

**Tallinna Tehnikaülikool
Mäeinstituut**

Üliõpilane: Moonika Niit
Matrikli nr: 990473

Bakalaureuse lõputöö

**BURTNIEKI LADEME MIKROFOSSIILIDE
RAKENDATAVUSEST STRATIGRAAFIAS**

Juhendaja: Enn Pirrus
Konsultant: Anne-Liis Kleesment
Konsultant: Tiiu Märss

Tallinn
Juuni, 2004

Sisukord

Lühikokkuvõte.....	3
Applicability of microfossils of the Burtneki Stage in stratigraphy.....	4
Short summary.....	4
Sissejuhatus.....	5
1 UURIMISMETOODIKA.....	6
1.1 Välitööd.....	6
1.2 Laboratoorsed tööd.....	6
1.2.1 Proovide ettevalmistamise meetodika.....	6
1.2.2 Fossiilide uurimine.....	7
1.2.3 Õhikute tegemine.....	7
1.3 Fossiilse komponendi iseloomustamine ja süstematiseerimine.....	8
1.4 Pildistamine ja fototöötlus.....	8
2 DEVONI LADESTU LÄBILÕIKEST EESTIS.....	10
2.1 Devoni ladestu iseloomustus.....	10
2.1.1 Uuritus.....	10
2.1.2 Levik, paksused, üldiseloomustus.....	10
2.1.3 Paleontoloogiline iseloomustus.....	11
2.2 Burtneki lade.....	13
2.2.1 Uuritus.....	13
2.2.2 Levik, paksused, üldiseloomustus.....	13
2.2.3 Paleontoloogiline iseloomustus.....	16
3 PALJANDITE ISELOOMUSTUS JA ASEND LÄBILÕIKES.....	19
3.1 Karksi paljand.....	19
3.2 Härma paljand.....	20
3.3 Arstle paljand.....	22
3.4 Essi müür.....	22
3.5 Suur- Ütsealutse müür.....	25
3.6 Väike- Ütsealutse müür.....	26
4 SELGROOGSETE MIKROFOSSIILIDE KIRJELDUS.....	29
Alamklass Heterostraci (erikilbilised).....	30
4.1 Lõuatud.....	30
4.2 Lõugsuused.....	37
Klass Placodermi (rüükalad).....	37
Liik Ptychodictyon sulcatum Gross (fototahvel V, 5-6; VII, 1, 3; VIII, 1, 3).....	39
Liik Acanthodei gen. et sp. indet.....	40
Leiti hulk soomuseid, mille perekondlik ja liigiline kuuluvus polnud määratav. Nende kroonid olid enamasti kahjustunud, või skulptuurita, alused olid kumerad või tasased. Kaela kõrgus oli soomustel erinev, esines nii madalat kui ka pikka kõrget kaela.....	40
5 MIKROFOSSIILIDE RAKENDATAVUS STRATIGRAAFIAS.....	52
5.1 Härma kihtide mikrofossiilid (tabelid 7 ja 8).....	52
5.2 Abava kihtide mikrofossiilid (tabel 9).....	54
5.3 Härma ja Abava kihtide võrdlus.....	54
6 TÖÖ TULEMUSED.....	56
Kokkuvõte.....	57
Kasutatud kirjandus.....	58

Lühikokkuvõte

Antud bakalaureusetöö eesmärgiks oli uurida Burtnieki lademe mikrofossiile ja põhjendada materjali vajalikkust biostratigraafilisel liigestamisel.

Karksi, Härma, Arstle, Essi ning Suur- ja Väike-Ütsealutse paljandeist töötati läbi kokku 21 proovi.

Proovide läbitöötamise tulemusena:

- leiti Karksi paljandist 2 uut fossiile sisaldavat taset;
- Suur- ja Väike-Ütsealutsest kust varem oli avastatud peamiselt suuri luuplaate, leiti ka mikrofossiile;
- Burtnieki lademest leitud mikrofossiilide nimekiri täienes 3 liigi võrra;
- litoloogiliselt ja mineraloogiliselt sarnaseid Härma ja Abava kihte võrreldi mikrofossiilide alusel;
- avastati, et mikrofossiilid kuhjuvad jämedateralise liivakivi vahekihtidesse.

Ülaltoodud tulemuste põhjal võib väita, et mikrofossiilid omavad suurt potentsiaali lademe biostratigraafilisel liigestamisel.

Applicability of microfossils of the Burtnieki Stage in stratigraphy

Short summary

The aim of this bachelor's degree paper was to study the microfossils of the Burtnieki Stage and to explain their importance in biostratigraphical subdivision and correlation.

Total 21 samples from the outcrops of Karksi, Härma, Arstle, Essi, Suur-Ütsealutse and Väike-Ütsealutse were studied.

Results of the study:

- two new fossil planes were found from the Karksi outcrop;
- microfossils were found and described from the outcrops of Suur- and Väike-Ütsealutse, where till now only a few bone plates had been found;
- the list of the microfossils of the Burtnieki Stage was supplemented by three new taxa;
- the differences of the Härma and Abava beds which have very similar lithology and mineralogy were described on the grounds of microfossils;
- it was identified that microfossils commonly accumulate in coarse-grained beds.

The above results prove that microfossils can be considered as a potential tool for supplementing biostratigraphical subdivision of the Burtnieki Stage.

Sissejuhatus

Devoni ladestu avamusala paikneb Lõuna- ja Kagu-Eestis ning hõlmab peaaegu poole vabariigi territooriumist. Teiste ladestutega võrreldes on Devon uurituse poolest siiski tahaplaanile jäänud. Selle põhjuseks võib lugeda ladestu märgatavalt väiksemat maavarade potentsiaali. Ometi vajab ka see läbilõike osa hoolikamat uurimist, mille eiramine võib lähiajal muutuda takistuseks nii kihtide korreleerimisel kui ka mitmete rakendusprobleemide lahendamisel.

Devoni stratigraafiline liigestus põhineb peamiselt kalafossiilidel, mille leiud on küllalt haruldased. Makrofossiilide kõrval on viimasel ajal hakatud uurima ka mikrofossiile, eeskätt akantoodide soomuseid, mille alusel on korrigeeritud Kesk-Devoni läbilõike alumine osa, eriti Narva lademe kihid. Kagu-Eestis levivast, heledate liivakividega esindatud Burnieki lademest, on akantoodide soomuseid avastatud vähe ning needki üksikud leiud pärinevad lademe alumisest osast. Lademe ülemisest osast, Abava kihistikust, on E. Mark-Kuriku poolt kirjeldatud erikilbiliste nahahambad ja tuberkled, kuid tervikuna jääb see osa läbilõikest siiski suhteliselt vähe uurituks. See omakorda takistab lademe detailsemat liigestamist, mis võimaldaks täpsemaid korrelatsioonivõimalusi kaugemate regioonidega.

Käesoleva diplomitöö eesmärk oli leida ja uurida mikrofossiilset materjali Burnieki lademe Abava ja Härma kihtidest ning põhjendada materjali olulisust biostratigraafilises liigestuses ja korreleerimises.

Töö haakub selleteemaliste uuringutega TTÜ Geoloogia Instituudis, kus töö autoril oli võimalus viibida välitöödel, koguda täiendavat materjali ning saada oskuslikku juhendamist erialaspetsialistide poolt.

Eriti tänulik olen TTÜ emeriitprofessor Enn Pirrusele, tänu kellele oli mul võimalus tutvuda uuritavate Burnieki lademe kihtidega, TTÜ GI teadur Anne-Liis Kleesmendile ja TTÜ GI vanemteadur Tiiu Märstile, kes konsulteerisid proovide läbitöötamise metoodika ja fossiilide määramise osas. Abi eest mikrofossiilide fotograferimisel ja fototahvlite vormistamisel tänan TTÜ GI fotograaf Gennadi Baranovit.

1 UURIMISMETOODIKA

Töö sooritati neljas etapis, alates välitöödest ja lõpetades saadud materjali fotografeerimisega.

1.1 Välitööd

Kesk-Devoni Burtnieki lademe Härma ja Abava kihtide iseloomustamiseks ning paleontoloogiliste proovide võtmiseks toimus kaks ekspeditsiooni Lõuna-Eestisse: 2001.a. septembris väljasõit Abava kihtide paljanditesse Võhandu jõe kallastel ja 2002.a. juulis-augustis Härma kihtide avamusalale Tõrva linna ümbruses. Uuritud paljanditest võeti paleontoloogiliseks läbitöötamiseks 15 proovi. Arvestades eelnevate uurijate kogemusi, koguti proovid liivakompleksides esinevatest konglomeraatsetest vahekihtidest ja kihtidest, kus võis välivaatlustel näha fosfaatseid luutükikesi – fossiilsete kalade fragmente.

Esimese ekspeditsiooni vältel külastati Suur-Ütsealutse, Väike-Ütsealutse ja Essi paljandeid. Paljandid kirjeldati detailselt ja neist võeti kokku 8 proovi: Suur-Ütsealutsest 4, Väike-Ütsealutsest 3 ja Essi müürilt 1.

Teise ekspeditsiooni käigus uuriti kolme Burtnieki lademe Härma kihtide paljandit: Karksi, Härma ja Arstle. Paljandid kirjeldati ja neist võeti kokku 7 proovi: Härmast 2, Karksist 4 ja Arstlest 1. Ekspeditsiooni vältel külastati ka Aruküla lademe paljandeid, kust seekord proove ei võetud.

1.2 Laboratoorsed tööd

Laboratoorsete tööde käigus töötasin ühtse meetodiga läbi 21 proovi, millest 15 olid välitöödel võetud, 6 aga pärit TTÜ Geoloogia Instituudi fondikogudest.

1.2.1 Proovide ettevalmistamise meetodika

Proovide ettevalmistamine algas proovikoguse kaalumise ja algkaal kõikus vahemikus 80-400 g. Algmassi määramisele järgnes pesemine, eesmärgiga eraldada proovis sisalduv savi ja lõhkuda kivim üksikosadeks, paleontoloogilist materjali kahjustamata. Proovi pesemine toimus portselankausis, kus eelnevalt leotatud proovile lisati vett, hõõruti ettevaatlikult kummikorgiga ning pärast paariminutilist seismist eemaldati savisegune vesi klaasnõusse. Protseduuri korrati, kuni proovile

lisatud vesi jäi selgeks, mis näitas savi täielikku eraldamist. Täiendavalt pesti sama meetodikaga klaasanumate põhja kogunenud sete.

Pärast savi eraldamist proov kuivatati ning kaaluti. Granulomeetrilise koostise määramiseks proovide kuivjääk sõeluti, eraldades järgmised fraktsioonid:

>2 mm; 2-1 mm; 1-0,5 mm; 0,5-0,25; 0,25-0,1; 0,1-0,01 ja < 0,01 mm. Peale granulomeetrilise koosseisu määramise oli sõelumine vajalik ka fossiilide uurimiseks vajalike fraktsioonide saamiseks.

Fraktsioonid 1-0,5 ja 0,5-0,25 mm eraldati bromoformis (erikaal 2.89 g/cm^3) kergeks ja raskeks osaks. Eraldamine põhines sellel, et fosfaatsete kalafragmentide erikaal on >2,89 ning nad vajuvad põhja, liiv aga tõuseb bromoformi pinnale. Eraldatud fosfaatsed fragmendid pesti piiritusega ja kuivatati.

1.2.2 Fossiilide uurimine

Kõik proovid vaadati läbi binokulaarse mikroskoobi fraktsioonide kaupa: >1 mm, 1-0.5 mm (raske osa) ja 0.5-0.1 mm (raske osa). Enamikel juhtudel vaadati läbi ka fraktsiooni 1-0.5 mm kerge osa, kuhu hoolimata bromoformis eraldamisest oli jäänud fossiilide fragmente. See võis olla tingitud fossiilides olevatest õhuga täidetud pooridest, mis muutsid fragmendid kergemaks ja tõstsid nad vedeliku pinnale. Materjalist nopiti peene pintsliga või nõela abil välja kõik oletatavad fragmendid ja soomused, millel oli iseloomulik pinnareljeef või kuju. Fossiilid korjati plastmasstopsikestesse, mis varustati leiukoha nime, proovi numbriga ja fraktsiooni suurus määravate andmetega. Seejärel määrati kogutud mikrofossiilid kirjandusliku andmestiku põhjal ning kasutades juhendajate abi. Määramisel eraldati erinevad taksonid eraldi topsikestesse, mis võimaldas nende varieeruvust paremini iseloomustada. Töö tulemusena kogunes 129 topi paleontoloogilise materjaliga.

1.2.3 Õhikute tegemine

Kalafossiilide siseehituse uurimiseks valmistati soomustest ja luuplaatidest kokku 11 õhikut. Klaasitükil, millele fragment paigutati sulatati ettevaatlikult piirituslambi kohal üles tükike Kanada palsamit, ilma, et ta keema läheks. Uuritav fragment paigutati sulanud palsamisse ja lasti taheneda. Kõvastunud preparaat lihviti ühelt

poolt soovitud kihini. Seejärel sulatati palsam uuesti üles, keerati fragment ümber ning korrati sama protseduuri teiselt poolt, kuni õhik saavutas vajaliku paksuse.

1.3 Fossiilse komponendi iseloomustamine ja süstematiseerimine

Fossiilse komponendi sisaldus oli läbitöötatud proovides erinev. Fragmendid olid erineva säilimisastme ja koostisega. Läbitöötatud 21-st proovist 15 sisaldasid selgroogsete osi. Mitmes proovis leidus rohkesti hästi säilinud ogalisi nahahambaid, luuplaate ja soomuseid (Essi, Karksi), teistes oli ainult purustatud luutükke ja üksikuid ümardunud soomuseid (Suur- ja Väike-Ütsealutse). Näiteks oli Essi müüri nähtavaid luufragmente sisaldavas 80 g raskuses proovis rohkesti huvitava skulptuuriga mikrofossiile, samal ajal kui Suur-Ütsealutse paljandist võetud 350 g raskune proov sisaldas vaid määramatuid luutükke ja üksikuid ümardunud soomuseid. Proovides olid esindatud lõuatute erikilbiliste, lõugsuusete, rüükalade, akantoodide, kõhrkalade ja luukalade taksonid- seega võrdlemisi avar mikrofossiilide kogus.

1.4 Pildistamine ja fototöötlus

Pildistamiseks valiti välja kõige olulisemad ja iseloomulikumad selgroogsete mikrojäänuste eksemplarid. Pildistamine toimus elektronmikroskoobiga TTÜ Materjaliuuringute Instituudis (fotograaf V.Mikli) ja valgusmikroskoobiga TTÜ Geoloogia Instituudis (fotograaf G. Baranov).

Elektronmikroskoobis pildistati eriti iseloomuliku skulptuuriga mikroosakesi: soomuseid, tesseere ja nahahambaid. Pildistamise võimaldamiseks kinnitati need detailid spetsiaalse liimiga kaetud metallalusele. Alused kaeti TTÜ Materjaliuuringute Instituudis õhukese kullakihi ja ning pildistati mikroskoobiga JEOL-JSM-940-A.

Valgusmikroskoobiga valmistati TTÜ Geoloogia Instituudis fotod õhikutest. Mikroosakeste siseehituse täiendavaks uurimiseks pildistati osa nahahambaid, tesseere ja soomuseid ka immersioonvedelikus. Nimetatud meetod sobib vaid õhukeste ja heledavärviliste eksemplaride uurimiseks. Selleks kanti uuritavad mikrofossiilid nõela abil klaasalusele, millele lisati pipetiga sobivat immersioonvedelikku ning kaeti katteklaasiga. Suuremad eksemplarid pildistati TTÜ Geoloogia Instituudis ka peegelduvas valguses. Mikrofossiilide vajalikus asendis pildistamiseks kleebiti nad fotopaberile.

Fotode töötlemiseks ja mõõtkavasse viimiseks kasutati arvutiprogrammi Adobe Photoshop, versioon 6,0 Professional (litsents PWE600R7100520999763).

2 DEVONI LADESTU LÄBILÕIKEST EESTIS

Devoni ladestu on Eestis küllaltki täielikult esindatud, välja arvatud Alam-Devoni osas.

2.1 Devoni ladestu iseloomustus

Käesolevas töös antakse ülevaade nii Devoni ladestu kui ka Kesk-Devoni Burtneki lademe uurimise ajaloost, levikust Eestis ja paleontoloogiast.

2.1.1 Uuritus

Devoni ladestu uurimine Eestis algas XIX sajandi keskel. Huviobjektiks olid siis Lõuna-Eesti liivakivimis esinevad fossiilsed fragmendid, millele juhtisid esmakordselt tähelepanu M. Engelhardt, E. Ulprecht ja C. Pander. Avastatud fossiilide tõlgenduse väljasurnud kalade jäänustena tegi H. Asmuss. Devoni floora uurimisele pani aluse E. Eichwald. Esimese stratigraafilise liigestuse Devoni settekivimitele Baltikumis andis aga C. Grewingk, kes jagas ladestu Alam- ja Ülem-Devoni liivakivideks ning Kesk-Devoni dolomiitideks. Eesti Devoni detailse liigestuse väljatöötamine algas H. Bekkeri töödega.

Kesk- ja Ülem-Devoni liivakivide paljanduva osa biostratigraafilisele liigestusele pani aluse W. Gross oma aastatel 1933-1942 ilmunud publikatsioonidega. Kaasaegne biostratigraafiline liigestus on XX sajandi teisel poolel paika pandud põhiliselt E. Mark-Kuriku poolt (Mark-Kurik, 2000). Selle aluseks on olnud paljanditest ja koobastest leitud lõuatute hulka kuuluvate psammosteiidide ning rüükalade leiud, mida peale E. Mark-Kuriku on meie kihtidest kirjeldanud ka D. Obrutchev, V. Talimaa, O. Obrutcheva ja E. Vorobjova (Obrutchev & Mark-Kurik, 1965; Obrutcheva, 1966; Karatajute-Talimaa, 1963; Vorobjova, 1977). J. Valiukevičiuse poolt uuritud akantoodide soomused võimaldasid seda skeemi Eifeli ladejärgu osas oluliselt detailiseerida (Valiukevičius, 1994). Givet ladejärgu osas on paleontoloogilise materjali lünklikkuse ja vähese esinemise tõttu stratigraafiliste ühikute eraldamisel kasutatud litoloogilis-mineraloogilisi kriteeriume.

2.1.2 Levik, paksused, üldiseloomustus

Devoni läbilõige algab (tabel 1) lünkliku Alam-Devoni ladestikuga, mis on esindatud kolme erinevasse ladejärku kuuluva ja üksteisest oluliste settelünkadega eraldatud

Tilže, Kemeru ja Rezekne lademetega, mis kõik on kaetud nooremate Devoni settekivimitega ja Eestis ei paljandu. Kõige esinduslikuma osa Eesti Devoni läbilõikest ja paljandeist moodustab Kesk-Devon, mille alumisse, Eifeli ladejärku loetakse Pärnu, Narva ja Aruküla lade; ülemisse Givet ladejärku - Burtnieki, Gauja ja Amata lade. Ülem-Devon on piiratud mahus esindatud peamiselt Frasn ladejärgu alumisse ossa kuuluva Plavinase lademega. Tegelikult pole senini veel täit selgust nii Kesk-Devoni alumise kui ka ülemise piiri asendi osas. Rezekne lademe kuuluvus Alam-Devonisse ei ole veel ühtselt selge (Valiukevičius, 1994, 1998). Samuti ei saa fossiilidevaeste Gauja ja Amata lademetega Kesk-Devoni vanust lugeda lõplikult tõestatuks kuigi viimasel aastakümnel tehtud korrelatsioonide alusel on see küllaltki tõenäoline (Mark-Kurik, 1999).

Devoni summaarne paksus ulatub peaaegu 500 meetrini ning ta avamus hõlmab põhiliselt Lõuna-Eesti ja väikese laiguna Kirde-Eesti. Suuremate paksustega täielikum läbilõige on Kagu-Eestis (Kleesment & Mark-Kurik, 1997).

2.1.3 Paleontoloogiline iseloomustus

Kesk-Devon on rikas kalafossiilidest. Esindatud on kõik peamised grupid: telodondid, heterostraagid e. erikilbilised, osteostraagid e. luukilbilised, akantoodid, plakodermid e. rüükalad, kõhrkalad, sarkopterüügid ehk lihasuimsed ja aktinopterüügid a. kiiruimsed, mis näitavad Devoni kalade mitmekesisust (Mark-Kurik, 2000). Teatud kalaliikide kohta on veel vähe andmeid. Psammosteiidid domineerivad, kuid nad on väljaspool Ida-Euroopa platvormi loodeosa suhteliselt haruldased. Arvukad rüükalad, akantoodid ning vihtuimsed on sageli esinevateks vormideks. Rüükalad ja vihtuimsed esinevad kivimites valdavalt suurte luuplaatidena. Luukilbilisi ja kiiruimseid leiab makrofossiilidena harva, rohkem leidub neid siiski mikroosakestena.

Mõne grupi esindajad on väga suurte mõõtmetega, näiteks psammosteiidid *Tartuosteus* ja *Pycnosteus* võivad ulatuda 2,5 m-ni ja mõned vihtuimsed võivad olla üle 3 m pikad (Obrutchev, 1964). Väga suuri vorme võib leida ka kopskalade hulgas, nii näiteks on ainuüksi Aruküla lademest leitud *Conchodus*'e hambaplaat 6 cm pikkune.

Mikrofossiilidest on Devoni läbilõikes kõige paremini uuritud akantoodide soomused (Valiukevičius, 1994, 1998, 2000). Luukilbiliste mikrojäänuseid on kirjeldatud Pärnu

lademest ja psammosteiidide välisskeleti elemente Burtnieki lademest (Mark-Kurik, 1999). Kesk-Devoni kalafauna muutus üksluisemaks Gauja ajajärgul.

Tabel 1. Eesti Devoni stratigraafiline skeem (A. Kleesment, 2001 järgi kohandatud)

Rahvusvaheline skaala		Eesti stratigraafiline skeem			Paljandite üldarv
Ladestik	Lade	Lade	Vöö, kihistu	Kihid	
ÜLEM DEVON 385,3- 359,2 mln a.t.	Frasne	Daugava			
		Dubniki			
		Plavinas D _{3pl}	Tsudovo		
			Pskov		
Snetnaja Gora			5		
KESK DEVON 397,5- 385,3 mln a.t.	Givet	Amata D _{2am}			5
		Gauja D _{2gj}		Lode	35
					Sietini
		Burtnieki D _{2br}	Abava	Abava	42
			Salaca	Koorküla	13
				Härma	45
	Eifel	Aruküla D _{2ar}		Tarvastu	38
				Kureküla	49
				Viljandi	4
		Narva D _{2nr}	Kernave		7
			Leivu		2
			Vadja		6
			Pärnu D _{2pr}		Tamme
	Tori	5			
ALAM DEVON 416- 397,5 mln a.t.	Ems	Rezekne			
	Praha	Kemeri			
	Lochkov	Tilze			

2.2 Burtnieki lade

2.2.1 Uuritus

Burtnieki lade kuulub Kesk-Devoni ladestikku ja eristati stratigraafilise ühikuna välja W. Grossi poolt (1942). Ta käsitles esimesena Luuga (Tartu) lademe ülemist osa iseseisva üksusena. Lademe staatusesse tõsteti Burtieki lade E. Mark-Kuriku poolt. Litoloogilis-mineraloogilise iseloomustuse on lademele oma töödes andnud H. Viiding, K. Kajak, K. Utsal ja A. Kleesment (Rõõmusoks, 1983).

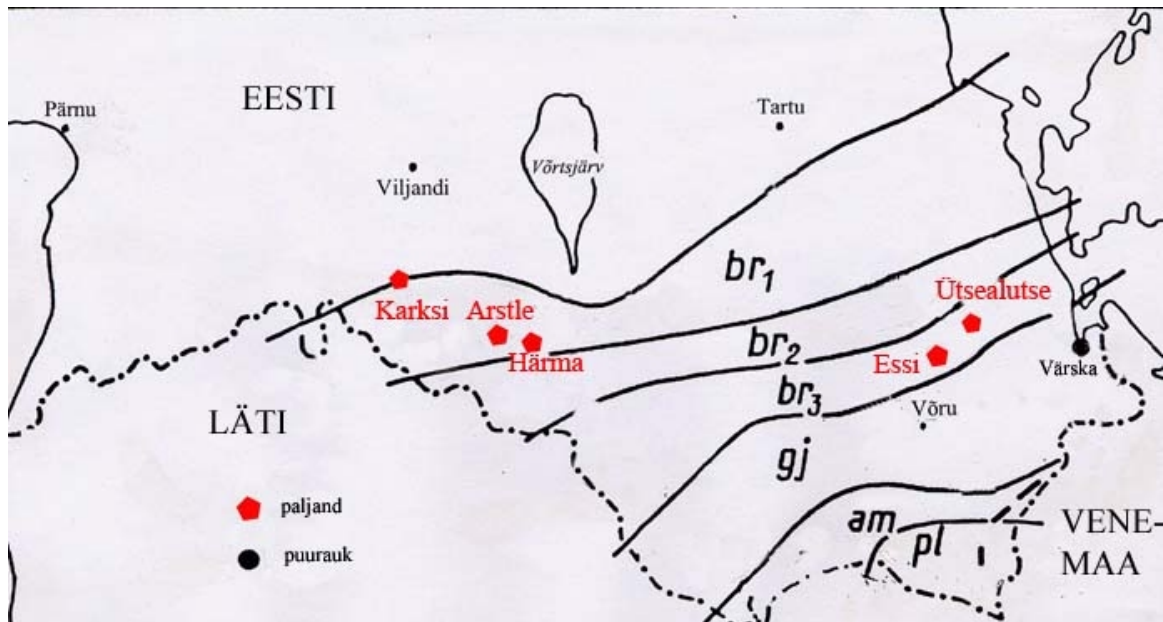
2.2.2 Levik, paksused, üldiseloomustus

Burtnieki lade on Givet ladejärgu vanim lade, mis jääb oma stratigraafiliselt asendilt Aruküla ja Gauja lademe vahele (tabel 1). Stratotüüpne läbilõige on Salaca jõe kallastel Põhja-Lätis, Burtnieki järvest 12 km loodes. Lademe paksus jääb vahemikku 60,6 ja 94,5 m. Avamus hõlmab 25-80 km laia vööndi Lõuna- ja Kagu-Eestis (joonis 1). Valdavaks kivimitüübiks on liivakivid, mis sisaldavad aleuroliidi ja savi vahekihte. Lade on tsüklilise ehituse alusel jagatud kolmeks üksteisel lasuvaks kihistikuks - Härma, Koorküla ja Abava (tabel 1).

Härma kihistiku (br_1) avamus on laia vööndina Lõuna ja Kagu-Eestis, laienedes ida poole (joonis 1). Kihtide paksus jääb vahemikku 13,4- 28,2 m. Härma kihistik paljandub rohkete võimsate liivakiviseintena. Olulised paljandid on Ahja jõe kallastel Kiidjärve ja Suure Taevaskoja vahel ning Helme piirkonnas.

Koorküla kihistiku (br_2) avamus paikneb ühtlase vööndina Härma ja Abava kihtide vahel. Lääneosas jääb kihtide paksus vahemikku 20-32m, idas 37-42m. Koorküla kihistiku paljandid on valdavalt väikesemõõdulised ja neid on suhteliselt vähe. Nii Härma kui ka Koorküla kihtides on avaraid, turistide külastamiseks sobivaid koopaid. (Helme, Koorküla).

Burtnieki lademe ülemise osa - **Abava kihistiku** (br_3) paksus jääb vahemikku 15,1-32 m. Kihtide esinduslikumad ja suuremõõdulised paljandid on koondunud Võhandu jõe kallastele, Leevi ja Võuküla vahele (Kleesment, 1995).



Joonis 1. Burtnieki lademe avamus

Litoloogiliselt on Härma, Koorküla ja Abava kihid sarnased. Lade on põhiliselt esindatud heledate liivakividega, värvus on kohati erinev, varieerudes valkjast, kollakast ja roosakast kuni rohekaspruunini. Liivakividele on iseloomulik põimkihilisus, mis väljendub erineva terajämedusega kihtide vaheldumises. Põimkihiliste seeriade valdav paksus on 20-30 cm. Liivakivid on enamasti peeneteralised. Peeneteraline fraktsioon moodustab 50-70% kivimist, keskmiseteraline 6-20% kivimist ning jämedateraline ca 5%. Liivakivid on hästi sorteeritud, keskmiselt või nõrgalt tsementeerunud (kohati leidub ka tugevalt tsementeerunud kihte), valdavaks on savitsement. Savivahekihid on enamasti keskmiselt tsementeerunud, savid on värvuselt hallid ja punakaspruunid (Rahumäe, 1991).

Käesoleva töö käigus kogutud proovides valdab nii Härma kui ka Abava kihtide liivakivides selgelt peeneteralise liiva fraktsioon (0.25-0.1 mm), kuid teatud tasemetel esineb ka keskmiseteralisi (0.5-0.25 mm) ja jämedateralisi (>0.5 mm) erimeid (tabel 2).

Tabel 2. Läbitöötatud proovide granulomeetria; %

Proov	>2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,01	<0,01
Härma40			0,3	7,5	71,9	19,2	1,1
Härma41			0,2	4,6	80,2	13,5	1,5
Härma54			0,6	50,2	46,6	1,1	1,5
Härma90		0,5	1,8	23,7	50,8	16,7	6,5
Härma02-1			0,8	30,1	61,7	5,5	1,9
Härma02-2		0,2	0,3	11,2	73,5	12,8	2
Arstle		0,2	4,1	48,3	42,5	4,7	0,4
Karksi90-2		3,2	7,3	37,5	44,6	4,9	2,5
Karksi02-1	0,6	0,8	9,9	39,3	38,8	9,9	0,7
Karksi02-2	0,6	0,3	3,7	41,1	22,5	31,4	0,4
Karksi02-3		0,2	2,2	43,3	45,2	7,8	1,3
Karksi02-4	0,3	0,3	3,6	40,7	48	6,1	1
Karksi97	0,8	0,3	3,7	44,1	44,6	5,4	1,1
Suur-Ütsealutse1		12,0	39,8	29,5	17,2	0,6	0,9
Suur-Ütsealutse2	4,9	10,2	45,1	30,4	7,0	1,8	0,6
Suur-Ütsealutse3		7,4	4,43	42,7	43,7	0,9	0,9
Suur-Ütsealutse4		3,1	13,9	30,9	27,6	20,8	3,7
Väike-Ütsealutse1	0,4	0,7	2,9	43,5	48,9	2,2	1,4
Väike-Ütsealutse2	5,0	4,3	16,8	27,6	16,2	20,1	10,0
Väike-Ütsealutse3		2,1	9,6	41,2	29,1	15,3	2,7
Essi		1,1		14,3	74,1	10,5	

Burtnieki lademe kivimid on rikkad kvartsi sisalduse poolest (70-90%). Päevakivi sisaldus on 3-10%, vilkude osakaal on keskmiselt 1-8% , vilgurikastes vahekihtides võib nende sisaldus ulatuda kohati kuni 50%-ni. (tabel 3). Rasketest mineraalidest moodustab 45-65% ilmeniit (raudtitaanoksiid) teistest on olulisemad raudhüdrosiid (4-8%), ja leukokseen (7-9%).

20-27% rasketest mineraalidest moodustavad rasked läbipaistvad mineraalid moodustavad, mille sisalduse muutlikkus on oluline kihtide liigestamisel. Selles rühmas moodustab suurema osa (48-50%) tsirkoon (tabel 3) (Kleesment, 1995).

Tabel 3. Burtnieki lademe mineraloogia, (Kleesment, 1995)

Mineraalid		Stratigraafiline tase		
		Härma	Koorküla	Abava
Kerged mineraalid	Kvarts	87,4	85,6	87,7
	Päevakivi	7,9	6,6	6,1
	Vilgumineraalid	4,7	7,8	7,2

Rasked mineraalid	Vilgumineraalid	9,0	10,2	13,8
	Raudhüdroksiid	7,0	5,9	4,8
	Püriit	-	0,3	-
	Leukokseen	8,3	7,3	7,3
	Ilmeniit	48,7	50,2	53,0
	Teised mineraalid	27,1	26,1	20,6
Läbipaistvad allotigeensed mineraalid	Tsirkoon	49,0	49,4	49,3
	Turmaliin	14,6	13,9	17,8
	Granaat	10,2	9,8	7,1
	Apatiit	6,3	5,6	3,9
	Stauroliid	9,6	10,0	11,5
	Küaniit	1,4	1,2	1,3
	Rutiil	5,6	6,4	6,4
	Titaniit	0,7	0,7	1,6

2.2.3 Paleontoloogiline iseloomustus

Burtnieki lademest on kalafossiilide leide suhteliselt vähe. Akantoodide soomused on Burtnieki ja Aruküla lademes sarnased moodustades ühe biotsooni (Valiukevičius, 1998). Selle taseme kalafossiilide kooslust Baltikumis on detailselt iseloomustanud L. Ljarskaja (1986). Ta on eraldanud 3 üksteisest erinevat koosluste taset. Peamiselt viimase aastakümne jooksul E. Mark-Kuriku poolt läbiviidud uurimustel on Burtnieki lademes välja eraldatud kaks märkimisväärselt erinevat fossiilide kooslust. Esimene esineb Härma ja Koorküla kihtides, teine on iseloomulik Abava kihtidele (tabel 4). See on andnud aluse eraldada Abava kihid üldse eraldi lademena (Mark-Kurik, 1993, 2000).

Ainult Härma kihtides on tuntud *Asterolepis*, *Glyptolepis* ja *Holoptychiidae* gen. et sp. (Mark-Kurik 2000). Kõiki neid kalade fossiile on leitud ka Karksi paljandist.

Väga rikkalikult esinevad nii Härma kui Koorküla kihtides psammosteiidid *Tartuosteus maximus*, *Pycnosteus tuberculatus* ja *Psammosteus bergi*. Selles koosluses leidub ka *Dickosteus? markae* ja "*Holonema*" *haermae*. Neist esimest on kirjeldatud ka kui perekonda *Cocosteus* kuuluvat liiki. Antiarh *Asterolepis dellei* ja

kopskala *Crossipterus crassus* on siiani avastatud vaid Läti aladelt. Kopskala nagu ka psammostiid *Ganosteus stellatus* ja artrodiir *Actinolepis magna* on palju ulatuslikuma levilaga. *Ganosteus*'e fragmente, peamiselt jämedakoelise ornamentatsiooniga, esineb isegi Gauja lademes (Mark-Kurik, 2000).

Ainult Abava kihtides esinevad liigid *Psammolepis abavica*, *Cheirolepis gaugeri*, *Watsonosteus*, *Microbrachius*, *Livosteus*, *Laccognathus* ja *Asterolepise* suur vorm on leitud Essi ja Ratta müüri paljandis Võhandu jõe kaldal, Joosu karjääris ja Vastse-Nursi paljandis, aga ka mõnes Läti paljandis ning ühe eksemplarina isegi Leedu Krekanava puuraugus. Nende leidude alusel on seda taset võimalik korreleerida vastavate kihtidega Šoti, Prantsusmaa, Timani, Valgevene ja Siberi läbilõigetega (Mark-Kurik & Nemliher, 2003). Nende fossiilide puhul on tegemist suurte ja paljandites harva esinevate luuplaatidega, mida pole seni puursüdamikes õnnestunud leida. Abava kihtidesse kuuluvast Essi paljandist on E. Mark-Kuriku poolt küll kirjeldatud psammostiidide välisskeleti mikrojäänuseid, kuid seni puudub võrdlus Burtnieki lademe alumise osa vastavate elementidega (Mark-Kurik, 1999).

Selline ulatuslik paleontoloogiline loetelu näitab, et nimetatud liikide fragmendid võivad esineda mikrofossiilidena. Käesolevas töös seda ka tõestas.

Tabel 4. Kesk Devoni kalade levik Härma, Koorküla ja Abava kihtides (O- esineb Eestis; X- esineb Lätis), (Mark-Kurik, 2000)

Liik	Härma	Koorküla	Abava
Cephalaspidida gen. indet.	X		
<i>Homostius latus</i>	XO	XO	
<i>Heterostius ingens</i>	XO	XO	
<i>Diplacanthus gravis</i>	X>		
<i>Dipterus spp.</i>	O	O	
<i>Glyptolepis spp.</i>	O	XO	X
<i>Nodocosta pauli</i>	O	O	O
<i>Tartuosteus maximus</i>	XO	O	
<i>Asterolepis sp.</i>	X		
<i>Glyptolepis sp.</i>	X		
Holoptychiidae	X		
<i>Pycnosteus tuberculatus</i>	XO	XO	
<i>Psammosteus bergi</i>	XO	O	
" <i>Holonema</i> " <i>haermae</i>	X	O	
<i>Dicosteus? markae</i>	XO	O	
<i>Asterolepis dellei</i>	O	O	
<i>Gyroptychius elgae</i>	XO	O	
<i>Psammolepis spp.</i>	X	X	X
<i>Actinolepis magna</i>	XO	O	X
<i>Plourdosteus sp.</i>	O	O	O
<i>Ganosteus stellatus</i>	XO	XO	XO
<i>Psammosteus spp.</i>	O	O	XO
<i>Grossipterus crassus</i>	O?	O	
<i>Nodocosta sp.</i>		X	
<i>Byssacanthus spp.</i>		X	X
<i>Hamodus lutkevitchi</i>		XO	X
<i>Panderichthys?sp.</i>		X	X
<i>Psammolepis abavica</i>			XO
<i>Watsonosteus sp.n?</i>			XO
<i>Livosteus Grandis</i>			O
<i>Livosteus? sp.</i>			O
<i>Eastmanosteus cf. pustulosus</i>			O
<i>Asterolepis essica</i>			XO?
<i>Microbrachius cf. dicki</i>			X
Chondruchthyes?			X
<i>Osteolepis striata</i>			O
<i>Lacconathus sp.</i>			X
<i>Cheirolepis gaugeri</i>			X
<i>Moythomasia? sp.</i>			X
<i>Glyptolepis sp.</i>			X

3 PALJANDITE ISELOOMUSTUS JA ASEND LÄBILÕIKES

Paljandite iseloomustamisel kasutati lisaks oma kirjeldustele ka Ürglooduse raamatu materjale (Pirrus jt, 1997, 1998, 1999).

3.1 Karksi paljand

Asukoht: Viljandi maakond, Karksi vald. Karksi lossimägede lähistel, Halliste ürgoru nõlval (joonis 1).

Paljand hõlmab Burtnieki lademe alumise osa ja on Härma kihtide üks paremini uuritud paljanditest, kus alates möödunud sajandi 60-ndest aastatest on korduvalt teostatud Devoni kalade väljakaevamisi. Siit leitud makrojäänuste alusel on kirjeldatud psammosteide (Obrutchev & Mark-Kurik, 1965), rüükalu (Obrutcheva, 1966) ja vihtuimseid (Vorobjova, 1977). Väljakaevatud luuplaatide alusel on V.Talimaa poolt välja eraldatud uus rüükala takson *Asterolepis* sp. 1 (Karatajute-Talimaa, 1963).

Paljand on jälgitav u. 20 m pikkusel lõigul, kusjuures hästi paljanduv osa moodustab kõigest 6 m. Avaneva profiili verikaalne ulatus on 10 m, millest keskmine osa on kinni varisenud, kuid vajadusel puhastatav.

Paljanduvad nõrgalt tsementeerunud põimkihilised liivakivid. Põimjate seeriade paksus on 30-40 cm, harvem 10-20 cm, kallakuse suund -160° . Seeriad on omavahel eraldatud roostepruunide Fe-hüdroksiidirikaste kihikestega. Liivakivid on ülemise 3 m ulatuses valdavalt punakaspruunid ja kollakaspunased, alumises osas aga kollakasvalged.

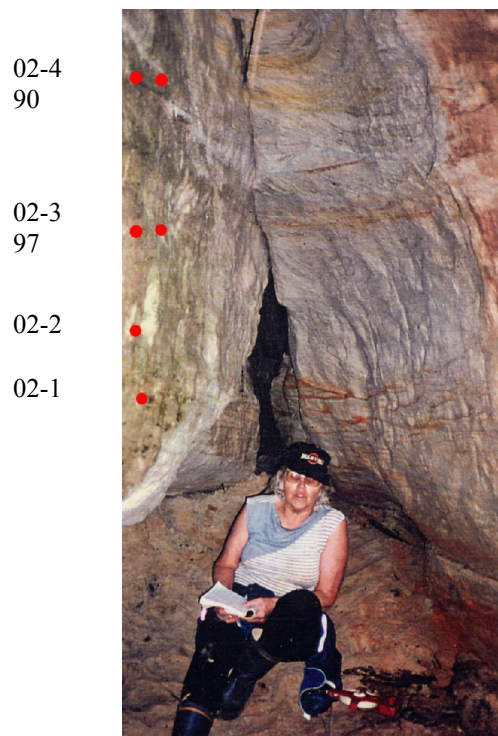
Paljandi põhjapoolses osas on koobas, kust voolab välja veerohke allikas. Hetkel on süvend 3 m pikk. Oja voolab piki põhja-lõunasuunalist lõhepinda, mattudes vahetult pärast koopasse sisenemist koopapõranda alla. Uuesti ilmub oja nähtavale koopast väljumisel. Süvend lõpeb põhja- lõunasuunalise lõhepinnaga. Koopa põhjasein on sirge ja tasane, kulgedes mööda vertikaalset lõhepinda suunaga NW 330° . Nagu paljud teisedki sufosioonilise tekkega koopad, on ka see alguse saanud kahe lõhesüsteemi lõikumiskohalt. Koopaava on 2,3 m kõrge ja 1,5 m lai. Esimesed andmed sellest koopast pärinevad 1990. aastast, mil ta kujutas endast veel pisikest uret, kust voolas välja allikas (Kleesment, 2003). Koopa põhjaseina jätku moodustava paljandiseina detailvaatlusel fikseeriti 4 väikesi fosfaatseid fragmente sisaldavat taset, kust võeti

paleontoloogiliseks uurimiseks proovid. Kahest neist oli proovid võetud eelnevate külastuste ajal (1990 ja 1997). Uuringute käigus töötati läbi (joonis 2) kõik proovid, mis sisaldasid rohkesti määratavaid fosfaatseid fragmente ja välisskeleti elemente.

Sellest paljandist umbes 10 m ülesvoolu asub pooleldi kinnikasvanud väike kollaka liivakivi paljand, kus Devoni on jälgitav 2,5 m paksune läbilõige. Selle paljandi kinnikasvanud jalam on tase, kust XX sajandi 60-ndatel ja 70-ndatel aastatel tehti fossiilide väljakaevamisi ja kust on kirjeldatud eelpoolmainitud taksonid.

3.2 Härma paljand

Asukoht: Valga maakond, Helme vald, Tõrva linna keskväljakult 2 km Pikasilla suunas Paljandub Burtnieki lademe alumine osa, mis on Härma kihtide tüüpläbilõige ja fossiilsete kalade leiukoht. Paljandist on fossiilseid kalu välja kaevanud juba H. Asmuss 19. sajandi keskel. Täiendavalt on kalafossiile siit 20. sajandi keskel kogunud ja kirjeldanud E. Mark-Kurik (Obrutchev & Mark-Kurik, 1965). Paljandi kõrgus on kuni 7 m, pikkus 30 m, Järsak laskub otse vette. Kogu järsaku ulatuses paljanduvad punakasroosad ja kollakaspunased, vahekihti hallikasvalged põimkihilised liivakivid, milles paikneb rohkesti õhukesi pruunikaspunaseid liivakivi vahekihte. Põimkihiliste seeriade paksus jääb vahemikku 15-20 cm ja nad on hästi jälgitavad. Liivakivis on ka palju punakaspruune läätsjaid savi vahekihte, enamasti paljandi ülemises osas. Paljandi allosas, 1-1,5 m veepinnast paikneb saviveeristest koosnev uhtkonglomeraadi kiht fossiilsete kalafragmentidega. Suuremad ja tervemad luud asuvad konglomeraadikihi allosas. Pisemaid ja kulunumaid fragmente leidub ka selle kihi peal lasuvas kollakas liivakivi kihis, mis sisaldab üksikuid punaka ja sinakashalli savi veeriseid. Veeriste pindmine kiht on enamikel juhtudel leostunud rohekashalliks. Paljandi jalamist 1,5 m kõrgusel olevast uhtkonglomeraadi kihist võeti kaks proovi: Härma 02-1 ja Härma 02-2. Proovis Härma 02-1 oli suured luuplaatide tükid, mille läbimõõt ulatus 4 cm–ni ja paksus oli kuni 6 mm. Varem võetud proovidest on Härma 40 ja Härma 90 pärit samast kihist, Härma 41 otse selle alt ja Härma 50 kõrgemalt (joonis 3).



Joonis 2. Karksi paljand, foto E. Pirrus. Proovide võtmise kohad tähistatud ●



Joonis 3. Härma paljand, foto E. Pirrus. Proovide võtmise kohad tähistatud ●

3.3 Arstle paljand

Asukoht: Valga Maakond, Helme vald. Viljandi-Helme-Leebiku teeristist 50 m Leebiku suunas, tee põhjapoolsel küljel, otse tee ääres (joonis 1).

Arstle on kõige suurem ja hästi ligipääsetav Härma kihtide paljand Võrtsjärvest lääne poole. Paljanduvad Kesk-Devoni Burtnieki lademe põimkihilised valged liivakivid roostepruunide ja vilgurikaste rohekashallide vahekihtidega. Põimjate seeriatega paksus on 60-80 cm. Kihilisus on kohati rikutud ja mööda nihkepindu ümber paigutunud. Paljandit läbivad lõhepinnad valdava suunaga 10°. Paljandi ulatus 19 m, kõrgus 11 m. Jalamist 2-4 m kõrgusel on uhtkonglomeraadi kiht suurte kirjuvärviliste saviveeristega. Veeriste läbimõõt on 1-2 cm, kuid võib ulatuda kuni 50 cm-ni. Paljandi jalamil olevas maanteekraavis saab 5 m ulatuses jälgida 1,2 m paksust profiili.

Paljandis paikneb võlvja laega koobas sügavusega 2 m. Koopasuu kõrgus ja laius alt on 2 m. Koobas aheneb kiiresti ja juba 1 m sügavusel on tegu 0,8 x 0,8 m –lise uurdega.

Uhtkonglomeraadi kihist võeti 1 proov (joonis 4).

3.4 Essi müür

Asukoht: Põlva maakond, Veriora vald. Võhandu jõe vasakul kaldal otse Essi talu all (joonis 1).

Essi müürist on E. Mark-Kuriku poolt XX sajandi 60-ndatel ja 70-ndatel leitud rikkalik fossiilsete kalade kollektsioon, mis on kajastamist leidnud paljudes olulistest trükistes (Mark-Kurik, 1999; Kurik, Kurss & Ljarskaja, 1989; Mark-Kurik & Nemliher, 2003).

Paljandi 1967 a materjalide alusel A. Kleesmendi poolt tehtud kirjeldus:

1,7 m - Violetjas- ja punakashall kalafossiile sisaldav savi.

1,4 m - Valkjashall peeneteraline põimkihiline liivakivi 1-5 cm paksuste rohekashalli aleuroliidi vahekihtidega. Sisaldab kalafossiile.

1,0 m - Valge kuni helehall massiivne peeneteraline liivakivi.

0,8 m - Rohekashall aleuroliit savi veeriste ja vahekihtidega

1,8 m - Halli ja kollakashalli liivakivi, aleuroliidi ja savi horisontaalkihiline vaheldumine.

2,0 m - Kollakaspunane põimkihiline liivakivi savi veeristega.

2,2 m - Valkjas- ja roosakaskollane peeneteraline põimjaskihiline vilgurikas liivakivi, mis sisaldab saviveeristega läätsjaid vahekihte.

1,9 m - Halli, kollaka ja pruunikashalli vilgurikka liivakivi, aleuroliidi ning savi tihe horisontaalkihiline vaheldumine.

Kõrge vasakkalda perve ülemises osas ca 10 m pikkusel lõigul paljandus 2001. a. suvel 2,5 m paksune Burtnieki lademe Abava kihistiku läbilõike osa, mis oli esindatud kollakas- kuni roosakashalli põimkihilise liivakiviga. Seeriata paksus jäi vahemikku 10-15 cm. Liivakivis valgeid korrapärase kujuga pesi läbimõelduga 3-4 cm. Liivakivi sisaldab halle savi ja vilgurikkaid pindu, alumises osas ka halli aleuroliidi vahekihte paksusega 1-2 cm. Paljandi alumises osas on väikesi saviveeriseid sisaldavaid läätsjaid vahekihte. Paljanduv osa vastab 1.4 m paksusele valkjashalli ja 1.0 m paksusele valge kuni helehalli liivakivi kihtidele 1967. a. läbilõikes.

Paljandi jalamist 0.8 m kõrguselt võeti savikihi peal olevast õhukesest liivakivi kihist, mis sisaldas nähtavaid fossiilide fragmente 80 g raskune proov (joonis 5).



Joonis 4. Arstle paljand, foto E. Pirrus. Proovi võtmise koht tähistatud ●



Joonis 5. Essi müür, foto E. Pirrus. Proovi võtmise koht tähistatud ●

3.5 Suur- Ütsealutse müür

Asukoht: Põlva maakond, Veriora vald. Võhandu jõe paremal kaldal, Põlva-Väraska maanteel asuvast Reo sillast 100 m allavoolu (joonis 1).

Paljand kujutab endast ilusat ja huvitavate tekstuuridega hea ning hõlpsa juurdepääsuga kaunist liivakiviseina, mis tõenäoliselt on ka Burtnieki ja Gauja lademe piiripaljand (Pirrus jt.). See on suurepärase geoloogiliste ekskursioonide objekt. Esmakordselt on sellele paljandile kui ühele Võhandu oru huvitamaile vaatamisväärsusele juba 1884. a. tähelepanu juhtinud tolleaegne TÜ Botaanikaiaia direktor J. Klinge. Möödunud sajandi esimesel poolel on seda loetud üheks oluliseks loodusmälestusmärgiks.

Paljand on esindatud 90 m pikkuse ja kuni 11 m kõrguse liivakiviseinana, mis keskosas langeb järsult otse vette. Sein otstes on mõne meetri ulatuses kaldalt juurdepääsetav. Paljandis võib jälgida järgmist profiili (ülalt alla):

4,0 m – Valkjashall pankjas liivakivi nõrgalt väljendunud horisontaalse kihilisusega. Võimalik Gauja lade.

7,0 m - Burtnieki lademe Abava kihistiku valkjashallid ja kollakashallid selgelt väljendunud põimkihilisusega liivakivid. Põimjate seeriade paksus 5-30 cm, seeriaid eraldavad pinnad markeeritud pruunikate õhukeste vahekihtidega. Kihi keskmises osas kaks lainjat kihilisust lõikavat katkestuspinda, mis allavoolu seinas liituvad. Nende pindade peal on liivakivis väikesi lamedaid uurdeid ja nišše. Katkestuspindadest allapoole on kihilisus muutlikum. Esineb omavahel lõikuvaid põimkihilisi seeriaid. Liivakivi sisaldab selles osas ränikonkretsioone läbimõõduga kuni 1 cm ja väikesi halli savi veeriseid. Kohati on paljandis halli ja pruunika savi läätsjaid pesi. Pesadest on H. Viiding leidnud fossiilsete kalade fragmente.

Paljandi sein on ülesvoolu poolses otsas astmeline, mistõttu siin on kogu profiil hästi jälgitav.

Proovid 1-4 on võetud paljandit kogu ulatuses läbiva katkestuspinna lähedusest. Eriti kohtadest, kus katkestuspinna peal on konglomeraatseid pesi (joonis 6).

Proovides 1, 3 ja 4 oli üksikuid ebamääraseid ümardunud määramatuid luukilbi tükke. Ainult proov 2 sisaldas jämedamas fraktsioonis nurgelisi luuplaate, peenemas aga üksikud psammosteiidide soomused.

Fossiile sisaldav proov (2, joonis 6.) oli kaaluga 326 g.

Fraktsioon >2 mm koosneb kollakatest kvartsiteradest suurusega kuni 6 mm ja üksikutest rauaga kaetud tükkidest läbimõõduga kuni 5 mm. Fraktsioon 2-1 mm koosneb poolümardunud kvartsiteradest, esineb samuti üksikuid rauakoorikuid. Fraktsioonides 1-0,5 mm ja 0,5-01 mm oli üksikuid luutükke ja katkisi soomuseid.

3.6 Väike- Ütsealutse müür

Asukoht: Põlva maakond, Veriora vald. Võhandu jõe paremal kaldal, Põlva-Väraska maanteel asuva Reo sillast ca 250 m ülesvoolu (joonis 1).

Paljandi kõrgus oli siin 2001. a. suvel 9 m, paljandi ulatus ca 150 m. Kõrgeim profiil on selle liivaseinas fikseeritud 1985. a., kui hiljutise loodusliku varingu tulemusel oli võimalik jälgida 12 m paksust läbilõiget (ülalt alla):

7,5-8 m - Heledad valkjas- ja roosakaskollased peeneteralised põimjaskihilised liivakivid. Põimjaskihiliste seeriade paksus 20-30 cm, kallakussuund NE 50°. Selle kihi alumise pinna moodustab lainjas katkestuspind, mille peal on rohkesti ümardunud violetjashalli ja punakaspruuni savika aleuroliidi ja aleuriitse savi veeriseid läbimõõduga 1-30 cm. Veeriste pindmine kiht on enamikel juhtudel leostunud rohekashalliks.

2,5-3 m - Keeruliselt vahelduvad valkjas- ja kollakashallid ning punakas- ja hallikaspruunid peene- kuni keskmiseteralised liivakivid. Põimjaskihilised seeriad paksusega 8-16 cm moodustavad omavahel lõikuvaid ja horisontaalkihiliste kihtidega vahelduvaid mustreid. Liivakivis sisaldub rohkeid saviveeriseid sisaldavaid läätsjaid pesi ning õhukesi violetjashalli ja halli savi katkendilikke kihikesi. Suurim saviveeriseid sisaldav lääts, paksusega keskel 50 cm ja pikkusega 5 m, paikneb paljandi keskmel, 1,5 m kõrgusel jalamist. Saviveeristega läätsjates pesades võib näha fossiilsete kalade fragmente. H. Viidingu poolt on siit kihist 1957. a. leitud oluline Abava taset identifitseeriv kalafossiil (Obrutcheva, 1966). 2-5 mm läbimõõduga saviveeriseid leidub hajutatult ka väljaspool läätsjaid pesi. Liivakivis esineb ka korrapäratu kujuga kvartsiveeriseid läbimõõduga kuni 2 cm.

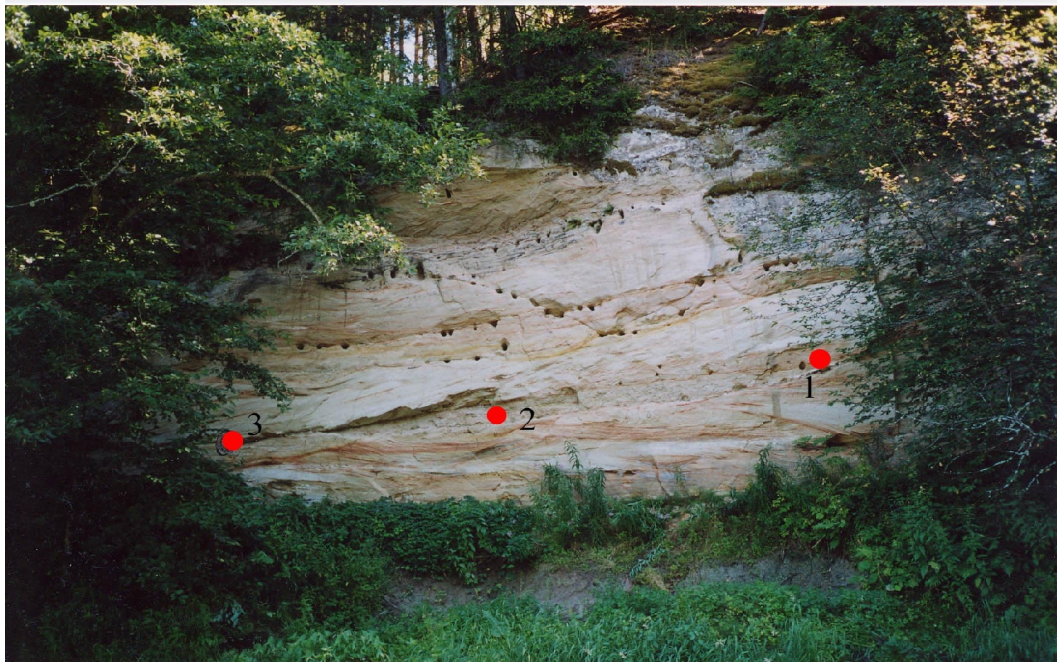
Paljand on tuntud fossiilse kalafauna leiukohana "Reo müüri" nime all. Sellise eksliku nime all kirjeldas seda müüri 1957. a. H. Viiding, leides siit hästisäilinud makrofossiili, *Livosteus grandis*, mis hiljem kirjeldati O. Obrutcheva poolt (1966).

Kogu paljandit läbivast saviveeristega tasemest võeti kokku 3 proovi. Ülesvoolu poolsest osast (proov 1) ja suurest konglomeraatsest läätsest (proov 2) võetud proovid

sisaldasid ainult ümardunud määramatuid luutükke. Analüüsi saviveeristega läätse allavooluotsast on võetud 287 g raskust proovi 3 (joonis 7). Fraktsioonis >1 mm oli kollakaid halvasti ümardunud kvartsiteri suurusega kuni 5 mm leidus ka rohkesti murtud luukilde. Väiksematest fraktsioonidest võis leida nii luukilde kui ka soomusetaolisi tükikesi.



Joonis 6, Suur-Ütsealutse mür, foto E. Pirrus. Proovide võtmise kohad tähistatud ●



Joonis 7, Väike-Ütsealutse mür, foto E. Pirrus. Proovide võtmise kohad tähistatud ●

4 SELGROOGSETE MIKROFOSSIILIDE KIRJELDUS

Käesoleva töö käigus leiti väikekivistisi 15-st proovist. Fossiilid olid esindatud kas soomuste või muude välisskeleti elementidega. Eristatavad olid erikilbiliste, rüükalade, akantoodide, kõhrkalade, lihasuimsete ja kiiruumsete fossiilsed fragmendid (tabel 5, 6). Rüükalade mikrokivistise täpsemat süstemaatilist kuuluvust polnud nende halva säilivusastme tõttu võimalik määrata, teiste rühmade puhul oli see kirjanduse ja spetsialistide abiga suures ulatuses teostatav ning konkreetsed leiud on alljärgnevas detailselt kirjeldatud.

Proovides esines nii primitiivsete selgroogsete - lõuatute (Agnatha) kui ka juba tänapäeva kaladele sarnanevate lõugsuuete (Gnathostomata) mikrojäänuseid. Nende rühmade erinevus seisnes selles, et lõuatute skelett oli kõhrest ning neil puudusid lõualuud, lõugsuuete esindajatel olid seevastu juba arenenud lõualuustik ja hambad.

Tabel 5. Fossiilide esinemine uuritud paljandeis

Paljand	Erikilbilised	Rüükalad	Akantoodid	Kõhrkalad	Lihasuim- uimised	Kiir- uimised
Suur- Ütsealutse 2						
Väike- Ütsealutse 3						
Essi						
Härma 54						
Härma 90						
Härma 02-1						
Härma 02-2						
Härma 40						
Härma 41						
Karksi 02-1						
Karksi 02-2						
Karksi 02-3						
Karksi 97						
Karksi 90						
Karksi 02-4						

Tabel 6. Kasutatud selgroogsete süstemaatika (Obrutšev 1964 järgi)

AGNATHA (Lõuatud)
Klass Diplorhina
Alamklass Thelodonti (telodondid)
Alamklass Heterostraci (erikilbilised)
Selts Psammosteida
Klass Monorhina
Alamklass Osteostraci (luukilbilised)
Alamklass Anaspida (kilbitud)
Alamklass Galeaspida
GNATHOSTOMATA (LÕUGSUUSED)
Klass Placodermi (rüükalad)
Klass Acanthodei (akantoodid)
Klass Chondrichthyes (kõhrkalad)
Alamklass Elasmobranchii (varilõpuselised)
Klass Osteichthyes (luukalad)
Alamklass Sarcopterygii (lihasuimsed)
Ülemselts Crossopterygii (vihtuimsed)
Ülemselts Dipnoi (kopskalad)
Alamklass Actinopterygii (kiiruimsed)
Ülemselts Palaeonisci

4.1 Lõuatud

Üldiseloostus

Väljasurnud telodondid, erikilbilised, luukilbilised, kilbitud ja galeaspiidid (tabel 6) ning kaasaegsed sõõrsuud ehk lõuatud (*Agnatha*) olid primitiivsed selgroogsed, kelle põhitunnuseks oli lõualuude puudumine ja kõhrest luustik. Kogu lõuatute keha oli kaetud erinevate soomuste või luuplaatidega. Nende kehakuju oli värtnakujuline või laperguse esiosa ja voolujoonelise tagaosaga. Uimede arv ja suurus oli rühmiti erinev.

Lõuatute hulka kuuluvad maailma vanimad selgroogsed.

Esimesed lõuatud ilmusid Vara-Ordoviitsiumis (liik *Arandaspis* Austraaliast ja liik *Sacabambaspis* Boliiviast). Nende õitseng oli Siluris ja Devonis ning juba Devonis lõpus suri enamus lõuatuid välja. Tänapäevani on neist jõudnud vaid vähesed sõõrsuud (pihklaadid ja silmud). Eesti vanimate lõuatute: telotontide, osteostragide ja anaspiidide leiud pärinevad Alam- Siluri ladestust. Devonist on leitud rohkesti lõuatute luuplaate sh

ka kõige aegade suurima erikilbilise liigi *Tartuosteuse* osi. Lõuatud toitused vees olnud hõljumist ja põhjamudast (Obrutchev, 1964).

Alamklass Heterostraci (erikilbilised)

Selts Psammosteida

Esinevad välisskeleti liht-ja liitelemendid. Üksikelementide puhul on oluline krooni, kaela ja aluse ehituse omapärad (joonis 8; 1, 2).

Liitelemendid moodustuvad kahest või enamast üksikelemendist, mis on kinnitunud ühele alusele. Leitud liitelementide maksimaalne pikkus on 10-20 mm ja laius 10-21 mm. Esines nii liitelemente, mille ühesuguse suuruse ja kujuga tuberklid paiknesid alusel eraldi, sagedamini olid nad kokku kasvanud, moodustades ühtse terviku.

Liik *Pycnosteus tuberculatus* Rohon

a. Liitelemendid (fototahvel I, 1, 2, 4)

Esindatud on nahahambad kõrgusega 0,6-1,3 mm, mis koosnevad kroonist, kaelast ja alusest. Kroon võib olla nii terava tipuga kui ka lamedam. Kroonidel paiknevad vaokesed ja ribad on suunatud taha tippu (fototahvel I, 1, 2, 4). Ribide arv on nahahammastel erinev, ulatudes 9-st 19-ni. Kroon ei ole sümmeetriline, vaid tipp võib olla kaldunud külgsuunas (fototahvel I, 2, 4).

b. Liitelemendid (fototahvel II, 1)

Pildistati kahest tuberklist koosnev eksemplar, mille tuberklid on ühtlaselt piklikud ning nende külgi katavad alt üles suunatud ribad ja vaod (fototahvel II, 1).

Liik *Ganosteus stellatus* Rohon

a. Liitelemendid (fototahvel I, 5)

Nahahambad on kõrgusega 1,2-1,4 mm. Krooni tipp on tõmp, kroon on peaaegu sümmeetriline; temal paiknevate ribide arv jääb vahemikku 10-15 ja vagude arv 9-14.

b. Liitelemendid (fototahvel II, 2)

Pildistati kahest tuberklist koosnev eksemplar. Tuberklid paiknevad poorsel alusel, tuberklite tipud on suunatud alt üles, külgedel paiknevad samasuunalised ribad ja vaokesed. Mõlemad tuberklid on ühesuguse suuruse ja kujuga, nende tipud on tõmbid.

Liik *Tartuosteus maximus* Mark-Kurik (fototahvel II, 3, 4, 6)

Tuberklid on rombikujulised (fototahvel II, 3) või ümarad (fototahvel II, 4), muutudes tagumises osas esimesest veidi kitsamaks. Tuberklite külgedel paiknevad ribad ja vaokesed on naabertuberkli omadega justkui kokku kasvanud (fototahvel II, 4, 6). Alus on tuberklitega kaetud alaga ühesuurune (fototahvel II, 6) või veidi suurem (fototahvel II, 4).

Liik *Psammosteus* sp.

a. Liitelemendid (fototahvel I, 3, 6-9)

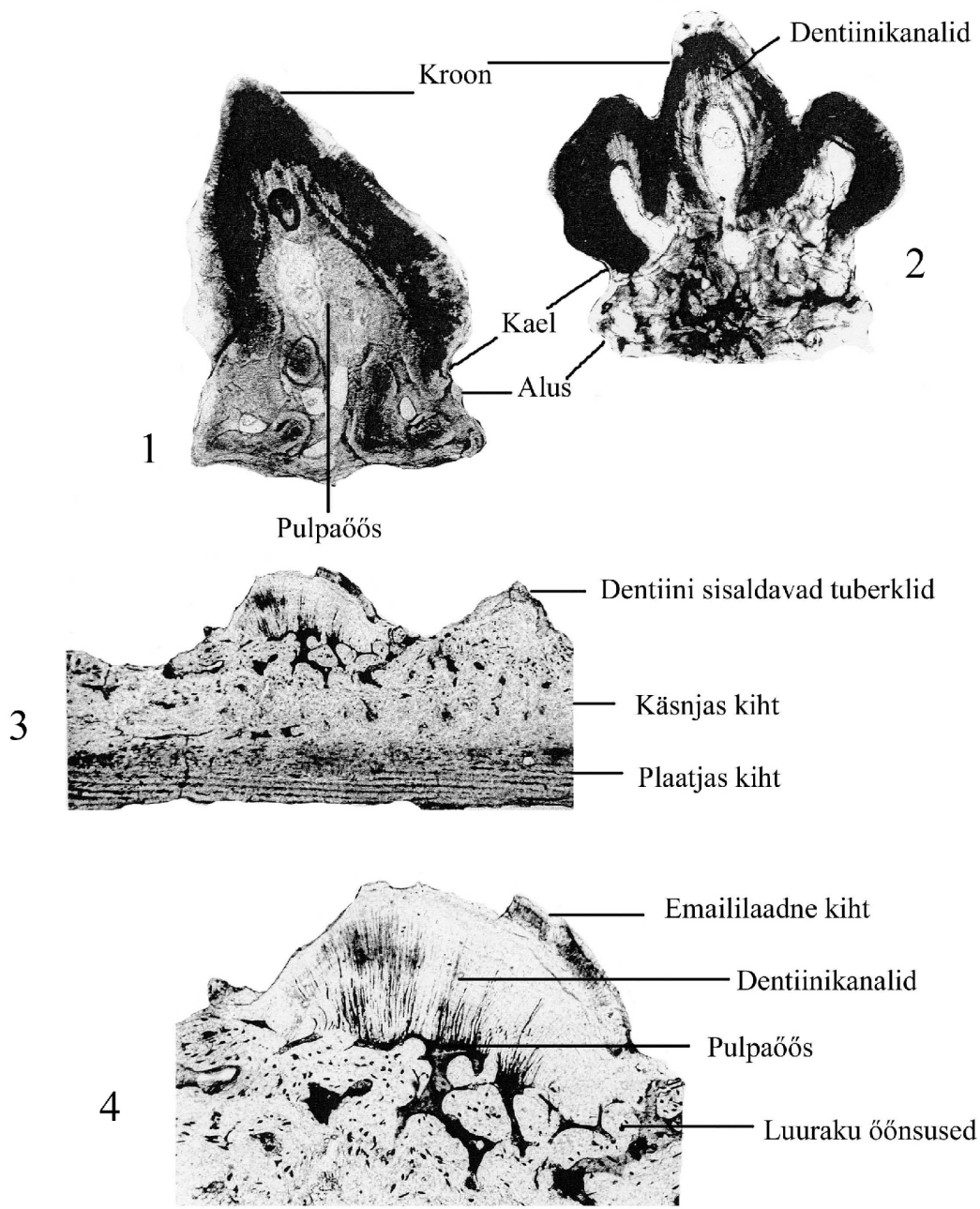
Lihtsamate üksikelementide krooni pind on sile ja kergelt kumer, krooni külgedel paiknevad ribad. Aluse alumisel pinnal on näha pulbiava (fototahvel I, 9). Elementide kroon võib olla lame, tõmp või terava tipuga. Mõningatel juhtudel võib kroon olla väga pikk ja tagapool pikalt üle aluse (fototahvel I, 8). Kael on kitsas, justkui „kokku tõmmatud“ (fototahvel I, 3). Elementide alus võib olla lame, nõgus või kühmjas. Aluse pealispind on sile või krobeline. Osade elementide aluses on näha üksikud ovaalsed vaskulaarsete kanalite avad, mis võivad olla ühenduses ka pulbiõõnega.

b. Liitelemendid (fototahvel II, 7-9)

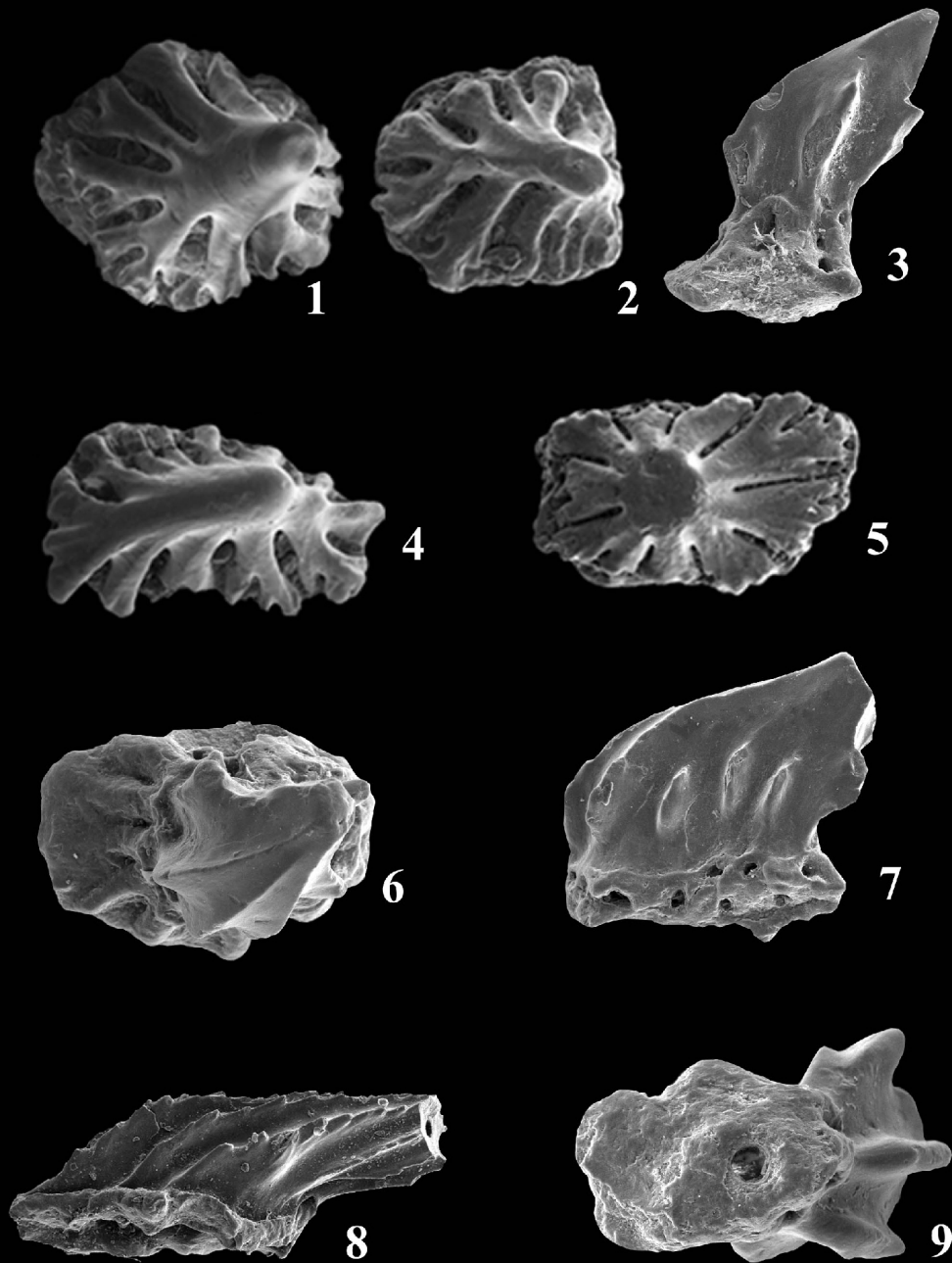
Kaksikelementidel on enamasti üks kroon suurem kui teine (fototahvel II, 7). Kolme tuberkliga elementidel (fototahvel II, 1, 8) pole enam nii suurt erinevust märgata, siiski suurematel elementidel siiski üks keskne, erineva suurusega tuberkel. Tuberklite tipud on nagu üksikelementidelgi suunatud taha (saba) poole. Liitelementide käsnyas aluspind sarnaneb struktuurilt üksikelementidele, kuid on reeglina madalam. Sarnaselt üksikelementidele on ka liitelementide puhul märgatavad erineva kujuga avad aluse pinnal. Ka aluse põhi sarnaneb üksikelementide konarlikule pinnale, koosnedes kühmudest ning nõgusest. Tuberklitega kaetud ala võib olla alusega ühesuurune või sellest väiksem.

c. Mikrostruktuur (fototahvel III, 1-7)

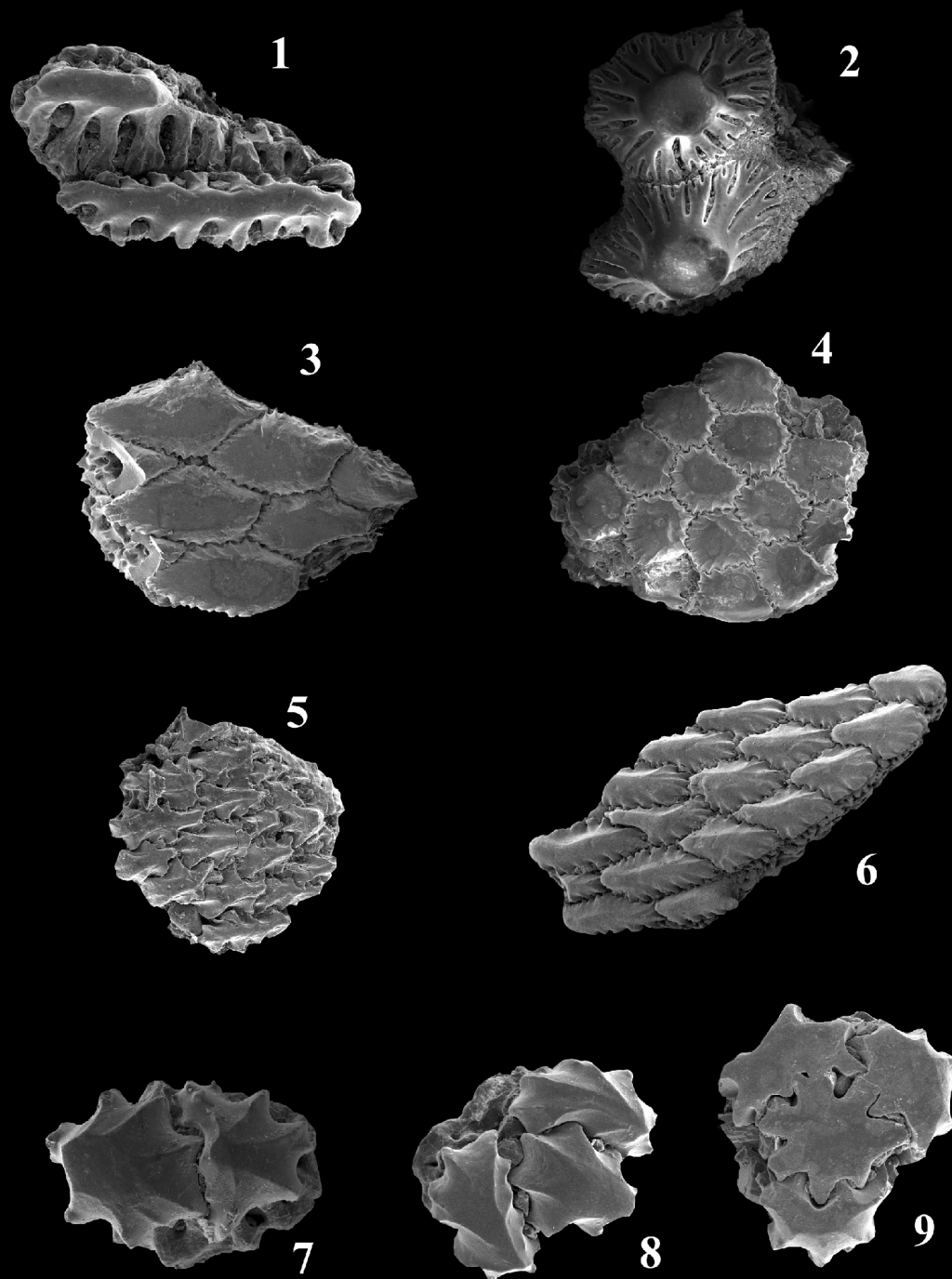
Dentiinikanalid kulgevad peaaegu radiaalselt pulpaõõnest krooni pealispinna poole (fototahvel III, 2, 3, 6; joonis 8, 1, 2), kus nad hargnevad ja muutuvad peenemateks dentiinikanaliteks, mis on elemendi kaelas harvad ja ebakorrapärase kujuga.



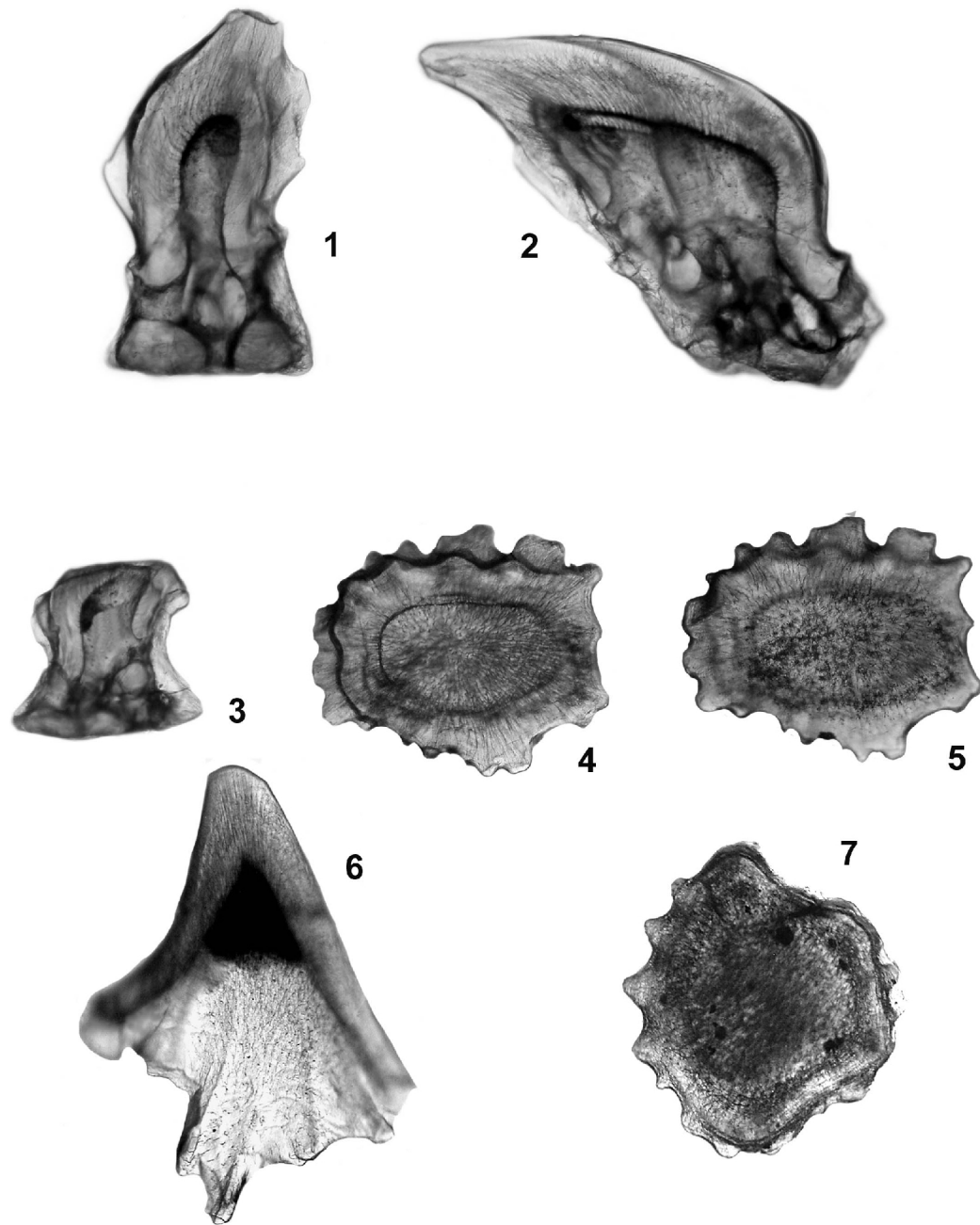
Joonis 8. Psammosteiidide (1, 2) ja vihtuimsete (3, 4) fragmentide õhikutes nähtav mikrostruktuur



FOTOTAHVEL I. Psammosteiidide nahahambed. *Pycnosteus tuberculatus* (1,2,4) *Ganosteus stellatus* (5) ja *Psammosteus* sp. (3, 6-9). 1, Karksi 02-4, x60; 2, 4, 5, Karksi 02-1: 2, x60; 4, x60; 5, x50; 5-7; 9 Essi; 5, x 50; 6, x50; 7, x50; 9, x 50; 8 Karksi 02-1, x 50



FOTOTAHVEL II. Psammosteiidide liitelemendid. *Pycnosteus tuberculatus* 1, *Ganosteus stellatus* 2, *Tartuosteus maximus* (3,4,6) ja *Psammosteus* sp (5, 7-9).
 1, Karksi 02-1, x 60; 2, Karksi 02-1, x 60; 3, Karksi 02-1, x50; Karksi 02-1, x50;
 5 Essi, x20; 6, Karksi 02-2, x 35; 7-9 Essi; 7, x 60; 8, x60; 9, x 60



FOTOTAHVEL III. Psammosteiidide soomuste siseehitus immersioonivedelikus.
Psammosteus sp. 1-3 ja *Psammosteidae* gen. et sp. (4-9); 1Essi, x 170; 2 Essi, x 150,
3 Essi, x 150; 4-5 Karksi 02-1, x 170; 6 Karksi 02-1, x 280; 7 Karksi 02-2, x 190

4.2 Lõugsuused

Lõugsuusete kalade hulka kuuluvad rüükalad, akantoodid, kõhrkalad ja luukalad (tabel 6).

Klass Placodermi (rüükalad)

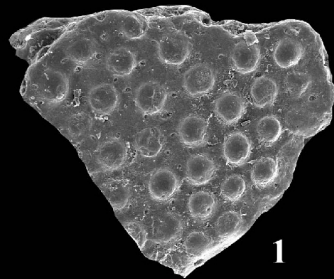
Üldiseloostus

Devoni ajastule on eriti iseloomulikud rüükalad, kes said oma nime nende keha katva paksu monoliitse rüü järgi. Keha tagaosas katsid neil soomused. Lõugadel paiknesid hambaplaadid, mille teravate servadega haarasid kalad toitu. Suurimate rüükalade pikkus ulatus 10 meetrini.

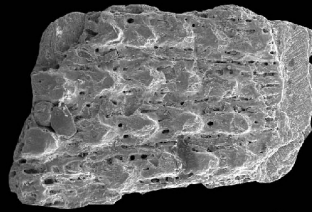
Väliskeleti luuplaadid (fototahvel IV, 1) ja luutükid

Leiti luuplaadid pikkusega 5-20 mm, laiusega 5-20 mm ja paksusega kuni 3 mm, millede aluse pealispind on sile või õrnade peente vaokestega ning poorne. Plaatide pind on kaetud ühesuguse kuju ja suuruste tesseriidiga (fototahvel IV, 1). Tesseriidid on üksteisest eraldatud, nende vahe ulatub paari millimeetrini. Tesseriidide vahele jääb luu on poorne (fototahvel IV, 1), kuid nende endi pind on sile.

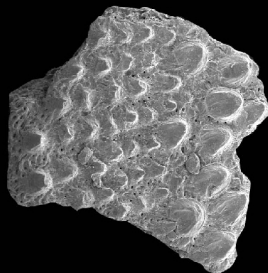
Proovides esines rohkelt sellesse klassi kuuluvate isendite ebakorrapäraseid luutükikesi. Valkjashallide ümarate tükikeste suurus jäi vahemikku 2-5 mm. Tükikidele oli iseloomulikud rohked luurakuõõnsused, mille skulptuurielemendid olid purunenud.



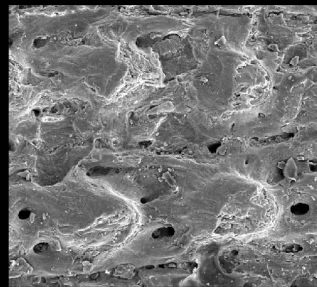
1



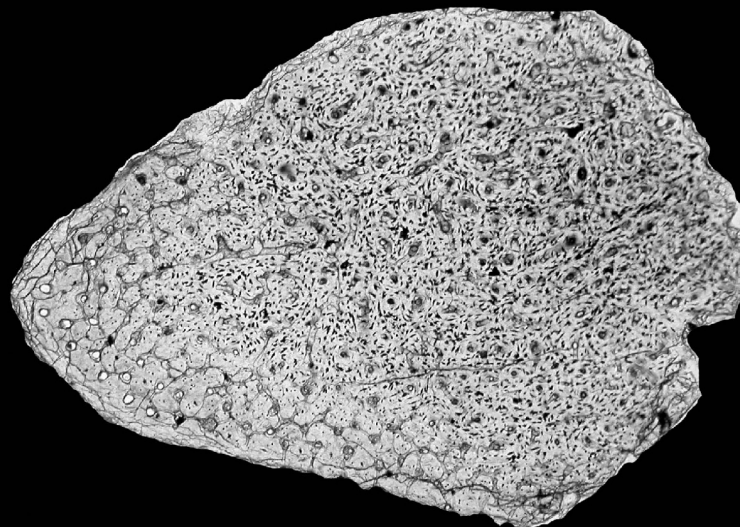
2



3



4



5

FOTOTAHVEL IV. 1, Rüükala luuplaat; 2-4 vihtuimsete luuplaadid; 5, kopskala soomuse õhik; 1, 2, 4 Essi; 1, x 20; 2, x 20; 4 x 70 (plaadi nr 2 suurendus); 3, Härma 02-2, x 20
5, Essi x 20

Klass Acanthodei (akantoodid)

Akantoodid ilmusid Ordoviitsiumi ajastu lõpul. Nende keha oli piklik, kuni 40 cm pikkune, neil olid uimed, mida toestasid teravad ogad. Akantoodid on esimesed kalad, kellel oli ühiseid tunnusooneid tänapäeva kaladega: neil olid paarilised uimed; keha katsid soomused, mitte luuplaadid ja neil olid arenenud lõualuud. Akantoodid surid välja Karbonis.

Liik *Diplacanthus carinatus* Gross (fototahvel V, 1-3; VIII, 2)

Kroonile on iseloomulik piklik kõrgendik, mis algab keskelt ja suundub saba poole (fototahvel V, 3). Krooni pind on kaetud äärtest kõrgendikule suunduvate ribikestega (fototahvel V, 3). Ülespoole kumerdub alus on krooniga ühesuurune või sellest veidi suurem (fototahvel V, 2). Aluse pind on enamasti sile, väikeste ebataasustega.

Liik *Ptychodictyon rimosum* Gross (fototahvel V 4; VII, 2, 5)

Kroon on tasane ja sileda pealispinnaga, iseloomulik on pinda katva katkist autoklaasi meenutava mustriga olemasolu (fototahvel V, 4). Kael on lühike, keskelt peenem. Alus on kumer, tasase pealispinnaga.

Liik *Ptychodictyon sulcatum* Gross (fototahvel V, 5-6; VII, 1, 3; VIII, 1, 3)

Kroon on tasane ja sileda pealispinnaga, iseloomulik on pinda kattev kalasabamustriga meenutava skulptuuri olemasolu (fototahvel V, 5). Kael on lühike, keskelt peenem. Alus on kumer, tasase pealispinnaga (fototahvel V, 6).

Liik *Cheiracanthus longicostatus* Gross (fototahvel VI, 1; VIII, 4)

Kroonile on iseloomulik laia, madala, eesmisest otsast kitseneva kõrgendiku olemasolu (fototahvel VI, 1). Kroon on kaetud eest taha kulgevate ribikestega (fototahvel VI, 1). Kael on lühike, keskelt peenem ja läheb üle kroonist veidi suuremaks aluseks. Alus on kumer ja sileda pealispinnaga.

Liik *Cheiracanthus brevicostatus* Gross

Kroon on alusest veidi lühem. Aluse pealispind on äärtest sile, skulptuurita, keskel moodustuvad pikad, tagant kitsenevad ribad (ühel kroonil 3- 4 ribi) suunaga eest taha. Kroon on kumer, sileda pealispinnaga.

Liik *Rhadinacanthus multisulcatus* Traquair

Alus on krooniga ühesuurune või veidi suurem, kael on lühike, keskelt peenem. Kroon on kumer, sileda pealispinnaga, pealtvaates rombi kujuline. Aluse reljeefiks on 5- 7 rõõnet suunaga taha keskel.

Liik *Nostolepis gaujensis* Pander (fototahvel VI, 2-4)

Leiti lühikese, peaaegu olematu kaela (fototahvel VI, 3) ja lameda alusega (fototahvel IV, 4) soomused. Krooni pealispind on sile, kaetud harvade madalate ribide ja vagudega, mis suunduvad eest taha (fototahvel IV, 2, 3). Kael on väga lühike, peaaegu märkamatu ja läheb üle kroonist suuremaks, kumeraks, sileda pinnaga aluseks (fototahvel VI; 4).

Mikrostruktuur

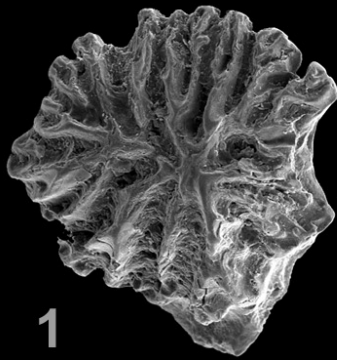
Immersioonvedelikus pildistatud soomuses (fototahvel VI, 5) on näha ebakorrapärase kujuga luurakuõõnsused ja dentiinikanalikesed skulptuuri ribides.

Liik *Acanthodei* gen. et sp. indet.

Leiti hulk soomuseid, mille perekondlik ja liigiline kuuluvus polnud määratav. Nende kroonid olid enamasti kahjustunud, või skulptuurita, alused olid kumerad või tasased. Kaela kõrgus oli soomustel erinev, esines nii madalat kui ka pikka kõrget kaela.

Mikrostruktuur

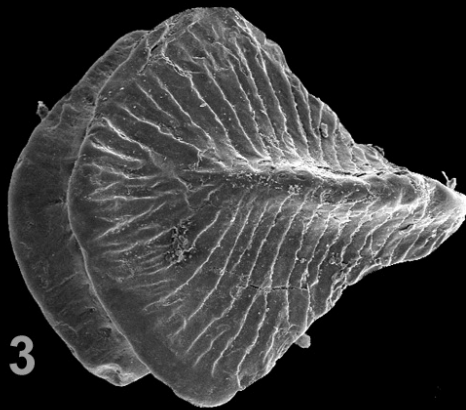
Nii immersioonvedelikus (fototahvel VII) kui ka õhikutes (fototahvel VIII, 1-4) on selgelt näha krooni pealispinnaga paralleelselt kulgevad kasvulamellid. Kitsad, ebakorrapärase kujuga dentiinikanalikesed tõusevad krooni pealispinna poole. Kaelas dentiinikanalikesed puuduvad. Alusele on iseloomulikud rohked luurakuõõnsused ja soomuse kinnituse õõnsused. Kroonist kuni aluseni kulgevad laiad radiaalsed vaskulaarkanalid.



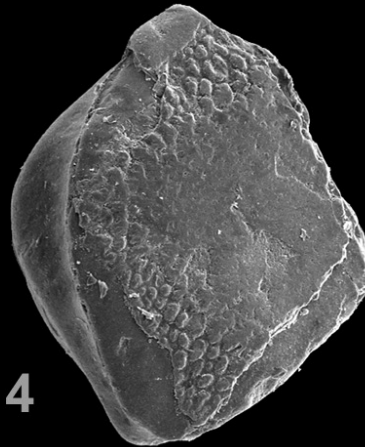
1



2



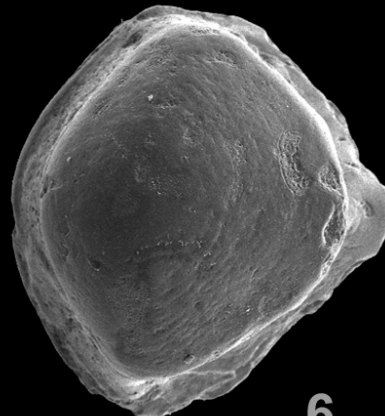
3



4

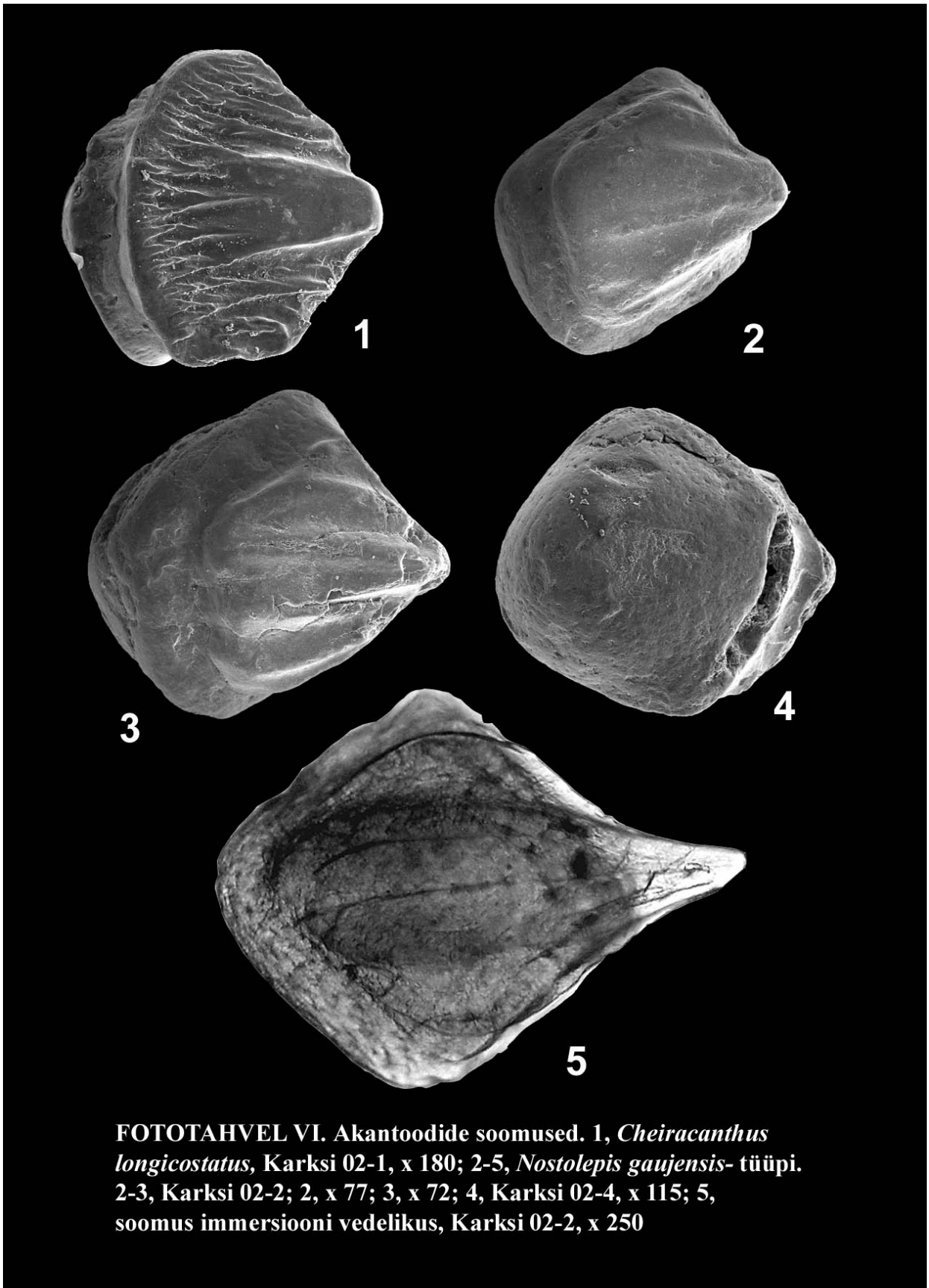


5

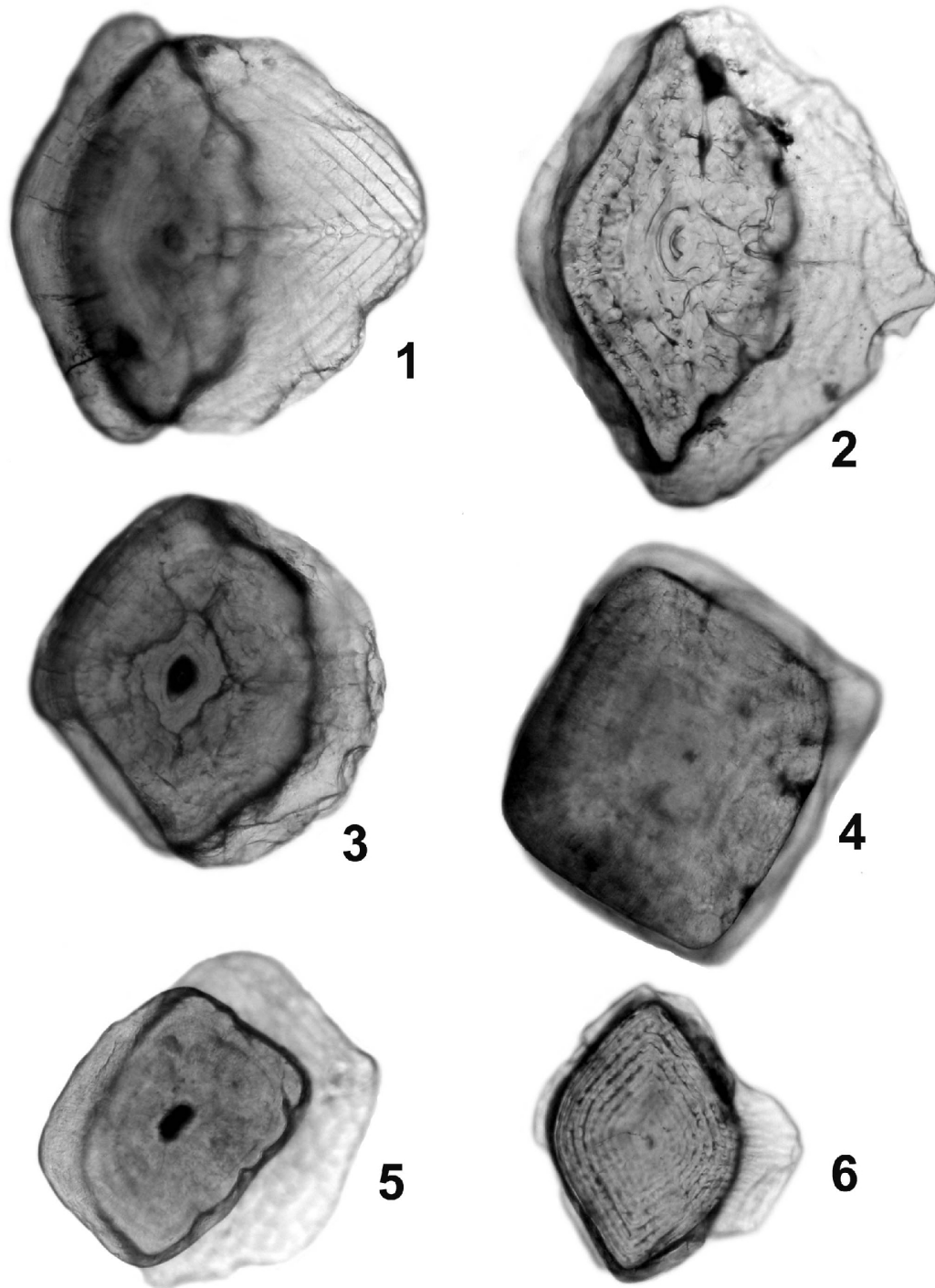


6

FOTOTAHVEL V. Akantoodide soomused. 1-3, *Diplacanthus carinatus*.
1, Karksi 90, x 150; 2, Karksi 90, x 125; 3 Karksi 02-2, x 140;
4, *Ptychodictyon rimosum*, Karksi 02-2, x 120; 5-6 *P. sulcatum*,
Karksi 02-1, x 135



FOTOTAHVEL VI. Akantoodide soomused. 1, *Cheiracanthus longicostatus*, Karksi 02-1, x 180; 2-5, *Nostolepis gaujensis*-tüüpi. 2-3, Karksi 02-2; 2, x 77; 3, x 72; 4, Karksi 02-4, x 115; 5, soomus immersiooni vedelikus, Karksi 02-2, x 250

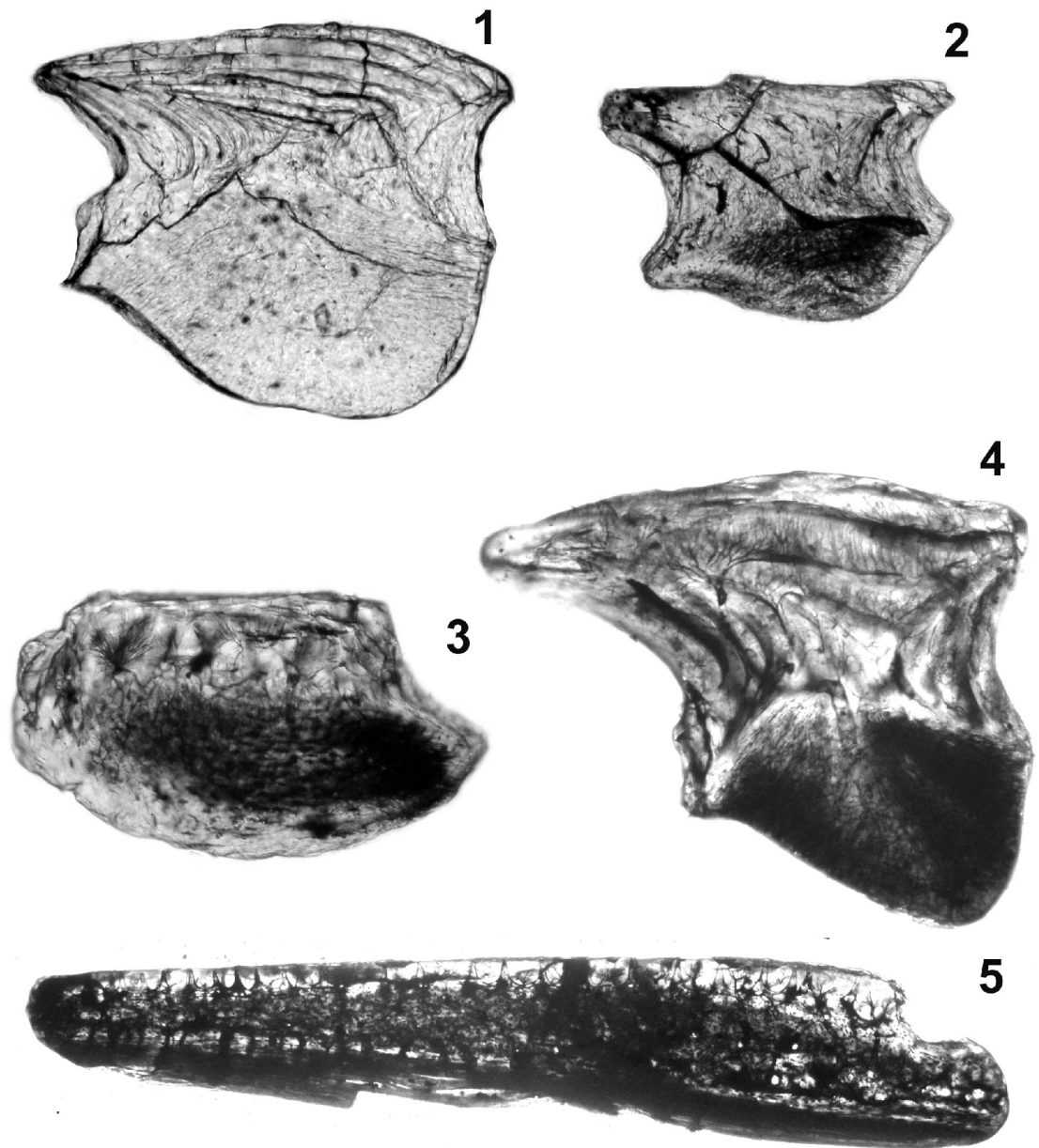


FOTOTAHVEL VII. Akantoodide soomused immersioonivedelikus.

1 ja 3, *Ptychodictyon sulcatum*, Karksi 02-1; 1, x160;

3, x160; 2 ja 5, *Ptychodictyon rimosum*, Karksi 02-1; 2, x220; 3, x 190;

4 ja 6, *Acanthoides* gen. et sp, Karksi 02-1; 4, x160; 6, x 190



FOTOTAHVEL VIII. 1-4 Akantoodide soomused õhikus;

1, *Ptychodictyon sulcatum*, Karksi 02-2, x75; 2, *Diplacanthus carinatus*,

Karksi 02-1, x90; 3, *Cheirolepis* sp., Karksi 02-2, x120

4, *Cheiracanthus longicostatus*, Karksi 02-1, x 75; 5, *Sarcopterygii* sp., Karksi 97; x25

Klass Chondrichthyes (kõhrkalad)

Üldiseloostus

Kõhrkalu, kelle hulka kuuluvad haid, raid jt, eristab luukaladest neile iseloomulik kehakuju, kõhrest luustik ning hambakesetaolised soomused, nn. Nahahambad. Kõhrkalade vanimad leiud pärinevad Siluri algusest. Kõhrkaladest säilivad fossiilsena vaid hambad ja nahahambad.

Alamklass Elasmobranchii (Varilõpuselised)

Liik Elasmobranchii gen. et sp. nov (fototahvel IX; X)

Proovidest õnnestus leida soomused, mis varem pole fikseeritud.

Hästi identifitseeritavad nelinurkse, harvem kolmnurkse alusega soomused on suurusega 0,25-0,5 mm. Pealispinnale on kinnitunud 2-3 (fototahvel IX, 1-4), harvemini rohkem üksteist osaliselt katvat tuberkliit, mille läbimõõt on 0,08-0,1 mm, kõrgus 0,15-0,25 mm. Tuberklitele on iseloomulikud ribad ja vaokesed, suunaga tipu poole (fototahvel IX, 6). Tuberklite arv võib olla 3-4 (fototahvel IX, 1-2) kuni 10-12 (fototahvel IX, 4). Alus on sirge või kolmnurkne ning käsnja struktuuriga, aluse pind on sile (fototahvel IX, 5).

Aluse käsnjas, rohkete luurakuõõnsustega mikrostruktuur on hästi näha immersioonipreparaatides (fototahvel X, 2). Nii õhikutes kui ka immersioonipreparaatides on näha peened dentiikanalikesed, mis saavad alguse pulpaõõnsusest ja suunduvad tipu poole (fototahvel X, 1-3).

Liik Elasmobranchii gen. et spp (fototahvel XI).

Leiti nii ühe kui ka mitme teravikuga hambaid, millede pikkus jääb vahemikku 4-10 mm. Ühe teravikuga hambad on asümmeetrilised, kergelt kaarjad. Iseloomulik on rõõnete olemasolu teraviku külgedel suunaga alt terava tipu poole.

Kahe teravikuga hambad paiknevad saduljal alusel, üks tipp on suunatud paremale, teine vasakule. Mõlemad teravikud on murdunud, ka sellel eksemplaril on olemas õrnad vaod suunaga tipu poole (fototahvel IX, 1, 5).

Leiti ka hammas, mille alusel paikneb kolm teravikku. Kaks teravikku on kaldu, nad on ühesuguse kuju ja suurusega, nende vahel paikneb kolmas, pisike teravik, mis suundub alt üles (fototahvel XI, 2).

Alused on sadulja kuju ja käsnja struktuuriga. On näha suuremaid ja väiksemaid avausi (fototahvel XI, 1, 2, 5).

Alamklass Chondrichthyes? gen. et sp. (fototahvel XII, 1-5)

Leiti sellesse klassi kuuluvate iseloomulike tuberklitega kaetud väikeseid luuplaate, millel üksikud tuberklid puudusid. Luuplaatide läbimõõt ei ületa tavaliselt 1-2 mm, ainult Karksi proovis 02-1 leidis kuni 7 mm suurusi fragmente. Tuberklid on enamasti piklikud (fototahvel XII, 3, 2) harvem ka ümarad (fototahvel XII, 1). Tuberklite pikkus on tavaliselt 0.3-0.5 mm, laius 0.1-0.15 mm. Tuberklid paiknevad teineteisest eraldi. Osade tuberklite külgedel paiknevad rõõned suunaga alt üles (fototahvel XII, 3, 4, 5), teiste külgedel selline skulptuur puudub (fototahvel XII, 2). Alus on väga poorne.

Klass Osteichthyes (luukalad)

Üldistiseloomustus

Sellesse rühma kuulub suurem osa kõrgemaid kalu: lihasuimsed (Sarcopterygii) ja kiiruimsed (Actinopterygii) (tabel 6). Paleosoikumi arenenumad kiiruimsed - paleoniskoidid olid väga liikuvad ja kasvasid kuni 30 cm pikkuseks. Devoni ja Karboni ajastul olid sellele klassile tavalisimad esindajad lihasuimsete hulka kuuluvad kopskalad (Dipnoi), kes praeguseks on suures osas välja surnud. Kopskalade pikkus ei ületanud enamasti 30 cm. Lihasuimsete teine ülemselts – vihtuimsed, olid laialt levinud Paleosoikumi teisel poolel ja Mesosoikumi alguses. Suurimate vihtuimsete kalade pikkus ei ületanud ühte meetrit. Nende kalade tähtsus evolutsioonis on suur, sest ainult neile iseloomulikest uimedest said hilisematel organismidel areneda jäsemed. Devoni ajastu esimesel poolel elanud vihtuimsetest arenesid evolutsiooni käigus välja kahepaiksed, kelle varaseimateks esindajateks loetakse perekondi *Ichthyostega* ja *Acanthostega*. Uuritud proovidest leiti selle klassi kahe alamklassi isendite mikrofossiile. (Obrutchev, 1964)

Alamklass Sarcopterygii (lihasuimsed)

Ülemselts Crossopterygii (vihtuimsed) (fototahvel IV, 1-4)

Leiti sellesse rühma kuuluvate esindajate mitmesuguse suuruse ja kujuga välisskeleti luuplaatide (fototahvel IV, 2-4) fragmente (maksimaalsete mõõtmetega 9x7 mm). Plaadikeste skulptuur on väga varieeruv isegi ühe ja sama fragmendi piires. Ta koosneb kas eraldi asetsevatest või vanemate fragmentide puhul üksteist osaliselt katvatest tuberklitest. Ilmselt keha eesosas asuvatel plaadikestel on tuberklid ümmargused,

kuplikujulised või veidi piklikud; ovaalsed, moodustades lühikesi harjakesi. Ümmarguste või piklike tuberklite külgedel paiknevad imepeened ribikesed suunaga eest taha üles. Luuplaadi aluspind on sile. Liivakivi proovides võib leida ka selle loomarühma luuplaatidelt ära kukkunud üksikuid dentiikleid.

Mikrostruktuur (joonis 8)

Õhikute vertikaalses läbilõikes on näha, et tuberklid on ehitatud dentiinist, dentiinikiht on kaetud õhukese emailihiga (joonis 8). Dentiinikanalikesed saavad alguse ebakorrapärase kujuga pulpaõõnest. Dentiinikihi all olev keskmine käsnyas kiht sisaldab luurakuõõnsusi ja viimastest lähtuvaid lühikesi jätkeid. Kõige alumine ehk basaalkiht on lamellilise ehitusega, milles esineb samuti lamellidega paralleelseid luurakuõõnsusi.

Lisaks luuplaatidele leiti ka vihtuimsetele kuuluvaid hambaid, mille pikkus jääb vahemikku 0,5-3 mm, paljud eksemplarid on kahjustunud. Hammaste teravike pinnad on kaetud alt üles suunduvate rõõnetega, pisemate hammaste teravikel skulptuur puudub.

Ülemselts Dipnoi (Kopskalad)

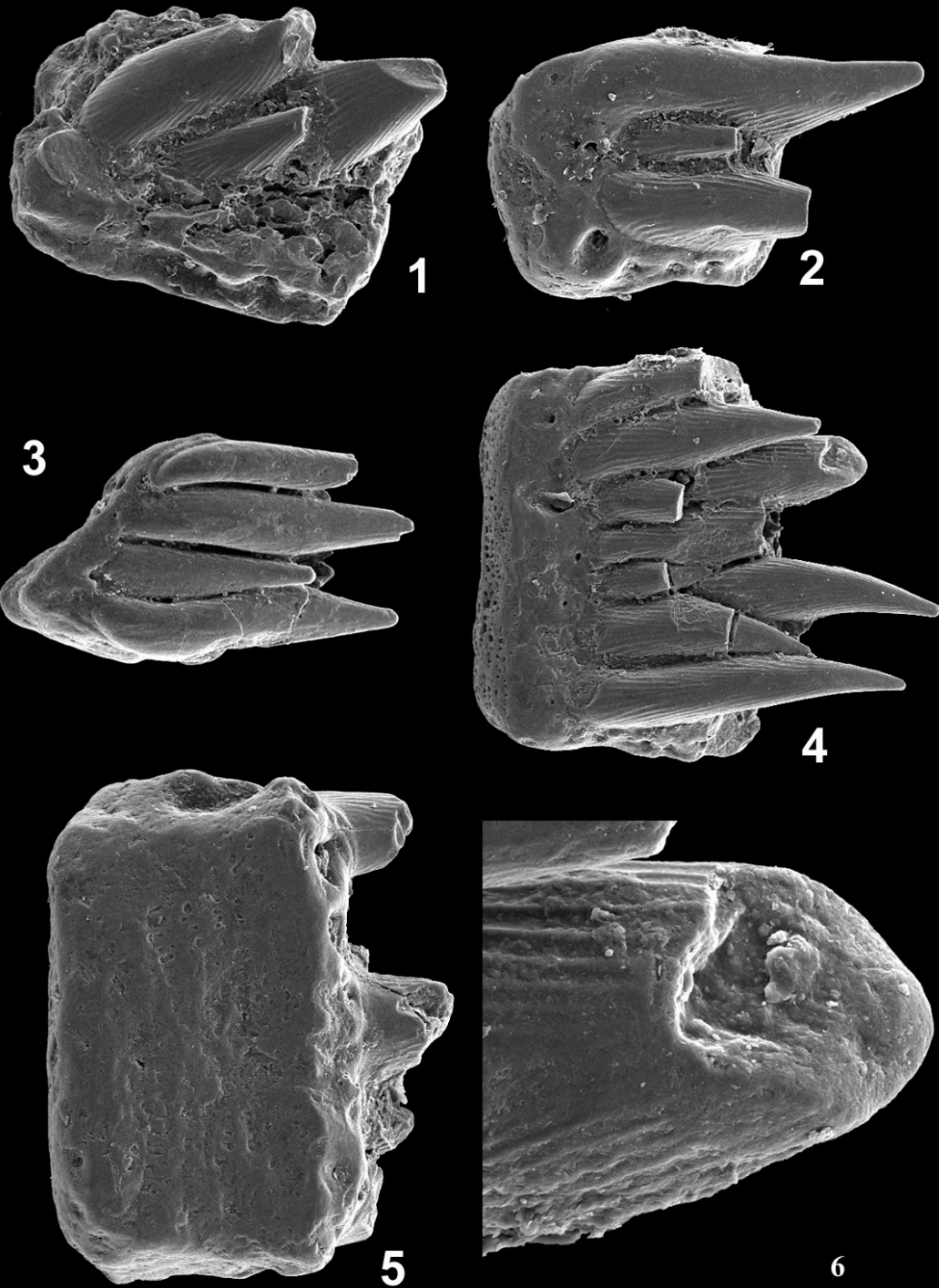
Leiti 6 mm-20 mm pikkused soomuseid. Soomused on madalad, nende pind on sile ja tasane, pinnas esinevad korrapärased poorid. Elementide külgedel on näha pisikesi ribisid suunaga alt üles.

Mikrostruktuur (fototahvel IV, 5)

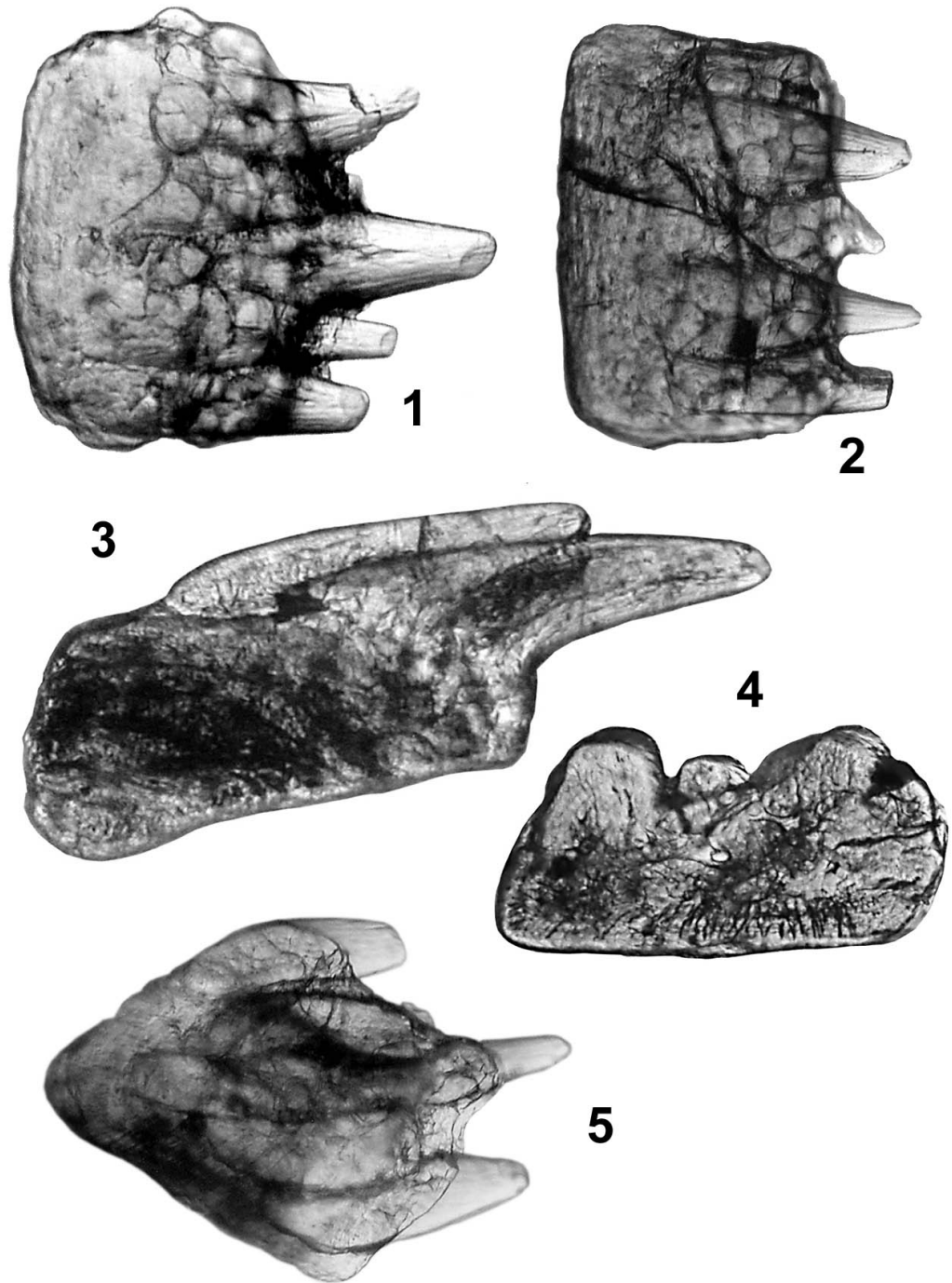
Alumisel pinnal paiknevad pikad üksteisega paralleelsed kasvujooned. Kogu detaili raames on suurel hulgal luurakuõõnsusi, mis on kanalite kaudu üksteisega ühenduses. Õõnsused on ebakorrapärase kujuga, enamasti siiski kergelt ovaalsed ja suunaga krooni pealispinna poole, osa neist avanebki pealispinnale. Pealtvaates on kergelt nähtavad ka rohked peenikesed dentiinikanalikesed, mille suund pole selgelt määratav.

Alamklass Actinopterygii (kiiruimsed)

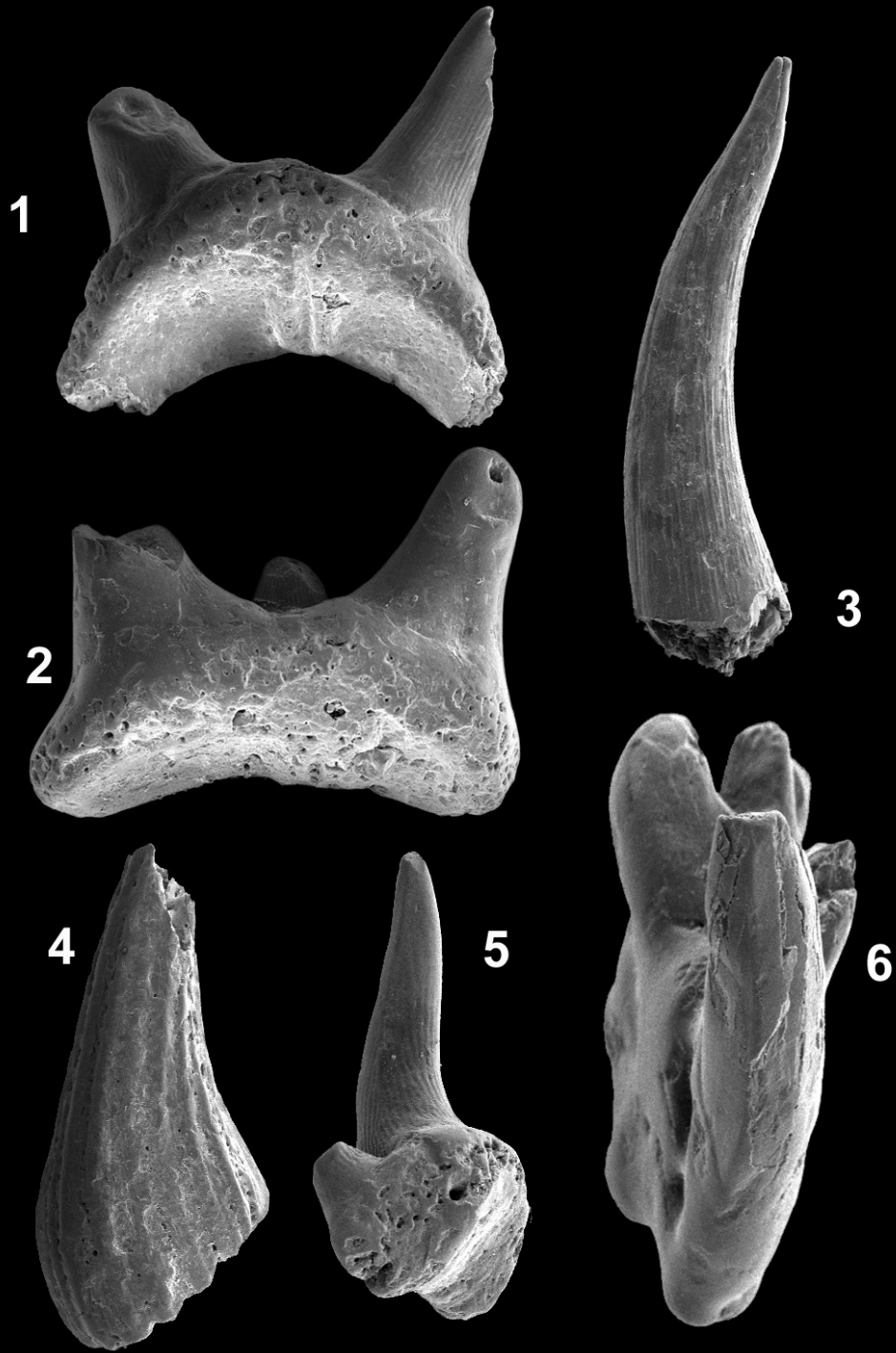
Kolmest proovist leiti sellesse klassi kuuluvate isendite üksikuid väikesed soomused. Perekonna tasemel on proovist Karksi 02-2 määratud paleonisk *Cheirolepis* sp. (fototahvel VIII, 3).



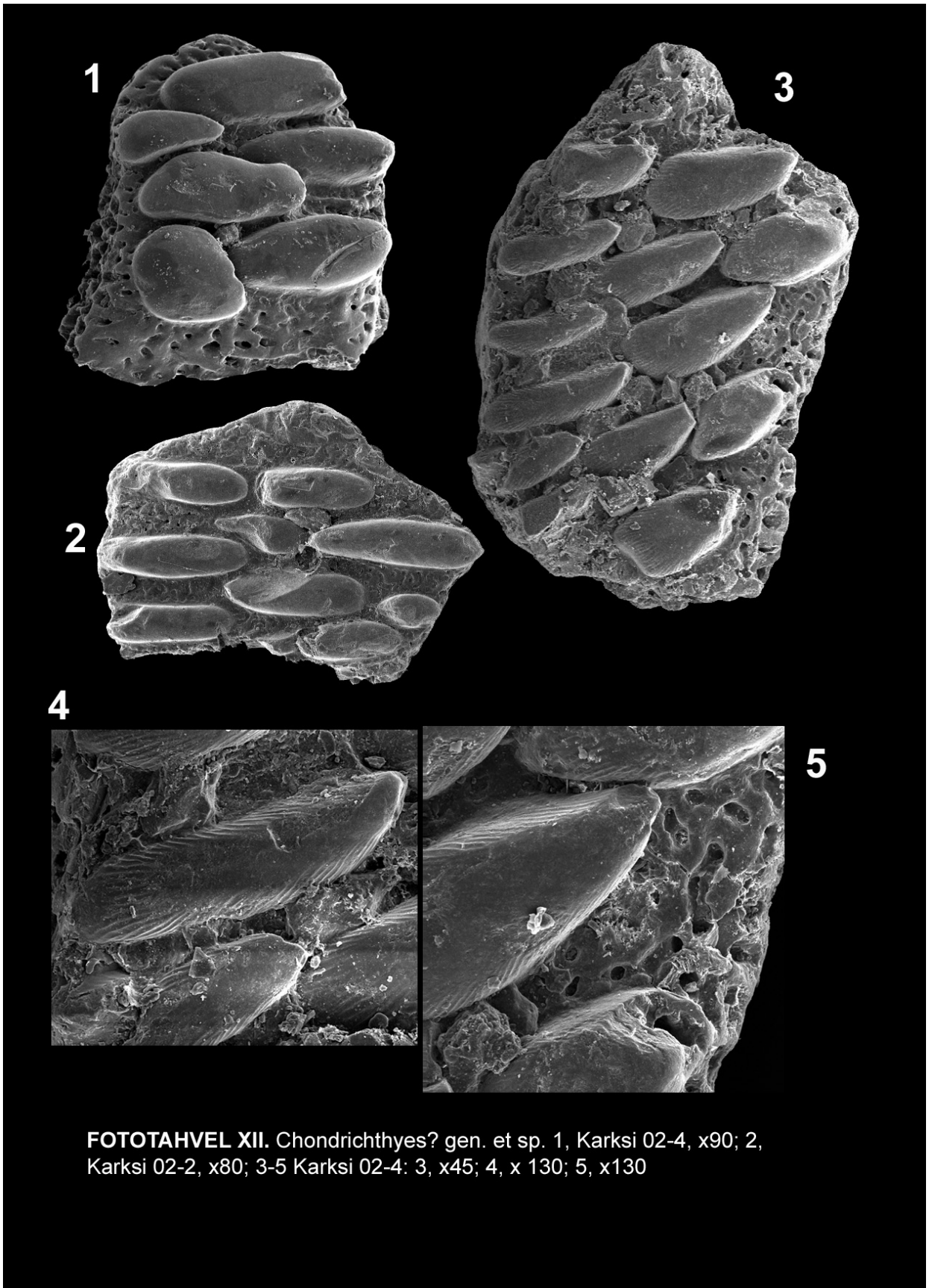
FOTOTAHVEL IX. Elasmobranchii gen. et. sp. nov soomused.
1, Karksi 02-4, x 140; 2, Karksi 02-4, x 140; 3, Karksi 02-4, x 200;
4, Karksi 97, x 150; 5, Karksi 02-4, x 190; 6, Karksi 97, suurendus
elemendist 4, x 1000



**FOTOTAHVEL X, Elasmobranchii gen. et. sp. nov. soomuste mikrostruktuur, immersioonvedelikus (1,2,5) ja õhikutena (3,4).
1, Karksi 02-2, x 240; 2, Karksi 02-4, x 190; 3, Karksi 02-1, x 260;
4, Karksi 02-1, x 300; 5, Karksi 02-1, x 220**



FOTOTAHVEL XI. Elasmobranchii gen. et spp. hambad. 1, Karksi 02-1, x75
Karksi 02-4, x65; 3, Karksi 02-4, x24; 4, Karksi 02-4, x24; 5, Karksi 02-1, x105



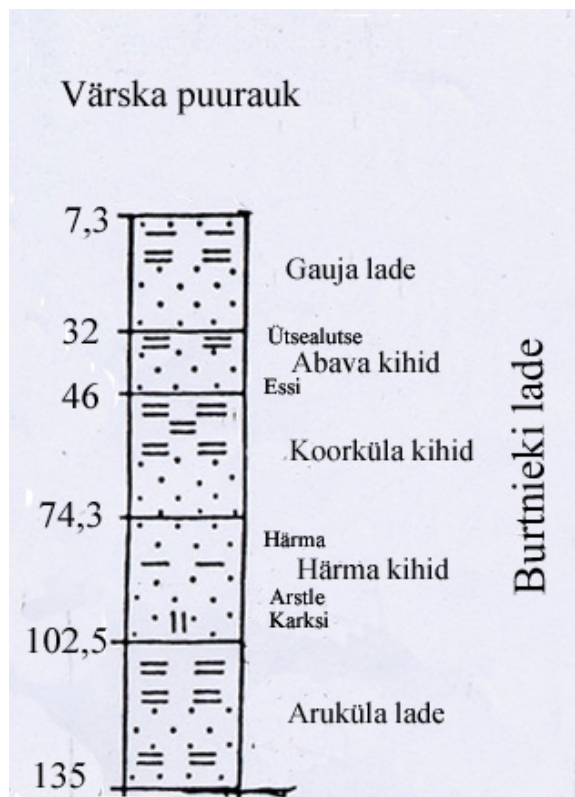
FOTOTAHVEL XII. Chondrichthyes? gen. et sp. 1, Karksi 02-4, x90; 2, Karksi 02-2, x80; 3-5 Karksi 02-4: 3, x45; 4, x 130; 5, x130

5 MIKROFOSSIILIDE RAKENDATAVUS STRATIGRAAFIAS

Töö käigus analüüsitud proovid iseloomustasid Burtneiki lademe kahte taset, Härma ja Abava kihte

(tabel 1). Oma stratigraafiliselt asendilt kuuluvad uuritud paljandid Burtneiki lademe erinevatesse tasemetesse (joonisel 9).

Uuritud mikrofossiilide andmestik on üldistatud tabelites 7-9. Materjali läbitöötamisel selgus, et mikrofossiilide esinemissagedus on paljandite raames varieeruv, mõnes proovis esines vaid üksikuid luutükikesi ja soomuseid, teisi iseloomustas suur liigirikkus. Kogutud 21-st proovist ainult 6 ei sisaldanud identifitseeritavaid fossiile. See näitab, et mikrofossiilide otsing konglomeraatsetest vahekihtidest õigustas end igati.



Joonis 9. Proovide asend Burtneiki lademe läbilõikes. Puuraugu asukoht vt joonis 1.

5.1 Härma kihtide mikrofossiilid (tabelid 7 ja 8)

Sellest tasemest on uuritud 6 proovi Karksi paljandist ja 6 proovi Härma paljandist.

Karksi paljandi proovid võeti neljast tasemest, mis olid eraldatud fossiile mittesisaldavate 0,2-0,5 m. paksuste liivakivi kihtidega. Välitöödel õnnestus leida ka 2 uut fossiile sisaldavat taset proovid 02-1 ja 02-2 (joonis 2). Kõik proovid olid mikrofossiilide poolest

rikkad. Esindatud olid nii erikilbilised, akantoodid, kõhrkalad kui ka luukalad. Valdavateks fossiilideks olid erikilbiliste alamklassi kuuluvad psammostiidid, mille hulgas leidis rohkesti liikide *Tartuosteus maximus*, *Pycnosteus tuberculatus* ja *Ganosteus stellatus* nahahambaid (fototahvel I, II). Karksi proovidest leitud akantoodide soomuste arv ja liigiline erinevus on suur (fototahvel V, VI). Akantoodide hulgas leiti Burtnieki lademes seni tundmatu liigi *Nostolepis gaujensis* soomuseid, mis puudusid vaid proovis 02-3 (fototahvel VI, 2-4). Kõhrkalade klassi kuuluvate varilõpuseliste esindajate mikrofossiile oli proovides vähem, kuid nad on stratigraafias väga olulised. Karksi paljandi proovidest avastati ka uus senitundmatu varilõpuseliste liigi, *Elasmobranchii* gen. et sp. nov iseloomulikke soomuseid (fototahvlid IX, X), mis olid esindatud kuuest proovist viies. Lisaks uuele liigile, sisaldasid proovid ka varilõpuseliste hambaid (fototahvel XI) ja *Chondrichthyes?* gen. et sp.-le kuuluvaid omapäraste tuberklitega kaetud luuplaadi tükke (fototahvel XII ; tabel 6) mida pole Eesti Devoni kihtidest seni kirjeldatud. Luukalade hulka kuuluvast lihasuimsete alamklassist leidis arvukalt nii kopskalade (*Dipnoi*) suuri soomuseid kui ka vihtuimsete (*Crossopterygii*) luuplaate ja hambaid.

Härma paljandist võetud proovid on Karksi proovidega võrreldes fossiilide poolest vaesemad. Proovid erinesid üksteisest nii fossiilide rohkuse kui ka liigilise koosseisu poolest. Kõige vaesemaks osutus paljandi alumisest osast võetud proov 42, kust leiti ainult üksikud rüükalade tükke. Paljandi jalamist ca 1,5 m töötati läbi 4 proovi (joonis 3). Fossiilide poolest rikkalikum oli proov 02-2, mis sisaldas rohkelt rüükalade luutükikesi ja plaatide, üksikuid psammostiidide nahahambaid, akantoodide ja kopskalade soomuseid ning üksikuid vihtuimsete (fototahvel IV, 3) ja varilõpuseliste (*Elasmobranchii*) alamklassi kuuluva liigi *Chondrichthyes?* gen. et sp. luuplaate. Suhteliselt palju oli mikrofossiile ka proovis 90, aga samast vahekihist võetud ülejäänud 2 proovi (02-1 ja 40) olid tunduvalt vaesemad. Proovides esines rohkelt ka määramatuid luutükikesi ja soomuste kilde, mida ei olnud võimalik täpsemalt määrata (tabel 8). Sellest tasemest kõrgemalt võetud proov 54 on seevastu mikrofossiilide poolest suhteliselt rikas (tabel 8). Võrreldes Karksi paljandi proovidega, on Härma paljandist võetud proovide liivakivid peeneteralisemad (tabel 2).

5.2 Abava kihtide mikrofossiilid (tabel 9)

Abava kihtidest võetud 8-st proovist sisaldas määratavaid mikrofossiile ainult 3. Kõige rikkalikum oli arvukus ja kooslus Essi paljandi proovis, kust leiti suurel hulgal psammosteiidide nahahambaid ning üksikuid lihasuimsete, rüükalade ja kiiruimsete soomuseid ning luuplaate. Psammosteiididest esines rohkesti nii *Pycnosteus tuberculatus* kui ka *Psammosteus bergi* nahahambaid (fototahvel II, 5, 7-9). Valdavaks olid siin omapärased teravatipulised *Psammosteus* sp. nahahambad (fototahvel I, 3, 7,9 ; III, 1-3). Rüükalasid esindasid valkjashallid, poorsed luutükikesed. Leiti ka 1 akantoodi soomus. Luukalad olid esindatud peamiselt vihtuimsete (*Crossopterygii*) luuplaatide (fototahvel IV, 2, 4), kopskalade (*Dipnoi*) suurte soomuste (fototahvel IV, 5) ja üksikute kiiruimsete soomustega.

Suur-Ütsealutse 4-st proovist oli üksikuid psammosteiidide nahahambaid ja määramatuid luutükke ainult proovis 2. Kolmest Väike-Ütsealutse proovist leiti rüükalade luuplaate ning mõningaid psammosteiidide nahahambaid vaid proovist 3 (tabel 9).

Ütsealutse ning Essi müürist võetud proovide fossiilide sisaldus oli äärmiselt erinev. Suur- ja Väike-Ütsealutse suure kaaluga võetud proovid olid fossiilide poolest väga vaesed. Liigiliselt määratavaid detaile ei leitud ühestki proovist. Seevastu väikesekaaluline Essi paljandi proov sisaldas rikkalikult psammosteiidide välisskeleti elemente ja määratavaid lihasuimsete luukalade fragmente. Kõhrkalade fossiile Abava proovid ei sisaldanud üldse.

Võrreldes Ütsealutse müüridest võetud proovidega on Essi müürist võetud proov tunduvalt peeneteralisem (tabel 2).

5.3 Härma ja Abava kihtide võrdlus

Sarnaselt makrofossiilidega (Mark-Kurik, 2000) valdasid mõlemas uuritud tasemes erikilbiliste alamklassi kuuluvad psammosteiidid (tabelid 7-9). Peale selle sisaldasid nii Härma kui Abava kihtidest võetud proovid rüükalade luuplaate ja lihasuimsete mikrojäänused. Härma tasemes oli rohkesti akantoodide soomuseid, mis Abava kihis praktiliselt puudusid. Oluliseks erinevuseks on see, et Härma kihtides esines rohkelt varilõpuseliste elemente sealhulgas uus liik *Elasmobranchii* gen. et sp. nov (fototahvel IX-X) ning *Chodrichtyes?* gen. et sp. (fototahvel XII). Abava taseme eripäraks oli

psammosteidi *Psammosteus* sp. nahahammaste rohke esinemine (fototahvel I, 3, 7, 9; III, 1-3) , mida Härma kihtidest leiti vaid üks eksemplar (fototahvel I, 8).

Karksi paljandi proovidest leitud uue, käesolevas töös esmakirjeldatud Elasmobranchii gen. et sp. nov. soomused on perspektiivsed selle taseme stratigraafilisel korreleerimisel, kuna nad on kergesti identifitseeritavad (fototahvel IX-X) ja oma mõõtmete tõttu on nende sattumine puuraukude proovidesse täiesti ootuspärane. Suurt stratigraafilist tähtsust omab ka esmakordselt Burtnieki lademest leitud akantoodi *Nostolepis gaujensis* soomused. J. Valjukevičiuse suusõnalistel andmetel erinevad nad mõnevõrra senikirjeldatud liigist ja võiksid olla seda taset määratlevate mikrofossiilide hulgas.

Niisiis läbiviidud detailne mikrofossiilide uurimine Eesti Devoni Härma ja Abava kihtide läbilõikes näitab, et mikrofossiile uurimine omab head perspektiivi olemasoleva üldpildi täiendamiseks mitmete detailidega. Mikrofossiilide muutlikus sama taseme piires settetingimuste olulisele osale nende kuhjumisel. Olemasolevate paljandite ja puursüdamate hoolika proovimise juures on võimalik saada usaldusväärseid statistilisi andmeid stratigraafiliste probleemide lahendamiseks.

Tehtud uurimus näitab ka, et mikrojäänuste uurimine aitab täiendada fossiilide liigilist koosseisu uute taksonitega, mis täidab olemasolevaid lünki Devoni paleontoloogias ja avardab veelgi stratigraafilise rakenduse võimalusi.

6 TÖÖ TULEMUSED

Läbiviidud detailsed uuringud Burtnieki lademe kahe taseme, Härma ja Abava, mikrofossiilide kohta andsid järgmisi tulemusi:

1. Burtnieki lademe fossiilide nimekiri täienes kolme taksoni võrra:
leiti ja kirjeldati kõhrkalade klassi kuuluva varilõpuselise uue liigi, Elasmobranchii gen. et sp. nov. soomuseid ja samasse klassi kuuluva, Chondrichthyes? gen. et sp. luuplaadi fragmente ning akatoodi *Nostolepis gaujaensis* soomuseid.
2. Kirjeldati seni makrofossiilidena tuntud kalade välisskeleti mikroelemente, millest paljud omavad iseloomulikke tunnuseid. Näiteks on võimalik nahahammaste järgi eraldada selliseid erikilbiliste (Psammosteiidade) liike nagu *Pycnosteus tuberculatus*, *Psammosteus bergi* ja *Ganosteus stellatus*.
3. Karksi paljandist on leiti 2 uut selgroogsete fossiile sisaldavat taset.
4. Mikrofossiile leiti ja kirjeldati Suur- ja Väike-Ütsealutse paljanditest, kust seni oli leitud ainult üksikuid suuri luuplaate.
5. Õhikutes ja immersioonvedelikus uuriti soomuste, nahahammaste, tuberklite ja luuplaatide siseehitust. See andis täiendavat informatsiooni luukanalite ja -õõnsuste paigutusest ning võimaldas eri taksoneid paremini üksteisest eraldada.
6. Mikrofossiilide järgi toodi välja erinevused Burtnieki lademe kahe taseme, litoloogilis-mineralogiliselt sarnaste Härma ja Abava kihtide vahel, mis seni eristusid ainult makrofossiilide alusel. Makrofossiilide leiud on puuraukude proovides äärmiselt harvad. Seega annab nende tasemete mikrofossiilide kirjeldamine ja iseloomustamine reaalse aluse nimetatud kihtide eraldamiseks ja korreleerimiseks nii puuraukudes kui ka paljandites.
7. Selgitati välja mikrofossiilide esinemise seaduspärasused. Nad koondusid suhteliselt jämedateralise liiva vahekihtidesse. Suurte luuplaatidega samas kihis oli mikrofossiile suhteliselt vähe. See näitab, et mikrofossiilide kuhjumistingimused olid makrofossiilide omadest erinevad.
8. Töö tulemustest on ette kantud W. Grossile pühendatud rahvusvahelisel sümposiumil Riias (sept. 2003) ja Eesti Geoloogide neljandal ülemaailmsel kokkutulekul Tartus (sept. 2003) (Märss, Niit & Kleesment, 2003; Kleesment, Märss & Niit, 2003).

Kokkuvõte

Tehtud uurimus andis mulle kasuliku kogemuse Eesti Devoni mikrofossiilide uurimisel ning nende alusel edasiste perspektiivide hindamisel sellesuunalise töö jätkamiseks. Selgus, et mikrofossiilide leiuks osutusid kõige perspektiivsemaks kihid, kus juba paljandis oli näha pisikesi fragmente. Mitmest, seni perspektiivseks peetud, konglomeraatses kihist võetud proovid olid aga siiski tühjad. Ka kihid, kus leidub nähtavaid suuri luutükke, pole rikkalikud mikrofossiilide poolest. Sellest võib järeldada, et mikrofossiilide kuhjumiseks olid tõenäoliselt spetsiifilised tingimused. Suurem osa leitud fossiilidest oli fraktsioonis 0,5-0,25 mm, mis on ilmselt optimaalseim nende massiliste uuringute läbiviimiseks.

Mikrofossiilid on perspektiivseks paleontoloogiliseks materjaliks Burtnieki lademe biostratigraafilisel liigestuamisel. Tulevikus on otstarbekas laiendada uuringuid ka Koorküla kihtidele ja lamamis olevale Arulüla lademele.

Kasutatud kirjandus

- Gross W.** 1933. Die Fische des baltischen Devons. Palaeontographica, Abt. A, 79, 1-75.
- Gross W.** 1942. Die Fischfaunen des baltischen Devons und ihre biostratigraphische Bedeutung. Korresp. Bl. Naturf. Ver. Riga, 64, 373-436.
- Karatajüte-Talimaa V. N.** 1963. Perekond *Asterolepis* Vene Platvormi Devoni kihtides. In: Grigelis A., Karatajüte-Talimaa V. N. (eds). The data of the geology of Lithuania. Vilnius, 65-224 (vene keeles).
- Kleesment A.** 1995. Lithological characteristics of the uppermost terrigenous Devonian complex in Estonia. Proc. Estonian Acad. Sci. Geol., 44, 4, 221-233.
- Kleesment, A. & Mark-Kurik, E.** 1997. Devonian. Lower devonian. Middle devonian. - Raukas A. & Teedumäe A. (toim). Geology and mineral resources of Estonia, Tallinn, lk. 107-121.
- Kleesment A.** 2001. Ekskursioon Lõuna-eesi devoni paljanditesse. Ekskursioonijuht, 20 lk., EGS, EKK, Tallinn
- Kleesment A.** 2003. Koopad Kesk-Devoni liivakivis - teke ja areng. Eluta loodusmälestiste uurimine ja kaitse. Tartu-Tallinn, 51-63
- Kleesment A., Märss T. & Niit M.** 2003. Eesti Devoni ja selle mikrofossiilide uurimine uue aastatuhande algul. Eesti geoloogide neljas ülemaailmne kokkutulek EESTI GEOLOOGIA UUE SAJANDI KÜNNISEL. Tartu, 31-33.
- Kurik E. J., Kuršs V. M. & Ljarskaja L. A.** 1989. Kesk- ja Ülem-Devoni piir Abava jõe delta alal (Läti). Eesti TA toimetised, Geoloogia. lk 162-165 (vene keeles).
- Ljarskaja L. A.** 1986. Devoni biofaatsiesed ja fauna. In: Brangulis A.P.(ed.). Biofaatsii i fauna siluriiskogo i devonskogo basseinov Pribaltiki. Riga, Zinatne, 25 - 72 (vene keeles).
- Mark E.** 1964. Tartu lademe alumise ja ülemise osa iseseisvusest ja nende nomenklatuurist. In V. N. Karatajüte-Talimaa & V. V. Narbutas (eds). Voprosõ stratigrafii i paleogeografii Pribaltiki. Vilnius, 1964, 64-66.
- Mark-Kurik E.** 1993. Walter Gross and Baltic Devonian biostratigraphy. IGCP 328 Paleozoic Microvertebrates - SDS: Gross Symposium. Abstracts, 2.
- Mark-Kurik E.** 1999. Psammosteid microremains from the Middle Devonian (Givetian) of Estonia. Modern Geology, 24, 1-21.
- Mark-Kurik E.** 2000. The Middle Devonian fishes of the Baltic States (Estonia, Latvia) and Belarus. Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg, Frankfurt a. M., 309-324.
- Mark-Kurik E & Nemliher J.** 2003. Veel kord Kesk-Devoni Abava kihtidest. Eesti geoloogide neljas ülemaailmne kokkutulek EESTI GEOLOOGIA UUE SAJANDI KÜNNISEL. Tartu, 38-41.
- Märss T, Niit M. & Kleesment A.** 2003. New findings of fish microremains in sections of the Burtņieki regional stage. The Gross Symposium 2: Advances in Paleichthyology. Riia, 42-43
- Obrutchev D. V.** (red.), 1964. Paleontologia alused. Kalad. Moskva, 522 lk (vene keeles)
- Obrutchev D. V. & Mark-Kurik E.** 1965. NSV Liidu Devoni psammosteiidid (Agnatha, Psammosteidae). Tallinn, 304 lk (vene keeles).
- Obrucheva O. P.** 1966. Uued andmed Balti devoni rüükaladest. In: Grigelis A.A.(ed.). Paleontologija i stratigrafija Pribaltiki i Belorussii, 1. Vilnius, Mintis, 151-189.

- Otto, M. & Laurin, M.** 1999. Osteostracan tesseræ from the Baltic Middle Devonian: morphology and microanatomy. *N.Jb. Geol.Paläont. Mh.*, 464-476.
- Rõõmusoks, A.** 1983. Eesti aluspõhja geoloogia. Tallinn, "Valgus". 224lk
- Valiukevičius J.** 1994. Acanthodian Zonal sequence of Early and Middle Devonian in the Baltic Basin, *Geologia*, 17, Vilnius, 115-125.
- Valiukevičius J.** 1998. Acanthodians and zonal stratigraphy of Lower and Middle Devonian in East Baltic and Byelorussia. - Sonder-Abdruck aus *Palaeontographica. Abt. A, Bd. 248*, Stuttgart, 1-53.
- Valiukevičius J.** 2000. Acanthodian biostratigraphy and interregional correlations of the Devonian of the Baltic States, Belarus, Ukraine and Russia. In Blieck A. & Turner S. (eds). *Palaeozoic Vertebrate Biochronology and Global marine/Non-Marine Correlations. Final Report of IGCP 328 (1991-1996). Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg, Frankfurt a. M.*, 223, 271-289.
- Vorobjova E.** 1977. Morfologija i osobennosti evoljutsii kisteperõh rõb. Moskva, Nauka, 239 lk.

KÄSIKIRJALISED MATERJALID

- Pirrus, E., Karukäpp, R., Kleesment, A., Kink, H., Hang, V. & Andersmaa, E.** 1997. Eesti Ürglooduse Raamat. XI osa. Viljandi Maakond. Keskkonnaministerium LK osakond, Tallinn, 320 lk.
- Pirrus, E., Karukäpp, R., Kleesment, A., Kink, H. & Andersmaa, E.** 1998. Eesti Ürglooduse Raamat. XII osa. Valga Maakond. Keskkonnaministerium LK osakond, Tallinn, 211 lk..
- Pirrus E., Karukäpp R., Kleesment A., Kink H., Erg K., Andresmaa E.** Eesti Ürglooduse Raamat XIV. Põlva maakond. Tallinn, 1999, 456 lk. .
- Rahumäe, E.** 1991. Aruküla ja Burtnieki lademe piirkhiitide mineraloogia Võrtsjärvest läänes. Tartu, 57 lk.

Jooniste ja fototahvlite asukohad

[Joonis 1. Burtnieki lademe avamus](#)

[Joonis 2. Karksi paljand](#)

[Joonis 3. Härma paljand](#)

[Joonis 4. Arstle paljand](#)

[Joonis 5. Essi müür](#)

[Joonis 6. Suur-Ütsealutse müür](#)

[Joonis 7. Väike-Ütsealutse müür](#)

[Joonis 8. Psammosteiidide \(1, 2\) ja vihtuimsete \(3, 4\) fragmentide õhikutes nähtav mikrostruktuur](#)

[Joonis 9. Proovide asend Burtnieki lademe läbilõikes](#)

[Fototahvel I](#)

[Fototahvel II](#)

[Fototahvel III](#)

[Fototahvel IV](#)

[Fototahvel V](#)

[Fototahvel VI](#)

[Fototahvel VII](#)

[Fototahvel VIII](#)

[Fototahvel IX](#)

[Fototahvel X](#)

[Fototahvel XI](#)

[Fototahvel XII](#)

