

Tallinna Tehnikaülikool
Matemaatika-loodusteaduskond
Geoloogia instituut

VARA-KATY (ORDOVIITSIUM)
SARVKORALLID
VASALEMMA KARJÄÄRIS LOODE-EESTIS

Bakalaureusetöö

Ailar Uffert

Juhendaja: Ursula Toom, MSc, doktorant

Konsultant: Dimitri Kaljo, DSc, akadeemik

Maa-teadused

2018

Deklareerin, et käesolev lõputöö on minu iseseisva töö tulemus, ning kinnitan, et esitatud materjalide põhjal ei ole varem akadeemilist kraadi taotletud.

Kinnitan, et antud töö koostamisel olen kõikide teiste autorite seisukohtadele, probleemipüstitustele, kogutud arvandmetele jmt viidanud.

Ailar Uffert

(allkiri ja kuupäev)

Juhendaja: *Ursula Toom*

Töö vastab bakalaureusetööle/magistritööle esitatavatele nõuetele.

(allkiri ja kuupäev)

Kaitsmiskomisjoni esimees:

Lubatud kaitsmisele

.....

(nimi, allkiri, kuupäev)

Lühikokkuvõte

Hilis-Ordoviitsiumis jõudis Baltika paleokontinent troopilistele laiuskraadidele. Hilis-Sandby ja Vara-Katy eal toimusid Balti paleobasseini settimisskeemis suured muutused – kliima soojenemine põhjustas laial alal rifimoodustiste tekke. Kogu elustik muutus ja mitmekesisus, levima hakkasid korallid. Üks maailma vanim ja kiiremini evolutsioneeruv sarvkorallide ehk rugooside fauna tekkis Balti paleobasseinis Sandby eal (Haljala eal). Vara-Katy eal moodustunud Vasalemma rififaatsies sisaldab haruldast ning mitmekesist faunakompleksi. Käesolevas töös on esmakordselt kirjeldatud Vasalemma kihistu sarvkoralle. Töö hõlmab kolme perekonda, mis on esindatud viie liigiga: *Lambelasma carinatum*, *Estonielasma praecox*, *Streptelasma cylindricum*, *S. fervida* ja *S. oanduensis*. Vasalemma rififaatsiese sarvkorallide kooslus oli küllaltki mitmekesine, selles oli esindatud kaks peamist varajaste sarvkorallide rühma: lambelasmatiidid ning streptelasmatiidid. Antud töö näitab, et varajased sarvkorallid olid väga kohanemisvõimelised, nende mitmekesistumine Vara-Katy eal oli kiirem, kui seni arvatud.

Võtmesõnad: sarvkorallid, rugoosid, Hilis-Ordoviitsium, Baltika, Vasalemma kihistu, rifid, elurikkuse areng.

Abstract

Early Katian (Ordovician) rugose corals from the Vasalemma quarry, NW Estonia

Baltica continent reached tropical latitudes during the Late Ordovician, about 460-450 million years ago. In late Sandbian and early Katian, the depositional patterns in the epicontinental Baltic paleobasin changed and warmer climate supported the growth of first reefs in the area. Faunas and floras changed and diversified, and the first corals appeared on the Baltica continent. One of the oldest rugose coral faunas in the world was that from the Sandbian of the Baltic area (Haljala Regional Stage). Early Katian reef limestones in NW Estonia, known as the Vasalemma Formation, yield a rich and specific fossil association. In this study, rugose corals are described from the Vasalemma Formation for the first time. The study comprises three genera which are represented by five species: *Lambelasma carinatum*, *Estonielasma praecox*, *Streptelasma cylindricum*, *S. fervida* and *S. oanduensis*. The Vasalemma rugose coral fauna was rather diverse and included two main groups of early rugosans, the lambelasmatids and streptelasmatids. This study shows that early rugosans were well-adapted to the first tropical environments of the Baltic paleobasin and that their diversification occurred earlier than previously thought.

Keywords: horn corals, rugose corals, Late Ordovician, Baltica, Vasalemma Formation, reefs, biodiversity.

Sisukord

Lühikokkuvõte	3
Abstract	4
1. Sissejuhatus	6
2. Geoloogiline taust ja stratigraafia	7
3. Vasalemma karjäär	9
4. Sarvkorallid	11
4.1. Eluviis	12
4.2. Morfoloogia ja terminoloogia	13
4.3. Taksonoomia	15
5. Materjal ja meetodika	17
5.1. Välitööd ja materjali kogumine	17
5.2. Uurimismeetodid	18
6. Tulemused	21
6.1. Vasalemma rifaatsiese sarvkorallid	21
6.2. Süstemaatiline paleontoloogia	21
7. Arutelu ja järeldused	30
Tänuavaldused	33
Kasutatud kirjandus	34

1. Sissejuhatus

Ordoviitsiumi ajastul triivis Baltika paleokontinent, mille koosseisu kuulus ka tänapäevase Eesti ala, lõunapoolkera parasvöötme ekvaatori suunas, jõudes Katy ea alguses troopilisse kliimavöötmesse. Kliima soojenemine tõi endaga kaasa suured muutused paleobasseinis: elustik muutus ja mitmekesisus, laialdasel alal tekkisid rifimoodustised ning ilmusid korallid. Maailma ühed vanimad sarvkorallid ehk rugoosid, mille tekkimisele järgnes rühma kiire areng ja mitmekesistumine, on kirjeldatud Eestist, Haljala lademest (globaalne Hilis-Sandby lade). Baltikumi vanimaid riffe ning nendega seotud väga rikkalikku ning mitmekülget faunistilist materjali on Vasalemma ja Saku ümbrusest uuritud sajandeid. Vanimate tabulaatsete korallide leiud on seotud just Vasalemma riffidega, kuid sarvkoralle pole seal senise pika uurimisaja jooksul täheldatud. Pärast esimeste leidude ilmsikstulemist asuti Vasalemma Partek Nordkalk karjäärist süstemaatiliselt rugoose otsima. Mitmel aastal korraldatud geoloogiliste ekspeditsioonide tulemusena koguti kokku esinduslik kogum kivistisi.

Käesoleva töö eesmärk oli kindlaks määrata Vasalemma rifaatsieses levivate sarvkorallide liigiline koostis ning analüüsida saadud tulemusi rugooside mitmekesistumise aspektist.

2. Geoloogiline taust ja stratigraafia

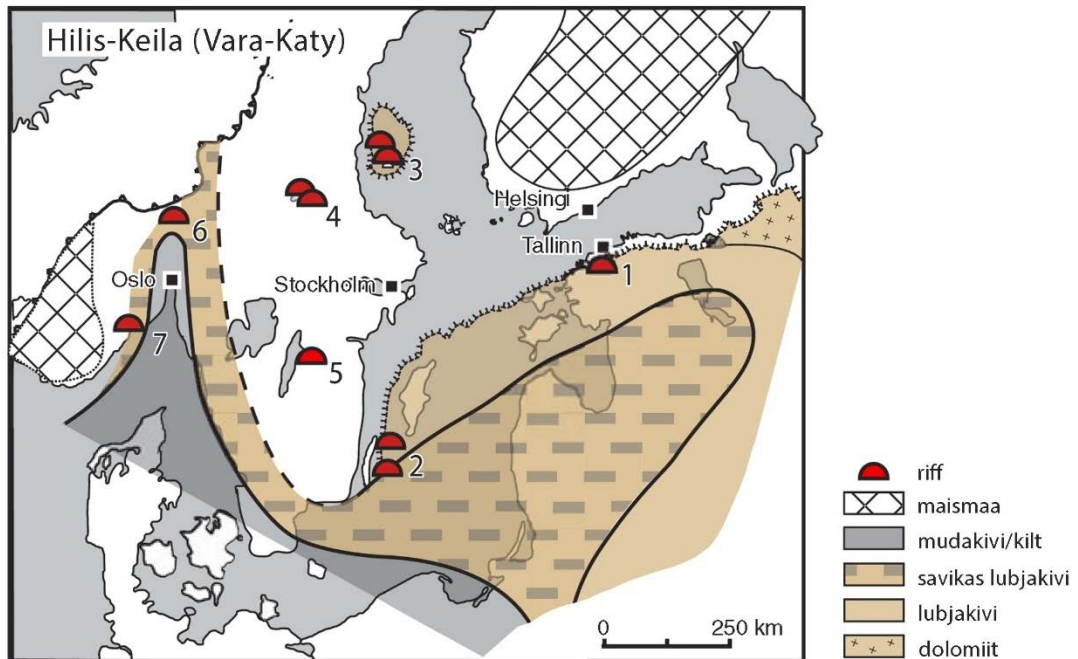
Ordoviitsiumi ajastul, mis hõlmas geoloogilise ajavahemiku 485-444 miljonit aastat tagasi, paiknes tänapäevane Eesti ala Baltoskandiat ja Ida-Euroopa platood katva suure epikontinentaalse mere madalaveelisel šelfialal, Baltika paleokontinendi äärealal. Seda paleobasseini iseloomustasid väikesed sügavused ja äärmiselt madal settimiskiirus. (Nestor, Einasto 1997).



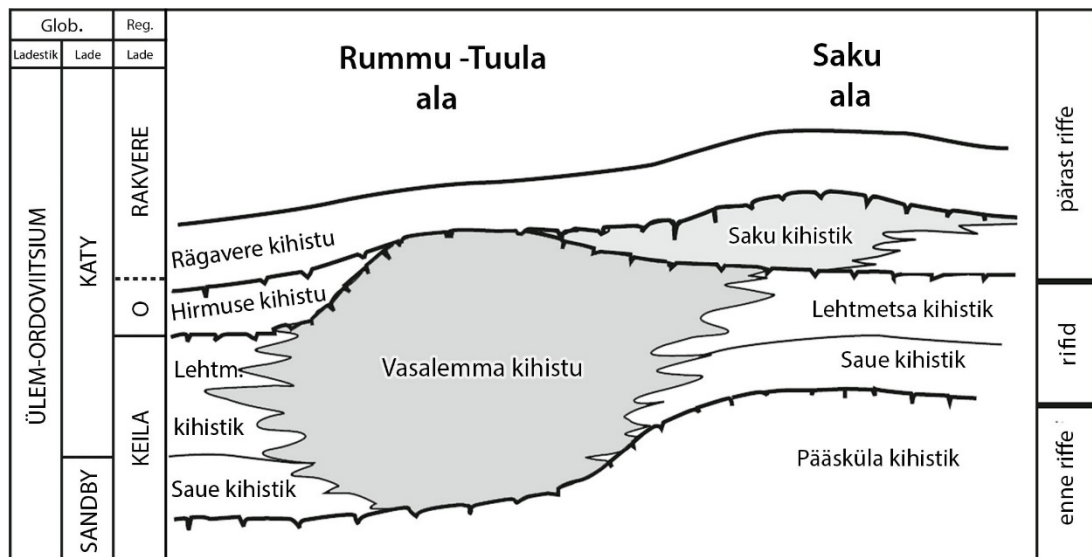
Joonis 1. Vara-Katy ea paleogeograafia (450 Ma) (Torsvik, Cocks 2013)

Ordoviitsiumi ea jooksul triivis Baltika paleokontinent lõunapoolkera parasvöötme ekvaatori poole, jõudes Hilis-Ordoviitsiumis troopilisse kliimavöötmesse (Nestor, Einasto 1977; Torsvik, Cocks 2013) (joonis 1). Katy ea alguses, mis regionaalsel skaalal vastab Keila-Oandu eale, hakkasid toimuma suured muutused paleobasseinis

(Meidla *et al.* 1999). Tänu soojaks muutunud kliimale oli sisemere rannaalade keskkond sobiv rifimoodustiste kujunemiseks (Nestor, Einasto 1997; Kaljo 2004) (joonised 2 ja 3).



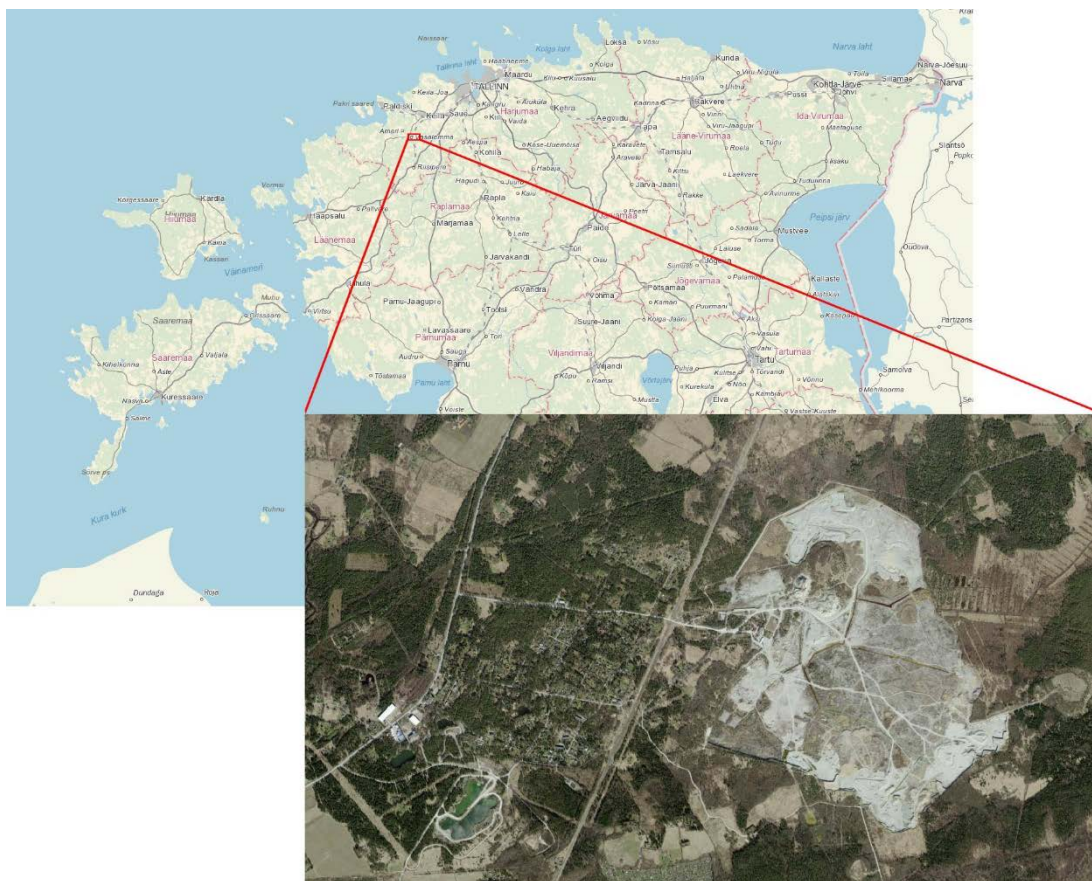
Joonis 2. Baltica paleobasseini paleogeograafia Vara-Katy eal. Joonisel märgitud riffide asukohad: 1. Vasalemma, 2. Ölandist idas, 3. Botnia laht, 4. Kullsborg, 5. Östergötland, 6. Nes-Hamar, 7. Skien-Langesund (Kröger *et al.* 2017, joonis 6).



Joonis 3. Vasalemma kihistu lihtsustatud skeem (Kröger *et al.* 2014, joonis 18).

3. Vasalemma karjäär

Käesoleva töö aluseks olev Vara-Katy eal tekkinud rifimoodustisi hõlmav fossiilne materjal on kogutud Vasalemma Partek Nordkalk karjäärist Loode-Eestis (joonis 4). Vasalemma karjääri rajas 1931. aastal parun von Nikolai von Dehn. 1996. aastast omab seal kaevetööstust AS Nordkalk. Vasalemmas kaevandatud paest toodetakse lubjakivitooteid tehnoloogilisteks ja ehituslikeks eesmärkideks (joonis 4).



Joonis 4. Eesti põhikaardile on märgitud Vasalemma Partek Nordkalk karjääri asukoht (Maa-ameti kaardiserver).

Vasalemmas on juba mitu sajandit toodetud lubjakivi ja kogutud kivistisi. Esimestena kirjeldasid sealseid kivimeid E. Eichwald (1854), kes kasutas kivimite kohta nime „Hemikosmitenkalk“, ja Fr. Schmidt, kes viitas neile (1881) kui „Wasalemmische Schicht“. Massiivne kivim koosneb suures osas okasnahkse *Hemicosmites* bioklastidest (Männil 1960) ning selles levivad suured rifikehad. Rifikehad ja neid ümbritsev okasnahksete detriidist koosnev terakivim moodustavad koos Vasalemma kihistu. Vasalemma kihistu levib ainult Loode-Eestis, kitsa, umbes 20 km pikkuse ja 5 km laiuse ribana (Kröger *et al.* 2014). Ajalooliselt on Vasalemma kihistu kuulunud nii

Oandu lademe (Männil 1960) kui ka Keila ja Oandu lademe koosseisu (Põlma *et al.* 1988); Ainsaar, Meidla 2001). 2014. aastal ilmus mahukas süsinikuisotoopide analüüsi käsitlev teadustöö (Kröger *et al.* 2014), mille tulemusel paigutati Vasalemma kihistu Keila lademe koosseisu, mis vastab globaalse Katy lademe (Ülem-Ordoviitsiumi ladestik) alumisele osale (joonis 3).

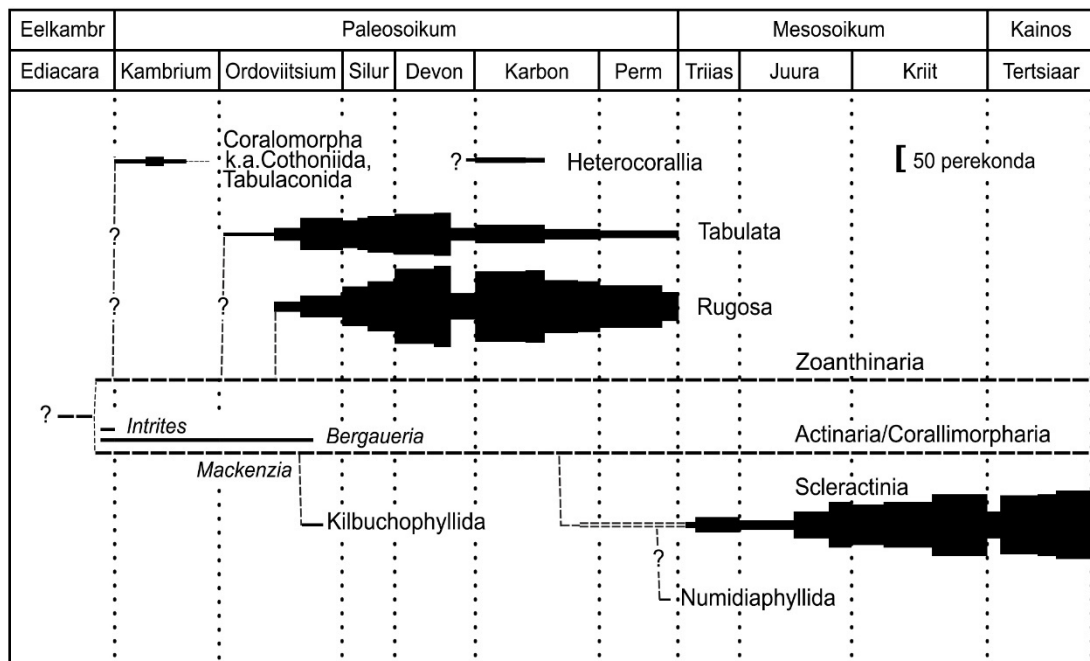
Vasalemma karjääri lõunaosas paljanduvad Vasalemma kihistu suured rifikehad ja neid ümbritsev kivim (joonis 5). Riff on ebamäärase kujuga massiivne kivimkeha: selle karkass on moodustunud erinevate organismide kogumitest, mille vahele on settinud lubimuda ja teiste organismide osakesi. Vasalemma karjäärast on kirjeldatud riffides levivat nelja fatsiaalset tüüpi kivimit (Kröger *et al.* 2014), mis on väga rikkaliku ja mitmekesise faunistilise koostisega (sammalloomad, okasnahksed, käsнад, käsijalgsed, vetikad, korallid). Rifikehade ülemistel osadel täheldatakse suuri tabulaatsete korallide kolooniaid ning varasemates töödes on Vasalemmast kirjeldatud *Eofletcheria orvikui*, *Eofletcheria aff. irregularis*, *Saffordophyllum grande*, *Saffordophyllum tulaensis* ja *Protaraea procella* (Klaamann 1966; Mõtus, Zaika 2012) – tegemist on Eesti ala vanimete korallidega. Riffe ümbritsev põhikivim koosneb okasnahksete skeletiosadest ning kujutab endast omaaegse merepõhja läbipeetud liiva, mis settis rifikehade vahele (joonis 5).



Joonis 5. Sinisega on märgitud rifilubjakivi moodustised. Foto: G. Baranov.

4. Sarvkorallid

Korallid ehk õisloomad on tugeva lubiskeletiga valdavalt koloniaalse eluviisiga loomad, kes elutsevad tänapäevalgi soojades troopilistes meredes. Vanimad korallileiud pärinevad Kambriumist, kuid mõlema paleosoilise korallide grupi – tabulaatide ja sarvkorallide ehk rugooside – evolutsioneerumine toimus valdavalt Ordoviitsiumi ajastul. Mõlemad korallide rühmad elasid Devoni ajastu lõpul läbi kriisi, taastusid uuesti ja surid välja Permi ajastu lõpus (joonis 6). Tänapäevaste korallide esivanemad on Mesosoikumis ilmunud kuusik- ja kaheksikkorallid. Stratigraafias ehk suhtelises ajaarvamises kasutatakse koralle vähe: märksa olulisemad on need paleoökoloogias. See on teadusharu, mis tegeleb minevikus valitsenud keskkonnatingimuste väljaselgitamisega. Korallid toituvad vees hõljuvast planktonist, mida haaravad kombitsatega, mistõttu vajavad nad pidevalt liikuvat vett. Korallidele on väga oluline ka vee temperatuur: sobivad on soojad hapnikurikkad troopilised mered.



Joonis 6. Korallide ja merirooside fülogenees (Scrutton 1997, 1999).

Üksiku sarvkoralli lubiskeleti ehk koralliidi väliskuju on enamasti ümber pööratud koonuse või sarve kujuline – sealt tuleb nimetus sarvkorallid. Nimetus rugoos tuleb ladina keelest ja tähendab 'kortsus': omadus, mis iseloomustab sarvkorallide välispinda. Kui tabulaatsed korallid olid ainult koloniaalsed, siis sarvkorallide

varajased vormid olid üksikkorallid, millele hiljem lisandusid koloniaalsed vormid.

Nii Eesti Ordoviitsiumi kui ka Siluri lubjakivides leidub rohkesti korallide kivistisi, mis on läbi aegade teadlastele uurimisainet pakkunud. Rugooside uurimise ajaloo alguseks võib pidada 19. sajandil elanud ja töötanud Tartu Ülikooli teadlase W. Dybowski töid. Talle järgnesid G. Lindström, J. Kiaer ja R. Wedekind. Eestis on väga olulised D. Kaljo ja V. Reimani uurimused: nende alustatud tööd jätkasid B. Neuman Rootsist ja D. Weier Saksamaalt. Kokkuvõttes võib öelda, et Baltikumi sarvkoralle on üsna põhjalikult uuritud.

4.1. Eluviis

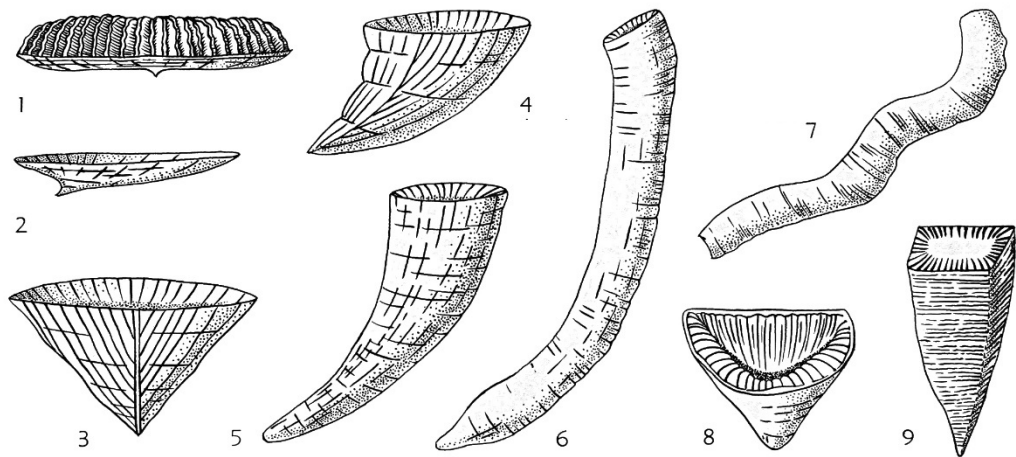
Rugooside eluviisi uurimine tugineb põhiliselt uniformismi (van aktualism) printsiibile. Uurimise aluseks on võetud tänapäeva korallid: nende pehmekehalise polüübi paigutus skeletis, nende toitumine ja reaktsioon mitmesugustele keskkonnateguritele. Fossiilsete korallide elukeskkonna uurimisel tuleb arvesse võtta ka settekivimi iseloomu, milles kivistised esinevad.

Scruttoni arvates (1998) oli suur osa paleokoralle kohanenud eluks pehmel substraadil. Enamik rugoosid olid liberosessiilsed – nad elasid põhjale kinnitumata. Plaanula kinnitus algelt liivaterale või mõnele muule kõvale alusele ning eraldus sellest hiljem kinnituspinna toe kadumisel, lebades vabalt merepõhja pehmel pinnasel. Vähemlevinud olid fiksosessiilsed korallid, kes kinnitusid kogu oma elu vältel kõvale alusele (Neuman 1988; Scrutton 1998). Koralliidi tipmises osas epiteekal esinev arm (inglise keeles *scar*), talonid ja muud jätked annavad meile aimdust korallide kinnitumisstrateegiast (Scrutton 1998).

Korallide kivistisi esineb kõige rohkem karbonaatsetes faatsiistes. Paleokorallid paiknesid tavaliselt biostroomides ja biohermides. Korallikoosluste mitmekesisus oli kõige suurem soojades, paraja soolsuse ja hapnikusisaldusega madalaveelistes keskkondades, kuid kindla kinnitumisviisi puudumise tõttu olid nad vähetähtsad rififaatsiistes, kus vee liikuvuse energia oli kõrge. Suurim mitmekesisus oli tavaliselt seotud suurte madalaveeliste biohermidena, mis pakkusid eluks sobivaid mikrokeskkondi. Väikestes biohermides ja mõnedes biostroomides oli mitmekesisus seevastu väiksem ja tihti domineeris ainult üks edukas liik (Scrutton 1998).

4.2. Morfoloogia ja terminoloogia

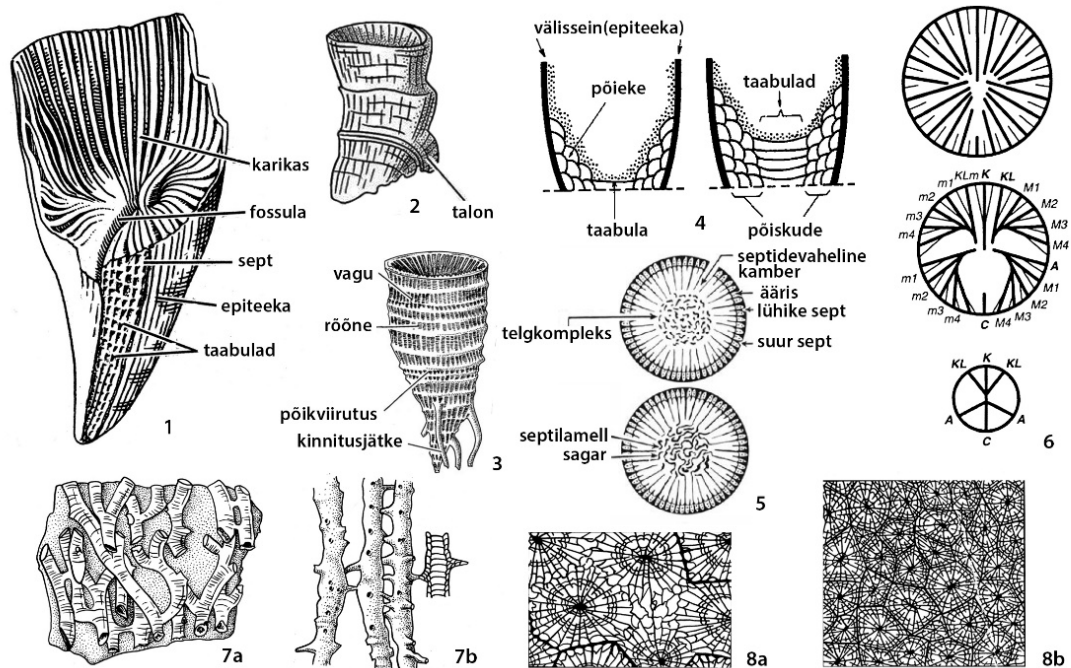
Üksikkoralli lubiskeleti ehk koralliidi väliskuju on enamasti ümber pööratud koonuse või sarve kujuline, sealt nimetus sarvkorallid. Olenevalt mitmetest morfoloogilistest iseärasustest, näiteks nurgast koralli tipu (*apex*) ja kasvusuuna vahel, võisid nende skeletid olla üsna varieeruvad (joonis 7). Skeleti kuju ja selle varieeruvus oli suures osas tingitud rugooside kohastumisest suure hulga erinevate keskkonnatingimustega (Scrutton 1998).



Joonis 7. Rugooside morfoloogia (Hill 1981). 1. Ketasjas. 2. Liudjas e lamekooniline – laiema tipunurgaga (ca 120°). 3. Turbinaatne e jämekooniline – tipunurgast ühtlaselt laienev ca 70° all. 4. Trohhoidne e sarvjas – nagu turbinaatne, aga tipunurk väiksem (40°). 5. Tseratoidne e lamekooniline – väga ühtlaselt kooniline, sarvekujuline. 6. Silindriline – peaaegu sirge ja ühtlase läbimõõduga (v.a algusosa). 7. Usjas – sarnaneb silindrilisega, kuid lookleb usjalt. 8. Kaltseoloidne (*Calceola*-laadne) – kannata sussi kujuline. 9. Püramiidjas – lamendunud külgedega.

Koralli polüüp paiknes koonuse ülemisse ossa moodustunud karikas (*calice*) (joonis 8.1), kinnitades selle põhjale. Paljudel korallitidel oli karikas ühtlaselt ümarja servaga kausi kujuline. Skeleti välissein ulatus sarvkorallidel karika servani. Koralliidi välispinnal asetsesid põiki suuremal või väiksemal määral nähtavad kasvuringid (*growth rings*) (joonis 8.3) ning pikkupidi jooksvad kitsad ning sügavad, mõnel juhul aga laiad ja lauged vaod. Et vaod ühtivad septidega koralliidi siseõõnes, nimetatakse neid septaalseteks vagudeks (*septal furrows*). Vagude vahele jäävad väljapoole kaardunud rõõned (*interseptal ridges*). Üksikkorallidel võisid esineda skeletist väljaulatuvad torujad jätked (*rootlets*) või lamedad väljakasvud (*talons*) (joonis 8.2), mille abil loom sai aluspinnale kinnituda. Nii üksik- kui ka koloniaalsed paleosoilised

korallid olid kaetud väljast õhukese epiteekaga (joonis 8.1). See ongi paleosiliste korallide kõige suurem erinevus võrreldes retsentsete korallidega. Rugooside skelett oli kaltsiitse koostisega (Scrutton 1997).



Joonis 8. 1.-3. Sarvkorallide välis- ja siseehitus (Hill 1981). 4. Koralli läbilõige vertikaalis – pöiskude ja ääris moodustavad koos marginaariumi, nende vahele jäävad taabulad (Hill 1981). 5. Koralli ristlääbilõige (Neuman 1969). 6. Sarvkorallide ontogenees. C - kardinaalsept, A - alaarsept, K - vastassept, KL - külgsept, M - suur sept, m - lühike sept. (Scrutton 1997). 7. Harulised koloniaalsed korallid (7a. pöösasjas, 7b. vihtjas). 8. Massiivsed koloniaalsed korallid (8a. tseroidne astreoidne, 8b. tseroidne korall) (Hill 1981).

Koralli siseõõnes paiknesid radiaalselt püstised vaheseinad, mida kutsutakse septideks. Need plaatjad skeletistruktuurid koosnesid trabekulitest ehk pörkadest. Varajased korallid olid enamasti monakantiinsed, mis tähendab, et nende septid koosnesid ainult ühest teineteise kõrval asetsevate trabekulite reast.

Sarvkorallid olid bilateraalsümmeetrilise ehitusega. Ontogeneesi käigus arenesid algselt välja kardinaalsept ja selle vastassept, hiljem lisandusid kaks alaarsepti ning kaks külgsepti (joonis 8.6). Pärast kuue protosepti moodustumist hakkasid järgnevad septid moodustuma ainult neljast perimeetri punktist (joonis 8.6). Skeleti arenedes ei ole algne paiknemine enam jälgitav ning septid jaotuvad edasi radiaalsemalt suurte (*major*) ja lühikeste (*minor*) septidena (Neuman 1969). Lühikesed septid asetsevad

vaheldumisi suurte septidega (joonis 8.5), olles tihti nähtavad alles koralli täiskasvanud staadiumis ning ulatudes õige vähe marginaariumist (marginaalne tsoon) kaugemale (Hill 1981).

Marginaariumi moodustasid põiskude (*dissepimentarium*) ja/või ääris (*sterezone*). Enamikel korallidel esinesid siseõõnes horisontaalselt paiknevad lamedad või kaardunud plaadid, mida kutsutakse taabulateks. Moodustunud võis olla ka koralli kasvu suunas arenenud taabulatega toetatud telgkompleks (Hill 1981).

Koloniaalsete korallide puhul moodustasid üksikud koralliidid harulise (joonis 8.7) või massiivse (*massive*) korallumi (joonis 8.8). Harulised (*fasciculate*) korallid klassifitseeritakse põõsasjateks (*denroid*) ja vihtjateks (*phaceloid*), kusjuures on oluline, et kontakt naaberkoralliitidega puudus või esines ainult üksikutes kohtades. Massiivsete korallide puhul olid koralliidid omavahel tihedasti koos ning neid ümbritses väljastpoolt ühine holoteeka (*holotheca*). Korallumit nimetatakse tseroidseks (*ceroid*), kui koralliidid on eraldatud vaheseintega, ning astreoidseks, kui eraldav vahesein puudub (Hill 1981).

4.3. Taksonoomia

Enamik koralliitide tunnuseid muutub ontogeneesi käigus, mistõttu on väga oluline teada, kas uurimisalused eksemplarid on täiskasvanud. Selle teadmise tagab eelkõige uurimisaluste eksemplaride arvukus: tegeledes ühe-kahe kivistisega, ei saa olla kindel, et tegemist on täiskasvanud isenditega.

Oma 1977. aasta töös tõi B. E. Neuman esile rea üksikute sarvkorallide morfoloogilisi tunnuseid, mida tuleks perekonna tasandil taksonoomia aluseks võtta:

1. **Suurte septide pikkus:** süstematiseerimisel tuleks silmas pidada suurte septide pikkust ja septide pikkuste varieeruvust eksemplari ontogeneesi käigus.
2. **Laiendite esinemine kõikidel septidel:** noorte isendite septid on tavaliselt vähem laienenud kui täiskasvanute omad, mistõttu on oluline uurida laiendite muutumist ontogeneesi käigus.
3. **Telgkompleksi olemasolu:** sarvkorallide korrektseks süstematiseerimiseks tuleb jälgida telgkompleksi arengut ontogeneesi käigus.
4. **Telgkompleksi tüüp ja ehitus:** telgkompleksi puhul tuleb kindlaks teha, kas telgstruktuur on moodustunud suurte septiotste ühinemisel või on see katkendlik ja koosneb paljudest septilamellidest (*lamellae*) või -sagaratest (*lobes*) (joonis 8.5).

5. **Karika kerke olemasolu:** juhul kui esineb telgstruktuur, tuleb jälgida karika kerke (*calicular boss*) olemasolu või puudumist.

6. **Taabulate olemasolu:** taabulate olemasolu tuleb kahtlemata silmas pidada, sest kuigi täiskasvanul koralliitidel esineb terviklik taabulate süsteem, võivad sama liigi noortel koralliitidel taabulad puududa. Klassifitseerimisel on oluline teada, kas koralliit on täiskasvanud.

7. **Põiskoe (*dissepimentarium*) olemasolu:** sarvkorallide süstematiseerimisel tuleb uurida, kas põiskude on välimine või sisemine ja milline on põiekeste tüüp. Põiskude saab uurida ainult täiskasvanud eksemplaridel, noortel isenditel see puudub.

8. **Äärise (*stereozone*) olemasolu:** noorte koralliitide ääris on tavaliselt õhem kui täiskasvanutel. Lisaks äärise olemasolule tuleb jälgida, kas tegu on septaalse äärisega, mis on moodustunud laienenud välimistest septilõppudest (*septotheca*), või on tegemist lihtsalt septide vahedega.

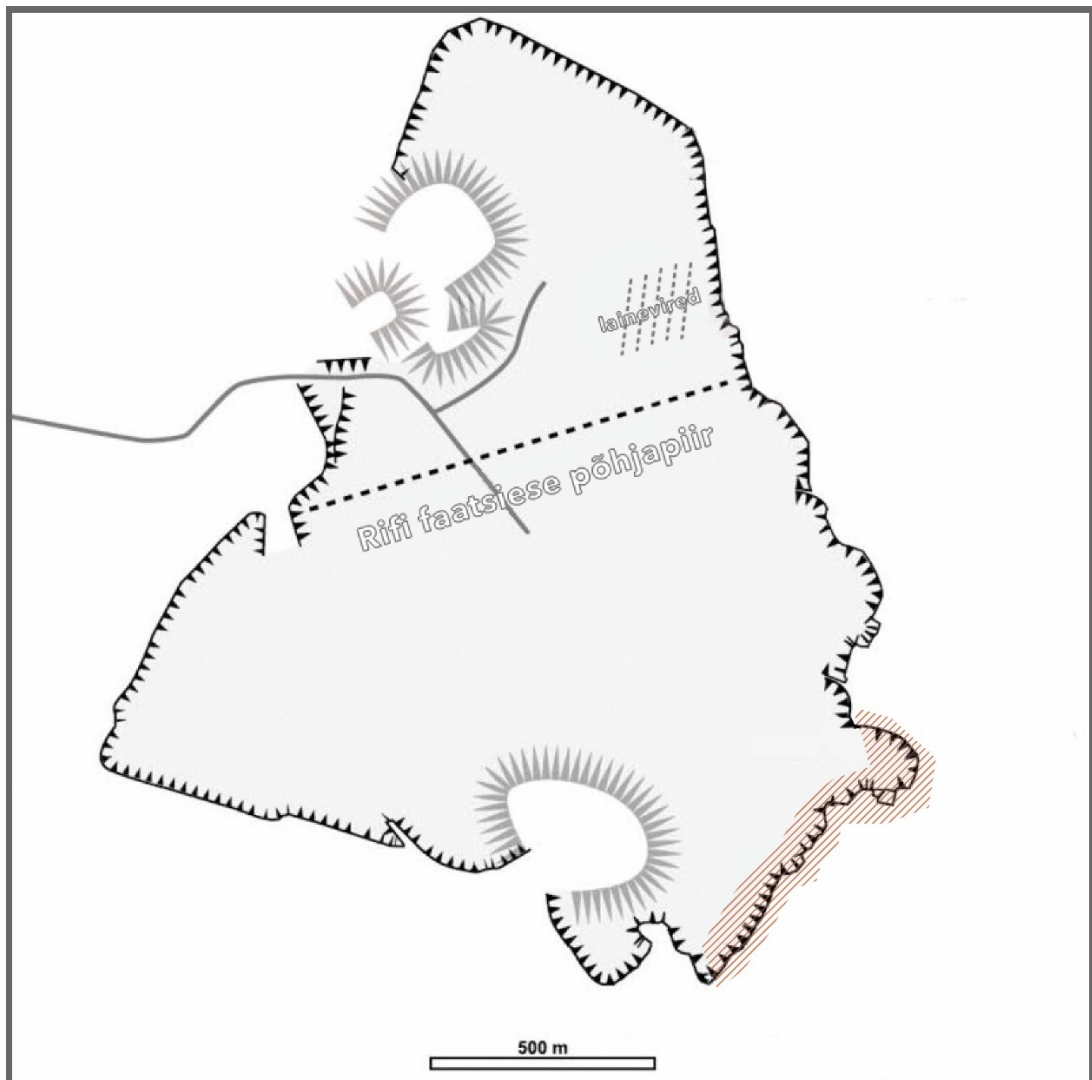
9. **Kardiaal- ja/või alaarsüvendi (*cardial fossula, alar fossulae*) olemasolu.**

10. **Täiskasvanud isendi karika kuju:** klassifitseerimisel on suureks abiks karika kuju ja suuruse hindamine, sest karikas peegeldab paljuski koralliidi sisestruktuuride arengut. Meeles peab pidama, et karika kuju võib isendi kasvamise käigus muutuda.

5. Materjal ja meetodika

5.1. Välitööd ja materjali kogumine

Vasalemma Partek Nordkalk karjäärist on praeguseks leitud 56 sarvkoralli. Kivistisi säilitatakse TTÜ Geoloogia instituudi ning Tartu Ülikooli Loodusmuuseumi ja botaanikaia geoloogilistes kollektsioonides. Leiud on dokumenteeritud Eesti geokogude infosüsteemis, kollektsioonide akronüümid on vastavalt GIT ja TUG (Eesti geokogude andmebaas).



Joonis 9. Lihtsustatud Vasalemma Partek Nordkalk karjääri skeem (Kröger *et al.* 2014 järgi). Punaselt on viirutatud sarvkorallide leiupiirkond.

Töö autor osales TTÜ Geoloogia instituudi teaduskogude osakonna korraldatud välitöödel 2013. aasta 17. juunil ning 16. ja 18. oktoobril, samuti 2014. aasta 12. mail ja 6. juunil. Tööde käigus koguti teiste fossiilide seas 44 sarvkoralli. Kõik leiud

pärinevad Vasalemma karjääri kaguosas paljanduvate rifimoodustistega alalt – enamjaolt on tegemist karjäärist leitud lahtise materjaliga.

Töös on kasutatud kõnealustelt välitöödelt kogutud materjali. Lisaks laenutati Tartu Ülikooli kolleksioonist materjali, mis pärineb karjääri samast piirkonnast ning on korjatud Vasalemma rifikehade uurimistöö raames toimunud välitöödel 2010. aasta 21. ja 22. juulil ja 2011. aasta 16. juulil. Tartu kolleksioonist laenatud materjali korjas Helsingi Ülikooli teadlane dr Björn Kröger. Kokku laenutati Tartu Ülikooli kolleksioonist 11 sarvkoralli.

Kogutud sarvkorallid olid mõõtmelt suhteliselt väheldased ja valdavalt massiivse kivimi sees. Nähtavaid terveid koralle oli kogutud materjali hulgas vähe. Liigilise koosseisu uurimiseks valiti kolleksioonidest välja 23 eksemplari, mis olid suuremad ja paremini säilinud.

5.2. Uurimismeetodid

Korallide määramiseks ja uurimiseks on mitu meetodit. Liigi ja tihti ka perekonna tasandil klassifitseerimiseks ei piisa sageli ainult välisest vaatlusest, mistõttu tuleb kivistise sisestruktuure mikroskoobi all analüüsida (Hill 1981). Korallide võrdlemiseks ja nende siseehituse kirjeldamiseks valmistatakse nii üksikutest isenditest kui ka kolooniatest piki- ja ristlõikeid. Sarvkorallide ontogeneesi uurimiseks sobib piilide (*peel*) valmistamine, kus tselluloosatsetaadi lisamisel saadakse eelnevalt lihvitud pinnast alusele fossiili „jalg“. Protsessi korratakse kogu kivistise või koloonia ulatuses. Selle meetodi tugev külge ongi materjali maksimaalse kasutamise võimalus: iga järgneva piili pildi saab kõigest eelnevalt kasutatud pinna kerge lihvimise teel ning töö tulemuseks on täielik süstemaatiline ülevaade kivistisest. Meetodi kitsaskoht on aga mikrostruktuuri detailide kadumine (Kummel, Raup 1965).

Levinud ja tõhus meetod mikrouuringuteks on õhikute valmistamine kuumliimimise meetodil, mille käigus saadakse lõpptulemusena õhikuklaasile 50 µm-70 µm paksune läbipaistev fossiilikiht. Selle meetodi puudus on suur algse materjali kadu (Hill 1981). Et käesoleva töö eesmärk oli sarvkorallide liigilise kuuluvuse määramine, kasutati materjali kaost hoolimata aeganõudvat õhikpreparaatide meetodit, sest liikide määramisel oli oluline uurida eksemplaride mikrostruktuuri.

5.3. Õhiku valmistamine kuumliimimise meetodil

Antud tööetapi käigus valmistati TTÜ Geoloogia instituudi kivimilaboris kuumliimimise meetodil õhikud.

Et iga fossiil on unikaalne ning õhikute valmistamise meetodi käigus kivistis hävineb, tuleb eelnevalt paika panna strateegia: millisest fossiili piirkonnast on kõige otstarbekam õhik valmistada ning kas õhiku valmistamine on käesoleva eksemplari puhul üldse põhjendatud. Ideaalis oluks igast korallist vaja rist- ja pikilõiget – see eeldanuks aga piisavalt suurte eksemplaride olemasolu. Väiksemate kivististe puhul oleks sel juhul olnud oluline mitme sarnase eksemplari olemasolu.

Õhiku valmistamiseks saeti fossiil kivimisaega Norton SMS251 valitud kohast sobivatesse mõõtmetesse, et see hiljem õhikuklaasile ära mahuks. Vajadusel eemaldati korallidelt saagimise teel ümbriskivim ja kasutati prepareerimisnõela, et enne põhilõikeid teha kindlaks kivistise paiknemise suund kivimis. Seejärel lihviti lihvimismasinal malmkettaga maha saagimisjäljed ja suuremad konarused, kasutades kettale puistatud ja veega niisutatud jämeda fraktsiooniga lihvimispulbreid suurusega P40 ning P80.

Kui kivistise pind oli enam-vähem ühtlane, mindi üle magnetaluslega lihvimismasinal BUEHLER Phoenix 4000, kus kasutati metallkettale kleebitud varieeruva abrasiivsusega pabereid. Antud juhul kasutati järgemööda pabereid P120, P320, P800 ja lõpuks P1200, kuni lihvi pinnalt olid eemaldatud varasemal töötlemisel tekkinud vaod või nurgad ning pind oli ühtlaselt sile, saavutamaks hiljem maksimaalse ja vaba kontakti õhikuklaasiga. Lõplikuks viimistluseks hõõruti pinda käsitsi klaasil, kasutades järgemööda pulbreid suurusega 10 µm, 5 µm ja 3 µm. Pärast lihvimisprotseduuri pildistati mikroskoop Leica M165 all saadud lihvid täiendavaks uurimiseks ja juhuks, kui õhiku valmistamine peaks klaasi purunemise tõttu ebaõnnestuma.

Enne liimimist tuli nii kivistised kui ka õhikuklaasid puhastada. Selleks pandi ettevalmistatud materjal ja klaasid paariks minutiks eraldi ultrahelivanni, seejärel eemaldati neilt suruõhuga liigne vesi ning asetati tunniks ajaks pliidile kuivama (temperatuuril 140 °C). Kuivanud pind liimiti kuumalt klaasile kahekomponentse Petropox liimiga ning asetati umbes kümneks minutiks tagasi pliidile, kuni liimi tahkeks muutus.

Klaasilt üleliigse kivimi maha saagimiseks ja õhiku soovitud paksuseni lihvimiseks kasutati õhikumasinat BUEHLER PetroThin. Lõplikult viimistleti õhiku pind taas käsitsi, lihvides klaasil 10 µm, 5 µm ja 3 µm pulbritega.

Enne õhikute valmistamist pildistati fossiilid koos mõõteskaalaga üles TTÜ Geoloogia Instituudi fotolaboris peegelkaameraga Nikon D7000. Et kasutatud optika teravussügavus on väike, võeti järk-järgult teravustasapinda muutes eksemplarist üles pildiseeria ning sulandati hiljem tarkvara Combine ZM abil kokku ühtlaselt teravaks pildiks.

Korallide sisestruktuuri elementide mõõtmiseks kasutati skanneriga EPSON V750 arvutisse skannitud õhikupilte pikslitihedusega 2400 ppi. Piltidele lisati töötamise käigus mõõteskaala, mida vajadusel mõõtmise käigus proportsionaalselt muudeti.

Korallide määramisel kasutati stereovalgusmikroskoopi. Kuigi õhik on üsna õhuke, säilib seal mikrostruktuuride ruumilisus ning näha on suuremate detailide paiknemine ja suund.

6. Tulemused

6.1. Vasalemma rififaatsiese sarvkorallid

Vasalemma rififaatsiese sarvkorallide liigilise koosseisu uurimiseks valiti kogutud materjalist välja 23 paremini säilinud eksemplari, millest valmistati 57 õhikut. Õhikute põhjal õnnestus määrata 17 eksemplari liik. Kuue fossiili puhul osutus õhikumaterjal täpse määrangu jaoks ebapiisavaks, sest skeleti piirkonnas, millest õhik valmistati, ei avaldunud liigilisi tunnuseid. Kokku määrati kolmest perekonnast viis liiki – *Estonielasma praecox*, *Lambelasma carinatum*, *Streptelasma cylindricum*, *S. oanduensis* ja *S. fervida* –, mis jagunesid peaaegu võrdselt kahe sugukonna vahel. Lambelasmatiide oli 9 eksemplari kahest liigist (perekonnadest *Estonielasma* ja *Lambelasma*) ning streptelasmatiide 8 eksemplari kolmest liigist (perekonnast *Streptelasma*). Kõik liigid olid suhteliselt võrdselt esindatud, ent kõige enam oli eksemplare liigist *Lambelasma carinatum*. Seda võib pidada loogiliseks, sest perekonna *Lambelasma* esimene esindaja *Lambelasma dubowskii* on kirjeldatud Haljala lademest (Hilis-Sandby lade) (Kaljo 1956a). Perekond *Streptelasma* oli varasemate tööde põhjal Keila lademes esindatud ainult ühe liigiga (*S. oanduensis*) (Kaljo 1956a). Käesolevas töös kirjeldatakse Vasalemma rififaatsiese koosluses selle perekonna kolm liiki, millest üks, *S. cylindricum*, oli esindatud ainult ühe eksemplariga.

6.2. Süstemaatiline paleontoloogia

Hõimkond **Cnidaria** Hatschek, 1888

Klass **Anthozoa** Erenberg, 1834

Alamklass **Rugosa** Milne-Edwards et Haime, 1850

Selts **Stauriida** Verrill, 1865

Alamselts **Calostylina** Prantl, 1957

Sugukond **Lambelasmatidae** Weyer, 1973

Alamsugukond **Coelostylinae** Weyer, 1973

Perekond *Estonielasma* Weyer, 1973

Tüüpliik. *Estonielasma hemicymatelasma* (Reiman, 1957).

Liigiline koosseis Baltoskandias. *E. antiqua* (Reiman, 1958); *E. hemicymatelasma* (Reiman, 1957); *E. praecox* (Kaljo, 1957).

Levik Baltikumis. Keila lade - Vormsi lade (globaalne Katy lade).

Diagnoos. Monakantiinsete septidega üksikkorall. Septides esinevad poorid. Taabulad on õhukesed ja horisontaalsed.

Estonielasma praecox (Kaljo, 1957)

Joonis 10

Holotüüp. GIT 79-3 (vana number Co 1178); Kaljo, 1957, joon. 16:2; Saku paemurd, Oandu lade, Saku kihistik (globaalne Vara-Katy lade), Ordoviitsium.

Sünonüümika.

Tryplasma parecox sp. nov.: Kaljo, 1957, lk 155, joon. 16:2-4.

Estonielasma? praecox (Kaljo, 1957): Weyer, 1973, lk 43-44.

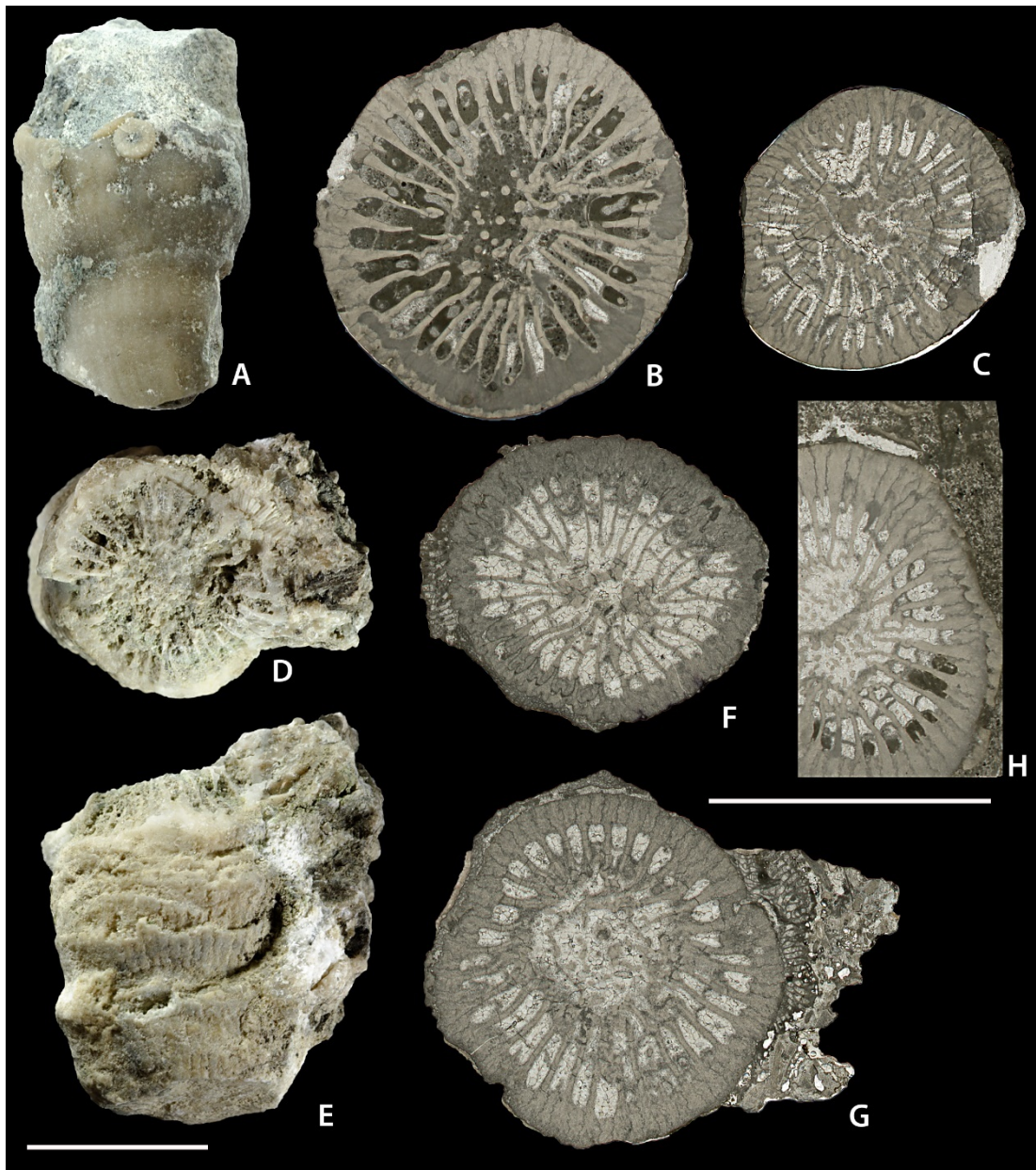
Estonielasma praecox (Kaljo, 1957): Weyer, 1993, lk 71.

Diagnoos. Laia segmenteerunud äärisega tseratoidne üksikkorall. Taabulad on lihtsad ja kergelt nõgusad.

Kirjeldus. Korallid on tseratoidsed ja üle 2 cm pikad. Karika lähedal ulatub skeleti läbimõõt 1,3 cm-ni. Suured septid on paksud, akantiinsed, otstest veidi tilgakujuliselt paksenenud ja ümarad. Nende pikkus on kuni 1/3 koralli diameetrist. Septid ei ulatu keskel kokku. Septide akantiinsust e ogalisust väljendavad õhikul koralliidi tsentris nähtavad väikesed ümarad terad. Eksemplaridel GIT 222-426 ja GIT 222-84 esineb paar septide katkestust. Ääris on tugevalt segmenteerunud, 0,9-1,3 mm lai, lühikesed septid on vähearenenud või puuduvad üldse. Septide vahel on näha taabulate kumeraid kaari. Eksemplarid on vastavuses varem kirjeldatud materjaliga.

Levik Eestis. Vasalemma Partek Nordkalk karjäär, Keila lade, Vasalemma kihistu. Saku paemurd, Kopelmanni kraavid, Üksnurme, Oandu lade, Saku kihistik (globaalne Vara-Katy lade), Ordoviitsium.

Materjal. 4 eksemplari: GIT 222-77-2, GIT 222-84, GIT 222-426, TUG 1393-9.



Joonis 10. *Estonielasma praecox* (Kaljo, 1957). A, B, C GIT 222-84. D, E, F, G TUG 1393-9, H GIT 222-77-2. Mõõtskaala 1 cm.

Alamsugukond **Lambelasmatinae** Weyer, 1973

Perekond ***Lambelasma*** Weyer, 1973

Tüüpliiik. *Lambelasma lambei* Weyer 1973.

Liigiline koosseis Baltoskandias. *L. atavum* (Kaljo, 1958); *L. balticum*, Weyer, 1997; *L. carinatum* Weyer, 1993; *L. dybowskii* (Kaljo, 1956); *L. lambei* Weyer, 1973; *L. narvaense* Weyer, 1983.

Levik Eestis. Haljala lade - Vormsi lade (globaalne Sandby lade - Katy lade).

Diagnoos. Väike üksikkorall. Kardiaalne süvend esineb koralli nõgusal poolel. Monakantiinsetel septidel võivad esineda poorid. Lühikesed septid ei ulatu äärisest eriti kaugemale. Taabulad esinevad hõredalt.

Lambelasma carinatum Weyer, 1993

Joonis 11

Holotüüp. GIT 564-1 (vana number Co 1342, Est4-1); Weyer, 1993, joon 1.1-19; Oandu jõe paljandid, Oandu lade, Hirmuse kihistu (globaalne Vara-Katy lade), Ordoviitsium.

Sünonüümika.

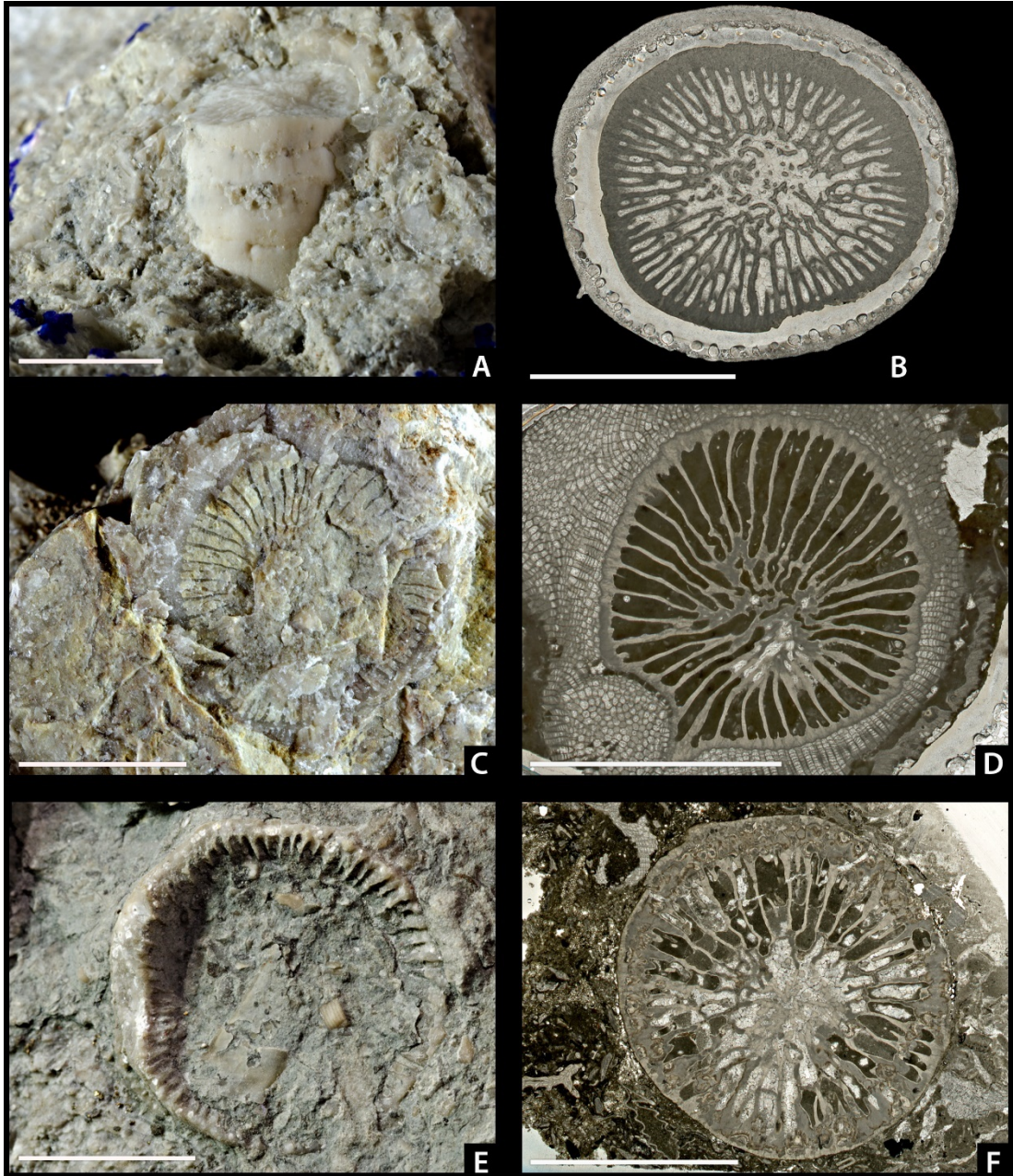
Lambelasma carinatum sp. n.: Weyer, 1993, lk 72-73, joon. 1-19; 1:1-6.

Diagnoos. Sügava karika ja kardiaalseptidega trohhoidne üksikkorall. Septidel esinevad trabeekulitega paralleelselt jooksvad karinad. Hästi arenenud lühikesed septid.

Kirjeldus. Koralli läbimõõt on eksemplaridel karikapoolses osas veidi alla 2 cm. Suured septid on peened ja looklevad ning neil esinevad liigile iseloomulikud väikesed laiendid – karinad. Eksemplaril TUG 1585-10 esineb tugev septide otstest moodustunud telgkompleks ning näha on suurte septide arengut algseptidest. Täiskasvanud isenditel eemalduvad septid tsentrist, mis moodustab 1/3 koralli diameetrist. Tsentris on näha septide akantiinsusele viitavaid terasid. Ääris on väga õhuke ning ei ületa 0,1 mm. Eksemplaril TUG 1585-10 on lühikesed septid hästi arenenud ja ulatuvad kolmandikuni suurte septide pikkusest. Ka neil võib tähelda akantiinsust või katkestusi. Eksemplarid on vastavuses varem kirjeldatud materjaliga. Eksemplar TUG 1585-10 on ümbritsetud sammalloomaga, rugoosi karikas on ühest küljest deformeerunud. Tegemist võis olla sümbioosiga.

Levik Eestis. Vasalemma Partek Nordkalk karjäär, Keila lade, Vasalemma kihistu. Oandu jõe paljandid, Oandu lade, Hirmuse kihistu (globaalne Vara-Katy lade).

Materjal. 5 eksemplari: GIT 222-85, GIT 222-429, GIT 222-431, TUG 1393-7, TUG 1585-10.



Joonis 11. *Lambelasma carinatum* Weyer, 1993. A, B TUG 1393-7. C, D TUG 1585-10. E, F GIT 222-431. Mõõtskaala 1 cm.

Alamselts **Streptelasmatina** Wedekind, 1927

Sugukond **Streptelasmatae** Nicholson, 1889

Alamsugukond **Streptelasmatinae** Nicholson, 1889

Perekond *Streptelasma* Hall, 1847

Tüüpliik. *Streptelasma corniculum* Hall, 1847, valitud Roemeri poolt 1861 a.

Liigiline koosseis Baltoskandias. *S. bystrowi* Reiman, 1958; *S. calicula* Hall, 1852; *S. concamerata* (Scheffen, 1933); *S. concava* (Kaljo, 1956); *S. corniculum* Hall, 1847; *S. cylindricum* Troedsson, 1929; *S. cyrtum* Neuman, 1969; *S. duncani* (Dybowski, 1873); *S. eccentricum* Neuman, 1969; *S. fervida* (Kaljo 1958); *S. hiimica* (Reiman, 1958), *S. linnarssoni* (Lindström, 1873); *S. medioseptatum* Neuman, 1986; *S. oanduensis* (Kaljo 1956); *S. ornata* (Eichwald, 1829); *S. ostrogothicum* Neuman, 1969; *S. saelaboni* Scheffen, 1933; *S. undulatum* (Scheffen, 1933).

Levik Eestis. Keila lade - Jaani? lade (globaalne Katy lade - Llandovery lade), Ordoviitsium. Märkus: *Streptelasma* on ülemaailmse levikuga perekond.

Diagnoos. Streptelasmatiidid on silindrilised, tseratoidsed või trohhoidsed kardinaalsepti poolsest küljest kõverdunud üksikkorallid. Suured septid on varases eas pikad, õhukesed või keskmiselt laienenud ning tavaliselt õrnalt telgkompleksiks ühinenud. Täiskasvanud koralli suured septid on õhukesed ja võrdlemisi lühikesed ning telgkompleksi ei moodusta. Kogu ontogeneesi vältel esinevad ääris ja septidevahelised kambrid. Kaarjad taabulad on toestatud täiendavate plaatidega.

Streptelasma cylindricum Troedsson, 1929

Joonis 12

Holotüüp. No. 189; Troedsson, 1929, joon 27:3; Gröönimaa, Calhouni neem; Ülem-Ordoviitsium.

Sünonüümika.

Streptelasma cylindricum sp. n.: Troedsson, 1929, lk 110, joon. 2-3.

Brachyelasma cylindricum (Troedsson, 1929): Kaljo, 1958, lk 103, joon. I 1-3.

Streptelasma cylindricum Troedsson, 1929: Neuman, 1969, lk 9.

Streptelasma cylindricum (Troedsson, 1929): Weyer, 1993, lk 71.

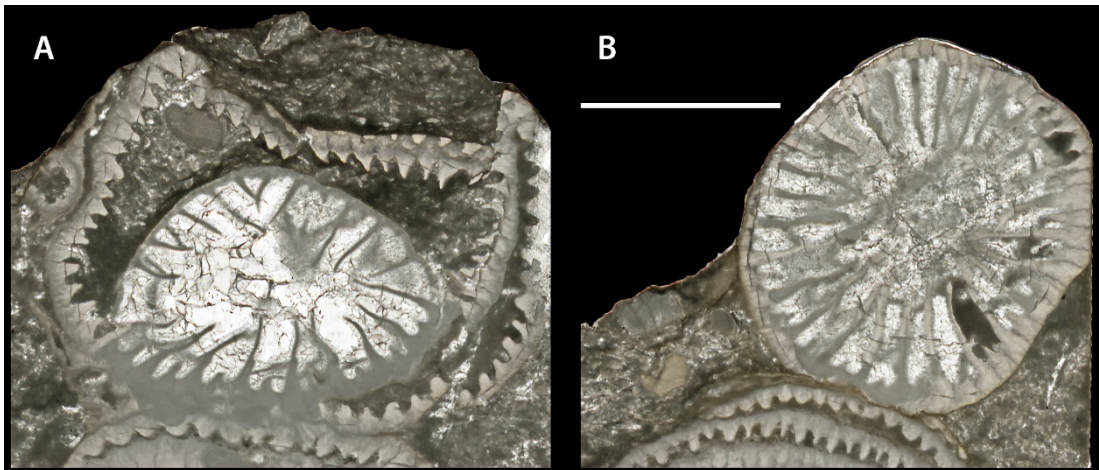
Diagnoos. Väike tseratoidne üksikkorall. Iseloomulik on suur kinnitustald. Telgkompleks on nõrk ning täiskasvanueas puudub täielikult. Ääris on lai ja segmenteerunud, taabulad lamedad või õrnalt lainelised, lihtsad.

Kirjeldus. Koralli karika läbimõõt on ligikaudu 1 cm. Suured septid on siledad, kitsad ja otstest teravnevad, ulatudes kolmandikuni koralli diameetrist. Tsentris septid kokku ei puutu ja telgkompleksi ei moodustu. Septidevaheline ala on võrreldes septi laiusega suhteliselt suur. Lühikesed septid on vähearenenud või puuduvad üldse. Ääris on väga

õhuke: kuni 0,3 mm lai ja segmenteerunud. Korall on hakanud kasvama teise sarvkoralli karika sisse *post mortem*. Eksemplar on vastavuses varem kirjeldatud materjaliga.

Levik Eestis. Vasalemma Partek Nordkalk karjäär, Keila lade, Vasalemma kihistu. Saku paemurd, Oandu lade, Saku kihistik (globaalne Vara-Katy lade), Ordoviitsium.

Materjal. 1 eksemplar: GIT 222-77-1.



Joonis 12. *Streptelasma cylindricum* Troedsson, 1929. A, B GIT 222-77-1. Mõõtskaala 5 mm.

Streptelasma oanduensis (Kaljo, 1956)

Joonis 13

Holotüüp: GIT 78-7 (vana number Co 1182); Kaljo, 1956, joon. 1:9,19, tekstijoonis 1, Rakvere, Keila lade (globaalne Vara-Katy lade), Ordoviitsium.

Sünonüümika.

Brachyelasma oanduensis sp. nov.: Kaljo, 1956, lk 71, joon. I 9-19, text fig. 1.

Streptelasma oanduensis (Kaljo, 1956): Neuman, 1969, lk 9.

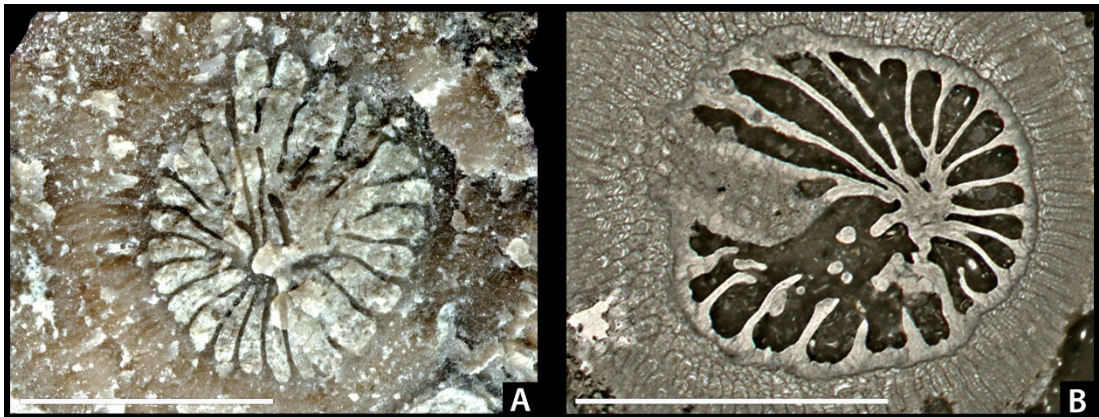
Diagnoos. Väike trohhoidne või tseratoidne üksikkorall. Telgkompleks on suhteliselt tugev, septid eemalduvad tsentrist ainult hilisemas ontogeneesi staadiumis. Taabulad on lihtsad ja veidi kõverdunud.

Kirjeldus. Korallil on õhuke, kuni 0,2 mm laiune segmenteerunud ääris. Karika läbimõõt on veidi üle sentimeetri. Suured septid on selgelt eristuvad, siledad ja õhukesed ning ühinenud keskel tugevaks telgkompleksiks. Nooremas eas on lühikesed

septid vähearenenud või puuduvad üldse, hiljem ulatuvad äärisest välja jämeda koonusena, karika serval on aga niitjad. Taabulad on sirged ja lihtsad. Eksemplar TUG 1398-8 on üleni sammalloomaga ümbritsetud. Eksemplariid on vastavuses varem kirjeldatud materjaliga.

Levik Eestis. Vasalemma Partek Nordkalk karjäär, Keila lade, Vasalemma kihistu. Rakvere, Oandu jõe paljandid, Keila lade (globaalne Vara-Katy lade), Ordoviitsium.

Materjal. 4 eksemplari: GIT 222-434, TUG 1393-8, TUG 1393-10, TUG 1585-8.



Joonis 13. *Streptelasma oanduensis*. (Kaljo 1956) A, B TUG 1393-8. Mõõtskaala 5 mm.

Streptelasma fervida (Kaljo, 1958)

Joonis 14

Holotüüp. GIT 81-2 (vana number Co 1039), Kaljo, 1958b, joon. 1:4.6, Lehtmetsa kraavid, Oandu lade, Saku kihistik (globaalne Vara-Katy lade), Ordoviitsium.

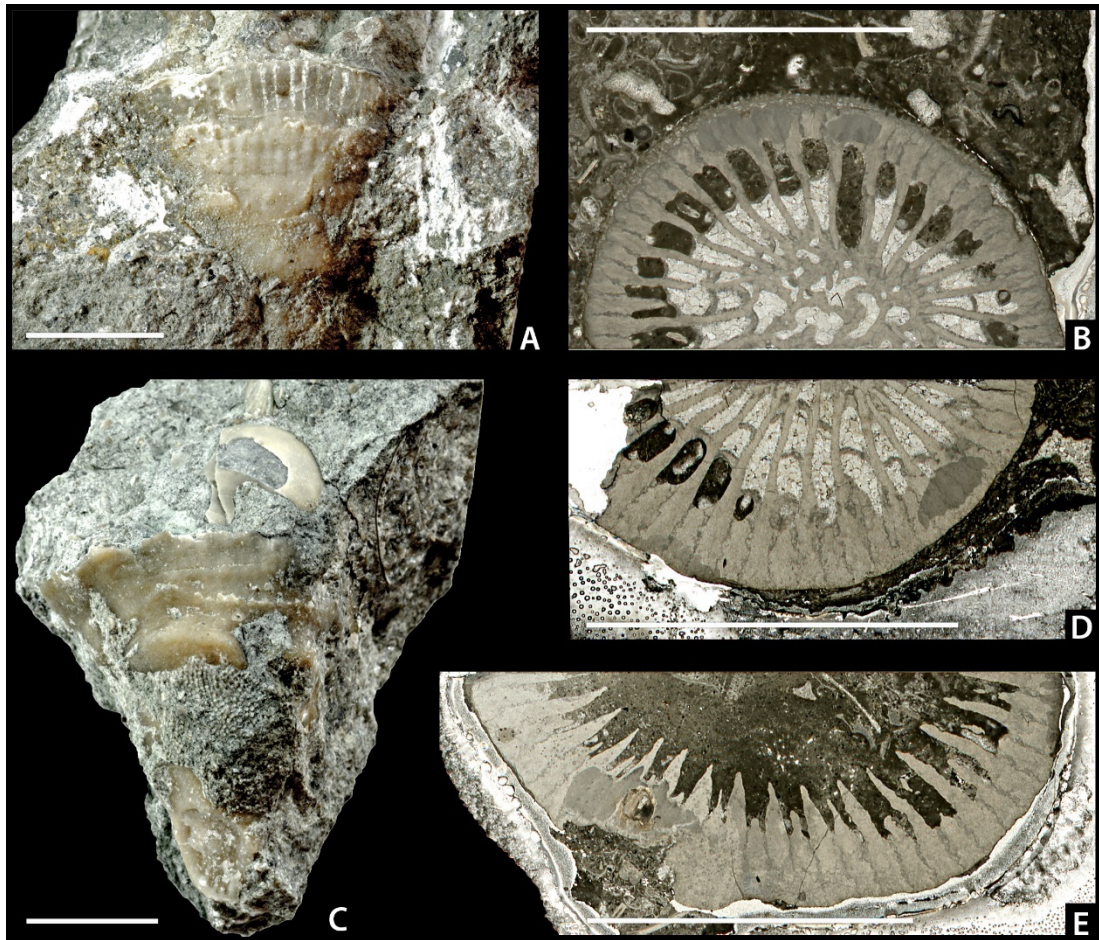
Sünonüümika.

Brachyelasma fervida sp. nov.: Kaljo, 1958, lk 104, joon. I 4-6.

Streptelasma fervida (Kaljo, 1958): Neuman, 1969, lk 9.

Streptelasma fervidum (Kaljo, 1958): Weyer, 1993, lk 71.

Diagnoos. Keskmiste mõõtmetega tseratoidne üksikkorall. Septid on pikad, õhukesed ja looklevad. Keskel asub võrkjas telgkompleks. Tugevalt kõverdunud taabulad on keskelt nõgusad.



Joonis 14. *Streptelasma fervida* (Kaljo 1958). A, B GIT 222-80. C, D, E GIT 222-88. Mõõtskala 1 cm.

Kirjeldus. Trohhoidsed 2-3 cm pikad korallid. Karika läbimõõt ulatub 2 cm-ni. Suured septid on peened ja siledad ning ühinevad tsentris võrkjaks telgkompleksiks, mis moodustab kolmandiku koralli läbimõõdust. Ääris on 1,3-2 mm lai ja segmenteerunud. Lühikesed septid puuduvad või on vähearenenud. Taabulad kumerduvad ülespoole. Eksemplarid on vastavuses varem kirjeldatud materjaliga.

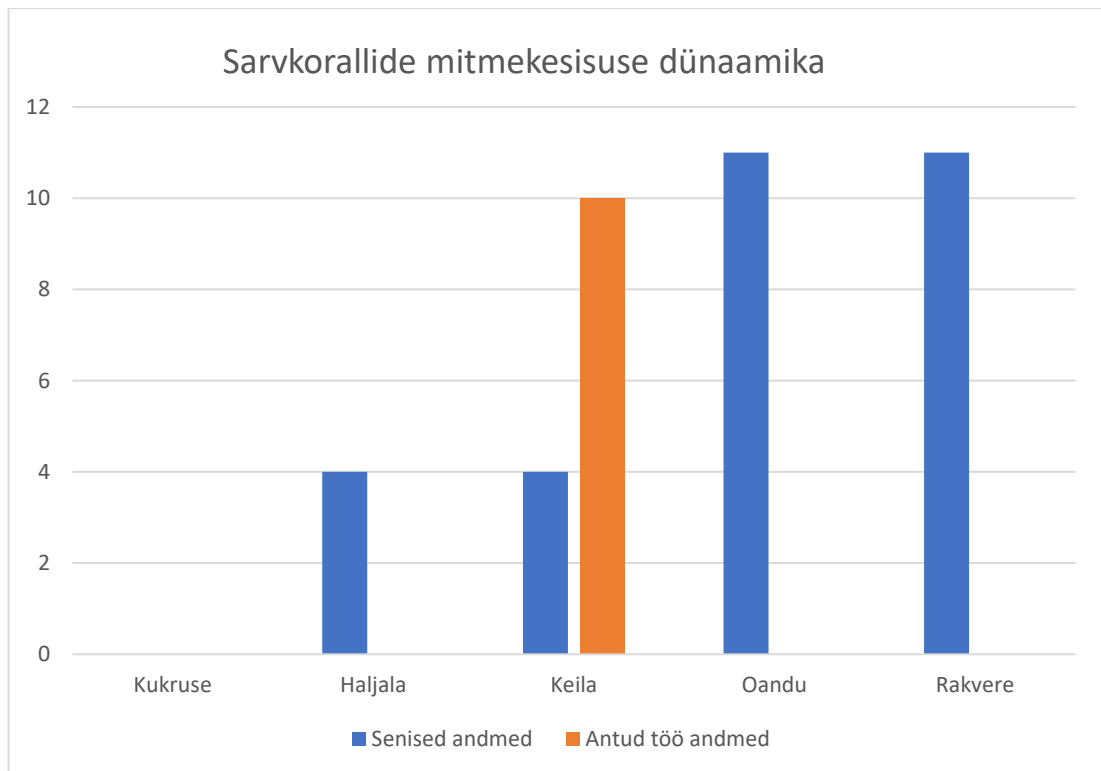
Levik Eestis. Vasalemma Partek Nordkalk karjäär, Keila lade, Vasalemma kihistu. Lehtmetsa kraavid, Keila lade (globaalne Vara-Katy lade), Ordoviitsium.

Materjal. 3 eksemplari: GIT 222-80, GIT 222-88, GIT 222-100-1.

7. Arutelu ja järeldused

Tänapäeval on üldiselt aktsepteeritud seisukoht, et alamklass *Rugosa* on skeletitust õisloomast välja kasvanud monofüleetiline takson – liikide rühm, kuhu kuuluvad nende ühine esivanem ja kõik sellest väljakujunenud taksonid (Scrutton 1997). Maailma vanim sarvkorallide leid on kirjeldatud Darriwili lademest (Kesk-Ordoviitsium, mis vastab meie regionaalsele Lasnamäe lademele) Iraani keskosast (Baars *et al.* 2013). Tegemist oli kahe halvasti säilinud fragmendiga, mis näitasid nii lambelasmatiidide kui ka streptelasmatiidide tunnuseid. Vanuselt järgmised rugoosid ilmusid Hilis-Sandby kuni Vara-Katy eal Baltoscandias, Austraalias ja Põhja-Ameerikas (Webby *et al.* 2004; Baars *et al.* 2013). Neist vanimaiks peetakse Eestist Haljala lademest kirjeldatud perekondi *Primitophyllum* ja *Lambeophyllum*, mille esindajad olid monokantiinsete septidega ja osaliselt taabulateta lihtsa ehitusega lambelasmatiidid (Kaljo 2004; Webby *et al.* 2004). Esimesed streptelasmatiidid ilmusid Keila eal. Ida-Eestist, kuhu rififaatsies ei levi, on kirjeldatud kaks uut perekonda. Kõnealuste perekondade esindajad liigi tasandil on vastavalt *Streptelasma oanduensis* ja *Leolasma sociasle* (Kaljo 1956b). Käesoleva töö tulemusena kirjeldati Keila lademe Vasalemma rififaatsiesest viie sarvkoralli liigi esindajad: *Lambelasma carinatum*, *Estonielasma praecox*, *Streptelasma cylindricum*, *S. fervida* ja *S. oanduensis*, mis jagunevad kolme perekonna – *Lambelasma*, *Estonielasma* ja *Streptelasma* – vahel. Kirjeldatud rugoosid jagunesid peaaegu võrdselt kahe sugukonna vahel. Lambelasmatiide (perekonnad *Lambelasma*, *Estonielasma*) oli 9 eksemplari ja streptelasmatiide (perekond *Streptelasma*) 8 eksemplari.

Kõnealustest liikidest registreeriti Keila lademes esmakordselt neli: *Lambelasma carinatum*, *Estonielasma praecox*, *Streptelasma cylindricum* ja *S. fervida*. Nelja liigi esmailumine nihkus ajaliselt varasemaks, Oandu ealt Keila eale, ning rugooside evolutsioon näitas senisest märgatavalt kiiremat tõusutrendi (joonis 15), milles on varasemast suurem osa streptelasmatiididel. Kiire arengu üks peamine põhjus oli troopiline kliima, mis tagas sobiva kasvukeskkonna ja toidubaasi.



Joonis 15. Sarvkorallide mitmekesisuse dünaamika Eestis Hilis-Ordoviitsiumis Sandby ja Vara-Katy ajastutel. Joonise y-teljel on sarvkorallide mitmekesisus (perekonna ja liikide arv summeeritud). Kasutatud andmed pärinevad Eesti geokogude andmebaasist ja kirjanduslikest allikatest (Kaljo 1956a, 1956b, 1957, 1958; Neuman 1969; Weyer 1973, 1983)

Kõrvutades sarvkorallide (Kaljo 2004) ja rifimoodustiste arengut (Kröger *et al.* 2017) Baltoskandias, võib täheldada, et Vara-Katy lademe (regionaalne Keila lade) sarvkorallide kiire areng langeb kokku rifimoodustiste laialdase arenguga.

Rifid kui maailma kõige produktiivsemad ökosüsteemid on tuntud väga rikkaliku elustiku poolest (Fuchs 2013). Muuhulgas on rifid orgaanilised moodustised, mille puhul nii karkass ise kui ka reljeefi õnarused toimivad liikuvaveelises keskkonnas turvaliste elupaikade ja settelõksudena, tagades fossiilide säilimise. Vasalemma riffe võib globaalsel tasandil pidada korallriffide üheks parimaks näiteks: siit on kirjeldatud suurepäraselt säilinud üliharuldasi okasnahkseid, sammalloomi ja käsijalgseid (Rozhnov 2002). Käesoleva tööga lisandus loetellu mitmekesisem sarvkorallide kooslus, mis on siiani kirjeldatud nii Vara-Katy lademest kui ka vastavavanuselitest riffidest.

Arvestades kogutud sarvkorallide hulka ning tõika, et neid pandi tähele alles hiljuti, võib arvata, et nende arvukus oli rifi ülaosas üsna levinud tabulaatidega võrreldes väike. Kui rugoosid olid oma mõõtmetelt väheldased, siis arvukalt levinud tabulaatide

kolooniad olid suured.

Vara-Paleosoikumi riffe iseloomustab karkassi ehituses osalevate fossiilirühmade arvukus. Vasalemma orgaanilised ehitised kinnitavad seda reeglit (Kröger *et al.* 2014). Rifi asukatel tuli hakkama saada kõrge konkurentsiga tingimustes, kasvades üksteise kõrval ja peal. Eksemplari TUG 1585-10 *Streptelasma oanduensis* karikaserva deformeerumise põhjustas sinna kinnitunud sammalloom – tegemist on mõlema looma eluajal toimunud kokkukasvega.

Lühidalt võib käesoleva töö tulemused kokku võtta järgmiselt:

- Erinevalt tabulaatidest olid sarvkorallid Vasalemma riffides haruldased.
- Vasalemma rififaatsiese sarvkorallide kooslus oli väga mitmekesine.
- Lambelasmatiide ja streptelasmatiide esines sarvkorallide koosluses võrdsel hulgal.
- Sarvkorallide mitmekesistumine Vara-Katy eal oli kiirem, kui seni arvatud.
- Varajased sarvkorallid olid väga kohanemisvõimelised ja elujõulised.

Tänuavaldused

Juhendamise ja kasulike nõuannete eest avaldan tänu Ursula Toomile, Dimitri Kaljole ja Mari-Ann Mõtusele. Samuti olen tänulik Olle Hintsile, Gennadi Baranovile ning kõigile teistele TTÜ Geoloogia instituudi töötajatele, kes antud töö valmimisel abiks olid.

Kasutatud kirjandus

- Ainsaar, L. & Meidla, T. 2001. Facies and stratigraphy of the middle Caradoc mixed siliciclastic-carbonate sediments in eastern Baltoscandia. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences, Geology*, **50**, 5-23.
- Baars, C., Pour, M. G. & Atwood, R. C. 2013. The earliest rugose coral. *Geological Magazine*, **150(2)**, 371-380
- Eichwald, E. 1854. Die Grauwackenschichten von Liv- und Ehstland. *Bulletin de la Societe Imperiale des Naturalistes de Moscou*, **27(1)**, 1-111.
- Eesti geokogude andmebaas (WWW) <http://geokogud.info/>
- Fuchs, T. 2013. Effects of Coral Reef Complexity on Invertebrate Biodiversity. *Immediate Science Ecology Publishing*, **2**, 1-10.
- Hill, D. 1981. Rugosa and Tabulata. Treatise on Invertebrate Paleontology. Part F. Coelenterata. Supplement 1. F1-F378.
- Kummel, B. & Raup, D. 1963. Handbook of paleontological techniques. W. H. Freeman and Co., San Francisco and London, 852 lk.
- Kaljo, D. L. 1956a, Genera Primitophyllum gen. nov. and Leolasma gen. nov. *Trudy VSEGEI*, **12**, 35-37. [vene keeles]
- Kaljo, D. L. 1956b. On the streptelasmide rugose corals of the Ordovician of East Baltic. *Eesti NSV Teaduste Akadeemia Geoloogia Instituudi Uurimused*, **I**, 68-73. [vene keeles]
- Kaljo, D. L. 1957. The Baltic Ordovician and Llandoveryan Codonophyllacea. *Loodusuurijate Seltsi Aastaraamat*, **50**, 153-168. [vene keeles]
- Kaljo, D. L. 1958a. On the taxonomy of the genus Streptelasma Hall and a description of some new rugose corals. *Eesti NSV Teaduste Akadeemia Geoloogia Instituudi Uurimused*, **II**, 19-26. [vene keeles]
- Kaljo, D. L. 1958b. Some new and little-known Baltic Tetracorals. *Eesti NSV Teaduste Akadeemia Geoloogia Instituudi Uurimused*, **III**, 101-123. [vene keeles]
- Kaljo, D. 2004. Diversity of late Ordovician rugose corals in Baltoscandia: role of environmental changes and comparison with other areas. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences. Geology*, **54(3)**, 233-245.
- Klaamann, E. 1966. The incommunicate tabulata of Estonia. *Teaduste Akadeemia Geoloogia Instituudi Uurimused*, 1-97. [vene keeles]
- Kröger, B., Hints, L. & Lehnert, O. 2014. Age, facies, and geometry of the Sandbian/Katian (Upper Ordovician) pelmatozoan-bryozoan-receptaculitid reefs of the Vasalemma Formation, northern Estonia. *Facies*, **60(4)**, 963-986
- Kröger, B., Hints, L. & Lehnert, O. 2017. Ordovician reef and mound evolution: the Baltoscandian Picture. *Geological Magazine*, in press, 1-24.
- Meidla, T., Ainsaar, L., Hints, L., Hints, O., Martma, T. & Nõlvak, J. 1999. The mid-Caradocian biotic and isotopic event in the Ordovician of the East Baltic. *Acta Universitatis Carolinae. Geologica*, **43**, 503-506.
- Mõtus, M.-A. & Zaika, J. 2012. The oldest heliolitids from the early Katian of the East Baltic region, *GFF*, **134(4)**, 225-234.

- Männil, R. 1960. The stratigraphy of the Oandu ("Vasalemma") Stage. *Eesti NSV Teaduste Akadeemia Geoloogia Instituudi Uurimused*, **V**, 89-115. [vene keeles]
- Nestor, H. & Einasto, R. 1997. Ordovician and Silurian carbonate sedimentation basin. In: *Geology and Mineral Resources of Estonia* (Raukas, A. & Teedumäe, A., eds.), Estonian Academy Publishers, Tallinn, 192-204.
- Neuman, B. E. E. 1969. Upper Ordovician Streptelasmatic Corals from Scandinavia. *Bulletin of Geological Institutions of the University of Uppsala*, New Series, **1(1)**, 1-73.
- Neuman, B. E. E. 1977. On the taxonomy of lower Palaeozoic solitary streptelasmatic corals. *Memoirs de Bureau de Recherches Geologique et Minières*, **89**, 69-77.
- Neuman, B. E. E. 1983. Origin and early evolution of rugose corals Fourth International Symposium on Fossil Cnidaria. Washington D.C., August 1983. *Palaeontographica Americana*, **54**, 119-126.
- Neuman, B. E. E. 1988. Some aspects of life strategies of Early Palaeozoic rugose corals. *Lethaia*, **21**, 97-114.
- Neuman, B. E. E. 1991. Origin and early evolution of rugose corals, *GFF*, **113(1)**, 90-91.
- Põlma, L., Sarv, L. & Hints, L. 1988. Lithology and Fauna of the Caradoc Series Type Sections in North Estonia. Valgus, Tallinn, 101 pp. [vene keeles, ingliskeelne kokkuvõte]
- Rozhnov, S. V. 2002. Morphogenesis and Evolution of Crinoids and Other Pelmatozoan Echinoderms in the Early Paleozoic. *Paleontological Journal*, Supplementary Issue, **36**, 525-674.
- Scrutton, C. T. 1997. The Palaeozoic corals, I: origins and relationships. *Proceedings of the Yorkshire Geological Society*, **51**, 177-208.
- Scrutton, C. T. 1998. The Palaeozoic corals, II: structure, variation and palaeoecology. *Proceedings of the Yorkshire Geological Society*, **52**, 1-57.
- Scrutton, C. T. 1999. Palaeozoic corals: their evolution and palaeoecology. *Geology Today*, **15(5)**, 184-193.
- Schmidt, Fr. 1881. Revision der ostbaltischen silurischen Trilobiten nebst geognostischer Übersicht des ostbaltischen Silurgebiets. Abt. I. Phacopiden, Cheruriden und Encrinuriden. *Mémoires de l'Académie Impériale des Sciences de St.-Petersbourg*, **30(1)**. 1-237.
- Torsvik, T.H., & Cocks, L.R.M. 2013. New global palaeogeographical reconstructions for the Early Palaeozoic and their generation. *Geological Society: Memoirs*, **38**, 5-24.
- Webby, B. D., Elias, R. J., Young, G. A., Neuman, B. E. E. & Kaljo, D. 2004. Corals. In: The great Ordovician Biodiversification Event. (Webby et al. eds). Columbia University Press, 124-141.
- Weyer, D. 1973. Über den Ursprung der Calostylidae Zittel 1879 (Anthozoa, Rugosa; Ordoviz-Silur). *Freiberger Forschungshefte, C*, **282**, 23-87.
- Weyer, D. 1993. Korallen aus dem Obertournai und Untervisé der Inseln Hiddensee und Rügen. *Abhandlungen und Berichte für Naturkunde*, **16**. 31-69.

Lihtlitsents lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ja reprodutseerimiseks

Mina, Ailar Uffert (sünnikuupäev: 04.07.1975)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

„Vara-Katy (Ordoviitsium) sarvkorallid Vasalemma karjääris, Loode-Eestis“,

mille juhendaja on Ursula Toom,

1.1. reprodutseerimiseks säilitamise ja elektroonilise avaldamise eesmärgil, sealhulgas TTÜ raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas TTÜ raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta kolmandate isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ja teistest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

_____ (*alkiri*)

_____ (*kuupäev*)