

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

Triinu Pärn

IREVIKENI SÜNDMUSE KAJASTUS LLANDOVERY JA WENLOCKI
PIIRIKIHTIDES LÄÄNE-EESTIS

Magistritöö
Juhendajad: (PhD) Leho Ainsaar
Eesti Geoloogiakeskus, vanemgeoloog Anne Põldvere

Kaitsmisele lubatud:
Kuupäev:
Allkiri:

TARTU 2013

Sisukord

Annotatsioon.....	3
1. Sissejuhatus	4
2. Geoloogia põhijooned	5
3. Materjal ja meetodika.....	8
3.1. Puursüdamiku välikirjeldus	8
3.2. Laboratoorsed tööd	10
4. Tulemused	11
5. Arutelu	19
6. Järeldused	26
7. Kokkuvõte	27
Tänuavaldused	28
Kasutatud kirjandus	29
Summary.....	31
Lisad	32
LISA 1 Paatsalu (527) ja Nurme puursüdamike välikirjeldused	33
LISA 2 Õhikud Nurme ja Paatsalu (527) puursüdamikust	44
LISA 3 Nurme puursüdamiku lahustumatu jäägi tabel	52
LISA 4 Keemiliste analüüside tabel	54

Annotatsioon

Irevikeni sündmuseks nimetatakse liikide massilise väljasuremise sündmust Llandovery ja Wenlocki piiril. Sündmuse nimi tuleneb Gotlandi saarelt Rootsist, kus paikneb põhjalikult uuritud liikide kadumise ja ilmumise muutustega samanimeline paljand. Irevikeni sündmuse ajal suri välja 50% trilobiidi ja 80% konodondi liikidest.

Uuriti Llandovery ja Wenlocki piirikihtide litoloogiat mandri-Eesti lääneosas paiknevate Nurme ja Paatsalu (527) puursüdamikes selgitamaks settekeskkondade muutusi selles intervallis. Llandovery ja Wenlocki ladestike piir on Eestis korreleeritud Adavere ja Jaani lademe piiriga ning see tase on seostatav globaalse Irevikeni keskkonnasündmusega. Puursüdamike välikirjelduste täpsustamiseks võeti proovid kivimite laboratoorseks uurimiseks. Nurme puursüdamikust kirjeldati binokulaari abil 59 mikrofauna lahustamise jääki. Mõlemast puursüdamikust kirjeldati polarisatsioonimikroskoobi abil kokku 9 õhikut. Paatsalu (527) puursüdamiku kivimite koostise täpsustamiseks kasutati Tallinna Tehnikaülikooli geokogude andmebaasis säilitatud Erika Jürgensoni 51 keemilise proovi (CaO, MgO, CO₂ ja lahustamatu jääk; 70ndate aastate andmed) analüüsi tulemusi.

Mõlema puursüdamiku piirikihtide kivimi tugev savikus muutis Velise ja Jaani kihistu ning vastavalt Adavere ja Jaani lademe litoloogiliste piiride määramise välitingimustes keeruliseks. Käesoleva töö tulemusena korrigeeriti Nurme puursüdamiku läbilõikes lademete esialgset piiri sügavusel 17,9 m, mis viidi laboratoorsete uuringute andmetele ja publitseeritud K-bentoniitide korrelatsioonidele toetudes sügavusele 13,2 m.

Puursüdamike kivimite litoloogia tundmaõppimisel ja tõlgendamisel Llandovery ja Wenlocki piirikihtides keskenduti detailidele, mis viitavad settekeskkonna muutustele. Kivimi keemilise koostise ja struktuurse ehituse muutuste kõrval olid määravaks kivimi tekstuurid, elutegevuse jälgede kivististe orientatsioon, püriidi ja glaukoniidi esinemisvormid ning K-bentoniidi kihtide esinemine ja korrelatsioon. Arvestades K-bentoniitide koostist ja katkestuspindade levikut on Llandovery ja Wenlocki ladestike piir ehk Irevikeni sündmusega seotud kihtide alumine piir Paatsalu (527) ja Nurme puursüdamikus vastavalt 70,0 ja 13,2 m sügavusel.

MÄRKSÕNAD: karbonaatkivimid, Llandovery ja Wenlocki piirikihid, Irevikeni sündmus, K-bentoniit, Baltoskandia basseini.

1. Sissejuhatus

Magistritöö eesmärgiks oli Llandoverly ja Wenlocki piirikihtide litoloogia uurimine Nurme ja Paatsalu (527) puursüdamikus ning nende sidumine bakalaureusetöös uuritud Pärnu-Jaagupi ja Suigu (S-3) puursüdamike andmetega. Nurme ja Paatsalu (527) puursüdamike uurimistulemuste analüüs ja vormistamine arvestas piirkonna geoloogilise arenguloo iseärasusi. Adavere, Jaani ja Jaagarahu lademete karbonaatkivimite uurimisel tuli lähtuda krono- ja litostratigraafia ning fatsiaalse analüüsi põhimõtetest. Dolomiidistunud kivimite läbilõigete dokumenteerimisel tuli arvestada diagenetiliste protsesside kirjeldamise meetodikat.

Puursüdamike kirjeldamisel tuli määrata Velise ja Jaani kihistu ning sellele vastava Adavere ja Jaani lademe litoloogiline piir ja hinnata kivimi litoloogia järgi settekeskkonnas toimunud muutusi keskendudes Irevikeni sündmusega seotud intervallile. Uuritavad kivimid on eriti huvitavad just selle poolest, et Siluri ajastut on peetud suhteliselt stabiilse kliimaga perioodiks, mille jooksul on toimunud mitmed elustiku väljasuremise ja settekeskkonna muutuste sündmused. Irevikeni sündmus on neist kõige ulatuslikum ja tähelepanuväärsem, kuna enam kui pool sellel perioodil elanud liikidest suri välja, samal ajal sulgus Iapetuse ookean ja toimus Laurentia ja Baltika kokkupõrge, mille tagajärjel tekkisid kaledoniidid (Munnecke jt. 2010).

Minu ülesandeks oli Nurme ja Paatsalu (527) puursüdamike kivimite kirjeldamine ning välikirjelduste täpsustamine binokulaari ja mikroskoobi abil uuritud kivimpalade andmetega. Analüüsides kivimite koostist, struktuure ja tekstuure otsisin seoseid Llandoverly ja Wenlocki ajastiku settekeskkonna muutustele viitavatele litoloogilistele tunnustele, mis võiksid olla seotud Irevikeni sündmusega.

Puursüdamike uurimine oli seotud Tallinna Tehnikaülikooli Geoloogia Instituudi vanemteaduri Peep Männiku uurimistööga (ETF8907), mis käsitleb muutusi Telychi ja alam-Sheinwoodi globaalsete lademete konodondifaunas Baltikumi põhjaosas. Paatsalu (527) ja Nurme puursüdamike litoloogiline uurimine on üks osa eelmainitud tööst ja täiendab bakalaureusetöös Pärnu-Jaagupi puursüdamiku kivimitest kogutud materjale (Pärn 2011).

2. Geoloogia põhijooned

Siluri ajastul toimusid mitmed korduvad kliimamuutused, mis said alguse juba Hilis-Ordoviitsiumis. Ordoviitsiumi ajastu lõpus paiknes Baltika kontinent (koos tänapäevase Eesti alaga) lõunapoolkeral ja liikus koos Avaloonia kontinendiga põhja poole põrkudes Laurentia kontinendiga Wenlocki alguses. Kokkupõrke tagajärjel sündis Kaledoniidide mäestik tänapäevase Skandinaavia territooriumil. See sündmus tõi kaasa intensiivse vulkaanilise tegevuse, millele viitavad K-bentoniitide kihid Baltikumi läbilõigetel. Sel ajajärgul toimus ka graptoliitide ja konodontide väljasuremine Irevikeni sündmuse perioodil, mis jäi suhteliselt sooja kliima perioodi (Lehnert jt. 2010).

Baltoskandia basseini oli epi- kuni perikontinentaalne, asudes Baltika ürgmandri ja Ida-Euroopa kraatoni äärealal. Rififaatsiaste alad, mis eksisteerisid juba Hilis-Ordoviitsiumis, olid vähem mõjutatud Hilis-Ordoviitsiumi ja Vara-Siluri jäätumisest. Rifid koosnesid tabulaatidest ja rugoosidest, aga ka stromatopoorid moodustasid riffe nii Baltika lõunapoolses osas kui ka globaalselt. Normaalmereelise põhjaelutikus põhilisteks esindajateks Siluri ajastul olid brahhiopoodid, trilobiidid, krinoidid, ostrakoodid ja sammalloomad (Calner 2008).

Madalaveelises karbonaatses settekeskkonnas tekkinud kivimite globaalseks biostratigraafiliseks korreleerimiseks kasutatakse konodontide fragmente, mis pärinevad pelaagilisest keskkonnast. Pelaagilise ökosüsteemi keerukusele viitavad ka sellised mikrofossiilid nagu akritarhhid, kitiinikud ja graptoliidid. Siluris toimunud väljasuremised mõjutasid suuresti kindlaid faunagruppe, kuid suures plaanis olid ökoloogilised mõjutused võrreldavad Hilis-Ordoviitsiumi ajastikul toimunuga (Calner 2008).

Hilis-Llandovery ja Kesk-Wenlocki ajastiku makrotsükkel algas Baltoskandia basseini pikaajalise merevee transgressiooniga, mis kestis Adavere east Kesk-Jaani eani. Merevee taseme kõrge seis oli ilmselt tingitud kiirenenud ookeanipõhja laienemisest, mis kaasnes vulkaanilise tegevuse intensiivistumisega Iapetuse ookeani sulgumisel (Nestor ja Einasto 1997).

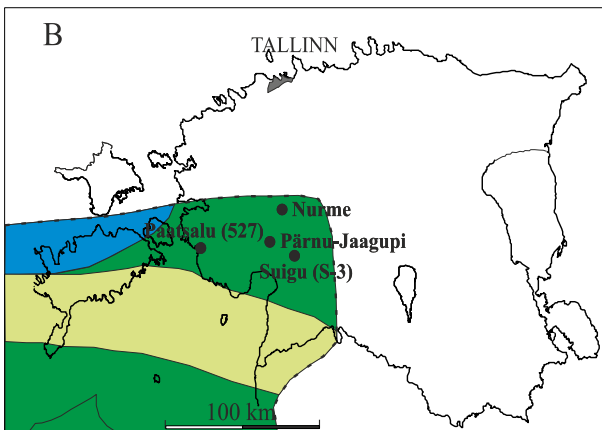
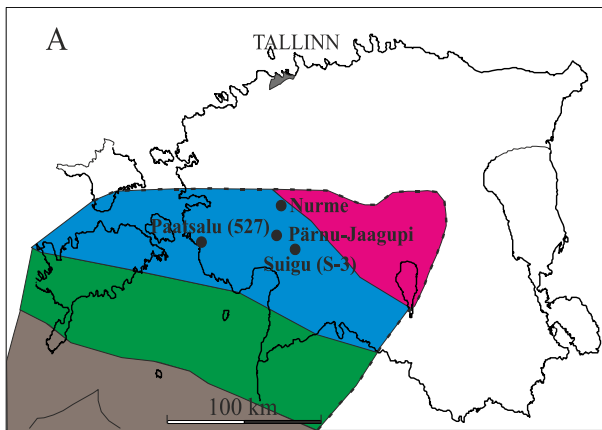
Varapaleosoilist Baltoskandia basseini, mis asus Ida-Euroopa kraatoni (mandri stabiilne keskosa) äärealal, hõlmates enda alla Põhja-Poola, Ida-Baltimaad, Gotlandi ja praeguse Läänemere, on tavaliselt peetud platvormseks sisemereks. Siluri ajastul moodustusid

Baltoskandia basseinis mitmesugused karbonaatsed ja suhteliselt ühetaolised mudalised terrigeensed setted. Primaarsete setteosakeste ainelise koostise ja granulomeetria järgi võib eraldada viis põhilist settetüüpi: I – dolomiitmuda, II – teralised lubisetted, III – teralis-mudalised lubisetted, IV – lubi-terrigeensed mudad, V – terrigeensed mudad. Need settetüübid paiknevad basseinis fatsiaalsete vöönditena, subparalleelselt omaaegse rannajoonega, kusjuures dolomiitmudad on kõige rannalähedasemad, terrigeensed mudad kõige kaugemad. Dolomiitmudadega esindatud fatsiaalne vöönd vastab tänapäeva tõusumõõnatasandikule. II fatsiaalse vööndi karbiliivasetted on ilmselt kujunenud aktiivse lainetuse vööndis. III fatsiaalne vöönd, mis on esindatud teralis-mudaliste lubjakividega, vastab avašelfile. IV vööndi merglid ja karbonaatsed savid on moodustunud mandrinõlva ülaosa setetest. V vööndi graptoliitargilliite võib pidada mandrinõlva alumise depressiooniosa seteteks. Seega on Baltoskandia basseini piires tegemist ühelt poolt šelfi setetega, kuhu kuuluvad I–III fatsiaalse vööndi setted, mis kokku moodustavad karbonaatse setteformatsiooni; ning teiselt poolt nn basseiniliste setetega, kuhu kuuluvad IV ja V fatsiaalse vööndi setted, mis moodustavad peen-terrigeense setteformatsiooni (Nestor ja Einasto 1977).

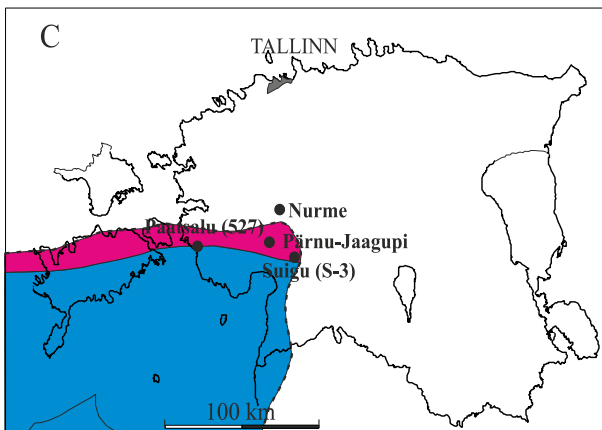
Hilis-Llandoveri ja Kesk-Wenlocki ajastikul algas Balti basseini mere pikaajaline pealetung maismaa-aladele, mis kestis Adavere algusest kuni Jaani eani (Joonis 2A, B). Mere pealetung toimus kahes osas. Rumba ajal settisid avatud šelfi osas bioklastilised savikad lubimudad ja kuhjusid brahhiopoodide *Pentamerus oblongus*'e karbid. Brahhiopoodide skeletifragmentide kuhjete alla mattusid erinevad Raikküla ea setendid. Velise ajal toimus mere sügavnemine. Settisid avamere savikad setted ja ülemineku faatsies kattis kogu Ida-Balti basseini piirkonna. Sügavaveeliste tugevalt savikate setete kuhjumine jätkus ka Wenlocki ajastiku alguses, Jaani eal. Vahekihtidena settisid Hilis-Llandoveri ja Vara-Wenlocki ajastikul ka vulkaanilise päritoluga setete kihid, mis annavad tunnistust omaaegse Iapetuse ookeani arengust (Nestor ja Einasto 1997).

Jaani ea keskel alanes merevee tase Balti basseini äärealadel kiiresti. Saaremaal arenesid Ninase ajal madalikele iseloomulikud faatsiesed, kus kujunesid rifid ja skeletifragmentide purunemisel tekkinud karbonaatliivade vööndid. Lahekujulise Balti basseini ääremere sügavamates osades settisid samal ajal graptoliite sisaldav tumehall muda (Nestor ja Einasto 1997). Jaagarahu eal jätkus järk-järguline merevee taseme alanemine Balti basseini äärealadel (Joonis 2C), mida katkestasid lühikesed merevee sügavnemise perioodid.

Jaagarahu ea lõpupoole sedimentatsioon lakkas ja kulutus levis üle šelfi platoo. Maksimaalse veetaseme alanemise ajal Jaagarahu ea lõpupoole moodustusid basseini madalamates osades savikad lubimudad, mis märkisid Hilis-Llandovery ja Kesk-Wenlocki makrotsükli lõppu basseini arengus (Nestor ja Einasto 1997).



- bio- ja litoklastilised lubjakivid (teralised lubjakivid)
- savikad teralised lubjakivid
- merglid ja domeriidid
- merglid ja savid lubjakivi mugulatega ning merglid ja domeriidid
- savi
- kivimite levila piir



Joonis 1. Llandovery lõpu (A), Wenlocki alguse (B) ja Wenlock'i lõpu (C) faatsieste skeem Nestori ja Einasto (1977) järgi.

3. Materjal ja metoodika

3.1. Puursüdamiku välikirjeldus

Käesolevas töös kirjeldan Nurme ja Paatsalu puursüdamikke, mille valis Tallinna Tehnikaülikooli Geoloogia Instituudi paleontoloog ja vanemteadur Peep Männik Llandovery ja Wenlocki piirikihtide uurimiseks. Puursüdamikke hoitakse Särghaua välibaasis, kus käisin koos Peep Männiku ja Anne Põldverega (Eesti Geoloogiakeskus) 2012 aasta mais.

Puursüdamike välikirjelduse tegemiseks tuli: (1) korrastada puursüdamik; (2) piiritleda litostratigraafilised üksused; (3) määrata kivimikomplekside ja tähtsamate kihipindade sügavused; (4) markeerida uued sügavused ja stratigraafilised piirid puursüdamiku kastidele; (5) kirjeldada kivim ja (6) võtta proovid. Puursüdamikust võeti kivimipalad 9 õhiku tarvis, mis said kirjeldatud laboratoorsete tööde käigus.

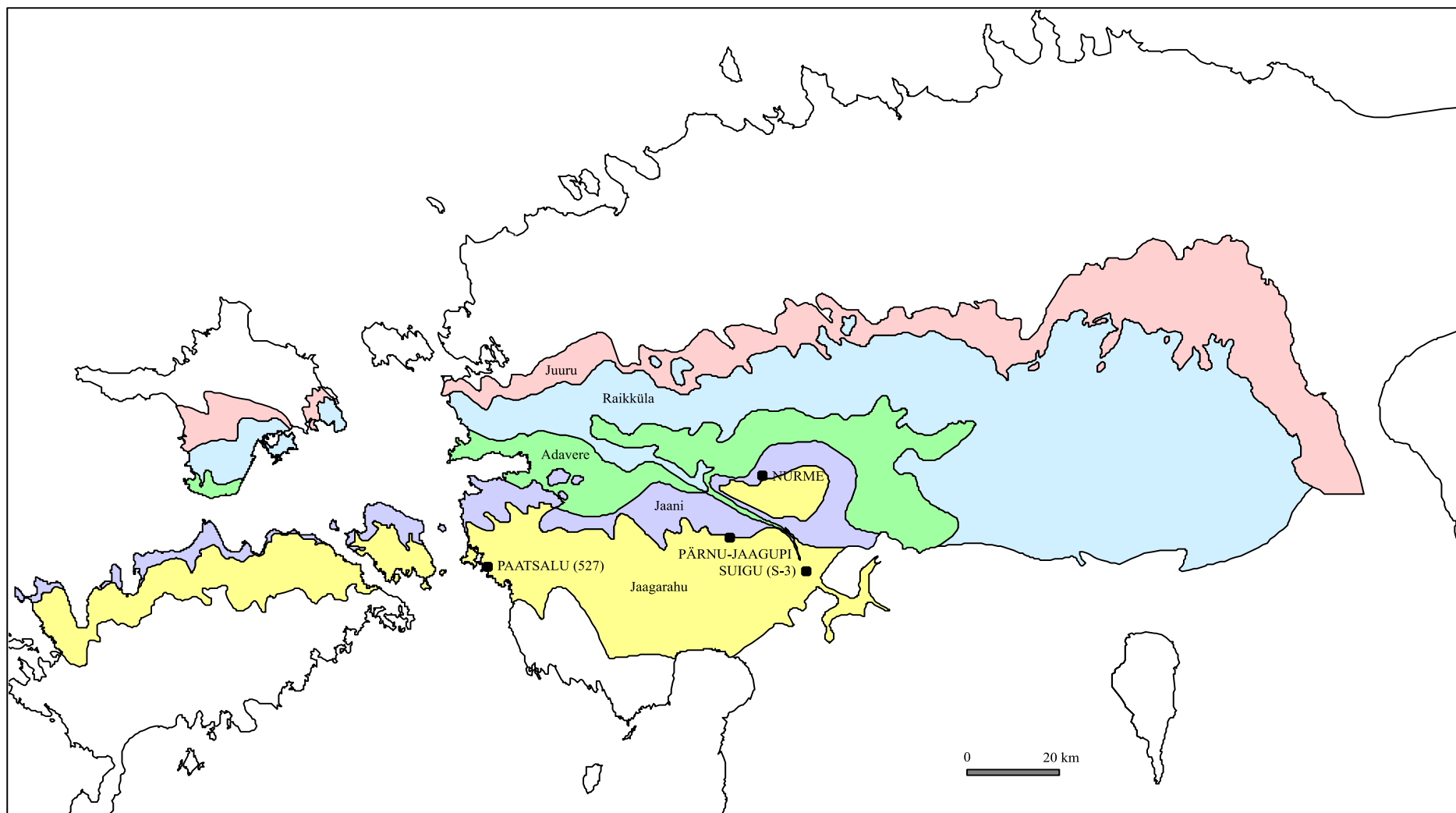
Paatsalu (527) ja Nurme puursüdamike litoloogilisi kirjeldusi on täiendatud õhikute kirjelduste, keemiliste analüüside (Paatsalu) ja mikrofauna proovide lahustumatu jäägi (Nurme) tulemuste alusel. Litostratigraafia üksuste piiritlemisel on lähtutud Heldur Nestori ja Rein Einasto käsikirjalistest materjalidest TTÜ Geoloogia Instituudi geoloogiliste kollektsioonide andmebaasis: http://sarv.gi.ee/search_simple.php?q=paatsalu).

Kirjeldatud komplekside piirid puursüdamikus on märgitud meetrites, mis on reastatud kompleksi kirjelduse ette järgnevalt: kompleksi ülemise piiri sügavus – kompleksi alumise piiri sügavus / sügavuste aritmeetiline vahe; puursüdamiku tegelik väljatulek kastis. Karbonaatkivimite struktuuride, tekstuuride ja savikuse osakaalu hindamisel on lähtutud alltoodud klassifikatsioonidest.

Struktuuride klassifikatsioon (Loog ja Oraspõld 1982): < 0,005 mm, peitkristalliline; 0,005–0,01 mm, mikrokristalliline; 0,01–0,05 mm, pisikristalliline; 0,05–0,1 mm, peenekristalliline; 0,1–1,0 mm, keskmisekristalliline; > 1 mm, jämedakristalliline.

Tekstuuride klassifikatsioon (Loog ja Oraspõld 1982): 0,2–2,0 cm, peenekihiline; 2–10 cm, keskmisekihiline; 10–50 cm, paksukihiline.

Lubjakivide ja dolokivide jaotus savikuse järgi (Oraspõld 1975): lahustumatu jääk (LJ) 10–15%, nõrgalt savikas; LJ 15–20% , keskmiselt savikas; LJ 20–25%, tugevalt savikas.



Joonis 2. Juuru, Raikküla, Adavere, Jaani ja Jaagarahu lademe avamused Nurme, Paatsalu (527), Suigu (S-3) ja Pärnu-Jaagupi puuraukude asendi skeem Pärn (2011) järgi.

3.2. Laboratoorsed tööd

Välitöödel tehtud makroskoopilise uuringu andmetest lähtuvalt valmistasin valikuliselt 5 õhikut Paatsalu (527) ja 4 õhikut Nurme puursüdamikust. Õhikud tegin Tartu Ülikooli Ökoloogia ja Maateaduste Instituudi geoloogia osakonna kivilaboris. Uuritavast kivimitükist lõikasin saega risti kivimi kihilisusega paraja tüki. Kivimi tüki lihvisin lihvimismasinaga ühelt küljelt siledaks, lasin kivimitükil täielikult kuivada ja siis liimisin selle EPO liimiga alusklaasile ning panin päevaks vajutuse alla kuivama. Järgmisena saagisin liigse kivimitüki maha ja lihvisin kivimi lihvimismasinal umbes 0,03 mm paksuseks.

Tehtud õhikud kirjeldasin polarisatsioonimikroskoobi abil. Mikroskoopilisel uurimisel mõõtsin kivimi kristallide ja teralise komponendi suurused, määrasin skeletifragmentide grupilise kuuluvuse, iseloomustasin ümberkristalliseerumisega ja osalise lahustumisega seotud nähtuseid ning mittekarbonaatsete lisandite (püriit, kvartsiterad jms) osa. Õhikute kirjeldamisel kasutasin abivahendina Peter A. Scholle ja Dana S. Ulmer-Scholle karbonaatkivimite kirjeldamise õppematerjale, nii käsiraamatut (Scholle 1978) kui DVD-d (Scholle ja Ulmer-Scholle 2005). Fotod õhikutest tegin digikaamera Leica DFC 495 abil polarisatsioonimikroskoobiga Leica DM2500P. Fotode tegemisel abistas mind geoloogia osakonna õppejõud Juho Kirs.

Lisaks eelloetletule kirjeldasin binokulaari abi Peep Männiku Nurme puursüdamiku konodondi proovide lahustumatuid jääke. Püriiti, kvartsiteri, glaukoniiti, vilku jms sisaldavaid proove oli kokku 59 tükki.

Töös esitatud tabelid, graafikud ja joonised tegin arvutiprogrammidega Corel Draw 12.0 ja Excel.

4. Tulemused

Kivimi litoloogiliste tunnuste ja nende muutuste kirjeldamiseks Llandovery ja Wenlocki ladestike piirikihtides kasutati nii makroskoopilisi kui mikroskoopilisi uuringumeetodeid: Paatsalu (527) ja Nurme puursüdämike välikirjeldus (Lisa 1), õhikute kirjeldused (Lisa 2) mikrofauna lahustumatu jäägi kirjeldused (Lisa 3) ja keemilise analüüsi (CaO, MgO, CO₂, lahustamatu jääk) andmed (Lisa 4).

Uurimustöö objektiks olev Siluri ladestu on Eesti maapõues esindatud Llandovery, Wenlocki, Ludlow ja Pridoli ladestiku karbonaatkivimitega. Antud töös käsitletakse Llandovery ja Wenlocki piirikihte esindavat Adavere, Jaani ja Jaagarahu lademe intervalli (Tabel 1).

Tabel 1. Väljavõte Llandovery ja Wenlocki stratigraafilisest skeemist Nestori (1997) järgi koos muudatustega aastatest 2007–2008 (Hints 2008).

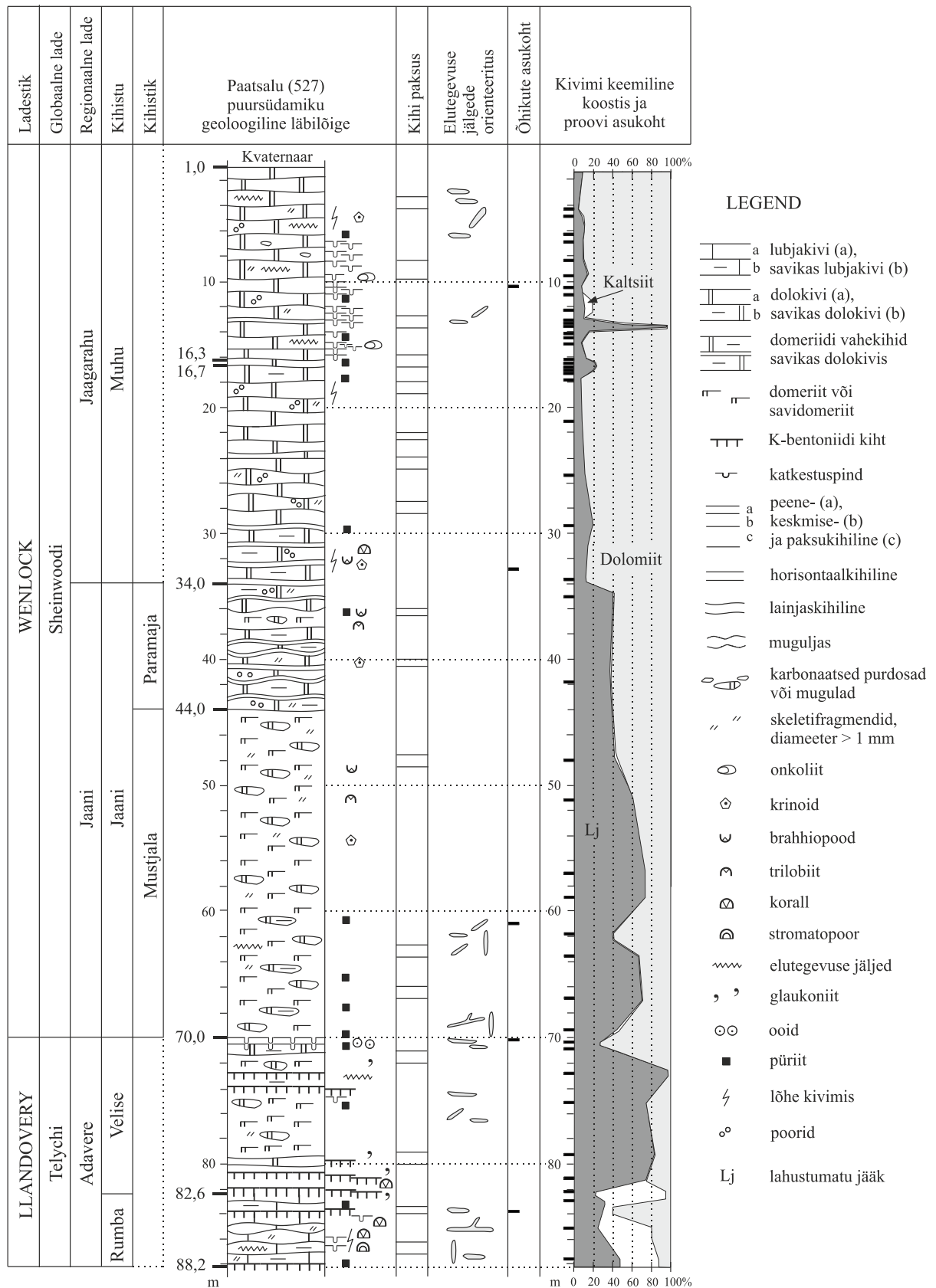
VANUS	GLOBAALNE TASE			REGIONAALNE TASE	LITOSTRATIGRAAFILINE PÕHIÜKSUS (KIHISTU)		
	Mln	LADESTU	LADESTIK	LADE	KESK- JA LÄÄNE EESTI	LÄÄNE EESTI SAARED	LÕUNA EESTI, SÕRVE POOLSAAR
426,2	SILUR	WENLOCK	Homeri	Rootsiküla		SÕRVE	
				Jaagarahu		JAMAJA	
			Sheinwoodi	Jaani		JAANI	
428,2		LLANDOVERY	Telychi	Adavere		RIIA	
						VELISE	
436,0			Aeroni	Raikküla		RUMBA	RUMBA

Adavere lade, Rumba kihistu

Mõlemas puursüdamikus on keskmisekihiline pisikristalliline lubjakivi (Lisa 2, Õhik 9 ja Õhik 4; Lisa 4), milles esineb mergli vahekihte. Elutegevuse jäljed esinevad terves kompleksis ja on valdavalt horisontaalsed, kuid leidub ka üksikuid vertikaalseid käike (Joonis 3; Joonis 4). Kihistule on iseloomulikud püriidi kristallid ja agregaadid (Lisa 1). Paatsalu (527) puursüdamikus on kolm K-bentoniidi kihti (sügavusel 83,75; 83,9 ja 88,0–88,2 m), kolm katkestuspinda (sügavusel 84,2; 85,6 ja 85,8 m) ning kihistu kirjeldatud osa alumisel piiril on K-bentoniidi kiht. Nurme puursüdamikus on 7 katkestuspinda (sügavusel 30,65; 30,8; 31,3; 31,5; 32,5; 32,7 ja 32,85 m), kirjeldatud kompleksi alumine piir on üleminekuline.

Adavere lade, Velise kihistu

Paatsalu (527) puursüdamikus on savidomeriit (Lisa 4) erineva savikusega peene- ja pisikristallilise (Lisa 2, Õhik 8) dolokivi mugulate ja vahekihtidega ning vahemikus 72,45–74,0 m on savi (Lisa 4). Elutegevuse jäljed esinevad üle terve kompleksi ja on enamasti horisontaalsed, esinevad mõned üksikud kallakad käigud (Joonis 3). Samuti on puursüdamikus 10 K-bentoniidi kihti (sügavusel 72,45–72,5; 73,7; 74,0; 79,8 (glaukoniidiga), 80,8; 81,0–81,1; 81,5 (glaukoniidiga); 82,0 (glaukoniit ja peente rauaühendite lisand), 82,2 ja 82,4 m). Lainjas katkestuspind on sügavusel 74,7 m. Paatsalu (527) puursüdamikus on kihistu alumine piir üleminekuline. Nurme puursüdamikus on tegemist savimergliga, milles esineb erineva savikusega peene- ja pisikristallilise lubjakivi mugulaid (Joonis 4; Lisa 2, Õhik 3). Puursüdamikus leidub 6 K-bentoniidi kihti (sügavusel 23,4; 20,1; 21,1; 23,45 (glaukoniidi lisandiga), 24,25; 24,5 m). Kihistu alumisel piiril (sügavusel 30,40 m) on laineline ja selge, püriitse impregnatsiooniga (sügavus 2 mm) katkestuspind.



Joonis 3. Paatsalu (527) puursüdamiku stratigraafiline liigestus, geoloogiline läbilõige ja andmed õhikute ning keemilise koostise (1970ndate aastate Erika Jürgensoni kartoteek, TTÜ GI geokogud) kohta.

Jaani lade, Jaani kihistu, Mustjala kihistik

Paatsalu (527) puursüdamikus on savidomeriidi, domeriidi ja tugevalt savika dolokivi (Lisa 4) tumehallid vahekihid, harvade hallide, nõrgalt kuni keskmiselt savika dolokivi mugulate ja vahekihtidega. Dolokivi on peene- ja pisikristalliline (Lisa 2, Õhik 7).

Kihistu kivimites esineb brahhiopoodide, krinoidide, trilobiitide, vetikate ja ostrakoodide fragmente.

Intervallis 62,2–62,8 m on palju erisuunalisi (vertikaalsed, horisontaalsed ja kallakad) elutegevuse jälgi (Joonis 3), kohati kuni 50% kivimi pinnast. Nende täide on ümbriskivimist heledam, jälgede ümber on selge püriitne kontuur. Püriidi agregaadid on iseloomulikumat kompleksi alumisele, 5 m paksusele osale. Kihistu alumisel piiril on nõrk, pruunika tooniga arvatavasti fosfaatse impregnatsiooniga (sügavus kuni 1 cm) konarlik lainjas katkestuspind. Pinna peal esinevad üksikud kallakad kuni vertikaalsed elutegevuse jäljed. Pinna all (kuulub järgmisse kompleksi), 18 cm sügavamal, on nõrgem samasugune katkestuspind. Kahe pinna vahel on elutegevuse jäljed. Alumise pinna all on rikkalikult käike, mis on valdavalt horisontaalsed.

Nurme puursüdamikus vahelduvad tugevalt savikas dolomiitlubjakivi ja dolokivi ning domeriit kuni savidomeriit (40–60%) heledama, keskmiselt savika dolomiitlubjakivi või dolomiidi mugulate ja harvade vahekihtidega (Joonis 4). Kivim on pisikristalliline (Lisa 2, Õhik 1; Õhik 2) ja sisaldab hajusalt püriiti. Kihipindadel esinevad elutegevuse jäljed on horisontaalsed, nende täide on roostevärviline. Jämedad skeletifragmendid esinevad sageli selgepiiriliste pesadena. Sügavusel 13,2 m on konarlik püriitse impregnatsiooniga katkestuspind püriidi kristallidega. Mikrofauna lahustumatu jäägi proovides on sellel tasemel püriiti umbes 30%, aga enamuse jäägist moodustab äädikhappes mittelahustunud dolomiit. Samuti leidub siin vilku ja glaukoniiti (Lisa 3). Kihistu alumiseks piiriks Heldur Nestori (1997) järgi on 17,84–17,90 m sügavusel asuv K-bentoniidi kiht, mille vahekihtidesse jäävad pitsunud horisontaalsed elutegevuse jäljed (Lisa 1).

Jaani lade, Jaani kihistu, Paramaja kihistik

Paatsalu (527) puursüdamikus vahelduvad tugevalt savika dolokivi ja domeriidi tumehallid vahekihid nõrgalt kuni keskmiselt savika dolokivi (Lisa 4) mugulate ja harvade vahekihtidega. Dolokivi on peene- ja pisikristalliline (Lisa 2; Õhik 6). Intervallis 36,4–37,4 valdab domeriit.

Kompleksis esineb peeneid skeletifragmente (pesiti kuni 25%), mis kuuluvad ostrakoodidele, brahhiopoodidele ja krinoididele, samuti leidub trilobiidi fragment (Joonis 3).

Alumisel piiril kasvab kivimi savikus, kihistu alumine piir on üleminekuline.

Jaagarahu lade, Muhu kihistu

Paatsalu (527) puursüdamikus on pisikristalliline (Lisa 2, Õhik 5) dolokivi dolomiidistunud lubjakivi vahekihtidega (Lisa 1). Kivim on ebaselgelt keskmisekihiline, harva paksu-kihiline. Sügavusel 13,35 m on kivimis savi (Lisa 4).

Teraline komponent (raskesti märgatav, harvad krinoidid) on kihiti koondunud ebakorrapärasesse pesadesse. Ovaalsed onkoliidid (\varnothing 1–2 cm) esinevad intervallides 8,8–9,7 m ja 15,7–15,9 m. Intervallis 23,0–29,8 m esineb brahhiopoodide, krinoidide, ostrakoodide ja korallide kivistisi ja nende fragmente (Joonis 3).

Püriitne impregnatsioon esineb kihiti erikujuliste harvade laikudena või lausaliselt värvunud vahekihtidena, milles esineb elutegevuse jälgi meenutavaid, koostiselt ümbriskivimiga sarnaseid püriidistumata käike ja laiike.

Elutegevuse jäljed (nõrgad, valdavalt horisontaalsed) esinevad põhiliselt intervallis 1,0–7,2 m (Joonis 3).

Püriitse impregnatsiooniga konarlikud ja valdavalt kuni 4 cm sügavuste taskutega katkestuspinnad paiknevad sügavustel: 6,7; 6,9; 7,2; 7,6; 8,1; 8,4; 9,5; 10,0; 10,2; 10,3; 10,7; 12,0; 12,1; 12,3; 12,8; 13,1; 13,2; 14,0; 15,0; 15,3; 15,4; 15,5 (?); 15,85 ja 15,9 m. Katkestuspinnad on üldiselt selged, impregnatsioon ei ole tugev. Tumedamavärvilises dolokivis on katkestuspindade impregnatsioon halvasti jälgitav.

Kompleksis esinevad poorsed tasemed: tühikuid (\varnothing 0,1–2 cm, harvem 3 cm) võib-olla kuni 40% kivimi pinnast. Osa tühikutest meenutavad väljaleostunud kaanefragmente. Kihistu alumine piir on üleminekuline (osaliselt puurkaos).

Llandovery ja Wenlocki piirikihid

Paatsalu (527) puursüdamikus markeerib Adavere ja Jaani lademe piiri sügavusel 70,0 m nõrk, pruunika tooniga (fosfaatne impregnatsioon sügavusega kuni 1 cm), konarlik-lainjas katkestuspind. Pinna peal esinevad üksikud kallakad kuni vertikaalsed elutegevuse jäljed $\varnothing < 2$ mm. Pinna all (Adavere lademe piirikihi ülemine osa), 18 cm sügavamal, on nõrgem samasugune katkestuspind. Kahe pinna vahel on elutegevuse jäljed ja ooidid (Joonis 3; Lisa 2, Õhik 8), alumise piiri all on rikkalikult kivistunud käike, mis on valdavalt horisontaalsed (Lisa 1). Kui Adavere lademe ülemine osa, Velise kihistu, on tugevalt savikas ja siin leidub savidomeriiti ja K-bentoniidi kihte (pinnal sageli glaukoniit), siis piirikihtides esineb savikas dolokivi. Jaani lademes kivimi savikus tasapisi jälle suureneb ülespoole, esinevad dolomiitdomeriidid ja taas savidomeriidid (Joonis 3; Lisa 4).

Nurme puursüdamikus on Adavere ja Jaani lademe piir sügavusel 17,9 m (Nestor 1997; Tallinna Tehnikaülikooli Geoloogia Instituudi geokogude käsikirjalistes materjalides 17,84 m). Piir on terava kontaktiga valkjashalli pitsunud horisontaalsete elutegevuse jälgedega (osakaal ~ 5% kivimist) K-bentoniidi kihi ülemisel piiril (Lisa 1), mille peal on erineva savikusega ebaselge kihilisusega kivim lapikute elutegevuse jälgedega ja rohke hajusalt paikneva püriidiga. K-bentoniidi all leidub barüüti (Joonis 4; Lisa 3). Savikus enne ja pärast piiri oluliselt ei muutu, muutub ainult see, et enne piiri on tegemist mergliga ja peale piiri domeriidiga (Joonis 4).

Lahustumatu jääk Nurme puursüdamikus

Äädikhappega lahustatud mikrofauna lahustumatu jäägi proovidest (Lisa 3) leitud skeletifragmentide grupiline kuuluvus on suhteliselt ühetaoline. Krinoidide varrelülisid leidub terves läbilõikes ja nad on alati püriidistunud. Skolekodontide fragmente leidub alates sügavusest 8,25 m kuni uuritud läbilõike lõpuni välja. Küll aga esineb peajalgseid läbilõike ülemises osas rohkem kui alumises osas, eriti just kuni 8 m sügavuseni. Brahhiopoodidega on vastupidi – läbilõike ülemises osas nad puuduvad täielikult ja ilmuvad sügavusel 23,60 m.

Lahustumatus jäägis leidus nn konodondi pärleid (Glenister jt. 1976) rohkem just läbilõike ülemises osas, alates 15 meetrist hakkab nende osakaal proovides vähenema ja mida sügavamale läbilõikes minna seda harvemaks neid jääb. Konodondi pärlite suurus jääb enamasti 0,1–0,6 mm vahele (Lisa 3).

Kvartsi terasid on rohkem läbilõike ülemises osas 1,0–13,05 m, allpool esineb kvartsi terasid järjest vähem. Kvartsi terad on ülemises osas suurusega kuni 0,1 mm ja 0,1–1,0 mm, hästi ümardunud ja selged.

Püriiti esineb proovides ohtralt, enamasti kuubiliste kristallidena, aga samuti leidub ümardunud ja kasvetega kuupe. Eriti iseloomulikud on kasved kuupidel alates 13,7 meetri sügavusest kuni uuritud läbilõike lõpuni välja; läbilõike ülemises osas esineb kasveid harva.

Glaukoniiti leidub proovides ohtralt just savikamas kivimis, vähemsavikas kivimis glaukoniidi osakaal väheneb, puududes täielikult lubjakivis.

Vilku leidus eriti ohtralt K-bentoniidi lähedastes proovides sügavusel 24,55 m. Vilku on palju (10% proovist) ka sügavusel 13,45 m, see proov paikneb konarliku püriitse impregnatsiooniga katkestuspinnal (sügavus 13,2 m) all. Vilk on lahustumatu jäägi proovides pakikestena, millest võib järeldada, et vilk on lagunenu tekkekoha lähedal.

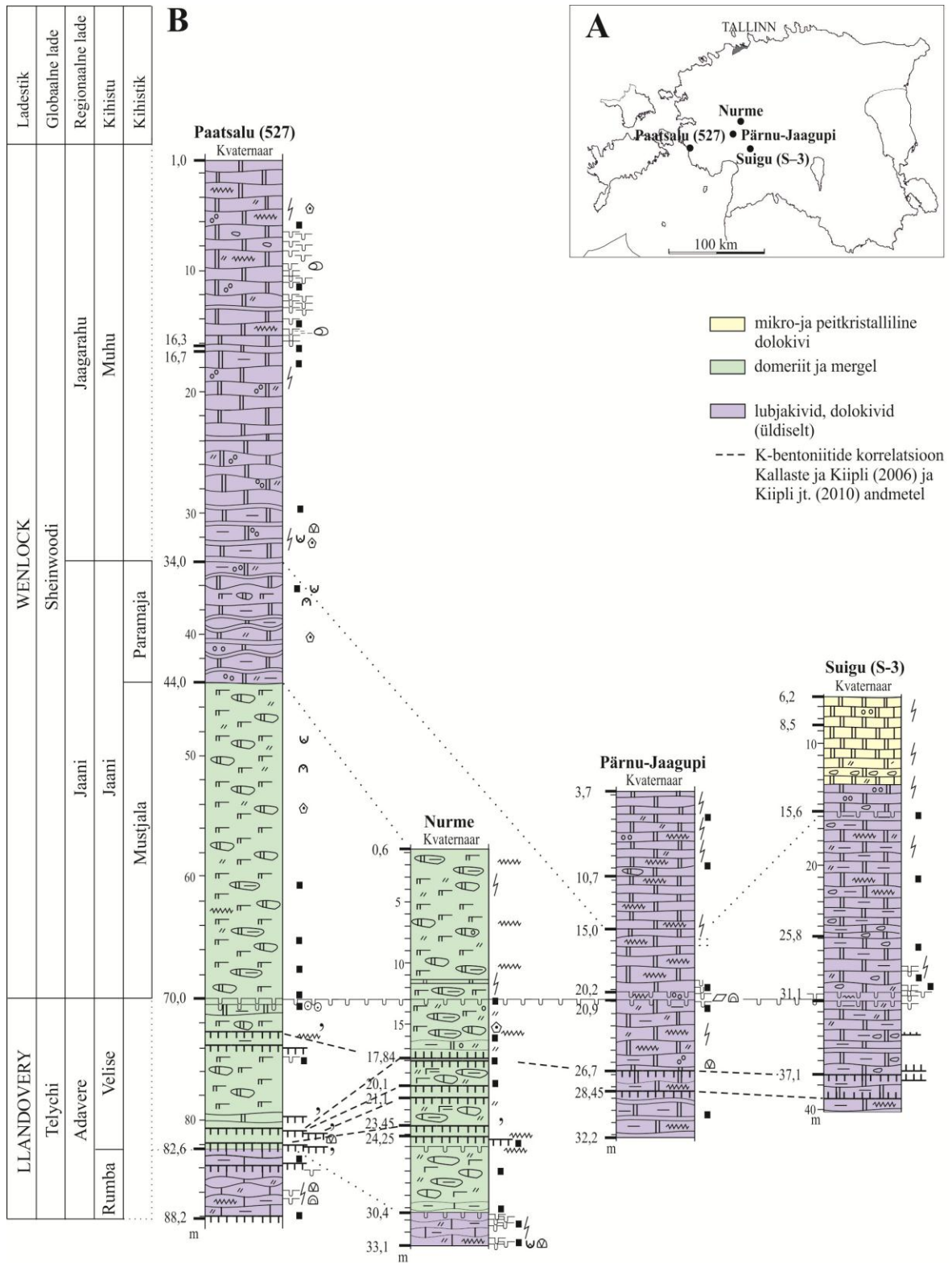
Barüüdi kristalle leidub mitmel sügavusel kas siis K-bentoniitide või katkestuspindade vahetus läheduses.

5. Arutelu

Leidmaks globaalse Irevikeni sündmusega kaasnenud settekeskkonna muutuste põhjuseid, uuriti Pärnu-Jaagupi ja Suigu (S-3) puursüdamikele lisaks (Pärn 2011) Paatsalu (527) ja Nurme puursüdamikke. Need avavad meile Llandovery ja Wenlocki piirikihid, kus võiksid olla toimunud keskkonnamuutused, mis viisid Irevikeni sündmuseni.

Paatsalu (527) ja Nurme läbilõigete korreleerimisel Pärnu-Jaagupi ja Suigu (S-3) läbilõigetega saab kasutada litoloogilisi markertasemeid. Paatsalu (527) läbilõike kaks lähestikku paiknevat fosfaatse impregnatsiooniga katkestuspinda sügavusel 70,0 m (Adavere ja Jaani lademe piir) korreleeruvad Pärnu-Jaagupi läbilõike kahekordse püriitse impregnatsiooniga katkestuspinnaga sügavusel 20,9 m ja Suigu (S-3) läbilõike samuti kahekordse katkestuspinnaga sügavusel 31,1 m (Joonis 5). Katkestuspinnad viitavad eriaegsetele katkestusele setteprotsessides, mille tagajärjel uusi setteid ei teki. Nurme läbilõikes oli Adavere ja Jaani lademe piiriks (Nestor 1997) 6 cm paksuse K-bentoniidi kihi ülemine piir sügavusel 17,9 m (käsikirjaliste andmete järgi 17,84 m).

Analüüsides uuringute käigus kogutud andmeid ja koostades korrelatsiooni joonist selgus, et Nurme puursüdamikus võib lademete piirile vastav kihistute litoloogiline piir olla valesti määratud (Joonis 4). Kui Adavere ja Jaani lademe piir on tõepoolest Nurme puursüdamikus sügavusel 17,84 m, siis sellisel juhul ei ole Kallaste ja Kiipli (2006) K-bentoniidi kihtide korrelatsioon Paatsalu (527) ja Nurme puursüdamike vahel õige. Kui aga tuua Nurme puursüdamiku Adavere ja Jaani lademe piir katkestuspinnale sügavusel 13,2 m, siis paiknevad võrreldava koostisega K-bentoniidi kihid kõigis neljas puuraugus loogiliselt (Joonis 5). Samas markeerib nüüd Adavere ja Jaani lademe piiri kõigis neljas läbilõikes katkestuspind. Tuleb lisada, et litoloogiliste piiride määramine Adavere ja Jaani lademe kivimites on keerukas, sest kivim on väga savikas ja muutused läbilõikes on raskesti jälgitavad. Lõpliku otsuse probleemse piiri suhtes saab teha peale mikrofauna leviku uurimist. Paatsalu (527) puursüdamiku K-bentoniidi kihid (81,05; 81,09; 81,5; 82,0 m), korreleeruvad Nurme puursüdamiku K-bentoniitidega (vastavalt 17,9; 20,1; 21,1; 23,45 m). Paatsalu (527) K-bentoniit (sügavus 72,5 m) korreleerub Suigu (S-3) puursüdamiku bentoniidi kihiga sügavusel 37,2 m (Kallaste ja Kiipli 2006). Suigu (S-3) ja Pärnu-Jaagupi läbilõike K-bentoniidid on korreleeritud litoloogia alusel.



Joonis 5. Paatsalu (527), Nurme, Pärnu-Jaagupi ja Suigu (S-3) puuraukude asend kaardil (A) ning Paatsalu (527), Nurme, Pärnu-Jaagupi ja Suigu (S-3) puursüdämike korrelatsiooni skeem (B). Legend vaata joonis 3 ja 4.

Nurme puursüdamiku konodondi proovide lahustumatu jäägi proovidest (Lisa 2, Tabel 2) on leitud barüüdi kristalle. Barüüdi levik kivimise viitab lühiajalistele settekatkestusele varajases diagenesis. Barüüt tekib kui merevee tase langeb ja baariumirikas poorivesi tõuseb kompaktsiooni tõttu ülespoole (Bréhéret ja Brumsack 2000). Leitud barüüdi kristallid esinevad Nurme läbilõike alumises pooles settekatkestustega seotud tasemetel sügavusel 25,0 m ja 30,4 m.

Glaukoniit tekib eranditult ainult merelises keskkonnas. Ta esineb nii karbonaatsetes kui ka purdsetetes. Enamus glaukoniiti on kujunenud mere põhjas olnud saviosakestest, millest on toitunud merepõhjal elavad ja sellesse kaevuvad organismid, kelle seedekulglast on materjal läbi käinud. Glaukoniidi tekkeks on vaja aeglast settimist ja madalat merevee taset. Mineraali esinemine suurtes kogustes on seotud just settekatkestustega (Flügel 2010), samuti purdsetete üleminekuga karbonaatseteks seteteks, mis viitab merevee taseme muutustele (Saltzman 2001).

Glaukoniiti leidis Nurme puursüdamikus rohkem just Adavere ja Jaani lademe piirist ülevalpool, mis viitab merevee langusele peale Irevikeni sündmust. Paatsalu (527) läbilõikes esines glaukoniit ka K-bentoniidi pindadel (Joonis 3). Llandovery lõpus on Baltoskandia basseinis olnud merevee tase kõrge ja kliima niiske, millele järgnes Wenlocki alguses merevee taseme langus ja ariidne kliima. Wenlocki alguses on leitud ka jäätumisele viitavad tilliite, mis omakorda seletab merevee taseme langust ja kuiva kliimat (Calner 2008).

Süsiniku stabiilsete isotoopide suhtväärtuste ulatuslikud positiivsed kõrvalekalded olid tavapärasel külmadel perioodidel Hilis-Ordoviitsiumis, Siluris ja Hilis-Devonis, kus hapnikuvaegus merevees viis ka lämmastiku osatähtsuse vähenemisele. Ookeanide hapnikuvaegus mõjutab tugevasti orgaanilise süsiniku tootmist ja mattumist, suurendades orgaanilisest materjalist pärineva fosfori sattumist keskkonda (Saltzman 2005). Detailed isotoopide uuringud on näidanud mitmeid kõrvalekaldeid nii süsiniku kui ka hapniku stabiilsete isotoopide suhtväärtustes. Väikestel laiuskraadidel on süsiniku ja hapniku isotoopide suhte kõrgeid väärtuseid seostatud riffide kasvamisega ja karbonaatsete lavade laienemisega. Isotoopide kõrvalekalded langevad kokku settimise muutustega. Liikide massilise väljasuremise sündmust Llandovery ja Wenlocki piiril kutsutakse „Irevikeni sündmuseks“. Sündmuse nimi tuleneb Gotlandi saarelt Rootsist, kus paikneb põhjalikult uuritud liikide kadumise ja ilmutumise muutustega samanimeline paljand. Irevikeni

sündmuse ajal suri välja 50% trilobiidi ja 80% konodondi liikidest. Mõnede liikide kadumine toimus astmeliselt, konodontide kivististe leidude järgnevuses on kümme eraldi asetsevat väljasuremise perioodi (*datum points*), mida saab omakorda jagada viieks konodondi tsooniks. Väheste piirkondlike kõrvalekalletega on nende tsoonide järgnevus jälgitav üle maailma ja neid saab kasutada šelfimerede keskkonnas tekkinud karbonaatsete läbilõigete detailsel stratigraafilisel korreleerimisel. Irevikeni sündmus Llandovery ja Wenlocki piiril peegeldab globaalseid keskkonnamuutuseid. Sellega seostub ka $\delta^{13}\text{C}$ isotoobi väärtuste kiire kasv Wenlocki alguses, mida on uuritud maailma mitmete piirkondade läbilõigetes (Munnecke jt. 2003). Irevikeni sündmuse erilisust iseloomustab eriti hästi just konodontide massiline väljasuremine. Konodontide väljasuremise kohta on leitud kaheksa taset. Esimesed neli neist on leidnud aset enne kui toimuvad muutused hapniku ja süsiniku stabiilsetes isotoopides. Need sündmused on leidnud aset mitmete tuhandete aastate vältel, sellele viitavad kivimist mõne meetri ulatuses võetud proovid (Vandenbroucke jt. 2013). Järgmised neli konodontide väljasuremise daatumit on aset leidnud isotoopkõverate muutuste alguses. Protsessid, mis põhjustasid isotoopide väärtuste tõusu ei põhjastanud varajasemaid väljasuremise sündmusi, organismid olid palju varem mõjutatud kui toimusid ookeanilised ja kliimaatilised muutused, mis väljenduvad isotoopkõverates (Munnecke jt. 2003). Üldiselt oli fauna mõjutatud rohkem globaalsest soojenemisest ja ebastabiilsest kliimast kui külmadest perioodidest (Lehnert jt. 2010).

Karbonaatsed kivimid viitavad merevee taseme alanemisele, aga sageli on toimunud tegelikult just merevee taseme tõus. Karbonaatsed setted tekivad ja kuhjuvad põhilised just merevee taseme tõusu ja kõrge merevee taseme püsimise ajal. Selline olukord viib setteallika “uppumisele” ja rannaäärsete alade setete isoleerimisele. Šelfialad jäävad seteteta, mis omakorda viib purdsetete tekkimiseni. Purdsetted tekivad siis kui merevee tase alaneb setete kuhjumisest põhjustatud maapinna tõusmisest, jättes sellega madalamad alad avatuks murenemisele ja erosioonile. Merevee taseme langus avaldab suurt mõju karbonaatsetele platvormidele, mis vee taseme languse tõttu jäävad avatuks ja settimine väheneb märgatavalt (Munnecke 2010).

Stabiilsete süsiniku ja hapniku isotoopide uurimisel on leitud, et ookeani ja atmosfääri muutused Siluris on olnud suured. On leitud neli suurt positiivset süsiniku isotoopide kõikumist Vara-Wenlockis, Hilis-Wenlockis, Hilis-Ludlows ja Siluri–Devoni piiril, millest võib järeldada, et suured globaalsed süsiniku ringluse muutused Siluris olid palju

sagedasemad, kui võiks arvata ja neid oli rohkem kui ühelgi teisel ajastul Faneroosoikumis. Süsiniku isotoopide kõrvalekalle väljendub ka suurenenud hapniku isotoopide väärtustes ja on korreleeritav nii väljasuremise sündmustega kui litoloogiliste muutustega. Kõige rohkem olid muutustest mõjutatud konodondid, graptoliidid, trilobiidid, akritarhid, kitiinikud, ostrakoodid ja brahhiopoodid. Korallid näitavad samuti väljasuremise märke, aga seda kerge hilinemisega. Sügaval mere põhjal elavad organismid olid muutustest rohkem mõjutatud kui need kes elasid madalaveelistes vetes (Munnecke jt. 2010).

Irevikeni sündmus algab natuke peale Llandovery ja Wenlocki ladestiku piiri. Irevikeni sündmuse kestvuseks on arvatud umbes 200 000 aastat. Võrdlemisi vähe teatakse sellest, millisel määral oli mõjutatud liikuv põhjaelustik. Näiteks skolekodontide uurimisel on leitud, et rohkem kui 20% hulkharjasusside faunast Baltika lõunaserval suri välja, täheldatud on ka trilobiitide 50% vähenemist Llandovery ja Wenlocki piiril. Ilmneb, et Irevikeni sündmus toimus peale merevee taseme languse algust ja lõppes enne, kui merevee tase langes maksimaalsesse madalseisu ehk siis sündmus toimus täielikult merevee regressiooni ajal (Calner 2008).

Skolekodontide fragmente leidis hulgaliselt Siluri madalmeres kõigil kontinentidel väljaarvatud Antarktikal. Eriti levinud olid skolekodondid Hilis-Llandovery'st Hilis-Ludlow'ni Gotlandil (Eriksson jt. 2004). Nurme puursüdamiku mikrofauna lahustumatu jäägi uurimisel selgus, et skolekodontide fragmente oli rikkalikult intervallis 8,25–33,1 m.

Adavere ja Jaani lademe piiril on Paatsalu (527) läbilõikes näha elutegevuse jälgede suuna muutus – horisontaalsete käikude sekka tekib ka vertikaalseid ja kaldu olevaid käike (Joonis 3). Elutegevuse kivistunud käikude järgi saab kaudselt hinnata settekeskkonna tingimusi. Merevee sügavuse suurenedes suureneb orgaanika osakaal setetes ja põhjaelustiku elutegevus on aktiivne. Organismid toituvad merepõhja orgaanikast, mille tõestuseks on valdavalt horisontaalsed kivistunud elutegevuse jäljed. Madalaveelises keskkonnas on põhjaelustiku elutegevus rohkem häiritud tugevast merevee tsirkulatsioonist, mis takistab orgaanika sattumist settesse. Suurem osa orgaanikast on hõljuvas olekus, millest toituvad organismid on kaevunud põhjamudasse ja toituvad hõljumist sealt väljaulatuvate toitumisorganitega. Nii on rannäärsete alade setetest tekkinud kivimites enamasti vertikaalsed elutegevuse jäljed. Elutegevuse jäljed on otseselt seotud neid ümbritseva settega, nad on autohtoonsed ehk kohapeal tekkinud

(Seilacher 1964). Elutegevuse käikude kivististe suundade dokumenteerimisel läbilõikes saab otsustada merevee taseme muutuste üle.

Puursüdamikes Adavere ja Jaani lademete piirikihtides on märgata hajuteralise püriidi osakaalu suurenemist katkestuspindadel (Lisa 1), mis võib olla tingitud nii settekeskkonnast kui diagenetilisest protsessidest. Püriit tekib enamasti hapnikuvaeses merevees, mis on soodne keskkond sulfiidide moodustumiseks. Autogeenne püriit asendab sageli orgaanikat. Püriidi kobarjad kogumid esinevad peeneteralises (püriidi asendumine fossiilides) lubjakivis, merglis ja savis. Püriiti leidub laialdaselt Fanerozoikumi neis läbilõigetes, kus vooluveed erodeerisid mudarannikut, tuues pinnale anaeroobses keskkonnas kujunenud püriidi agregate (Flügel 2010). Nurme puursüdamiku mikrofauna lahustumatu jäägi kõigis proovides esineb eriti ohtralt krinodide ja tigude püriidistunud skeletifragmente ning Adavere ja Jaani lademe piirikihi peal ka rauaühenditega impregneeritud savikoorikuid (Lisa 3). Need tunnused sobivad ka Irevikeni sündmuse ajal toimunud merevee taseme languse tõestamiseks, mis oli seotud selleaegse jäätumisprotsessiga.

Võrreldes varem uuritud Pärnu-Jaagupi ja Suigu (S-3) puursüdamikega on Paatsalu (527) ja Nurme puursüdamiku kivimid oluliselt savikamad. Paatsalu läbilõike kivimite keemiliste analüüside põhjal on näha, et Adavere ja Jaani lademete piirikihtide kitsas osas kivimi savikus siiski väheneb (Joonis 3). Ilma täiendava laboratoorse uuringuta on neis läbilõigetes litoloogiliste piiride määramine keerukas, kuna monotoonses kivimis on muutusi raske eristada. Üldise kivimi savikuse suurenemine kahes läbilõikes viitab settebasseini osade erinevale sügavusele või isegi settebasseini osade eraldatusele (Nestor, Einasto 1997). Paatsalu (527) puurauk asub Pärnu-Jaagupi ja Suigu (S-3) läbilõikest läänepool ja Nurme puursüdamik vastavalt põhjapool (Joonis 5).

Settekeskkonda ja selle muutusi saab analüüsida skeletifragmentide leidude põhjal, võttes arvesse erinevate faunagruppide elutingimusi ja nende esinemist või puudumist settes. Trilobiidid elasid madalaveelise mere põhjal ja toitunud detriidist (Flügel 2010). Uuritud puursüdamikes leidis trilobiite rohkem just läbilõike ülemises osas ehk peale Adavere ja Jaani lademe piirikihti (Joonis 3; Lisa 3). Ostrakoodide leidude põhjal ei saa paikapanevaid järeldusi teha kuna nad elavad nii soolases kui magedas vees, nii madalas kui ka sügavas vees ning uuringud näitavad, et ostrakoode on ohtralt üle terve läbilõike (Lisa 3). Sarnane seis on ka krinoididega, kes on iseloomulikud nii madala- kui sügavaveelisele

keskkonnale. Brahhiopoodid kinnituvad merepõhjale ja toituvad merevett filtreerides. Suurem osa Paleosoikumi bioklastilistest madalamerelistest lubjakividest koosneb brahhiopoodide kaantest (Flügel 2010). Mikrofauna lahustumatu jäägi tulemuste kohaselt on brahhiopoodide ainult läbilõike alumises osas (Lisa 3).

Ooide leidis Paatsalu (527) puursüdamiku intervallis 70,0–71,9 m (Joonis 3; Lisa 2, Õhik 8). Ooidid on sfäärilised munakujulised terad, mille leiud on abiks paleokeskkonna vee-energia, temperatuuri, soolsuse ja vee sügavuse määramisel. Enamus ooidid tekib madalaveelises keskkonnas, kuhu periooditi ulatub lainetuse mõju. Antud töös leitud kontsentrilised ooidid on tekkinud madalas merevees kõrge vee-energiaga alal (Flügel 2010).

Konodondi pärlid (*conodont pearls*; suurus kuni 1 mm) on kujult kerajad ja väikese lohukesega küljel. Nad esinevad koos konodontidega. Konodondi pärlitel on konodontidega sama keemiline koostis (fosfaatne) ja mikrostruktuur. Kuna konodondid ja konodondi pärlid esinevad setetes koos, siis arvatakse, et need pärlid on eritanud konodondiloom (Glenister jt. 1976). Siiani ei ole lõplikku ja ammendavat vastust küsimusele, mis nad on.

Adavere ja Jaani lademe piir on seni teadaolevatel andmetel Paatsalu (527) puursüdamikus sügavusel 70,0 m ja Nurme puursüdamikus sügavusel 13,2 m. Nurme puursüdamiku oli see piir varem sügavusel 17,9 m (Nestor 1997; käsikirjalistel andmetel 17,84 m). Irevikeni sündmusest mõjutatud kivimikihid jäävad ladestiku piirist kõrgemale. Settekatkestus piiril viitab eelkõige kliimamuutusele, mille tagajärjel katkes karbonaatide settimine avašelfi keskkonnas. Kliimamuutus on seotud arvatavasti omaaegse mandrijäätmisega, millega kaasnes veetaseme langus. Veetaseme muutused olid korduvad, esinesid kõikumised veekeskonna temperatuuris ja keemilises koostises (Cramer ja Saltzman 2005). Irevikeni sündmuse ulatuse üle Paatsalu (527) ja Nurme läbilõikes saab aga otsustada alles mikrofauna leviku selgumisel.

6. Järeldused

K-bentoniitide korreleerimine Kallaste ja Kiipli (2006) analüüside alusel Paatsalu (527), Pärnu-Jaagupi ja Suigu (S-3) puursüdamikes tingis Nurme puursüdamiku Adavre ja Jaani lademe piiri viimise 17,84 meetrilt 13,2 meetrile. Lademete piir on nüüd markeeritud kõigis neljas läbilõikes katkestuspinnaga ja võrreldava koostisega K-bentoniidi kihid asetsevad üksteise suhtes loogilises järjekorras (Joonis 5).

Hajusa püriidi levik Adavere ja Jaani lademe piirikihtide katkestuspindadel viitab merevee taseme langusele, mida võib seostada Irevikeni aegsete jäätumisprotsessidega.

Horisontaalsete elutegevusjälgedele lisaks tekib piirikihtidele veel vertikaalseid ja kallakaid elutegevuse jälgi, mis viitavad merevee taseme alanemisele.

Ooidide leviku põhjal Adavere ja Jaani lademe piiril Paatsalu (527) puursüdamikus selgub, et ooidid on tekkinud madalas merevees ja kõrge vee-energiaga alal.

Võttes kokku Paatsalu (527) ja Nurme läbilõigete litoloogia uurimise tulemused: õhikute kirjeldused, mikrofauna lahustumatu jäägi kirjeldused ja keemiliste analüüside tulemused, selgub et Llandoverly ja Wenlocki piiril toimus märgatav merevee taseme alanemine, millega kaasnes settekatkestus.

7. Kokkuvõte

Paatsalu (527) ja Nurme puursüdamikes uuriti Llandovery ja Wenlocki ladestike piirile vastava Adavere ja Jaani lademe piirikihte ja võrreldi neid juba uuritud Pärnu-Jaagupi ja Suigu (S-3) puursüdamikest kogutud andmetega. Uuritud puursüdamikes on valdavateks kivimiteks dolokivid, domeriit ja savidomeriit. Kivimi tugev savikus raskendas täpsete litoloogiliste piiride määramist. Uurimise käigus selgus, et Adavere ja Jaani lademe piir, mis vastab Llandovery ja Wenlocki piirile ja Irevikeni sündmuse algusele on Paatsalu (527) puursüdamikus sügavusel 70,0 m ja Nurme puursüdamikus erinevalt varasemast (17,9 m; Nestor 1997) sügavusel 13,2 meetrit.

Puursüdamike välikirjelduste täpsustamiseks võeti proovid kivimite laboratoorseks uurimiseks. Nurme puursüdamikust kirjeldati binokulaari abil mikrofauna lahustamise jääki, mõlemast puuraugust kirjeldati polarisatsioonimikroskoobi abil õhikuid ning Paatsalu (527) puuraugu kivimite koostise täpsustamiseks kasutati Tallinna Tehnikaülikooli geokogude andmebaasis säilitatud Erika Jürgensoni keemilise proovi (CaO, MgO, CO₂ ja lahustamatu jääk; 70ndate aastate andmed) analüüsi tulemusi.

Erinevate uurimismeetodite tulemused näitavad, et Llandovery ja Wenlocki ajastike piiril on toimunud merevee taseme alanemine. Piirikihid on moodustunud madalaveelises settekeskkonnas, kus esinevad ka erosiooni nähud. Sügavamaveelise keskkonna setetest kujunenud Paatsalu (527) kivimites on Adavere ja Jaani lademe piiril paiknev katkestuspind fosfaatse impregnatsiooniga, ülejäänud madalamaveelistes läbilõigetes püriitse impregnatsiooniga. Püriitne katkestuspind viitab pikaajalisele settekatkestusele ja sellega kaasnevale erosioonile. Litoloogiliste uuringute tulemusel võib väita, et Irevikeni sündmuse eelsed muutused kivimi koostises on jälgitavad juba Velise kihistu ülemises osas ning sündmusega seotud muutused elustiku liigilises koostises ilmnevad alles Jaani kihistu alumises osas. Paatsalu (527) puursüdamikust leitud kolmeteistkümnest K-bentoniidi kihist 4 korreleeruvad Nurme puursüdamikust leitud K-bentoniidi kihtidega ja Paatsalu (527) puursüdamiku üks K-bentoniit korreleerub ka Suigu (S-3) puursüdamiku K-bentoniidiga.

Tänuavaldused

Täna oma juhendajaid Leho Ainsaart ja Anne Põldveret abi ja nõuannete ning aktiivse juhendamise eest. Samuti suured tänud Lauri Joosule, kes oli abiks õhikute valmistamisel ja Juho Kirsile, kes oli abiks õhikute pildistamisel.

Kasutatud kirjandus

- Bréhéret, J.G., Brumsack, H.J. 2000. Barite concretions as evidence of pauses in sedimentation in the Marnes Bleues Formation of the Vocontian Basin (SE France). *Sedimentary Geology* 130, 205–228.
- Calner, M. 2008. Silurian global events – at the tipping point of climate change. Rmt.: Elewa, A.M.T. (toimetaja), Mass extinctions, Springer-Verlag, Berlin and Heidelberg, 21–58.
- Cramer, B. D., Saltzman, M. R. 2005. Sequestration of ^{12}C in the deep ocean during the early Wenlock (Silurian) positive carbon isotope excursion. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 219, 333–349.
- Nestor, H., Einasto, R. 1977. Facies-sedimentary model of the Silurian Paleobaltic pericontinental basin. Rmt: Kaljo, D. (toimetaja), Facies and fauna of the Baltic Silurian. Academy of Sciences of the Estonian S.S.R. Institute of Geology, Tallinn, 89–119.
- Eriksson, M.E., Bergman, C.F., Jeppsson, L. 2004. Silurian scolecodonts. *Palaeobotany and Palynology* 131, 269–300.
- Flügel, E. 2010. *Microfacies of Carbonate Rocks. Analysis, Interpretation and Application*. Rmt.: Springer Heidelberg Dordrecht London New York, 142-156; 509-547; 641–647.
- Glenister, B.F., Klapper, G., Chauff, K.M. 1976. Conodont Pearls? *Science*, 193, 571–573.
- Hints, O. 2008. The Silurian System in Estonia. Rmt: Hints, O., Ainsaar, L., Männik, P. ja Meidla, T. (toimetajad), The seventh Baltic stratigraphical conference. Abstracts and Field Guide. Tallinn, 113–114.
- Kallaste, T., Kiipli, T. 2006. New correlations of Telychian (Silurian) bentonites in Estonia. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences, Geology*, 55, (3), 241–251.
- Kiipli, T., Kiipli, E., Kaljo, D. 2010. Silurian sea level variations estimated using $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ and $\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ ratios in the Priekule drill core section, Latvia. *Bolletino della Società Paleontologica Italiana*, 49 (1), 55–63.
- Lehnert, O., Männik, P., Joachimski, M.M., Calner, M., Fryda, J. 2010. Palaeoclimate perturbations before the Sheinwoodian glaciation: A trigger for extinctions during the „Ireviken Event“. *Paleogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 296, 320–331.
- Loog, A., Oraspõld, A. 1982. Settekivimite ja setete (setendite) uurimismeetodid. Rmt.: Loog, A., Oraspõld, A., (toimetajad), Tartu Riiklik Ülikool, geoloogia kateeder. 83 lk.
- Munnecke, A., Calner, M., Harper, D. A.T., Servais, T. 2010. Ordovician and Silurian sea-water chemistry, sea level, and climate: A synopsis. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 296 (3–4), 389–413.
- Munnecke, A., Samtleben, C., Bickert, T. 2003. The Ireviken Event in the lower Silurian of Gotland, Sweden – relation to similar Palaeozoic and Proterozoic events. *Paleogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 195, 99–124.
- Nestor, H. 1997. Silurian. Llandovery Series. Wenlock Series. Rmt.: Raukas, A., Teedumäe, A. (toimetajad), Geology and Mineral Resources of Estonia, Estonian Academy Publishers, 89–101.

- Nestor, H., Einasto, R. 1997. Ordovician and Silurian carbonate sedimentation basin. Rmt.: Raukas, A., Teedumäe, A. (toimetajad), *Geology and Mineral Resources of Estonia*, Estonian Academy Publishers, 192–205.
- Oraspõld, A. 1975. Pirgu lademe litoloogiline iseloomustus Lõuna-Eestis. Töid geoloogia alalt. Tartu Riikliku Ülikooli Toimetised, 359, lk 21. (vene keeles, eesti ja inglise keelse resümeega).
- Pärn, T. 2011. Llandovery ja Wenlocki piirikihid Pärnu-Jaagupi puursüdamikus. Bakalaureusetöö, Tartu Ülikool. 34 lk.
- Saltzman, M.R. 2001. Silurian $\delta^{13}\text{C}$ stratigraphy: A view from North America. *Geology*, 29(8), 671–674.
- Saltzman, M.R. 2005. Phosphorus, nitrogen, and the redox evolution of the Paleozoic oceans. *Geology*, 33(7), 573–576.
- Scholle, P. A. 1978. A color illustrated guide to carbonate rock constituents, textures, cements, and porosities. American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, Oklahoma, U.S.A., 241 lk.
- Scholle, P. A., Ulmer-Scholle, D.S. 2005. Carbonate petrology – a teacher's supplemental DVD. American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, Oklahoma, U.S.A.
- Seilacher, A. 1964. Biogenic sedimentology structures. Rmt.: Imbre, J., Newell, N. (toimetajad). *Approaches to Paleocology*, New York, John Wiley and Sons Inc., 296–316.
- Tallinna Tehnikaülikooli Geoloogia Instituudi geoloogiliste kollektsioonide andmebaas. http://sarv.gi.ee/search_simple.php?q=paatsalu (23.05.2013).
- Vandenbroucke, T.R.A., Munnecke, A., Leng, J.M., Bickert, T., Hints, O., Gelsthorpe, D., Maier, G., Servais, T. 2013. Reconstructing the environmental conditions around the Silurian Ireviken Event using the carbon isotope composition of bulk and palynomorph organic matter. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 14 (1), 86–101.

Summary

THE IREVIKEN EVENT AT THE LLANDOVERY-WENLOCK BOUNDARY IN WESTERN ESTONIA

Triinu Pärn

The Paatsalu (527) drillcore is situated in western part of Estonia, near to the sea border and Nurme drillcore is situated in western part of Estonia, but more in the mainland and more to the north. Llandovery and Wenlock boundary interval was analyzed in the Paatsalu (527) and Nurme drillcore to interpret the sedimentary environment. Field descriptions of the drillcores were supplemented by 9 thin sections that were described under the polarization microscope, 59 insoluble residue samples were described and 50 chemical analyses that were made by Erika Jürgenson in the late seventies to determine the rock composition. The rock is very argillaceous and that made difficult to define the rock boundaries and because of that the original Nurme drillcore boundary in the 17.84 m had to be risen to the 13.2 m, because other wise the K-bentonites would not have correlated. On the Adavere and Jaani Stage boundary the burrows orientations changed and on the discontinuity surfaces there were pyrite that implicate that on the boundary the sea level lowered and there was erosion. In the Paatsalu (527) drillcore the boundary is in the depth of 70.0 m and in Nurme drillcore the boundary in the 13.2 m. In Paatsalu (527) drillcore four K-bentonite layers were found that correlate with Nurme drillcore K-bentonites, based on the lithology comparison and laboratory analysis. Considering the composition of K-bentonite layers and the distribution area of the discontinuity surfaces, the interval of Ireviken Event could be started at the level of the 70.0 m in the Paatsalu (527) drillcore and 13.2 m in the Nurme drillcore.

Lisad

Paatsalu (527) ja Nurme puursüdämike välikirjeldused

Paatsalu (527) puursüdämiku kirjeldus

0,0–1,0/1,0;0,7 Pinnas ja Kvaternaari setted porsunud dolokivi tükkidega.

JAAGARAHU LADE, MUHU KIHISTU

1,0–34,0/33,0;29,5

1,0–16,3/15,3;12,0 Dolokivi

dolomiidistunud lubjakivi vahekihtidega, kollaka tooniga helehall, allosas hall, ebaühtlase püriitse impregnatsiooniga, peene- ja pisikristalliline, kohati mikrokuni pisikristalliline, ebaselge keskmise-kihilisusega, harva paksukihiline.

Teraline komponent (raskesti märgatav, harvad krinoidid) on kihiti koondunud ebakorrapärastesse pesadesse.

Elutegevuse jäljed (nõrgad, valdavalt horisontaalsed, \varnothing 0,2 cm) esinevad põhiliselt intervallis 1,0–7,2 m.

Ovaalsed onkoliidid (\varnothing 1–2 cm) esinevad intervallides 8,8–9,7 m (siseehitus ilmekas) ja 15,7–15,9 m (siseehitus ebaselge).

Domeriidi tumehallid kelmed (paksus < 0,2 cm) on ebakorrapäraselt hargnevad ja lainjad, kontaktid ümbriskivimiga selged ja teravad. Enamus kelmetest on osalise lahutumise jälgedega, ebaühtlastel pindadel esinevad lahustumatu jäägi kuhjed. Hästi väljakujunenud stüloliidid puuduvad. Sinakashall savi kiht on sügavusel 13,3–13,4 m.



Foto 1. Dolokivi püriitse impregnatsiooniga. Sügavus 4,5 m.

Püriitne impregnatsioon esineb kihiti erikujuliste harvade laikudena või lausaliselt värvunud vahekihtidena, milles esineb elutegevuse jälgi meenutavaid, koostiselt sarnaseid püriidistumata käike ja laiike ($\varnothing < 1$ cm).

Püriitse impregnatsiooniga konarlikud ja valdavalt kuni 4 cm sügavuste taskutega katkestuspinnad paiknevad sügavustel: 6,7; 6,9; 7,2; 7,6; 8,1; 8,4; 9,5; 10,0; 10,2; 10,3; 10,7; 12,0; 12,1; 12,3; 12,8; 13,1; 13,2; 14,0; 15,0; 15,3; 15,4; 15,5 (?); 15,85 ja 15,9 m. Katkestuspinnad on

üldiselt selged, impregnatsioon ei ole tugev. Tumedama-värvilises dolokivis on katkestuspindade impregnatsioon halvasti jälgitav.

Sügavusel 7,2 ja 8,4 m on katkestuspindade all helehallid kontrastse joonega purdosad \varnothing kuni 2 cm.

Dolokivis esinevad ebakorrapärase asetuse ja kujuga (väljaleostunud kivistised: kaanefragmendid jms) tühikud (\varnothing 0,2–2 cm). Kohati esinev juuspeenete lõhede võrk võib olla tekkinud sette tihenemisel või ümberpaigutumisel.

Puurkadu jaotub ühtlaselt üle kompleksi.

Alumine piir on puurkaos, jälgitav on kivimi värvuse ja koostise? muutus.

16,3–16,7/0,4;0,4 Dolokivi, tumehall (püriitse impregnatsiooniga), pisikristalliline, keskmisekihiline üksikute domeriidi katkendlike kelmetega.

Harvad skeletifragmendid kuuluvad onkoliitidele ja vetikatele.

Kihipindadel esineb juusjaid rauaühendite koorikuid. Püriidiagregaatide \varnothing 0,1 cm.

Alumine piir puurkaos.

16,7–34,0/17,3;17,1 Dolokivi, helehall kuni hall, ülemises 1 m paksuses osas ebaühtlase peene ja jämeda püriidikirjaga, peene-ja pisikristalliline, keskmisekihiline, harva kuni 5 cm paksuste intervallidena peenekihtiline.



Foto 2. Ovaalsed onkoliidid dolokivis. Sügavus 8,8–9,7 m.

Domeriidi kelmed on lainjad, hargnevad ja katkendlikud. Intervallis 29,2–34,0 m, moodustavad kelmed tihedaid kimpe (ulatus kuni 2 cm), intervalli allosas täidavad kelmete kimbud kuni 10 cm paksused vahekihte. Kelmete kontaktid ümbriskivimiga selged, harvem teravad.

Intervallis 23,0–29,8 m esineb brahhiopoodide, krinoidide, ostrakoodide ja korallide kivistisi ja nende fragmente. Sügavusel 32,3 m on brahhiopoodi kivistis.

Kompleksis esinevad poorsed tasemed: tühikuid (\varnothing 0,1–2 cm, harvem 3 cm) võib-olla kuni 40% kivimi pinnast. Osa tühikutest meenutavad väljaleostunud kaanefragmente.

Lõhepinnad, vertikaalsed ja konarlikud, väheste sekundaarsete moodustiste kattega, on eriti iseloomulikud intervallidele 17,0–20,1 m ja 31,8–33,5 m. Lõhede läheduses on lihketunnustega pinnulis-kiudjaid pindu. Kohati näib, et sette pätsikujulised osad on liikunud. Püriidi agregate ($\varnothing < 0,2$ cm) esineb harva.

Alumisel piiril kasvab kivimi savikus. Piir üleminekuline.

JAANI LADE, JAANI KIHISTU 34,0–70,0/36,0;36,0

PARAMAJA KIHISTIK 34,0–44,0/10,0;10,0 Tugevalt savika dolokivi ja domeriidi tumehallid vahekihid vahelduvad halli, nõrgalt kuni keskmiselt savika dolokivi mugulate ja harvade vahekihtidega. Dolokivi on peene- ja pisikristalliline, mugulate ja vahekihtide paksus on valdavalt < 2 cm. Nõrgalt savikas dolokivi moodustab 10–20% läbilõikest, selles esineb tühikuid (\varnothing kuni 1 cm), mis meenutavad leostunud kivistisi. Intervallis 36,4–37,4 valdab domeriit.

Kompleksis esineb peeneid skeleti-fragmente (pesiti kuni 25%), mis kuuluvad ostrakoodidele, brahhiopoodidele ja krinoididele. Sügavusel 36,1 m on brahhiopoodi jäljend ja väikesed < 1 mm suurused püriidi moodustised. Sügavusel 37,0 m on trilobiidi fragment.

Alumine piir on üleminekuline.



Foto 3. Trilobiidi skeleti fragment dolokivis. Sügavus 37,0 m.

MUSTJALA KIHISTIK 44,0–70,0/26,0; 26,0
Savidomeriidi, domeriidi ja tugevalt savika dolokivi tumehallid vahekihid, harvade halli nõrgalt kuni keskmiselt savika dolokivi mugulate ja vahekihtidega. Dolokivi on peene-ja pisikristalliline.

Kivimid on halvasti jälgitava horisontaalse kihilisusega. Savikamates erimites (eriti kompleksi ülemises kolmandikus) esinevad teralise karbonaatse materjali (enamasti $\varnothing < 1$ mm; kuni 30% kivimist) pesad. Esineb brahhiopoodide, krinoidide, trilobiitide, vetikate ja ostrakoodide fragmente.

Intervallis 60,8–70,0 m on dolokivis tugevalt savikad mugulad (max \varnothing kuni 5 cm) ja vahekihid. Nõrgalt savikas dolokivi moodustab kuni 10% läbilõikest. Savimergli vahekihid paksusega kuni 10 cm esinevad umbes 1 m vahedega.

Sügavusel 62,2 m on kahepoolne must fragment (võib kuuluda nii kalale kui trilobiidile), mida katab sekundaarse tekkega kirme.

Intervallis 62,2–62,8 m on palju erisuunalisi (vertikaalsed, horisontaalsed ja kallakad) elutegevuse jälgi, kuni 50% kivimi pinnast. Nende täide on ümbriskivimist heledam, jälgede ümber on selge püriitne kontuur.

Püriidi agregaadid ($\varnothing < 2$ cm) on iseloomulikumat kompleksi alumisele, 5 m paksusele osale, kus esinevad ka rauaühenditega juuspeened kiled. Sügavusel 65,8 m on püriidi kristall ($\varnothing < 1$ cm).

Alumisel piiril on nõrk, pruunika tooniga fosfaatse? impregnatsiooniga (sügavus kuni 1 cm) konarustega lainjas katkestuspind. Pinna peal esinevad üksikud



Foto 4. Katkestuspinnad dolokivis. Sügavus 69,9–70,2 m.

kallakad kuni vertikaalsed elutegevuse jäljed $\varnothing < 2$ mm. Pinna all (kuulub järgmisse kompleksi), 18 cm sügavamal, on nõrgem samasugune katkestuspind. Kahe pinna vahel on elutegevuse jäljed. Alumise piiri all on rikkalikult käike, valdavalt horisontaalsed.

ADAVERE LADE 70,0–88,2+/18,2;18,1

VELISE KIHISTU 70,0–82,6/12,6;12,6 Tugevalt savika, harvem keskmiselt savika dolokivi mugulad ja vahekihid (paksus < 4 cm) savidomeriidis. Varieeruva savikusega dolokivi on tumeda tooniga hall. Kompleksi alumises osas esineb dolomiidistunud lubjakivi ja mergli vahekihte.

Elutegevuse jäljed esinevad kihiti terves kompleksis.

Roheka (sinaka) tooniga tumehall savidomeriit esineb kuni 7 cm paksuste lainjas-horisontaalsete kihtidena, millede kontaktid ümbriskivimiga on ebaselged. savidomeriit moodustab intervallis 72,4–80,2 m kuni 80% läbilõikest, üleval ja allpool on väiksema savikusega erimeid rohkem.

Intervallis 70,0–71,9 m esineb raua-oididega ($\varnothing < 1$ mm, sisaldus paiguti $< 10\%$ kivimist) ja püriidi agregaatidega (erikujulised, $\varnothing < 2$ cm) vahekihte. Püriiti esineb veel sügavusel 75,5 m ja intervallis 78,8–78,9 m.

Sügavusel 71,8 m on osaliselt selge kontaktpind, millel esineb rikkalikult püriidi agregate (kihiti $< 20\%$ kivimist); sügavusel 74,7 m on lainjas katkestuspind.

Intervallis 71,9–72,5 m valdab märgatavalt horisontaalkihiline tumehall savi.

Sügavusel 72,35 m on konarpindne teralise karbonaadi pesa $\varnothing 2$ cm.

Sügavusel 74,0 m on püriitse impregnatsiooniga veeris, kihipinnal esinevad tundmatu päritoluga, kõvad, pruunikas-mustad purdosad $\varnothing < 1$ cm.

Intervallis 80,2–82,6 m esineb dolomiidistunud lubjakivi mugulaid ($\varnothing < 3$ cm) ja vahekihte. Kompleksi alumises 2 m paksuses osas koosnevad mugulad nõrgalt savikast lubjakivist.

Sügavusel 81,9 m on reljeefse ribilise pealispinnaga kivistised, mis on arvatavasti rugoosid.

K-bentoniidid on leitud sügavustelt 79,8 (glaukoniidiga), 80,8, 81,0–81,1 m, 81,5 (glaukoniidiga), 82,0 (glaukoniit ja peenete rauaühendite lisand), 82,2 ja 82,4 m.

Puursüdamiku kastidele on märgitud järgmised K-bentoniidid: 72,45–72,5 (glaukoniidiga), 73,7 ja 74,0 m (neid me ei leidnud, kirjeldatud Erika Jürgensoni poolt 1976. aastal).

Alumisel piiril väheneb kivimi savikus oluliselt, piir üleminekuline.

RUMBA KIHISTU 82,6–88,2+5,6;5,5 Lubjakivi (kuni 90% kivimist), helehall, peene-ja pisikristalliline (teralist komponenti kohati kuni 25%), intervallis 82,6–83,9 m kuni keskmiselt savikas, allpool kuni nõrgalt savikas. Lubjakivi erikujulised ja ümarad mugulad (kõrgus 1–3 cm) ning vahekihid (paksus 2–5 cm) on teravate kontaktidega.

Mergli kuni 0,2–3,0 cm paksused vahekihid on lainjad, konarlikud ja hargnevad, kogumikud on \varnothing kuni 4 cm.

Intervallis 86,8–87,8 m esineb korallide ja stromatopooride fragmente (suurus kuni 3 cm).

Elutegevuse jälgi ($\varnothing < 2$ mm) on vähe, need on valdavalt horisontaalsed. Alumises 1 m paksuses osas elutegevuse jälgi kihiti kuni 40% kivimist ja need on ka vertikaalsed.

K-bentoniidi kihid on sügavustel 83,75 ja 83,9 (=Osmundsberg bentoniit) m.

Katkestuspinnad on sügavustel:

84,2 m (XII/XI tsükli piir R. Einasto järgi) püriitne impregnatsioon, lainjas, konarlik, litoloogiliselt terav kontakt pinna peal oleva mergliga;

85,6 m (XI/X tsükli piir), puurkao tõttu on jälgitavad püriitse impregnatsiooni jäljed;

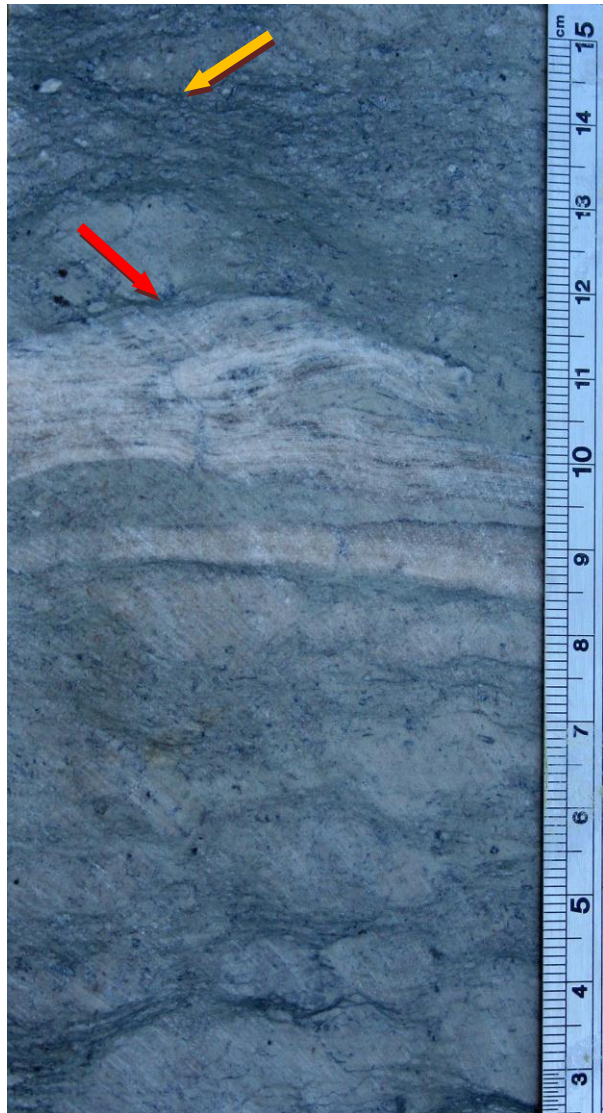


Foto 5. Stromatopoori fragment (punane nool) ja mergli kelmed (kollane nool) lubjakivis. Sügavus 86,6 m.

85,8 m (X/IX tsükli piir) puurkaotõttu on jälgitavad püriitse impregnatsiooni jäljed, piiri all on stromatopoori fragmendid ja esineb püriidi agregate, piiri peal on savikad kivimid.

Sügavusel 84,9 m ümar kivistis \varnothing 1,5 cm, arvatavasti korall. Kihipindadel on juusjad moodustised sekundaarse kirmega.

Intervallis 88,0–88,2 m on K-bentoniidi kiht (väljatulek 0,17 m). Alumise 11 cm paksuse kihi moodustab hele beežikashall, kõva, veidi sätendav (vilk?) kivim, mille alumises kolmandikus on kuni 10% musta peent puru (rauaühendid), ülaosas vähem. Alumise kihi ülemisel piiril on terav sile kontaktpind, millest kõrgemal K-bentoniidi karbonaatsus kasvab (kihiseb HCl 3% happega): kivim on hall, allosas veidi kollaka tooniga, juuspeenete kihilisust märkivate katkendlike joontega, väga ühtlaselt musta peent puru (~10% kivimist; kohati sätendavad metalliselt) sisaldav.

K-bentoniidi kihi ülemisel piiril on katkestuspinna laadne tasane joon ja esinevad püriidi agregaadid $\varnothing < 1$ cm. Tasasel pinna peal on hall kõva kivim (ei kihise HCl 3% happega), mida katavad savika kivimi kelmed.

K-bentoniidi alumisel piiril on konarlik püriidi impregnatsiooniga katkestuspind (puurimisel kahjustatud).

Alumisel piiril on terav kontakt K-bentoniidiga.

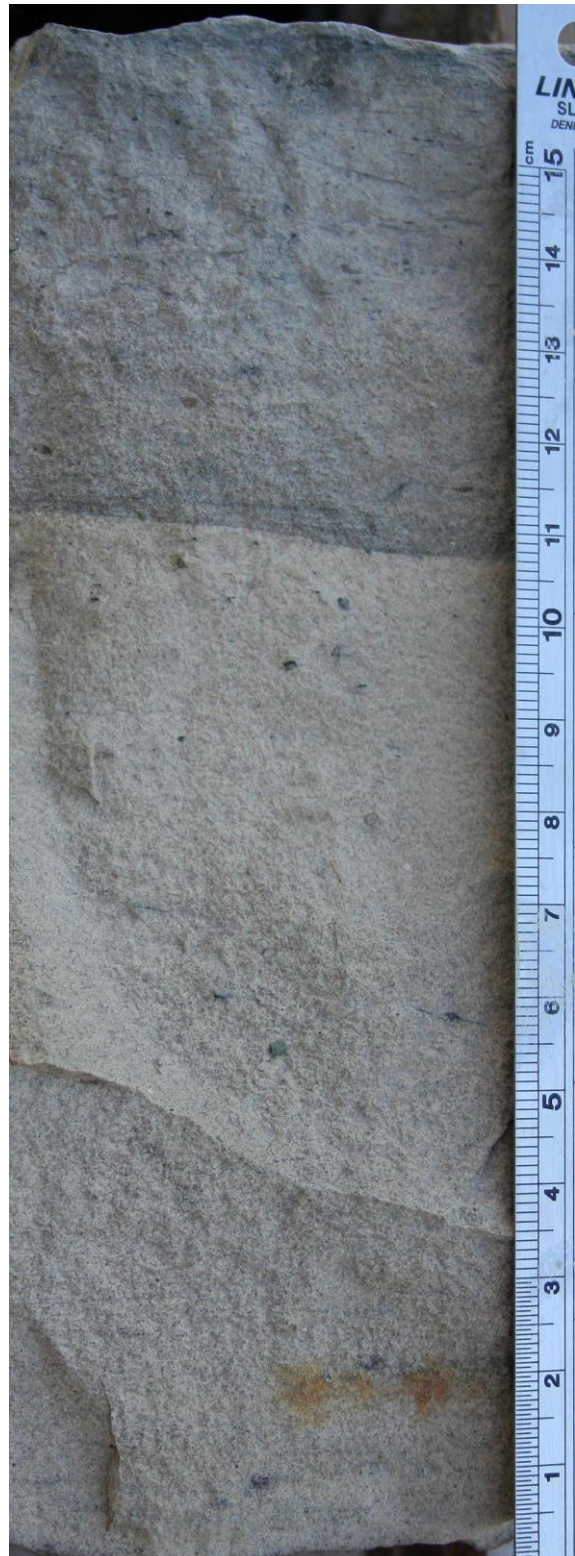


Foto 6. K-bentoniidi kiht. Sügavus 88,0–88,2 m.

Nurme puursüdamiku kirjeldus

0,0–0,6/0,6;0,0 Pinnakate (pole säilitatud).

JAANI LADE, JAANI KIHISTU, MUSTJALA KIHISTIK 0,6–17,84/17,24;16,3

Halli tugevalt savika dolomiitlubjakivi ja dolokivi ning domeriidi kuni savidomeriidi (40–60%) ning heledama, keskmiselt savika dolomiitlubjakivi või dolomiidi mugulate ja harvade vahekihtide vaheldumine.

Savikam kivim ei ole kihitatud, selles esineb karbonaatseid peeneid fragmente.

Vähem savikas dolokivi või dolomiitlubjakivi on pisikristalliline ja esineb muguljate eraldisvormidena (\varnothing 2–3 cm). Kontaktid ümbriskivimiga selged, aga mitte teravad. Kivimi pealispind on osaliselt lahustunud teralise komponendi arvelt. Harva esineb poore.

Intervallides 5,6–5,9 m ja 11,5–11,7 m on kivim lõheline. Lõhede pinnad on kaetud sekundaarsete lisanditeta lubimudaga.

Ülemine, 40 cm paksune osa on porsunud, leostunud ja nõrga kollaka tooniga.

Savi osatähtsus läbilõikes varieerub suurenedes kompleksi alumise osa suunas. Tugevalt savika lubjakivi ja mergli vahekihid (paksus kuni 0,5 m) on iseloomulikud intervallides 7,5–8,3, 11,9–12,3, 13,5–13,7 ja 15,6–16,6 m.

Elutegevuse jäljed ($\varnothing < 2$ mm, väheste loogetega) esinevad kihipindadel, nende täide on roostevärviline, kontaktpinnad erimiga mustavärvilised.

Sügavusel 11,4 m on kuni 1,5 cm paksune kiht, milles on horisontaalselt orienteeritud joonelise pealispinnaga dolomiidistunud kivimi purdosad (pikkus < 1 cm, paksus < 2 cm).

Sügavusel 13,2 m on konarlik püriitse impregnatsiooniga (sügavus 1 cm) katkestuspind püriidi kristallidega (R. Einasto järgi mesotsükliidi piir), millest 20 cm allpool on konarpindsete seintega tühik (\varnothing 3 cm) ja ümbriskivimis püriitse agregadi pesa (\varnothing 0,5 cm).

Intervallis 13,2–17,84 m esineb piklikke või lapikuid (\varnothing 2–4 cm), terava piirjoonega jõhviliitestele sarnanevaid pesi (sisaldavad roostevärvi pesi ja veidi püriiti), mis reageerivad erinevalt ümbriskivimist, ägedalt HCl 3% lahusele.

Sügavusel 15,4 m on torujas sammallooma? kivistis (otsast 5 × 2 cm, pikkus 6 cm), mille pealispind on kaetud püriiti sisaldava sekundaarse kattega ning okasnaha lüli (Ø 0,5 cm).

Kompleksis esineb hajusalt püriiti (valdavalt Ø < 2 mm).

Alumiseks piiriks on terava kontaktiga K-bentoniidi kihi ülemine piir. K-bentoniidi peal on erineva savikusega ebaselge kihilisusega kivim, esineb lapikuid elutegevuse jälgi (max Ø 3 mm).

ADAVERE LADE 17,84–33,1/15,26;15,26

VELISE KIHISTIK 17,84–30,4/12,56; 12,56

17,84–17,9/0,06;0,06 **Valkjashall K-bentoniidi kiht, pitsunud** horisontaalsete elutegevuse jälgedega (osakaal ~ 5% kivimist). Alumisel piiril on terav lõige puurimisest.

17,9–30,4/12,5;12,5 (kasti täidab 12,8 m ulatuses) Savimergel erineva savikusega lubjakivi mugulatega.

Tumerohekashall, enamasti horisontaal-kihiline savimergel valdab intervallides 17,9–20,1, 21,7–22,5, 23,6–23,9 ja 25,0–25,3 m; pudedaks muutunud merglis on peened karbonaatsemad vahekihid, reageerivad HCl 3% lahusele.

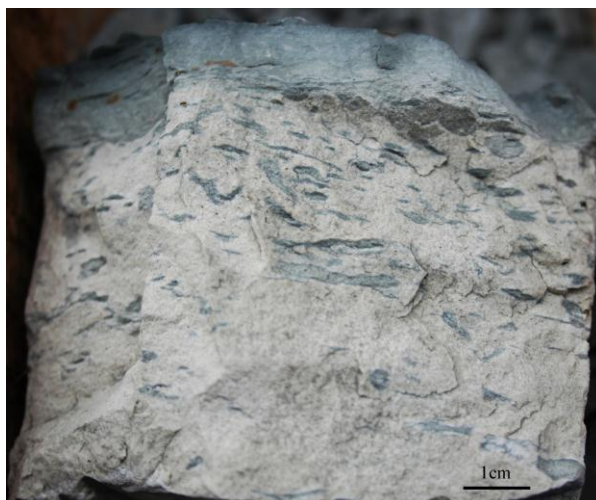


Foto 7. K-bentoniit pitsunud elutegevuse jälgedega. Sügavus 17,84–17,9 m.

Kompleksi allosas on kerge roheka varjundiga tumehallis, keskmiselt kuni tugevalt savikas lubjakivis (harvem lubimerglis) helehalli puhta kuni nõrgalt savika lubjakivi mugulad (kõrgus 2–3 cm; 10% kivimist).

Kontakt mugulate ja ümbriskivimi vahel on selge või terav, terav kontaktpind on iseloomulik kompleksi alumisele osale. Kihiti on erimite kontaktpinnad horisontaalsed ja markeeritud nõrga püriitse impregnatsiooniga.

Savikamad kivimid sisaldavad kihiti peent karbonaatset teralist materjali, eriti intervallis 25,0–30,4 m. Elutegevuse jäljed (Ø 0,3 cm) esinevad kihipindadel, eriti intervallis 24,6–

24,8 m. Savikamates kihtides on elutegevuse jäljed (\varnothing 1–2 mm) horisontaalsed ja pitsunud.

Sügavusel 20,15 m on üks jõhviliitese sarnane tasku kõrgusega 3 cm ja laiusel 2 cm, mis näib olevat portsudena täitunud.

Sügavusel 23,4 m on K-bentoniidi kihi peal paralleelkihilise struktuuriga kivistis ($3,5 \times 1,5$ cm).

Sügavusel 24,3 m on mitmed kihipinnad kaetud musta kelmega (orgaanikarikka sette sekundaarsed muutused).

K-bentoniidi kihid teravate kontaktpindadega on sügavustel 20,1 m (paksus 3 cm), 21,1 (4 cm), 23,45 (3,5 cm, glaukoniidi lisand), 24,25 m (2 cm), 24,5 m (4 cm).

Sügavusel 25,0 m on püriitse impregnatsiooniga konarlik katkestuspind, mille pinnal on püriidi koorikukujulised agregaadid (paksus 0,5 cm; \varnothing 0,5 cm); mesotsükliidi piir R. Einasto järgi. Sügavusel 30,46 on nõrga püriitse impregnatsiooniga pind.

Alumisel piiril on laineline ja selge, püriitse impregnatsiooniga (sügavus 2 mm) katkestuspind.

RUMBA KIHISTU 30,4–33,1+2,7;2,7 Lubjakivi, helehall, pisikristalliline, tumehalli, kohati tumerohkashalli mergli või tugevalt savika lubjakivi laineliste ja hargnevate kelmete, vahekihtide (paksus 1–2 cm) ja kogumikega ($\varnothing < 3$ cm). Lubjakivi esineb kihiti ka piklike mugulatena ($\varnothing < 3$ cm), harva on nende väliskuju ebaühtlaselt konarlik. Erimite kontaktid on selged või teravad.



Foto 8. Lubjakivi mergli vahekihtidega. Sügavus 31,4–31,6 m.

Savikates kihtides esineb ebaühtlaselt karbonaatne teraline materjal (pesiti kuni 30%). Sügavusel 33,05 m on rugoosi fragment \varnothing 1,5 cm, intervallis 31,4–31,6 m esineb brahhiopoodide kivistisi. Elutegevuse jäljed ($\varnothing < 0,4$ cm) on horisontaalsed ja enamasti lapikud.

Püriitse impregnatsiooniga katkestuspinnad on sügavustel:

- 30,65 m – sügavus 1 cm, püriidi kristallid \varnothing 1 mm;
- 30,8 m – sügavus 1 cm, tasku sügavus 2 cm, lainjas jooneline pind, püriidi kogumik;
- 31,3 m – nõrk, horisontaalne, konarlik, püriidi agregaadid $\varnothing < 0,5$ cm;
- 31,5 m – pinnal on 2 mm paksuse püriidistunud lõhelise kontuuriga karbonaatne veeris $\varnothing < 3$ cm;
- 32,5 m – konarlik pind, brahhiopoodide fragmendid ($\varnothing < 1,5$ cm), püriidi kristallid ($\varnothing < 1$ cm), pinna all on horisontaalsed käigud (\varnothing 0,2 cm; kohati püriitse kontuuriga);
- 32,7 m – lainjas jooneline (paksus kuni 2 mm), konarlik, püriidi agregaat (\varnothing 0,5 cm), pinna all kuni 5 cm ulatuses esineb veel ebaselgeid lainjaid ja katkendlikke püriidistunud jooni ning püriidi agregaat (\varnothing 0,5 cm);
- 32,85 m – selge lainjas-jooneline, konarlik, püriidi agregaadid ($\varnothing < 0,5$ cm).



Foto 9. Katkestuse kihipind püriidi kristalliga. Sügavus 32,5 m.

Püriidistunud pindade peal ja all esineb sageli joonelist ebaselget impregnatsiooni ja purdosi, mis läbinisti impregneerunud või ebaühtlase püriidikirjaga.

Sügavusel 32,95 m esinevad tugeva püriitse joonega, horisontaalselt orienteeritud, läbinisti impregneerunud purdosad (suurus 1–3,5 cm), mille ülemised pinnad on kohati lõhelised.

Õhikud Nurme ja Paatsalu (527) puursüdamikust

Õhikud Nurme puursüdamikust

ÕHIK 1. Pisikristalliline dolomiit, kohati esineb ümberkristalliseerunud massis romboeedrilisi kristalle, mis on põhimassist suuremate kristallidega, \varnothing 0,1-0,3 mm. Põhimassikristallid on ebaselged, õhikus leidub puhtamakiviga ja savikamaosaga alasid. Püriiti leidub õhikus < 2%, püriidi terade \varnothing 0,06-0,1 mm ja agregaatide \varnothing 0,3-3,4 mm. Kvartsi terad puuduvad. Tühikud puhtas kivimis puuduvad, savikamas osas on savi välja uhtunud.

Jaani lade, Jaani kihistu, Mustjala kihistik: sügavus 10,3 m.

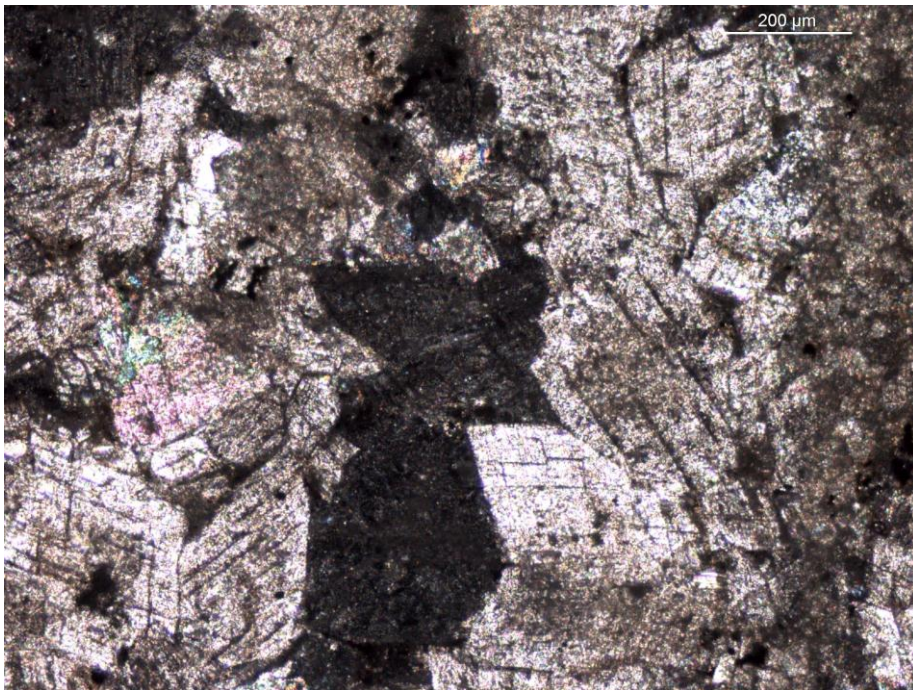


Foto 10. Dolomiidi romboeedrid. Analüsaatoriga, skaala 200 μ m

ÕHIK 2. Pisikristalliline dolomiit. Kristallid on ebaselged, üksikud romboeedrid. Õhikus pikad lõhed, kivim tugevalt savikas, savikamad ja puhtamad osad vahelduvad vöötidena. Püriiti õhikus < 5%, terade suurus \varnothing 0,02-0,05 mm, esineb palju püriidi sooni ja roostevärvi rauaühendeid. Kvartsi terad puuduvad. Üksikud tühikud \varnothing 0,04-0,06 mm.

Õhikus leidub skeletifragmente: okasnahad \varnothing 0,1-0,3 mm, kaanefragmendid ja sammalloom.

Jaani lade, Jaani kihistu, Mustjala kihistik: sügavus 16,0 m.

ÕHIK 3. Peene- ja pisikristalliline dolomiit. Kristallid ebaselged ja kriimulised, romboeedrid ümberkristalliseerunud ala ja kogumikes. Kvartsi terad puuduvad. Tühikud puuduvad. Püriiti < 1%.

Õhikus leiduvad skeletifragmendid: okasnahad, kaanefragmendid (õhiku ülaservas) ja sammalloom.

Adavere lade, Velise kihistu: sügavus 26,9 m.

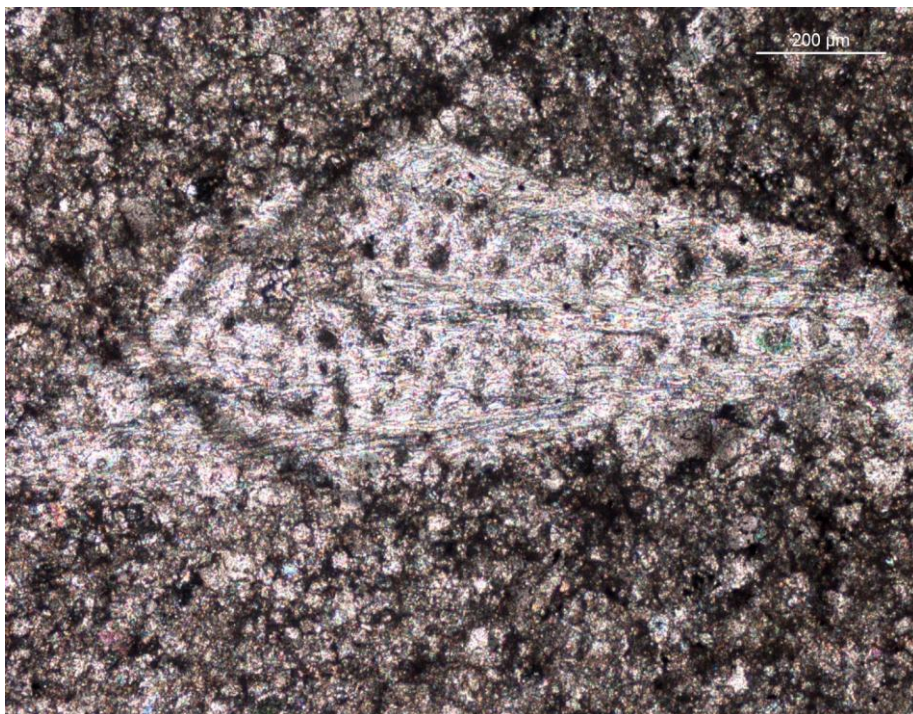


Foto 11. Sammalloom. Analüsaatoriga, skaala 200 μ m

ÕHIK 4. Peene- ja pisikristalliline dolomiit, ebaselgete kristallidega. Õhiku keskelt jookseb läbi püriidi rikas ala, kus esineb püriidi sooni ja kogumikke \varnothing 0,1-3 mm. Põhimassi sees hästi väljaarenenud ja ilusa kujuga romboeedrid \varnothing 0,05-0,06 mm. Kvartsi terad puuduvad. Tühikud puuduvad.

Õhikus leiduvad skeletifragmendid: Okasnahad (õhiku ülaosas), ostrakood \varnothing 0,4 mm, vetikad ja karbifragmendid.

Adavere lade, Rumba kihistu: sügavus 30,8 m.



Foto 12. Okasnaha fragment.
Analüsaatoriga, skaala 200 μm .

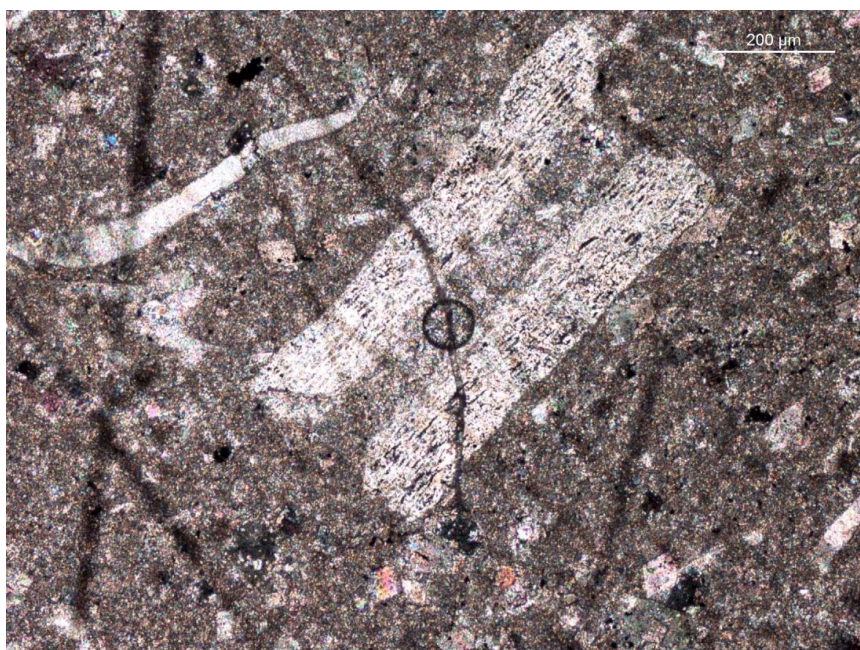


Foto 13. Okasnaha fragment.
Analüsaatoriga, skaala 200 μm .

Õhikud Paatsalu puursüdamikust.

ÕHIK 5. Pisikristalliline dolomiit. Kristallid ebaselged, leidub ka romboeedreid. Õhiku ülemine osa on puhtama kivimiga, alumises osas heledamad ja tumedamad alad, savikus muutub. Püriit kogumikena ja hajusalt õhiku alumises osas, terade suurus \varnothing 0,01-0,04 mm. Rauaühendite kogumikud, roostepruunid \varnothing 0,04 mm. Kvartsi terad \varnothing 0,05-0,06 mm. Tühikud \varnothing 0,2-0,4 mm, < 1%.

Jaagarahu lade, Muhu kihistu: sügavus 10,6 m.

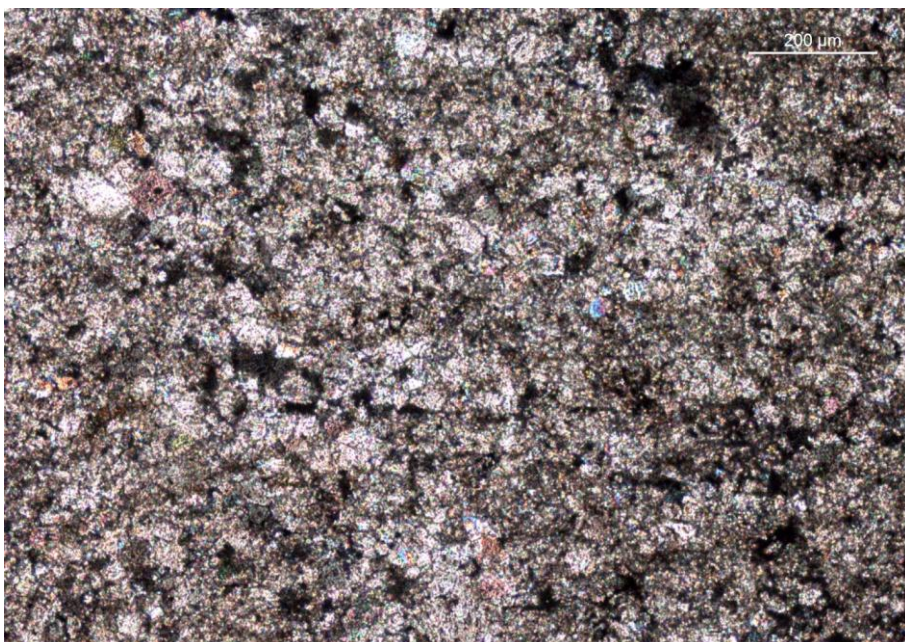


Foto 14. Pisikristalliline dolomiit. Analüsaatoriga, skaala 200 μ m.

ÕHIK 6. Pisi-ja peenekristalliline dolomiit. Kristallid erikujulised, tühikute ümber romboeedrilised dolomiidi kristallid. Õhik ebaühtlase savikusega, esineb heledamaid ja tumedamaid alasid, savikelmed jooksevad õhikuga paralleelsed. Leidub üksikuid kvartsi teri \varnothing 0,02-0,04 mm. Tühikuid < 2%. Püriiti leidub hajusalt üle terve õhiku \varnothing 0,01 mm ja < 1%.

Õhikus leiduvad skeletifragmendid: kaanefragmendid, okasnahad.

Jaagarahu lade, Muhu kihistu: sügavus 32,9 m.

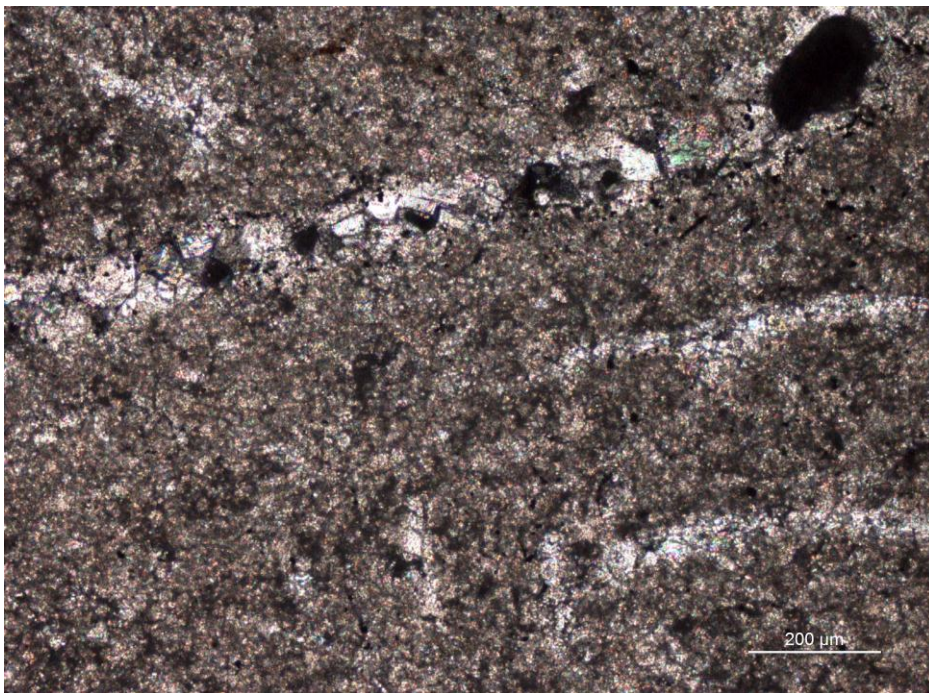


Foto 15. Ümberkristalliseerunud alad dolokivis. Analüsaatoriga, skaala 200 µm.

ÕHIK 7. Pisi- ja peeneteraline dolomiit. Põhimassis suuremate kristallidega (\varnothing 0,1-0,3 mm) kogumikud sees. Kvartsi terad \varnothing 0,1-0,2 mm, üksikud. Tühikud puuduvad. Püriiti leidub kogumikena \varnothing 0,3 mm ja hajusalt \varnothing 0,06-0,08 mm, < 1%. Leidub kaanefragmente.

Jaani lade, Jaani kihistu, Mustjala kihistik: sügavus 61,0 m.

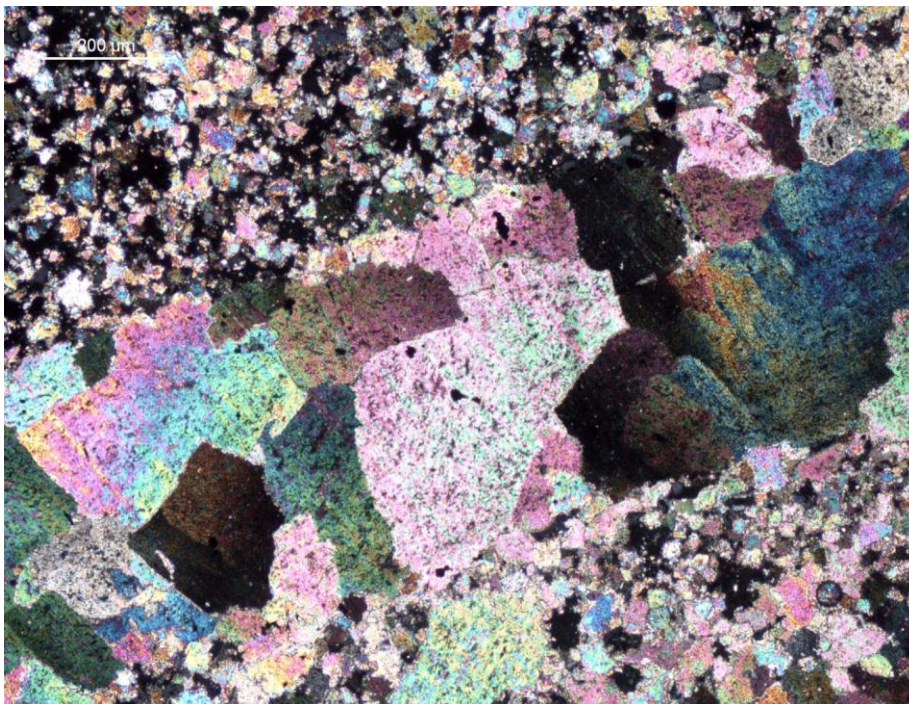


Foto 16. Ümberkristalliseerunud ala dolomiidis. Analüsaatoriga, skaala 200 µm.

ÕHIK 8. Peene- ja pisikristalliline dolomiit. Põhimassis sees suuremad kristallid, enamasti romboeedrid. Püriiti leidub agregaatidena \varnothing 0,9-1,6 mm, < 2%, hajusat püriiti ei leidu. Roostekarva rauaühendid. Kvartsi terad ebaselged \varnothing 0,3-0,17 mm, üksikud. Tühikuid < 1%. Oiidid \varnothing 0,3-0,9 mm.

Õhikus leiduvad skeletifragmendid: okasnahad, kaanefragmendid.

Adavere lade, Velise kihistu: sügavus 70,3 m.



Foto 17. Ooid ja dolomiidi romboeedrid. Analüsaatoriga, skaala 200 µm.

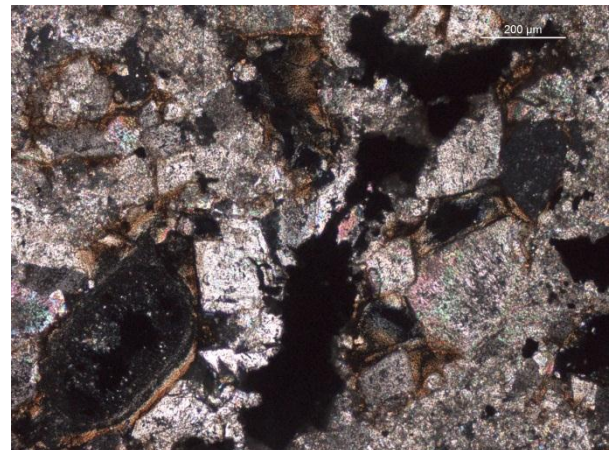


Foto 18. Ooid, dolomiidi romboeedrid ja raua ühendid. Analüsaatoriga, skaala 200 µm.



Foto 19. Dolomiidi romboeedrid tühikus. Analüsaatoriga, skaala 200 µm.

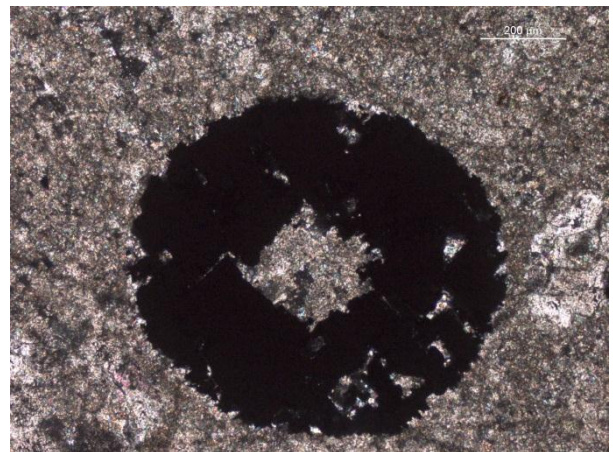


Foto 20. Püriidistunud krinoidi fragment. Analüsaatoriga, skaala 200 µm.

ÕHIK 9. Pisikristalliline dolomiit. Põhimassi kristallid ebaselged, täitematerjali kristallis romboeedrilised. Kvartsi terad \varnothing 0,3-0,6 mm, üksikud. Tühikud puuduvad. Püriit hajusalt üksikute teradena \varnothing 0,06 mm.

Õhikus leiduvad skeletifragmendid: okasnahad, kaanefragmendid ja ostrakood.

Adavere lade, Rumba kihistu: sügavus 83,9 m.

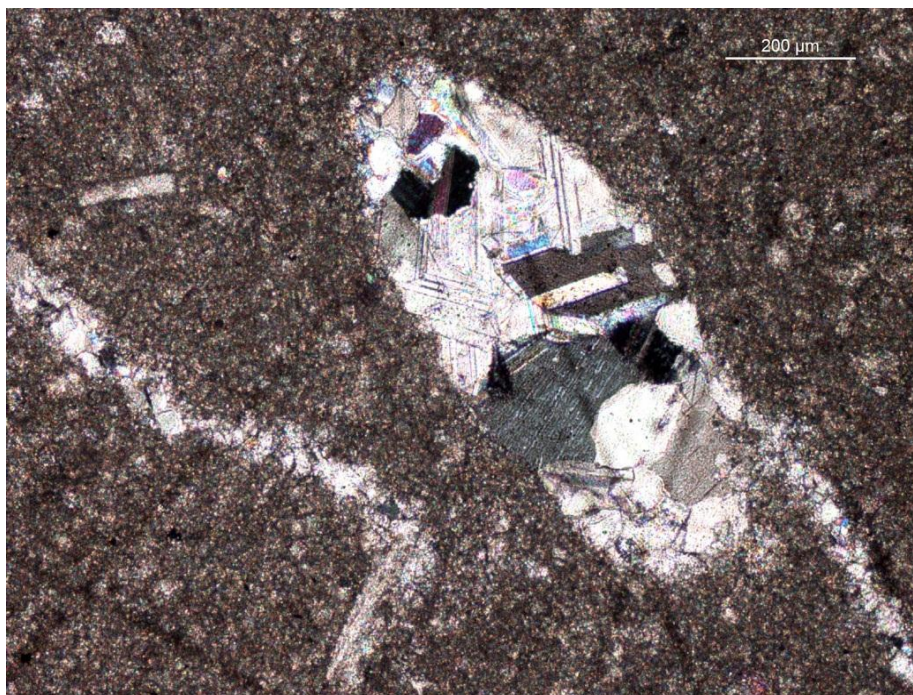


Foto 21. Asendunud dolomiidi romboeedrid skeletifragmendi alas.
Analüsaatoriga, skaala 200 μm .

Tabel 3. Keemiliste analüüside tabel

Paatsalu (527) puursüdamiku keemia andmed

Proovi sügavus (m)	Kivim	CaO	MgO	CO ₂	LJ	CaCO ₃	CaMg(CO ₃) ₂	CaO/MgO	Märkused
		%							
4,40	dolokivi	27,60	21,10	43,84	3,85		96,96	1,30	
4,80	dolokivi	25,66	19,02	39,81	8,13		87,04	1,30	
6,15	dolokivi	26,80	21,23	43,77	7,60		97,06	1,30	
6,70	dolomiidikas lubjakivi	26,67	20,64	42,97	6,25		11,99	1,30	diski pealt
6,70	dolokivi	26,75	21,21	43,59	5,70		97,06	1,30	diski alt
8,30	dolokivi	26,78	20,32	42,40	5,50		93,02	1,30	
9,50	dolokivi	24,90	18,69	39,27	11,00		85,95	1,30	
10,20	dolokivi	26,73	21,66	43,95	4,75		99,90	1,20	diski pealt
10,20	dolokivi	26,27	21,60	43,64	5,53		99,02	1,20	diski alt
10,70	dolokivi	26,06	20,20	41,96	8,53		92,92	1,30	diski pealt
10,70	dolokivi	25,65	21,37	42,93	6,25		98,03	1,20	diski alt
12,20	dolokivi	26,59	17,33	39,99	8,15	4,77	79,08	1,50	
13,10	dolokivi	25,85	21,01	42,67	6,68		96,07	1,20	diski pealt
13,15	avidomeriit	12,94	9,84	20,14	47,30		44,99	1,30	
13,35	savi	1,29	0,70	1,98	92,33	0,69	3,04	1,80	
14,02	dolokivi	24,25	18,35	39,10	13,30		84,09	1,30	disk
14,20	dolokivi	26,32	19,72	41,98	7,28		90,08	1,30	
15,00	dolokivi	27,85	20,73	44,20	3,98		94,99	1,30	diski pealt
15,00	dolokivi	26,67	20,85	42,90	4,48		95,97	1,30	diski alt
16,10	savikas dolokivi	24,90	19,17	39,58	10,75		88,01	1,30	
16,40	savikas dolokivi	24,13	18,65	38,61	17,00		85,95	1,30	diski pealt
16,40	savikas dolokivi	24,41	18,52	38,90	14,00		84,97	1,30	diski alt
16,45	savikas dolokivi	24,20	17,02	37,28	18,53	0,89	77,99	1,40	
16,70	savikas dolokivi	24,26	18,80	38,52	16,50		86,05	1,30	diski pealt
16,70	savikas dolokivi	23,75	17,00	37,37	18,03	0,07	77,99	1,40	diski alt
17,00	savikas dolokivi	25,66	18,79	39,86	16,05		86,05	1,40	
17,85	dolokivi	28,09	21,01	44,11	3,85		96,07	1,30	
21,10	dolokivi	27,24	21,13	43,67	5,00		96,96	1,30	
25,40	dolokivi	26,67	20,00	41,98	8,05		91,95	1,30	
29,50	dolokivi	24,99	18,31	38,87	16,01		83,99	1,40	
33,80	dolokivi	26,42	19,81	41,68	9,04		90,96	1,30	
35,00	dolomiitdomeeriit	19,31	13,04	28,62	38,13	1,95	59,92	1,50	
41,90	savikas dolokivi	20,71	14,74	32,55	32,30	0,60	67,10	1,40	
48,00	dolomiitdomeeriit	19,79	12,27	28,55	38,94	4,97	56,09	1,60	
51,60	dolomiitdomeeriit	14,94	11,03	23,13	49,90		50,10	1,40	
57,00	dolomiitdomeeriit	12,59	8,87	19,60	58,82	0,22	40,96	1,40	
58,90	dolomiitdomeeriit	12,83	9,04	20,28	58,26	0,68	41,06	1,40	
61,90	dolomiitdomeeriit	19,73	11,65	27,89	40,12	5,95	53,93	1,70	
63,70	avidomeriit	10,74	7,29	15,68	65,75	1,15	33,10	1,50	
66,80	avidomeriit	9,93	6,96	15,11	67,64	0,33	32,03	1,40	
69,40	dolomiitdomeeriit	17,93	11,58	26,13	43,82	3,14	53,04	1,50	
70,40	savikas dolokivi	21,86	15,81	33,74	27,89		72,11	1,40	
70,90	dolomiitdomeeriit	15,56	11,71	24,29	46,07		53,93	1,30	
72,45-50	savi	0,63	0,68	1,31	96,96		3,04	0,90	
75,40	avidomeriit	7,14	5,63	12,04	74,07		25,93	1,30	
79,20	dolomiidikas savi	6,10	3,09	8,48	82,79	3,16	14,05	2,00	
80,70	avidomeriit	10,69	4,45	13,22	71,25	7,83	20,92	2,40	
82,1-2	savikas lubjakivi	41,38	1,79	34,50	22,20	69,75	8,05	23,10	
83,00	dolomiitdomeeriit	22,41	12,55	31,76	33,75	8,30	57,95	1,80	
85,40	dolomiidikas lubimergel	36,53	4,78	34,31	24,81	53,16	22,03	7,60	
87,90	dolomiidikas savimergel	25,27	4,11	24,75	46,15	34,90	18,95	6,10	

Erika Jürgensoni kartoteek (TTÜ GI geokogud) 1970ndate lõpus.

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina Triinu Pärn (sünnikuupäev: 26.03.1986)

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Irevikeni sündmuse kajastus Llandovery ja Wenlocki piirikihitdes Lääne-Eestis, mille juhendajad on Leho Ainsaar ja Anne Põldvere,

1.1.reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2.üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu alates **24.05.2013** kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. olen teadlik, et nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus: **24.05.2013**