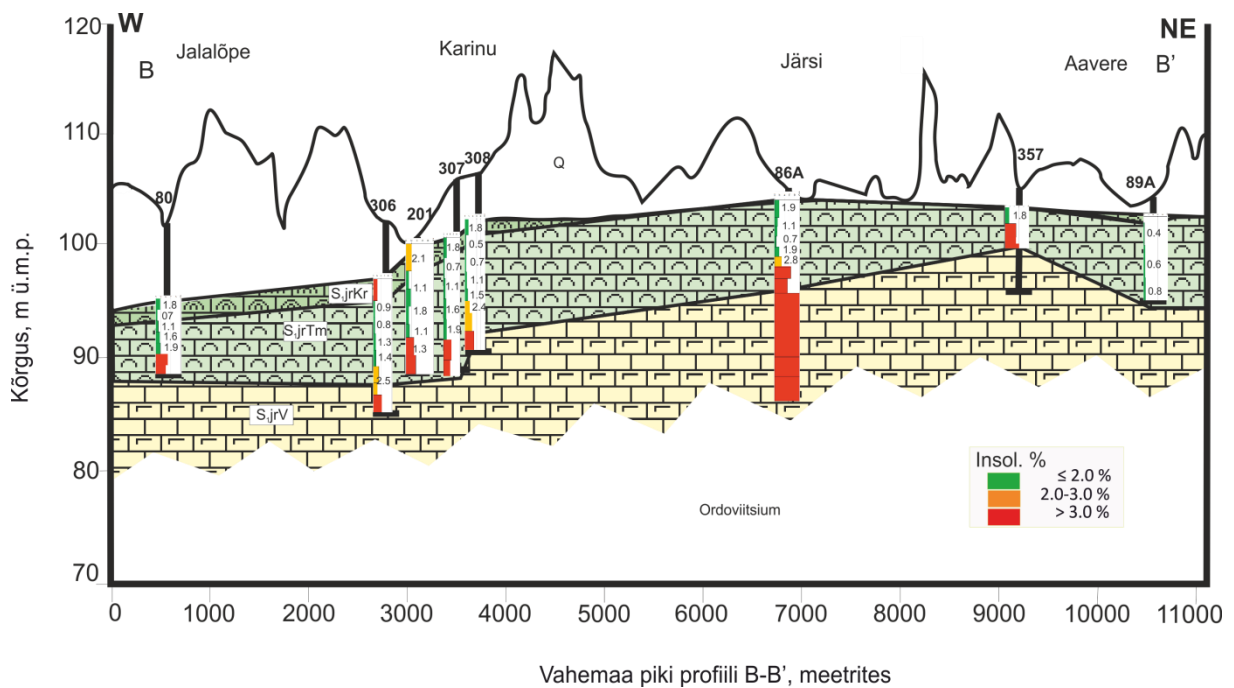
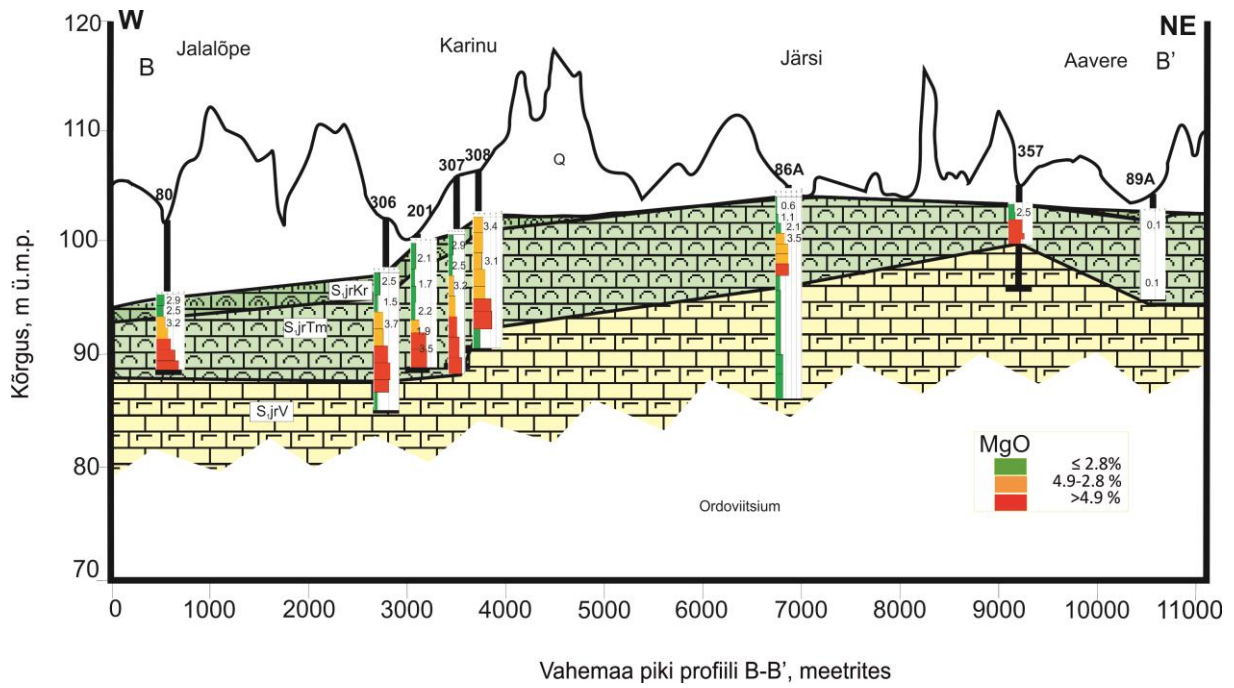
Lisa 6. Läbilõige F–F' MgO ja lahustumatu jäägi sisaldusega

Lisa 7. Läbilõige G–G' MgO ja lahustumatu jäägi sisaldusega

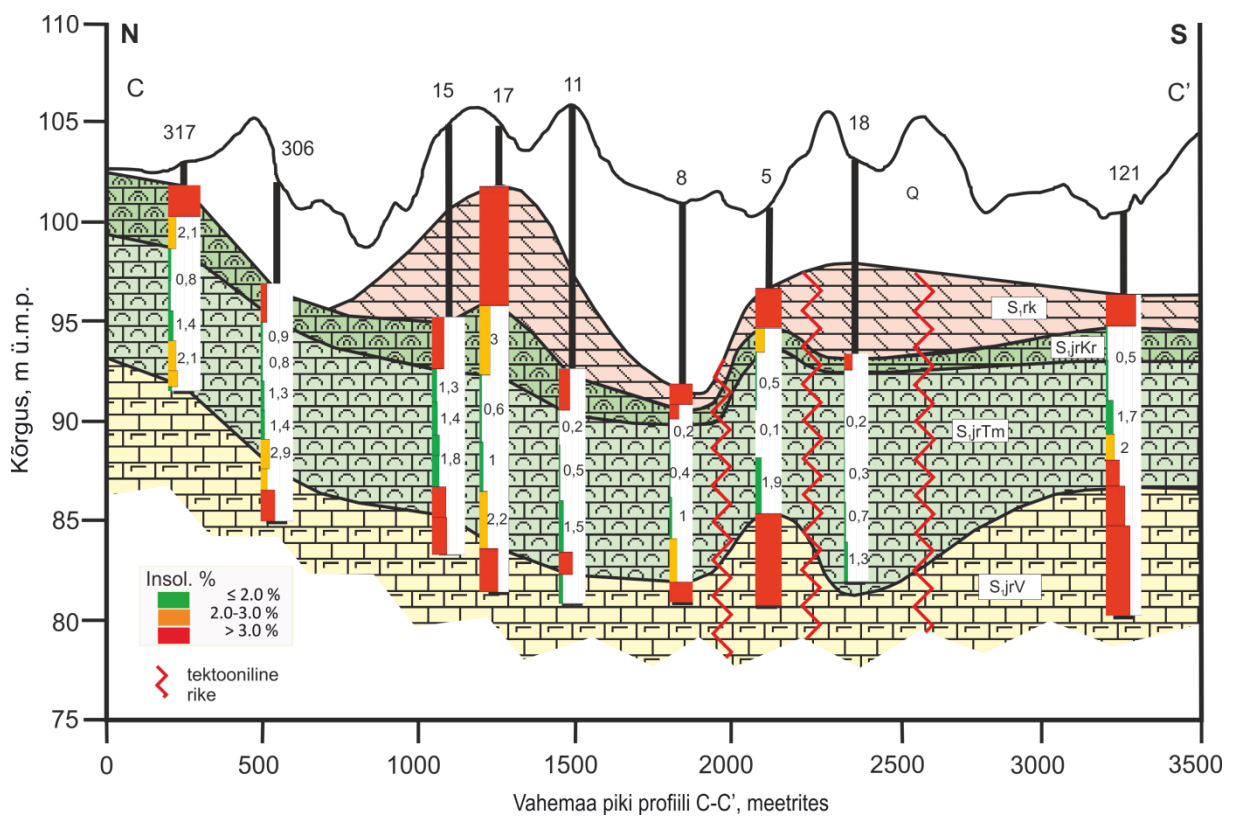
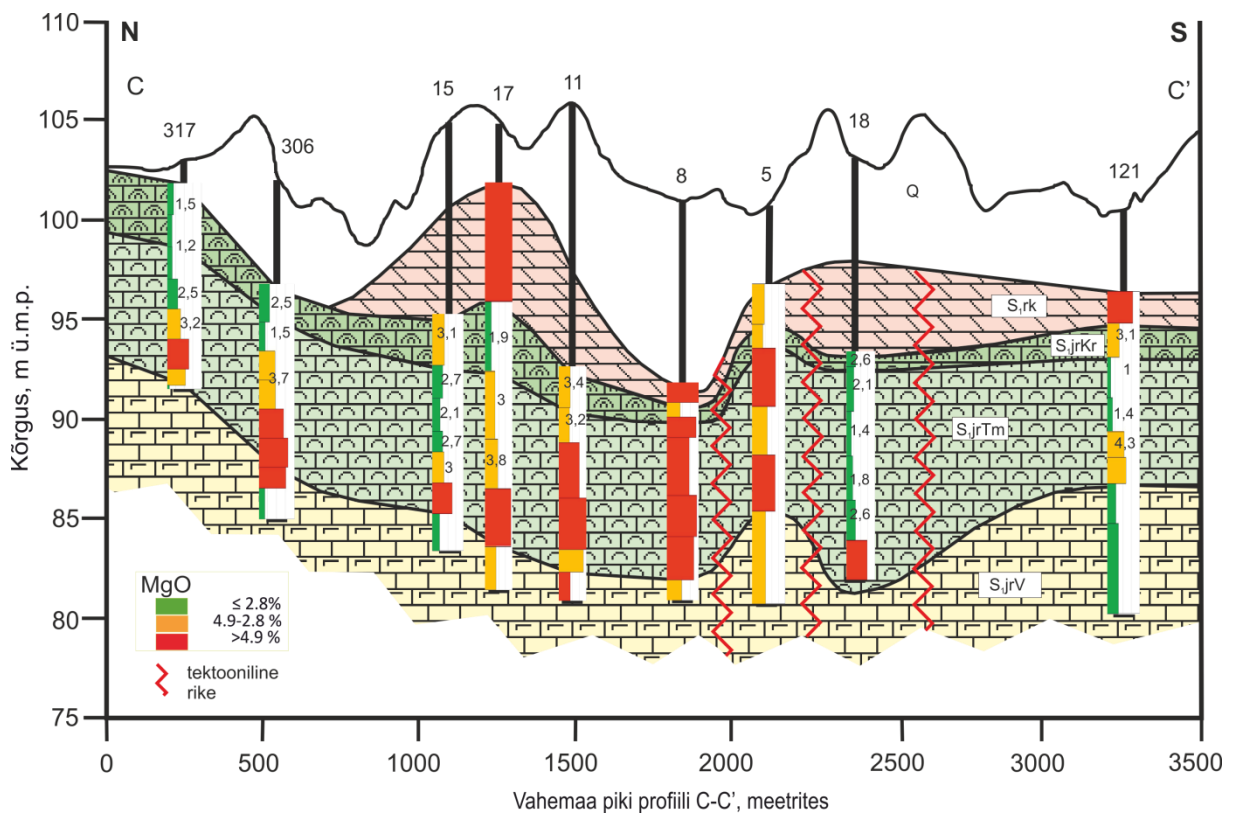
Lisa 8. Läbilõige H–H' MgO ja lahustumatu jäägi sisaldusega



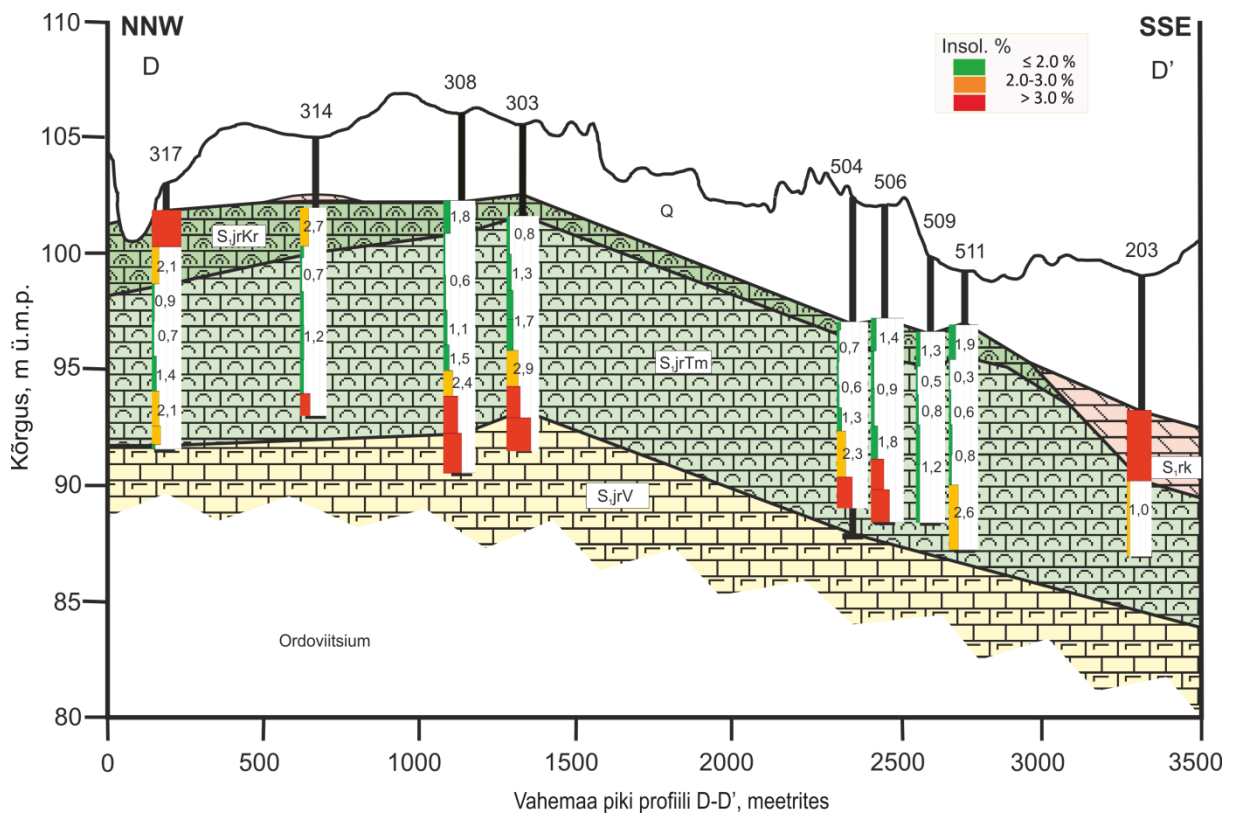
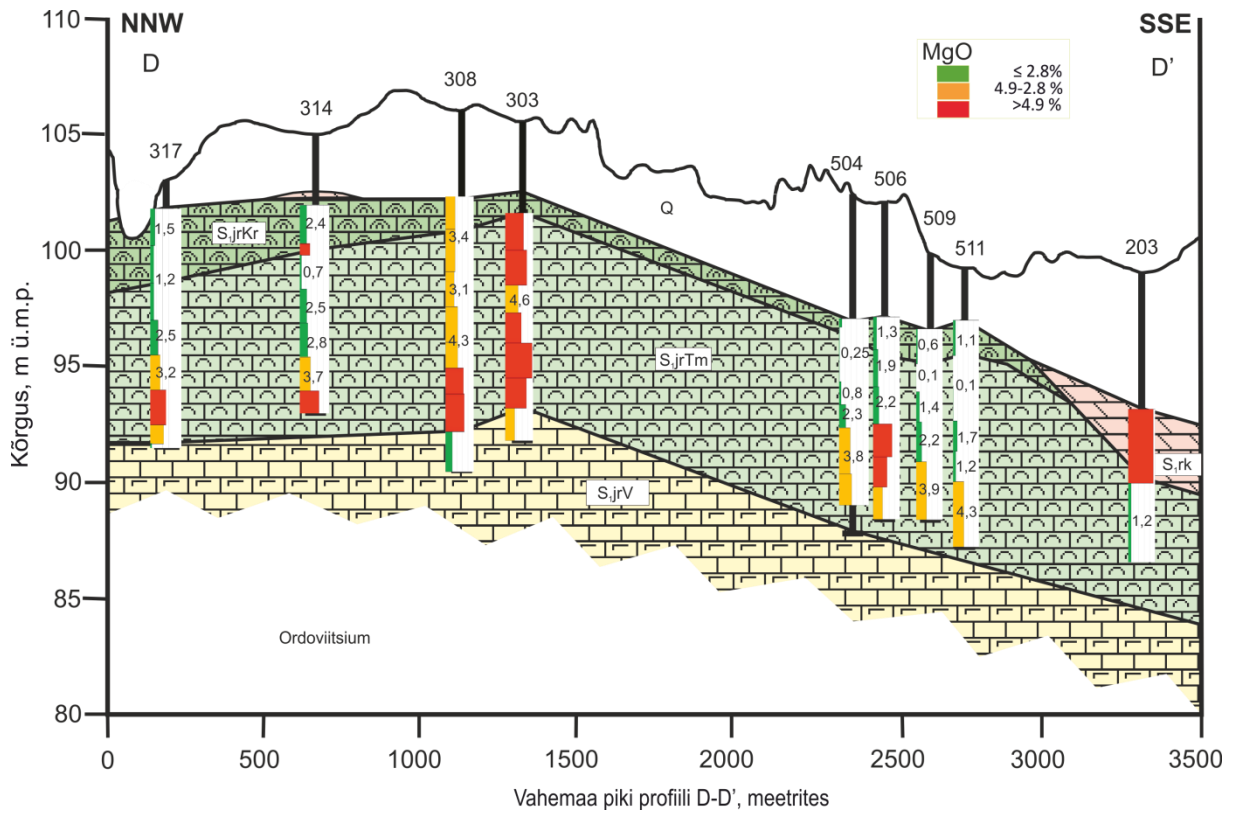
Lisa 1. Läbilõige A–A' MgO ja lahustumatu jäägi sisaldusega



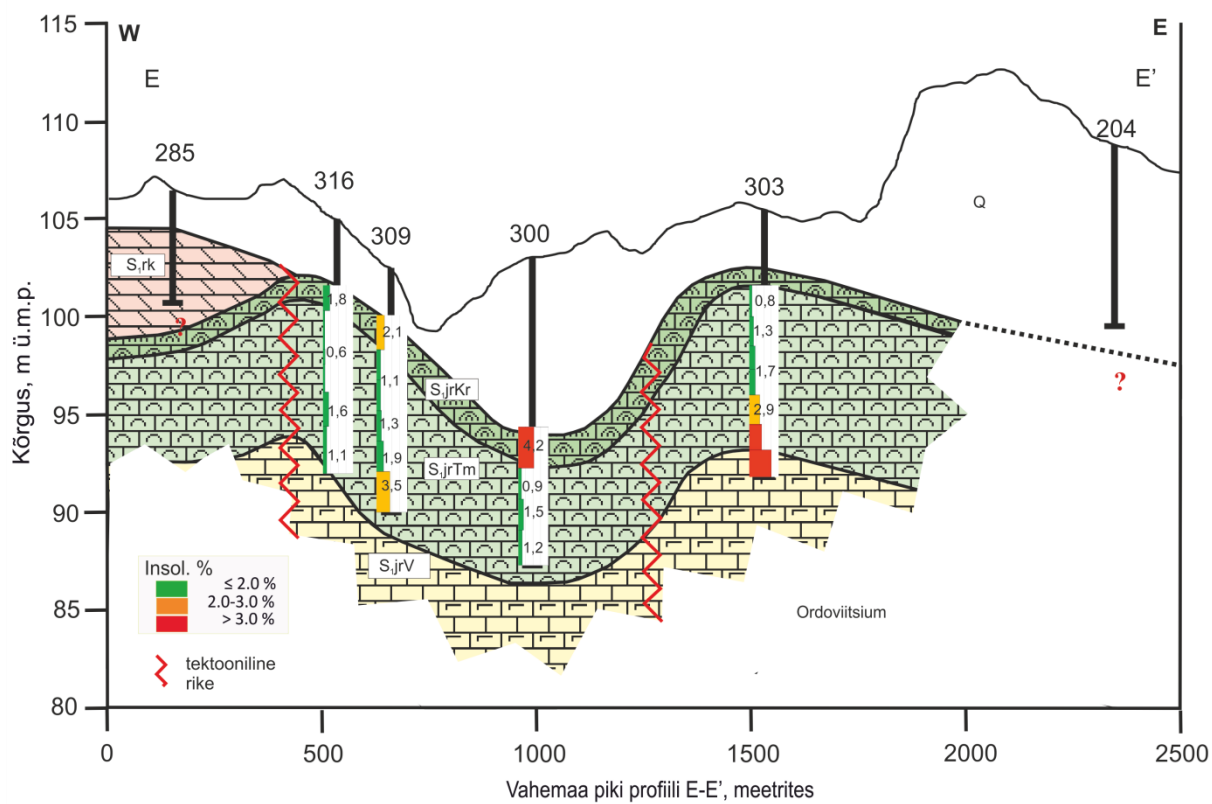
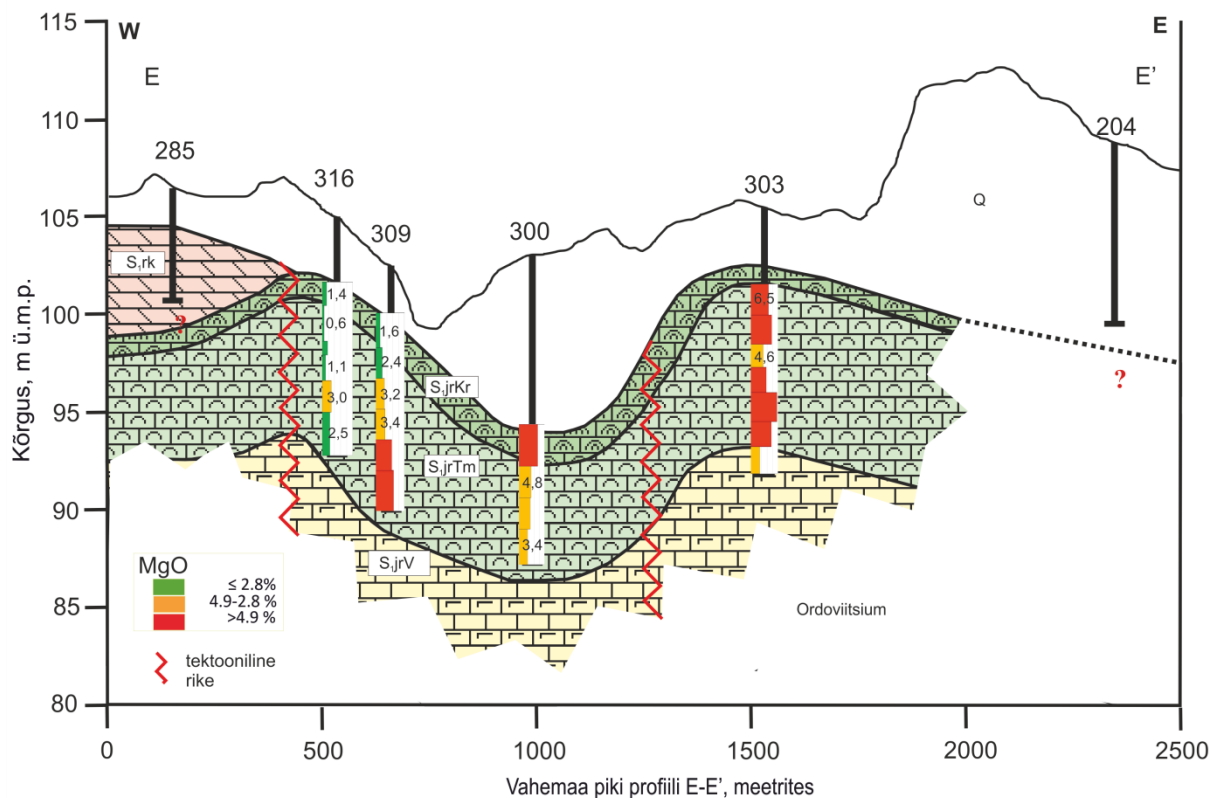
Lisa 2. Läbilõige B–B' MgO ja lahustumatu jäägi sisaldusega



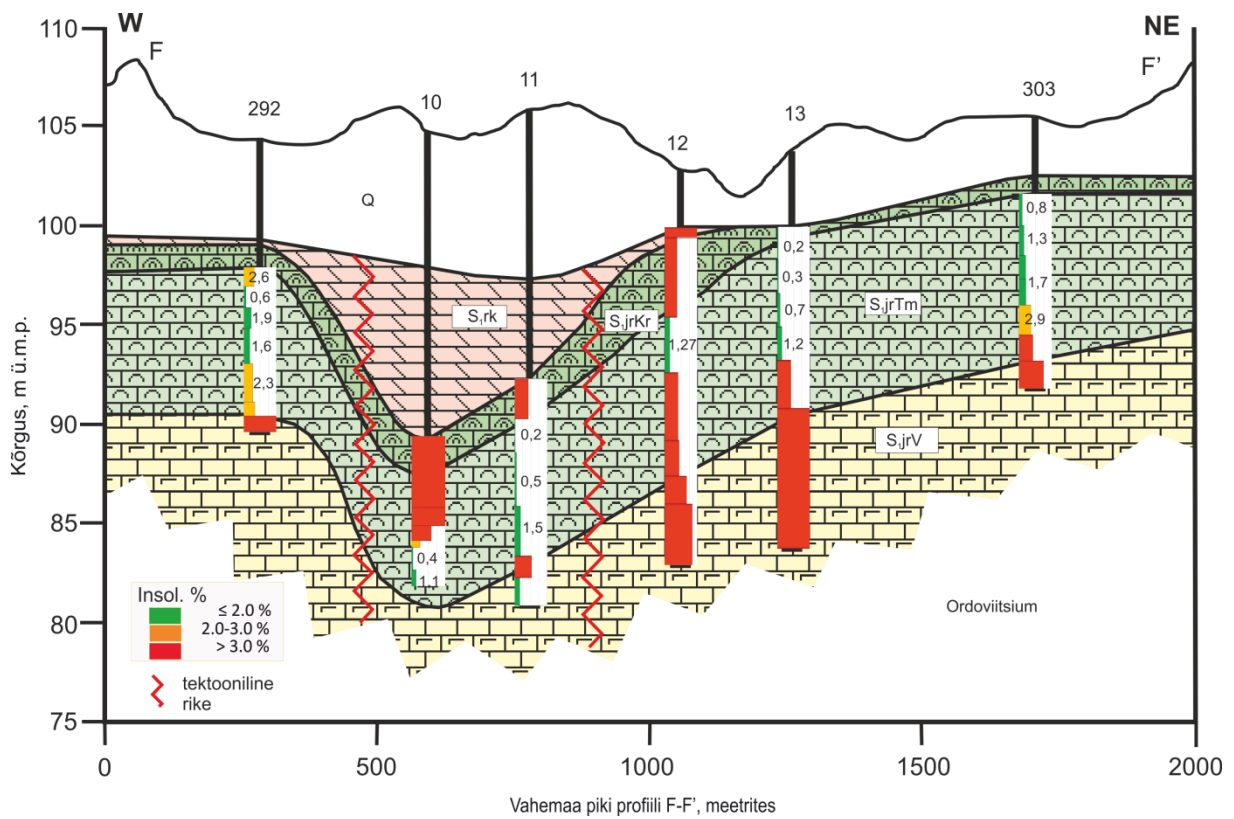
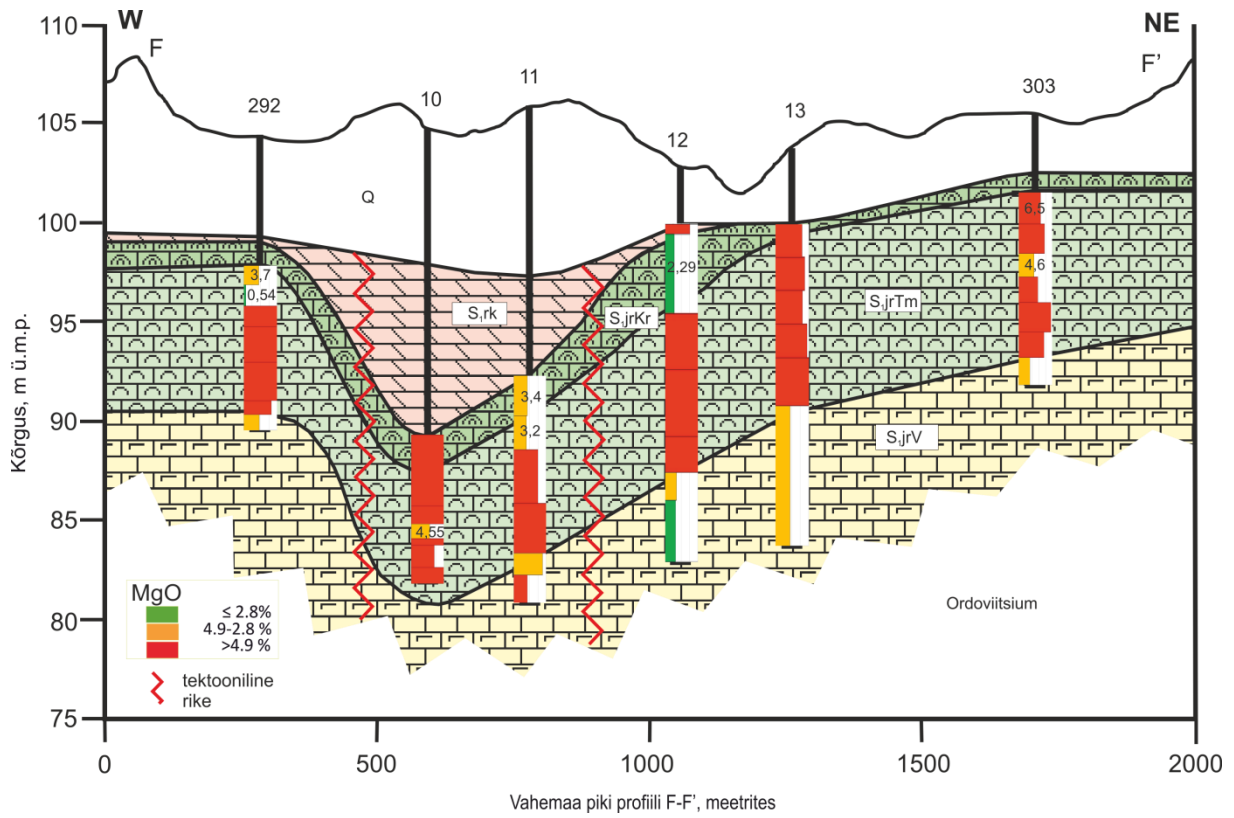
Lisa 3. Läbilõige C-C' MgO ja lahustumatu jäägi sisaldusega



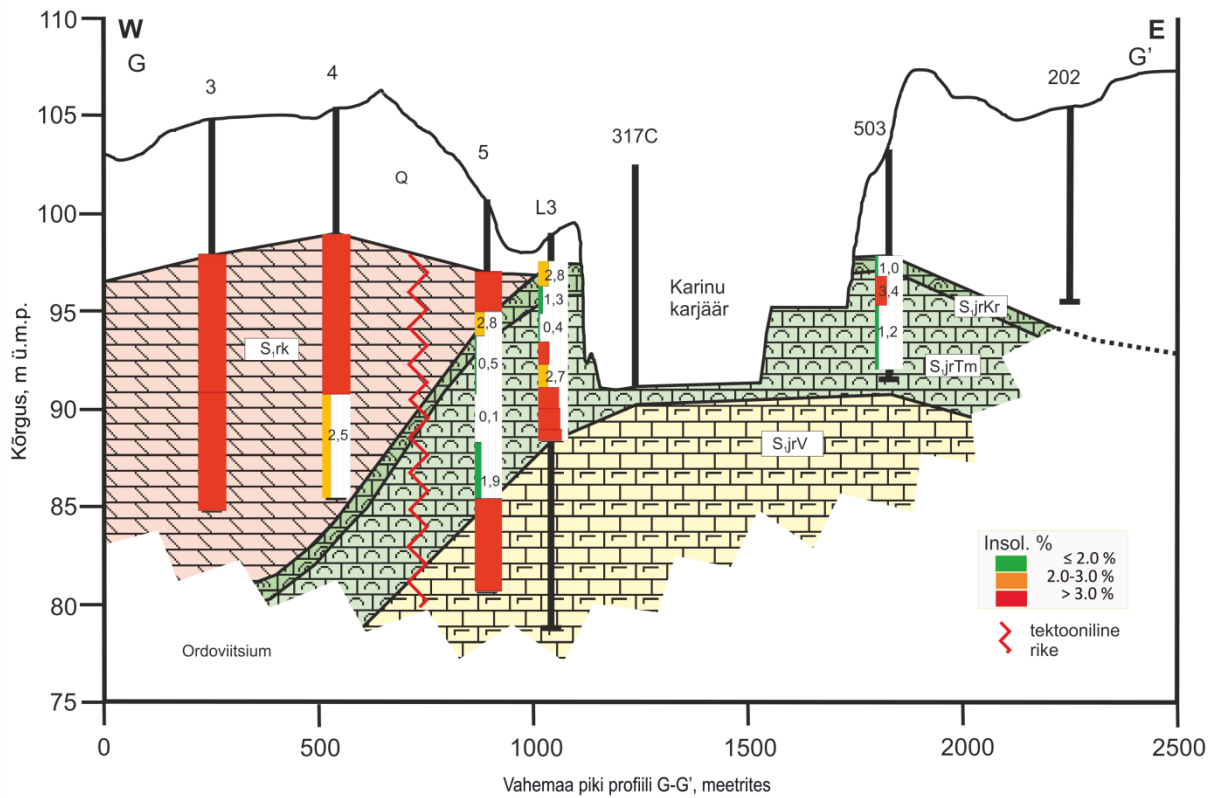
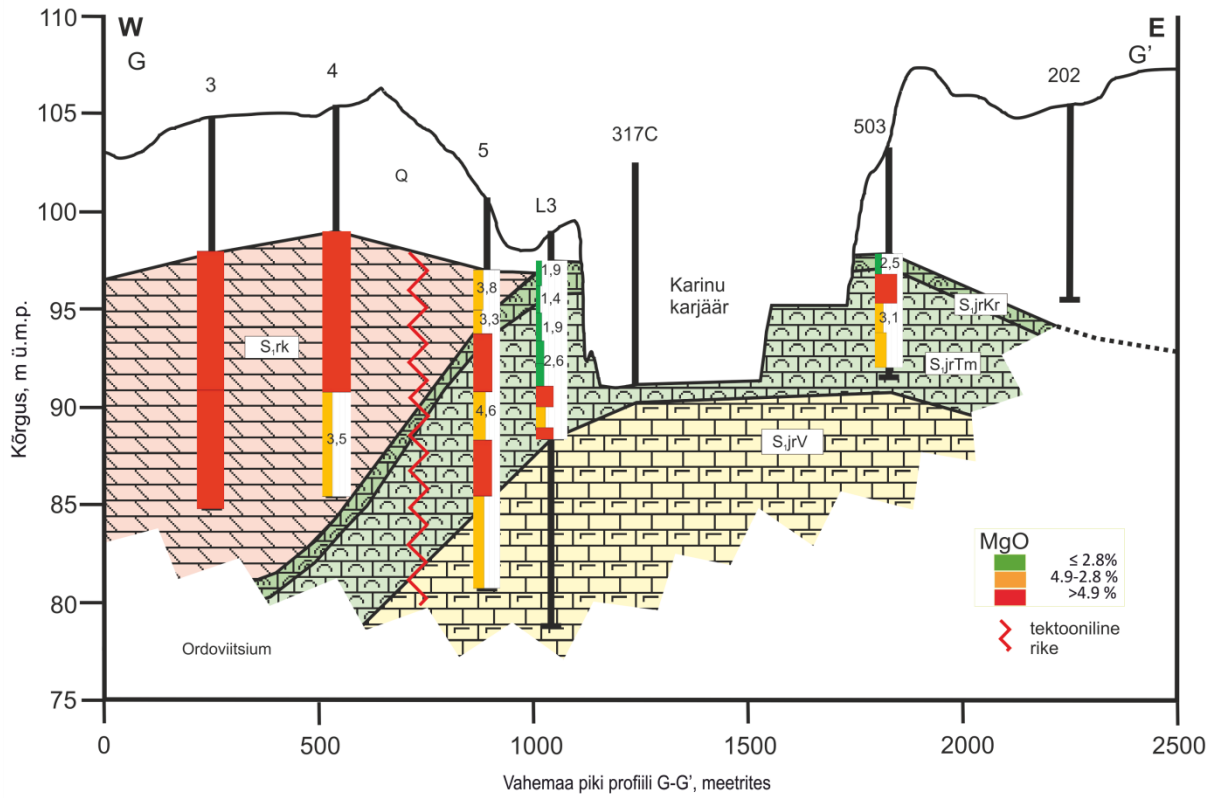
Lisa 4. Läbilõige D–D' MgO ja lahustumatu jäägi sisaldusega



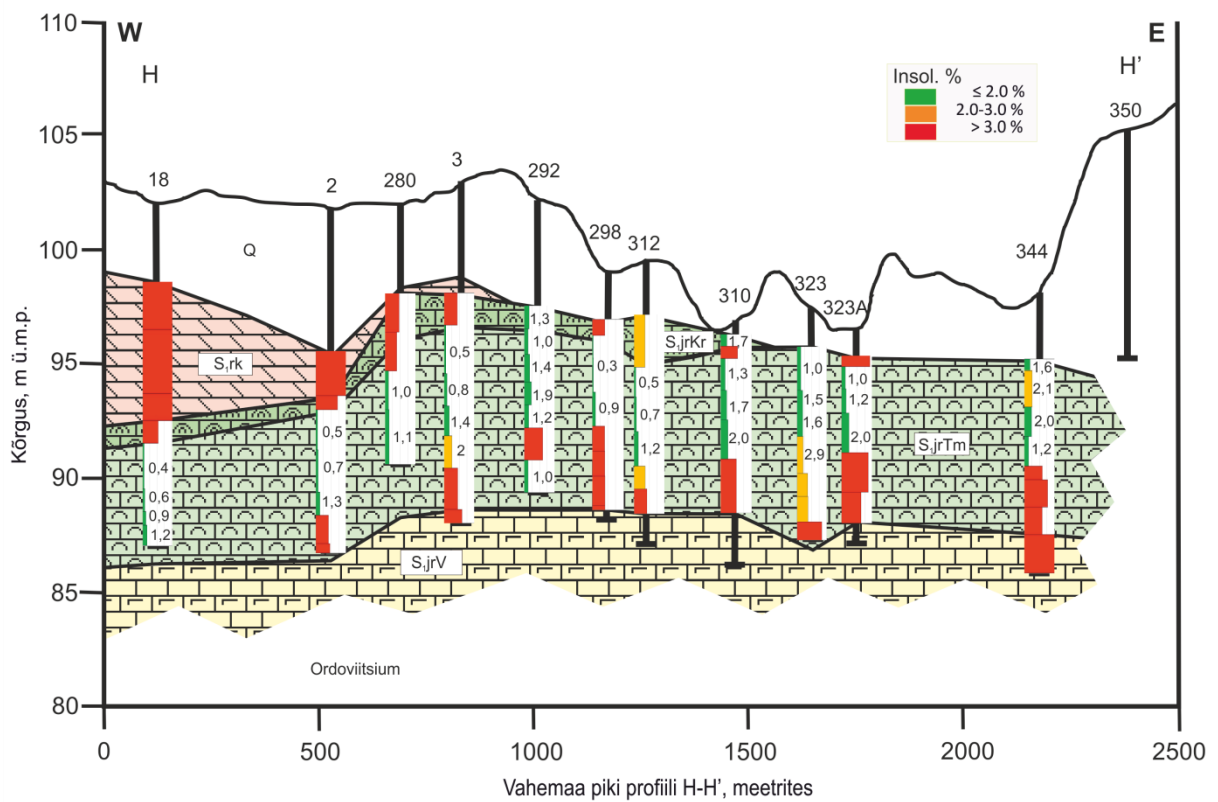
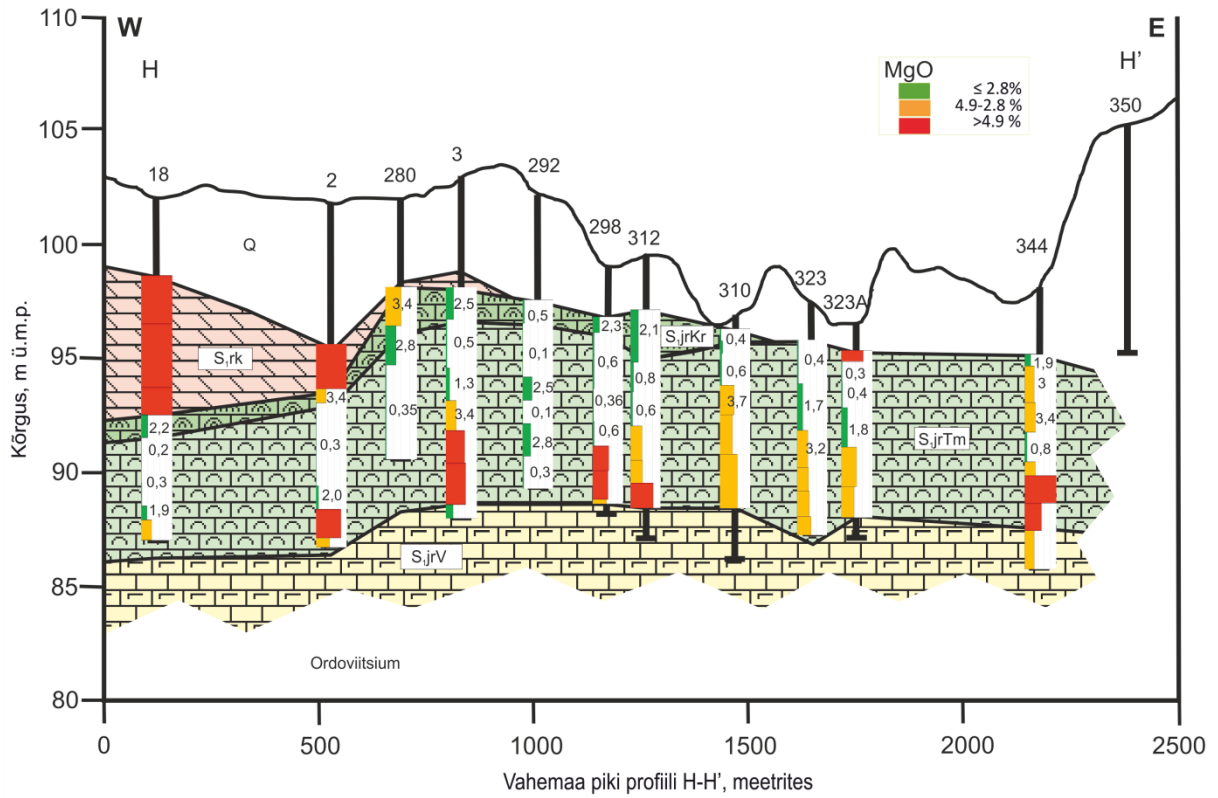
Lisa 5. Läbilõige E-E' MgO ja lahustumatu jäägi sisaldusega



Lisa 6. Läbilõige F-F' MgO ja lahustumatu jäägi sisaldusega



Lisa 7. Läbilõige G–G' MgO ja lahustumatu jäägi sisaldusega



Lisa 8. Läbilõige H-H' MgO ja lahustumatu jäägi sisaldusega

## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks**

Mina, Kristiina Ojamäe

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Siluri karbonaatkivimite lasuvusrikked Pandivere kõrgustiku edelaosas ja nende mõju tehnoloogilise lubjakivi maardlatele”

mille juhendajad on Alar Rosentau, Leho Ainsaar, Väino Puura,

reprodutseerimiseks ainult säilitamise, sealhulgas digitaalarhiivis DSpace säilitamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni. Lõputöö avaldamine ei ole lubatud.

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud reprodutseerimise õigus jääb alles ka autorile.
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus, **26.05.2014**