SEDGOF
Sediments of the Gulf of Finland

PROJEKTI

"Hinnangu andmine merekeskkonna ökosüsteempõhiseks korraldamiseks Soome lahe merepõhja ja setete näitel" (SedGoF)

ARUANNE



SEDGOF
Sediments of the Gulf of Finland
Hinnangu andmine merekeskkonna ökosüsteemipõhiseks korraldamiseks Soome lahe merepõhja ja setete näitel

PROJEKTI

„Hinnangu andmine merekeskkonna ökosüsteemipõhiseks korraldamiseks Soome lahe merepõhja ja setete näitel“

(SedGoF)

ARUANNE

OÜ EESTI GEOLOOGIAKESKUS

TTÜ GEOLOOGIA INSTITUUT

NORRA GEOLOOGIATEENISTUS

TLÜ ÖKOLOOGIA KESKUS

TTÜ MERESÜSTEEMIDE INSTITUUT

Aivar Pajupuu
juhatuse liige
OÜ Eesti Geoloogiakeskus

Tallinn, 2016

Projekti täitmisel osalesid:

Eesti Geoloogiakeskus OÜ	TTÜ Geoloogia Instituut	TLÜ Ökoloogia keskus	TTÜ Meresüsteemide Instituut	NGU Norra Geoloogiateenistus
Sten Suuroja	Atko Heinsalu	Hannes Tõnisson	Urmas Lips	Aivo Lepland
Andres Kask	Tiiu Alliksaar	Annika Mikomägi	Fred Buschmann	
Valter Petersell	Siim Pajusaar	Agata Marzecova	Ants Erm	
Siim Nirgi	Merlin Liiv	Egert Vandel		
Heli Milvek	Tarmo Kiipli	Kaarel Orviku		
Mark Karimov	Toivo Kallaste			
Anu Veski	Margus Voolma			
Marija Dmitrijeva	Kairi Ehrlich			
Tuuli All				

Sten Suuroja
projekti juht

Annotatsioon

OÜ Eesti Geoloogiakeskus koostöös TTÜ Geoloogia Instituudi, TLÜ Ökoloogia keskuse, Norra Geoloogiateenistuse ja TTÜ Meresüsteemide Instituudiga viis aastatel 2014 kuni 2016 ellu projekti „Hinnangu andmine merekeskkonna ökosüsteemipõhiseks korraldamiseks Soome lahe merepõhja ja setete näitel“ (edaspidi ka SedGoF projekt).

SedGoF projekti käigus koostati aluspõhja, kvaternaari, geomorfoloogia, põhjasetete litoloogia ja maavarade digitaalsed geoloogilised kaardid. Välitöödel täpsustati geoloogilist infot täiendavate geofüüsikaliste uuringutega ja valiti proovivõtujaamadeks sobilikud kuhjealad. Proovivõtujaamadest võeti läbilõiked proovivõtuseadmega „GEMAX“ (võimaldab võtta kaks paralleelset läbilõiget korraga). Läbilõigetest võeti intervalliti proovid. Proovides määrati granulomeetriline koostis, makroelementide Al, Ca, Mg, Fe, K, Na, Ti, S ning mikroelementide Ag, As, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Hf, Mn, Mo, Ni, P, Pb, Sb, Se, Sn, Th, Ti, Tl, U, V, Zn sisaldus. Samuti määrati C_{org}, $N_{üld}$, P_{org}, fenoolide, naftaproduktide ja polütsükliliste aromaatsete süsivesinike (naftaleen, atsenaftüleen, atsenafteen, fluoreen, fenantreen, antratseen, fluorantseen, püreen, benso(a)antratseen, krüseen, benso(b)fluoranteen, benso(k)fluoranteen, benso(a)püreen, dibenso(a,h)antratseen, benso(g,h,i)perüleen, indeno(1,2,3-cd)püreen) sisaldus. Vahetult setete peal olevas vees määrati ka P ja N sisaldus. Dateeriti setteläbilõiked, et hinnata settimiskiirust ja määrata konkreetsest intervallist proovitud sette vanus. Hinnangu andmiseks võrreldi erineva vanusega setetes määratud elementide sisaldust foonilise sisaldusega (paleomeetod), erinevate riikide kriteeriumitega ja projekti käigus välja pakutud kriteeriumitega. Osa kriteeriumitest on otse üle võetud ja osa eksperthinnangule tuginedes tuletatud. Kriteeriumitele tuginedes jaotub setete seisund kolme klassi: hea, rahuldav ja halb.

Valminud hinnangu põhijärelduste kohaselt on 5 cm sügavusel setetes mitmete elementide kontsentratsioonid väga kõrged. Mitmes punktis ületab Mo-, P- ja U-sisaldus SedGoF-i halva seisundi piiri, setted on nende elementide poolest halvas seisundis. Raskmetallide (Cd, Cr, Cu, Pb, Hg ja Zn) ning As sisalduste poolest on lahe setted heas või rahuldavas seisundis. PAH-sisalduse analüüsi tulemused näitavad, et summaarne sisaldus ei ületa HELCOM-i poolt soovitatud piire. Komponentide summaarne sisaldus jääb kordades madalamaks analüüsitud PAH-ide summa piirist. Kahes proovis ületab benzo(g,h,i)perüleeni sisaldus HELCOM-i piirnormi. Sukeldumistel teostatud vaatlused ja geofüüsikalised uuringud kahel näidisalal Naissaarest lõunas ja läänes näitasid, et kaevandatud alad on taastumas ning heas seisundis. Projekti tulemustele tuginedes tehti ettepanek põhjasetete seire teostamiseks ja täiendavateks uuringuteks.

Märksõnad: Soome laht, setted, geofüüsika, raskemetallid, dateeringud, Fe-Mn konkretsioonid.

Sisukord

1. Sissejuhatus 8
2. Soome lahe geoloogiline uuritus 10
3. Metoodika 13
3.1. Geofüüsikalised uuringud 13
3.2. Proovide võtmine 16
3.3. Labori määrangud 18
3.3.1. Proovide analüüsiks ettevalmistamine ja analüüsid EGK laboris 18
3.3.2. TLÜ laboris teostatud PAH analüüside metoodika 18
3.3.3. TTÜ Geoloogia Instituudi laboratooriumi setteproovide analüüsi metoodika 18
3.3.3.1. Setete koostise (kuumutuskao) määramise metoodika 18
3.3.3.2. Orgaanilise aine elementkoostise määramise metoodika 19
3.3.3.3. Fosfori fraktsioonide ($P_{üld}$, P_{org}, P_{anorg}) määramise metoodika 20
3.3.3.4. Mikroelementide analüüsi metoodika 21
3.3.3.5. Põhikomponentide e makroelementide analüüsi metoodika 23
3.3.3.6. Granulomeetrilise analüüsi metoodika 25
3.3.3.7. Sette mineraalse koostise määramise metoodika 27
3.3.3.8. Setete dateerimismeetodid 28
3.4. Paleomeetod fooniliste sisalduste määramiseks 29
4. Tulemused 30
4.1. Soome lahe geoloogilised andmekihid (kaardid) 30
4.1.1. Aluspõhja geoloogiline kaart 30
4.1.2. Kvaternaari setete kaart 37
4.1.3. Merepõhja geomorfoloogiline kaart 43
4.1.4. Maavarade sh raua-mangaani (Fe-Mn) konkretsioonide leviku kaart 48
4.1.5. Põhjasetete litoloogiline kaart 55
4.2. Soome lahe põhjasetete geokeemia (SedGoF raames loodud andmekihid) 60
4.2.1. Makroelemendid 60
4.2.2. Mikroelemendid 64
4.2.2.1. Cd (Kaadmium) 65
4.2.2.2. Cr (Kroom) 70
4.2.2.3. Cu (Vask) 75
4.2.2.4. Hg (Elavhõbe) 80
4.2.2.5. Ni (Nikkel) 83
4.2.2.6. Pb (Plii) 88
4.2.2.7. Zn (Tsink) 93
4.2.2.8. As (Arseen) 99
4.2.2.9. P (Fosfor) 104
4.2.2.10. Mo (Molübdeen) 109
4.2.2.11. Se (Seleen) 114
4.2.2.12. U (Uraan) 119
4.2.2.13. Mn (Mangaan) 124
4.2.3. Keskkonnaseisundit kahjustavate elementide päritolust 128

4.2.4. Orgaanilistest ühenditest lahe põhja savialeuriidi lõimisega setetes 142
4.3. Elementide vertikaalne jaotus ja settimiskiirused 144
4.4. Soome lahe setete mineraalne koostis 178
4.4.1. Silikaatmineraalid 178
4.4.2. Karbonaatmineraalid 183
4.4.3. Püriit 184
4.4.4. Haliit 186
4.4.5. Savi 188
4.5. Hinnang põhjasetete keskkonnaseisundile 189
4.5.1. Merekeskkonna seisundi hindamise metoodika 190
4.5.1.1. Hindamiskriteeriumid 190
4.5.1.2. Hindamine paleomeetodil 191
4.5.1.3. Geokeemiliste parameetrite ja piirsisalduste valimine 201
4.5.2. Soome lahe põhjasetete keskkonnaseisundi hinnang 206
4.6. Hinnang kaevandatud alade seisundile 212
5. Ettepanekud seireks 215
5.1. Ettepanekud seirejaamade valikuks 215
5.2. Ettepanekud proovivõtuks 215
5.3. Ettepanekud seiratavate näitajate valikuks 216
5.4. Ettepanekud seire sageduseks 217
6. Ettepanekud meetmete väljatöötamiseks 218
6.1. Lisauuringute vajadus vastavalt meetmekavasse esitatud ettepanekutele 221
Viited 227

LISAD

<u>TEKSTILISAD</u>

1. Soome lahe põhjasetete proovivõtupunktid (üldandmed)
2. Soome lahe põhjasetete analüüsitulemused (0–3 cm kiht)
3. Soome lahe põhjasetete analüüsitulemused (3–6 cm kiht)
4. Kopaproovide analüüsitulemused
5. Läbilõigete analüüsitulemused

<u>KÖIDETAVAD GRAAFILISED LISAD</u>

6. SedGoF faktilise materjali kaart: proovivõtupunktide asukohad ja geofüüsikalised profiilid
7. Soome lahe varasemate uuringute proovivõtupunktide asukohtade faktilise materjali kaart
8. Soome lahe varasemate uuringute geokeemiline koondkaart: Pb
9. Soome lahe varasemate uuringute geokeemiline koondkaart: Zn
10. Soome lahe varasemate uuringute geokeemiline koondkaart: Mo
11. Soome lahe varasemate uuringute geokeemiline koondkaart: Mn

<u>GRAAFILISED LISAD (kaardimapp)</u>

Soome lahe geoloogilised kaardid mõõtkavas 1 : 200 000

- Aluspõhja geoloogiline kaart
- Kvaternaari setete kaart
- Geomorfoloogiline kaart
- Põhjasetete leviku kaart
- Maavarade kaart

1. Sissejuhatus

Eesti Geoloogiakeskus koostöös TTÜ Geoloogia Instituudi, TLÜ Ökoloogia Keskuse, Norra Geoloogiateenistuse ja TTÜ Meresüsteemide Instituudiga viis 2014.–2016. aastal ellu projekti „Hinnangu andmine merekeskkonna ökosüsteemipõhiseks korraldamiseks Soome lahe merepõhja ja setete näitel“ (edaspidi ka SedGoF projekt).

Projekt on rahastatud Euroopa majanduspiirkonna finantsmehhanismist, mida finantseerivad Norra, Island ja Liechtenstein. Projekti rahastati programmi valdkonna „Integreeritud mere- ja siseveekogude korraldus“ esimesest taotlusvoorust, mille eesmärk on aidata kaasa Eesti mere- ja siseveekogude hea keskkonnaseisundi saavutamisele.

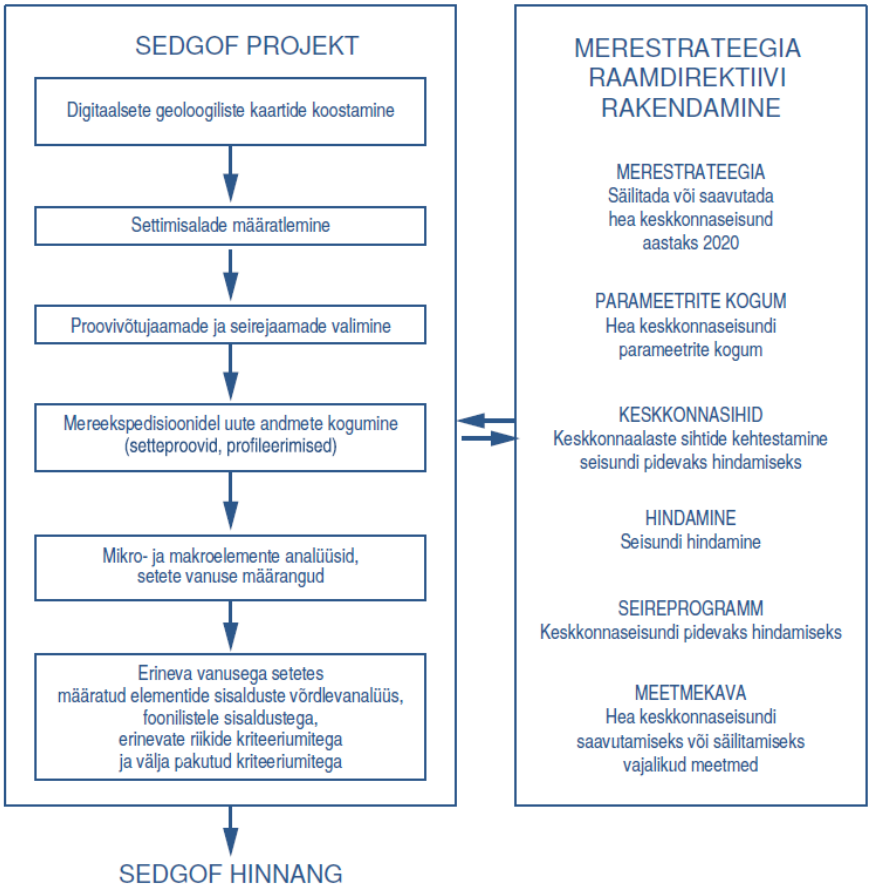
Projekti kogumaksumusest moodustas Euroopa majanduspiirkonna finantsmehhanismi toetus 85%, sh Eesti Keskkonnaministeeriumi toetus 9,39%. Lisaks toetas Keskkonnainvesteeringute Keskus projekti 15% ulatuses. Projekti kestvuseks oli 22 kuud (juuli 2014 – aprill 2016).

Projekti otseseks eesmärgiks oli hinnangu andmine merevee ökosüsteemipõhise korraldamise kohta Soome lahe (Eesti mereala Osmussaare–Hanko jooneni) merepõhja kasutamise ja merepõhja setete moodustumise näitel. Ökosüsteemipõhine korraldamine peab vastama Euroopa Liidu merestrateegia raamdirektiivis kirjeldatud põhimõtetele (2008/56/EÜ; edaspidi MSRD).

EL merestrateegia raamdirektiivi (2008/56/EÜ; MSRD) põhieesmärk on säilitada või saavutada hiljemalt aastaks 2020 oma mereala hea keskkonnaseisund, mida saab riikides saavutada erinevate meetmete kasutuselevõtuga. Igal riigil tuleb välja töötada ja rakendada oma mereala merestrateegia, et edendada merede säästvat kasutamist ja säilitada mereökosüsteeme. Selleks on vaja täiendada riiklikku seireprogrammi MSRD-st tulenevate nõuetega, et jälgida Eesti mereala keskkonnaseisundit.

SedGoF projekti kõik tegevused toetavad MSRD rakendamist ja olid kokkuvõtvalt järgmised (Joonis 1.1):

- Digitaalsete geoloogiliste kaartide koostamine
- Settimisalade määratlemine
- Proovivõtujaamade ja seirejaamade valimine
- Mereekspeditsioonidel uute andmete kogumine (setteproovid, profileerimised)
- Mikro- ja makroelementide analüüsid, setete vanuse määrangud
- Erineva vanusega setetes määratud elementide sisalduste võrdlev analüüs foonilistele sisaldustega, erinevate riikide kriteeriumitega ja väljapakutud kriteeriumitega
- Hinnangu andmine



Joonis 1.1. SedGoF projekti põhitegevused ja MSRD rakendamine

SedGoF projekti käigus digitaliseeriti Eesti Geoloogiafondis olev merepõhja geoloogiline kaardimaterjal eesmärgiga luua lähteandmestik Soome lahe merepõhja seisundi ökosüsteemipõhiseks hindamiseks ja majandamiseks. Soome lahe geoloogiline kaardimaterjal baseerub peamiselt 1980.–90. aastatel merepõhja geoloogilise kaardistamise käigus kogutud andmestikul. Kaardistamise tulemusena koostati kaardikomplekt koos seletuskirjadega. Komplektis sisalduvad aluspõhja geoloogiline ja Kvaternaari setete kaart, merepõhja geomorfoloogiline kaart, merepõhja setete litoloogiline kaart ja merepõhja maavarade kaart. Koostatud on geokeemilised kaardid olulisemate keskkonnaohtlike elementide sisalduste jaotuse kohta.

Projekti käigus koguti lisaandmeid kaheksa mereekspeditsiooni käigus. Uuringutel kasutati tänapäevast geofüüsikalise profileerimise aparatuuri ja erinevaid proovivõtu seadmeid. Merepõhja ökoloogilise seisundi määramiseks võeti proove intervalliti setteläbilõigetest, mis koguti GEMAX-tüüpi kahetorulise proovivõtja (ingl. *piston corer*) ja läbilõike viilutamise seadmega.

Projekti tulemused aitavad kaasa merepõhja jätkusuutlikule kasutamisele ning seeläbi merepõhja ökosüsteemide hea seisundi saavutamisele või säilitamisele. Projekti tulemused on kättesaadavad veebilehelt www.sedgof.egk.ee.

Eesti Geoloogiakeskus projekti elluviijana teostas projekti juhtimist ja olemaolevat geoloogilist materjali sisaldava andmebaasi loomist, geoloogiliste andmekihtide ja kaartide

koostamist (aluspõhja geoloogiline ja Kvaternaari setete kaart koos seletuskirja ning andmekihtidega; geomorfoloogiline kaart, põhjasetete leviku kaart, maavarade kaart ning geokeemilised kaardid koos seletuskirjaga). Samuti andis Eesti Geoloogiakeskus hinnangu kaevandatud alade seisundile ning esitas ettepanekud seireks ja meetmete väljatöötamiseks.

Tallinna Tehnikaülikooli Geoloogia Instituut teostas geokeemilised ja granulomeetrilised analüüsid, setete toitainesisalduse määrangud, setete dateeringud, andmete analüüsi ja interpreteerimise. Samuti esitas seire- ja kaitsemeetmete ettepanekud ning osales lõpphinnangu koostamises.

Tallinna Ülikooli Ökoloogia Instituut osales meregeofüüsikalistes töödes, geofüüsikaliste andmete interpreteerimisel, polüaromaatsete ühendite määramisel, seire- ja kaitsemeetmete ettepanekute esitamisel ning lõpphinnangu koostamisel.

Tallinna Tehnikaülikooli Meresüsteemide Instituut osales merevee füüsikaliste parameetrite mõõdistamisel, seire- ja kaitsemeetmete ettepanekute esitamisel ning lõpphinnangu koostamisel.

Norra Geoloogiateenistus jagas kogemusi kontinentaalse šelfi ja fjordide kaardistamise, samuti Norra mereala ökosüsteemi keskkonna hindamise alal, tutvustas kaasaegse kaardistamise tehnoloogiaid, analüütilisi meetodeid ja modelleerimise tööriistu. Osales puursüdamike XRF skaneerimisel, Fe-Mn konkretsioonide analüüsil ja interpretatsioonil, seire- ja kaitsemeetmete ettepanekute esitamisel ning lõpphinnangu koostamisel.

2. Soome lahe geoloogiline uuritus

Esmased Soome lahes teostatud merepõhja uuringud on seotud hüdrograafiliste vaatlustega 18. sajandil, kui Venemaa Hüdrograafiateenistus hakkas koostama merekaarte Eesti rannikumere kohta. Esimesed proovid põhjasetetest võeti 1883. aastal mereekspeditsiooni käigus (Braun, 1894). Vene teadlased Knipovich ja Popov koostasid aastatel 1900–1910 Kotlini ja Osmussaare vahelise mereala geoloogilise läbilõike. Ligikaudu samal ajal sooritati Soome lahe lääneosas ekspeditsioon Saksa uurimislaeval „Poseidon“, mille käigus uuriti ka põhjasetteid. Esimesed märked raua-mangaani konkretsioonide koostisest ja levikust on kirja pannud vene teadlased I. Samoilov ja A. Titov (1922). Siiski olid tolleaegsed merepõhja uuringud keskendunud peamiselt hüdrograafilistele probleemidele.
1960-ndate lõpus alustas tollane Nõukogude Liit süstemaatiliste merepõhja geoloogliste uuringutega, milleks olid peamiselt geofüüsikaliste meetoditega teostatud nafta ja maagaasi otsingud (Effendejeva 1967). Merepõhja väikesemahuliste geoloogiliste uuringutega Eesti territoriaalvetes tehti algust 1970-ndate esimeses pooles TA Geoloogia Instituudi poolt ja need hõlmasid peamiselt šelfiala merepõhja pindmiste setete uurimist. Selle töö põhilised resultaadid on seotud Kaarel Orviku, Jaan Luti ja Jüri Kase nimedega. Detailsemalt kaardistati

Soome lahes Narva ja Tallinna lahte. Tolleaegsed uurimisvahendid võimaldasid infot koguda peamiselt merepõhja kõige ülemisest kihist, kuid paiguti tehti ka vibropuurimist. Uuringud olid enamjaolt keskendunud merelahtedes ja rannikul toimuvatele protsessidele. Aastatel 1980–1985 koguti NL TA Okeanoloogia Instituudi poolt korraldatud mereekspeditsioonide käigus umbes 500 kivimi- ja setteproovi. Kogutud info tõstis oluliselt seismoakustiliste profiilide interpreteerimise usaldusväärsust.

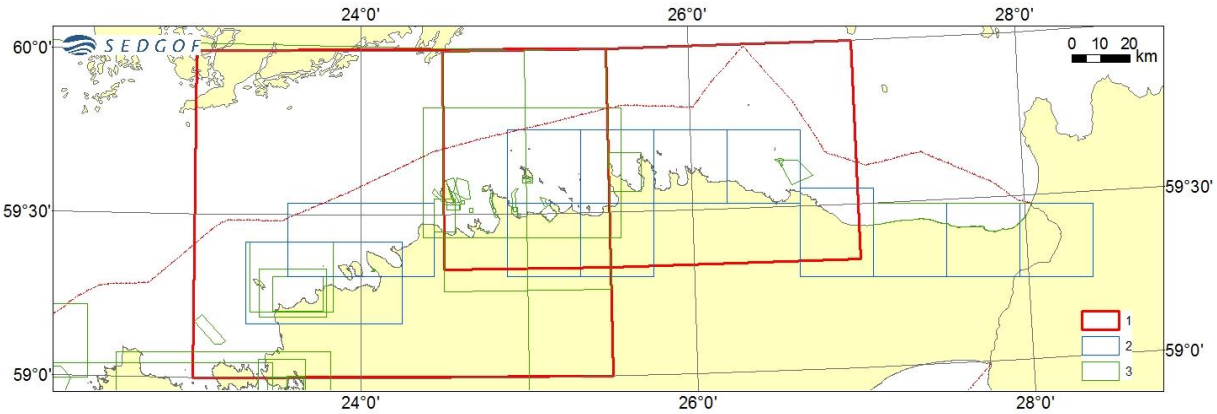
Ulatuslikuma uuringuperioodi alguseks võib lugeda 1980-ndaid aastaid ja seda, kui tollane Eesti Geoloogiateenistus (Geoloogia Valitsus) sai oma valdusse uurimislaeva „Marina“. Uuringute eesmärgiks oli Eesti šelfiala keskmisemõõtkavaline (1 : 200 000) kompleksne geoloogiline kaardistamine koos maavarade otsingutega. Tööde tulemusel valmis esimene sellelaadne kaardikomplekt (Malkov jt, 1983), millesse kuulusid: põhjasetete, kvaternaarisetete, aluspõhja geoloogiline ja merepõhja reljeefi kaart. Kaardistamine hõlmas suuremat osa Soome lahest, vaid selle idaosa – Letipea neemest ida pool (tollase süsteemi järgi O-34-IV) kaardistati VSEGEI (Üleliiduline Geoloogia Instituut) geoloogide poolt. Teine kaardikomplekt valmis Soome lahe idaosa kohta (Talpas jt, 1989). Andmeid merepõhja geoloogia kohta koguti nii geofüüsikaliste profileerimistega (peamiselt seismiline pidevprofileerimine) kui setteläbilõigete võtmisel raskustoruga ja põhjasetete proovimisel haardkopaga. Kaardikomplekti kuulusid: merepõhja reljeefi, aluspõhja geoloogia ja reljeefi, kvaternaarisetete, geomorfoloogia, maavarade, põhjasetete litoloogia, faktilise materjali kaart ning geokeemilised kaardid. 1994. aastal jätkus kaardistamine Soome lahe lääneosas Juminda poolsaare ja Osmussaare vahemikus. Kaardistamise käigus tehti ligi 4000 km seismoakustilist pidevprofileerimist ja võeti üle 3000 põhjaproovi. Lisaks meregeoloogilistele töödele puuriti aastatel 1987–1989 Soome lahe väikesaartel (Põhja-Uhtju, Väike-Tütarsaar, Vaindloo) ja rannikul (Vergi) mitu aluskorra kivimeid avavat puurauku (Talpas jt, 1994).

Süstemaatilised merepõhja uuringud lakkasid 1994. aastal ja seda seoses uurimislaeva „Marina“ likvideerimisega. Tegemata jäid 1995. aastal alustatud Eesti rannikulähedase merepõhja geoloogilise ehituse uurimiseks planeeritud etapid ning 1999. alustatud merepõhja suuremõõtkavaline (1 : 50 000) kaardistamine Soome lahe suudmealal. Merepõhja geoloogiat uuriti Soome lahes edasi koos mitme kodu- ja välismaise partneriga Jüri Kase juhtimisel. Aastatel 1996–2001 viidi läbi ühisekspeditsioonid Saksamaa Kieli Ülikooli ja Läänemere Instituudi (IOW) uurimislaevadega „Littorina“, „Prof. Albrecht Penck“ ning „A. V. Humboldt“. Uuringute käigus kasutati seismoakustilist pidevprofileerimist, külgvaatesonariga profileerimist ja vibropuurimist ning seda põhiliselt Soome lahe lääneosa rannikulähedases madalmeres.

Suuremõõtkavalised kaardistamistööd olid alguses paljuski seotud Neugrundi meteoriidikraatri (impaktstruktuuri) avastamise ja uurimisega 1996. aastal. Suuremõõtkavalised merepõhja geoloogilised kaardid koostati Eesti baaskaardi lehtedel: 6244 (Pakri), 6242 (Nõva), 6241 (Riguldi). Nendest viimasel, Riguldi lehel, jäid uuringud lõpetamata ja seda seoses riigiettevõtte Eesti Geoloogiakeskus muutumisega äriühinguks. Neugrundi impaktstruktuuri ja selle ümbrisala on alates 1996. aastast uuritud mitme rahvusvahelise ühisekspeditsiooni käigus. Aastatel 1997–2010 tehti uuringuid Eesti

meremuuseumi uurimislaevaga „Mare“, kasutades külgvaatesonarit ja allveerobotit ning koos Stockholmi ülikooliga ka õhukahurit seismoakustiliseks profileerimiseks. 2000. aastal ilmusid aruandena Neugrundi kraatriala merepõhja geoloogilised kaardid. Senini teadaolevalt maailmamere kõige paremini säilinud meteoriidikraatri kohta on avaldatud mitu teadusartiklit (K. Suuroja ja S. Suuroja ajakirjas „Lecture Notes in Earth Sciences 91“). Senini on Soome lahe merepõhja geoloogilised kaardid trükitud mõõtkavas 1 : 500 000 ja 1 : 1 000 000. Teostatud meregeoloogilised tööd on toodud Joonis 2.1.

- Koistenen, T. J., (toim.), 1996. Soome lahe ja selle ümbrisala aluspõhja geoloogiline kaart (1 : 1 miljon) koos seletuskirjaga.
- Euroopa merepõhja digitaalsed kaardid IGME 5000: Asch, K., 2005. The 1 : 5 Million International Geological Map of Europe and Adjacent Areas (IGME 5000). BGR Hannover.
- OneGeology-Europe – digital geological map data for Europe; http://www.onegeology-europe.org/.
- Emodnet Geology ja Geology2 projekti (Euroopa Komisjoni merendus- ja kalandusasjade peadirektoraadi poolt rahastatud projektid) käigus koondatav andmestik ja kaardid sisaldavad teavet merepõhja kohta: substraat ja selle settimismäär; merepõhja geoloogia (aluspõhja kivimite ja Kvaternaari setete litoloogia ja üksuste vanus) vastavalt mõõtkavale 1 : 1 000 000 ja 1 : 250 000; geoloogilised sündmused ja nende tõenäosus ning maavarad; http://www.emodnet-geology.eu/.



Joonis 2.1. Soome lahes teostatud meregeoloogilised tööd

1 – kaardistatud mõõtkavas 1 : 200 000;
2 – Eesti Geoloogiline baaskaart: digitaliseeritud mõõtkavas 1 : 50 000;
3 – rakendusgeoloogilised uuringud (liiva-kruusa otsingud ja sadamate uuringud).

3. Metoodika

3.1. Geofüüsikalised uuringud

Geofüüsikalisi uuringumeetodeid on meregeoloogias laialt kasutatud. Merepõhja geoloogilise läbilõike uurimisel kasutatakse enim seismoakustilist pidevprofileerimist peegeldunud lainete meetodil. Soome lahe geoloogilise kaardistamise käigus aastatel 1980–90 oli geofüüsikaliste profiilide vahekaugus *ca* 2 km. Töödeks kasutati Sparker tüüpi aparatuuri, mis koosnes elastsuslainete generaatorist – elekrtisädekiirgurist ja vastuvõtjast – hüdrofonist ning võimendus-, filtreerimis- ja juhtsüsteemist. Tagasipeegeldunud signaalid filtreeriti sagedusvahemikus 0–250 kHz ja trükiti paberile faksimiilaparaadiga. Antud meetod võimaldas mõnel juhul settekihte läbida kuni kristalse aluskorra pinnani. Kasutatud meetodi puuduseks oli profiilide väike vertikaalne resolutsioon. Merepõhja iseloomu ja setete ülemise kihi „läbivalgustamiseks“ kasutati paralleelselt madalasageduslikku (3.5 kHz) kajaloodi. Koostöös Rootsi Stockholmi Ülikooliga on merepõhja seismoakustilisel uurimisel kasutatud õhukahuriga (*Air-gun*) madalasagedusliku seismoakustilise pidevprofileerimise süsteemi.

SedGoF projekti käigus kasutati seismoakustilist pidevprofileerimist peamiselt settealade leviku ja settekihtide koostise määratlemiseks. Uuringuteks kasutati erinevaid (seismo)akustilisi seadmeid:

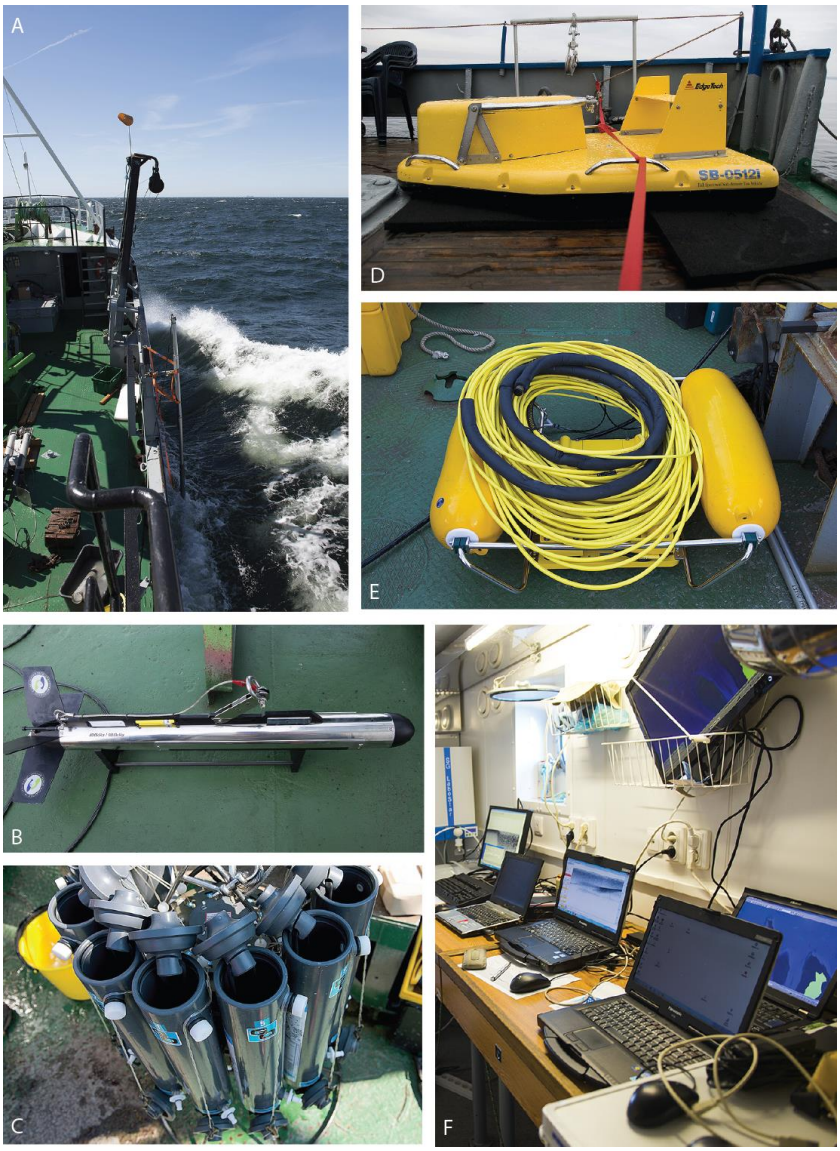
- *Chirp*-tüüpi profilaator (*High Penetration Sub-bottom Profiler– Edgetech 3200XS*), sagedusvahemik 0,4–12 kHz (Joonis 3.1.1D);
- *Pinger*-tüüpi (madalsageduslik kajalood) profilaator, töösagedus 24 kHz;
- *Chirp*-tüüpi profilaatorid (*Meridata*); sagedusvahemikud 3–9 ja 5–10 kHz Joonis 3.1.1A);
- *Boomer*-tüüpi profilaator (*C-Boom low voltage boomer*), sagedusvahemik 0,5–12 kHz (Joonis 3.1.1E).

Seismoakustilise pidevprofileerimise komplekt koosneb juhtimissüsteemist, (seismo)akustilisest kiirgurmuundurist e. „kalast“ (*transducer*) ja registreerimissüsteemist. Edetech Chirpi profilaatorit pukseeriti laeva parda kõrval, väljaspool parda ja vööri lainet. Meridata kahe erineva sagedusvahemikuga (*high-Chirp* ja *low-Chirp*) *Chirp*-profilaatorid kinnitati laeva poordi (Joonis 3.1.1A). *Boomer*i „kala“ pukseeriti 50 m kaugusel laeva ahtrist väljaspool „vindivett“ ning selle kõrval *ca* 5 m kaugusel pukseeriti vastuvõtjat – hüdrofoni.

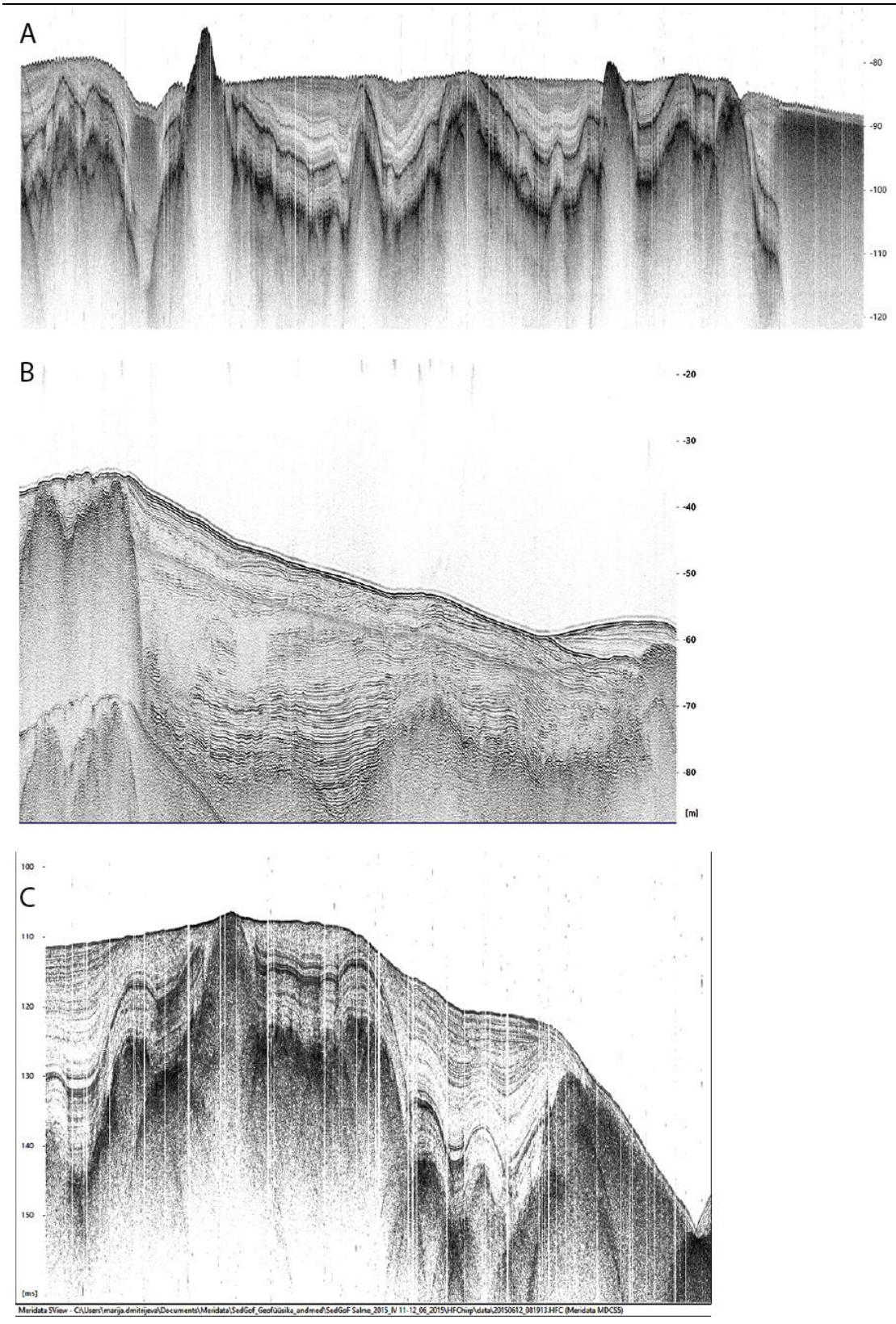
Merepõhja vaatlusteks kasutati külgvaatesonarit töösagedusega 90/130 kHz. See meetod võimaldab jälgida nii merepõhja morfoloogiat kui ka põhjasetete litoloogilisi muutusi kuni 500 m laiuses vööndis. Mida sügavam vesi, seda laiem vöönd. Vöönd jaguneb kaheks paralleelseks ribaks ehk külgdiapasooniks pukseeritavast kiirgur-vastuvõtjast („kalast“) kummalgi poolel. Parima tulemuse saamiseks valitakse „kala“ sügavus nii, et see moodustaks 10% külgdiapasooni laiusest. Peale 100 m pikkuse kaabli kuulus komplekti ka depressioonitiib (*depressor wing*), mis võimaldas viia „kala“ suuremale sügavusele.

Geofüüsikaliste andmetega opereerimiseks, andmete kogumiseks ja interpreteerimiseks kasutati *Meridata* tarkvara (vastavad tarkvara moodulid *MDCS* – d*ata acquisition system* ja *MDPS – data processing and interpretation software*) (Joonis 3.1.1F, Joonis 3.1.2).

Seismoakustilise profileerimise tulemuste interpreteerimiseks vajalike heli levimiskiiruste arvutamiseks kasutati proovivõtu karusell-komplekti juurde kuuluvate vee füüsikaliste omaduste määramise süsteemi (Joonis 3.1.1C).



Joonis 3.1.1. SedGoF projekti käigus kasutatud geofüüsikaline aparatuur



Joonis 3.1.2. Väljavõtted (seismo)akustilistest profiilidest

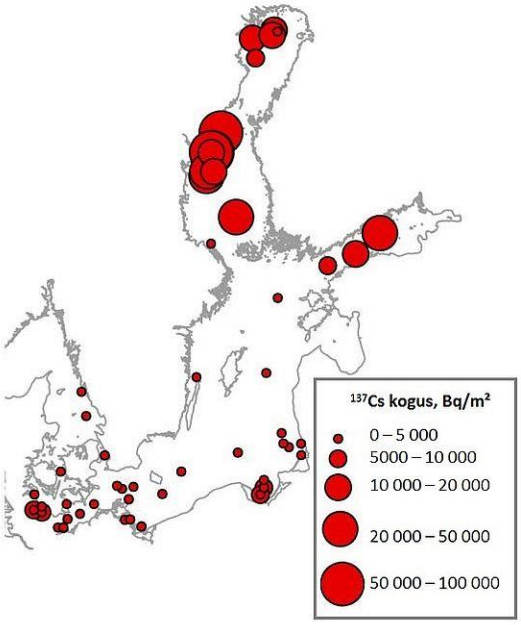
3.2. Proovide võtmine

Lahe põhjasetete keskkonnaseisundit iseloomustavate toksiliste ja eutrofeerumist soosivate elementide sisalduse, leviku ja jaotuse seaduspärasuste selgitamiseks koguti põhjasetetest erinevad proovid.

Esialgne proovivõtujaamade asukoht valiti olemasolevale geoloogilisele ja geokeemilisele infole tuginedes. Proovivõtujaamade valik täpsustati välitöödel täiendavate geofüüsikaliste uuringutega (Joonis 3.1.2). Proovivõtu asukohtadeks valiti üldjuhul lahe põhja iseloomustavad alad. Eelistati neid, mille piires oli varasemate uuringutega tuvastatud ühe või enama toksilise elemendi esinemine kõrgendatud kontsentratsioonis.

Taanlaste B. Larseni ja A. Jenseni (1989) poolt läbi viidud uuringud näitasid, et merepõhja ülemine, 2,5–5 cm paksune kiht on pidevas segunemises. Võttes arvesse mainitud asjaolu ning lähtudes vajadusest hinnata põhjasetete ülemise, 5–10 cm paksuse kihi keskkonnaseisundit ja põhjasetetes kujunevate keskkonnaohtlike elementide sisalduse trende, valiti valdavaks geokeemiliste proovide pikkuseks 3 cm ehk 3 cm paksune setete läbilõikekiht ja detailsemateks uuringuteks 1 cm paksune setete kiht. Enne puursüdamike tükeldamist need fotografeeriti ja kirjeldati. Kogutud proovid sildistati ja pakiti suletavatesse kilekottidesse.

Soomlased H. Vallius ja M. Leivuori (1999) tuginesid Soome lahe idapiirkonna põhjasetetes Tšernobõli katastroofi tagajärjel toimunud Cs-137 sisalduse tõusule kui ajalisele reeperile. Nad näitasid, et Soome lahe sügavamatel aladel settib Eesti majandusvööndi idaosa piiril aastas 3,6 kuni 6,7 mm paksune mudakiht. See tulemus leidis kinnitust ka käesoleva uuringu käigus (ptk 4.3, Joonis 4.3.13) Eesti mereala majandusvööndi läänepiirkonna settimiskiiruse kohta andmed puuduvad, Tšernobõli sündmuste mõju oli seal väga tagasihoidlik (Joonis 3.2.1).

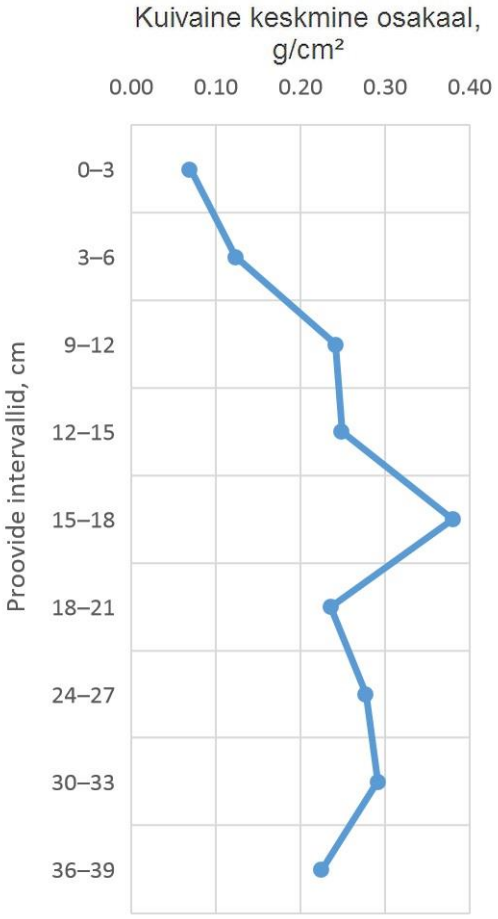


Joonis 3.2.1. Cs-137 (Bq/m^3) Läänemere setetes aastatel 2007–2010 (HELCOM, 2014)

Põhjasetete mahukaalud näitavad, et ülemise, 0–3 cm paksuse settekihi õhkkuiv kaal moodustab 12 cm paksuse kihi keskmisest kaalust 30–72% (Joonis 3.2.2). Nendele andmetele tuginedes settib aastas kuni 1,2–1,5 cm paksune orgaanilise aine rikas savialeuriidi kiht. Seega ülemine ehk lahe põhjast esimene kiht, intervallis 0–3 cm, moodustus ligikaudu 2 kuni 4 aasta jooksul ja alumine kiht, intervallis 3–6 cm, 4 kuni 6 aasta jooksul. Autorid loodavad, et valitud proovimise metoodika minimeeris valdavas osas aastaaegadest või bioturbatsioonist tingitud setete keemilise koostise erinevused.

Toksiliste raskmetallide, As ja U ning

eutrofeerumist soodustavate elementide sisalduse selgitamiseks põhjasetetes koguti 90 mm diameetriga paaristoruga varustatud GEMAX-nimelise proovivõtjaga lahe sügavamates kohtades levivatest savialeuriidi setetest proovid 80 uuringupunktis (lisa 6). Nendest 9 uuringupunktis prooviti põhjasetete läbilõige 3 cm paksuste lõikudena 21 cm kuni 36 cm sügavuseni (üksikjuhul detailuuringuteks 60 cm sügavuseni), teistes uuringupunktides samuti 3 cm paksuste lõikudena ainult 6 cm sügavuseni. Paralleelselt geokeemiliste proovidega koguti GEMAX-iga 0–3 cm ja 3–6 cm sügavuselt proovid naftaproduktide ja fenoolide sisalduse selgitamiseks ja valikulistes uuringupunktides 0–3 cm sügavuselt PAH analüüsideks.



Joonis 3.2.2. Setete mahukaalu muutus vertikaalläbilõikes kuue läbilõike alusel (14SLM 002, 004, 005, E5, 006, 007)

Lahe põhjas levivates liivarikka aleuriidi setetes polnud GEMAX-i kasutamine tulemuslik, sete ei jäänud torudesse püsima. Proovid koguti 30 cm servapikkuse haardkopaga 36 uuringupunktist (lisa 6). Proovitava settekihi paksus oli ligi 5 cm. Haardkoppa kasutati samuti varasematel uuringutel kontuuritud kaheksal Fe-Mn-konkretsioonide levilalt proovide kogumisel. Nendel levilatel koguti paralleelselt proovid konkretsioonidest, konkretsioone ümbritsevast settest ja konkretsioonide all levivast aleuriidirikkast savist. Viimane erines konkretsioone sisaldavast settest suurema tiheduse poolest. Kõik proovid naftaproduktide, fenoolide ja PAH-sisalduse määramiseks koguti hermeetiliselt sulguva kaanega klaaspurki ja valguse mõju minimeerimiseks pakiti musta kilesse. Kuni analüüsimiseni hoiti proovid külmikutes temperatuuril 3–5 °C.

P- ja N-ühendite sisalduse selgitamiseks vahetult põhjasetetel lasuvas veekihis võeti 23 uuringupunktis plastiksüstlaga proovid GEMAX-i torus setetel lasuvast 10 cm paksusest veekihist. Veeproovid koguti valgetesse plastikkanistritesse (mark HD-PE) ja hoiti kuni analüüsimiseni samuti külmikutes temperatuuril 3–5 °C. Kõik naftaproduktide, fenoolide ja veeproovid edastati Eesti Geoloogiakeskuse laborisse ning PAH analüüsideks kogutud proovid – TLÜ Ökoloogiakeskuse laborisse.

3.3. Labori määrangud

3.3.1. Proovide analüüsiks ettevalmistamine ja analüüsid EGK laboris

Kogutud põhjasetete terrigeensed proovid suunati Eesti Geoloogiakeskuse (EGK) ja TTÜ Geoloogia Instituudi (GI) laboritesse. EGK laboris proovid kuivatati ja kaaluti õhkkuivas olekus. Fe-Mn konkretsioonide levilatelt kogutud sihtotstarbelistest proovidest eraldati konkretsioonid pesemise meetodil 2 mm kapronsõelal. GEMAX-iga kogutud proovidest ja kopaproovidest eraldati kvarteerimise meetodil 100–150 grammine kaalutis. Konkretsioonide proovid peenestati keraamilises purustis „puudriks“ (< 200 mes). Välja-valitud proovid suunati rahvusvaheliselt tunnustatud Kanada laborisse[1], kus määrati proovides ICP-Ms meetoditel makroelementide Al, Ca, Mg, Fe, K, Na, Ti, S ning mikroelementide As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, P, Pb, Se, U, Zn jt kogusisaldused (4 *AciddigestionUltrtrace ICP-MS analysis*) ja kuningvees lahustuv ning Pb isotoopide sisaldus (1:1:1 *AR digestionUltratraceICP-MS+Pbisotopes*). Laborite kvaliteedi hinnangu detailne iseloomustus on toodud Euroopa põllumuldade geokeemilises atlases (Reimann jt, 2014) ja see on hea.

Kogutud proovides määrati naftaproduktide sisaldus kaalanalüüsi (STT-6) meetodil ja fenoolide sisaldus spektrofotomeetria (STV-2) meetodil.

Veeproovides määrati PO_4 ja NH_4, NO_3 ning NO_2 vastavalt GOST-4192, ISO-6777, ISO-7890-3 ja EVS-EN ISO-6878 standardites esitatud nõuetele.

3.3.2. TLÜ laboris teostatud PAH analüüside metoodika

TLÜ laboris määrati 30 ülemisest, 0–3 cm kihist võetud ja 24 projektsete monitooringupunktite setete läbilõike ülemise osa iseloomustamiseks võetud proovis PAH 16 ohtlikuma ühendi kogusisaldus ja tellimustööna EKUK laboris 6 proovis nende 16 ühendi sisaldus eraldi. Eesti Keskkonnauuringute Keskuse (KUK) akrediteeritud laboris kasutati PAH-ühendite mõõtmiseks gaaskromatograafi mass-spektromeetriga (GC-MS). Analüüside metoodika vastab standardile ISO 18287. Analüüsitud ohtlike PAH-ühendite nimistu originaal baseerub Ameerika Ühendriikide Keskkonnakaitse Agentuuri (*United Estates Environmental Protection Agency* (US EPA)) soovitustel ja sellesse kuuluvad 16 ühendit on : naftaleen, atsenafteen, atsenaftüleen, antratseen, fluoreen, fenantreen, benso(a)antratseen, benso(k)fluoranteen, benso(b)fluoranteen, krüseen, fluoranteen, püreen, benso(a)püreen, indeno(1,2,3-cd)püreen, dibenso(a,h)antratseen ja benso(g,h,i)perüleen).

3.3.3. TTÜ Geoloogia Instituudi laboratooriumi setteproovide analüüsi metoodika

3.3.3.1. Setete koostise (kuumutuskao) määramise metoodika

Soome lahe setteproovidest määrati vee, orgaanilise aine, karbonaatse aine ja mineraalaine sisaldus (Heiri jt, 2001). Eelnevalt kaalutud märjad setteproovid kuivatati 105 °C juures õhkkuivaks, kaaluti ja arvutati proovide veesisaldus. Orgaanilise aine sisalduse leidmiseks

[1]Bureau Veritas Commodities Canada Ltd., endine AcmeLabs

põletati eelnevalt kuivatatud setteproove muhvelahjus 550 °C juures 4 tundi ja seejärel karbonaatse aine määramiseks põletati proove edasi 950 °C juures 2 tundi (Foto 3.3.3.1). Vastava kaalukao alusel arvutati orgaanilise ning karbonaatse aine protsentuaalne sisaldus sette kuivaines. Proovide 550 °C – > 950 °C kaalukadu oli vaid 1–3% ja setete makrokomponentide analüüs näitas, et kuumutades 950 °C juures eraldus enamusest proovidest mitte karbonaatse aine CO_2, vaid oluline komponent sellest oli seotud NaCl lagunemisega (Cl lendub ja Na oksüdeerub). Vaid mõnes üksikus proovis näitas makrokomponentide analüüs kaltsiidi esinemist väikeses koguses. Seega käesolevas uurimuses me ei esita 550 °C -> 950 °C kaalukadu karbonaatse ainena ning mineraalaine ehk terrigeense aine sisalduse hulka proovides markeerib muhvelahjus 550 °C juures põlemata jäänud aine kogus. Tulemused on esitatud protsentides kuivaine kaalust.

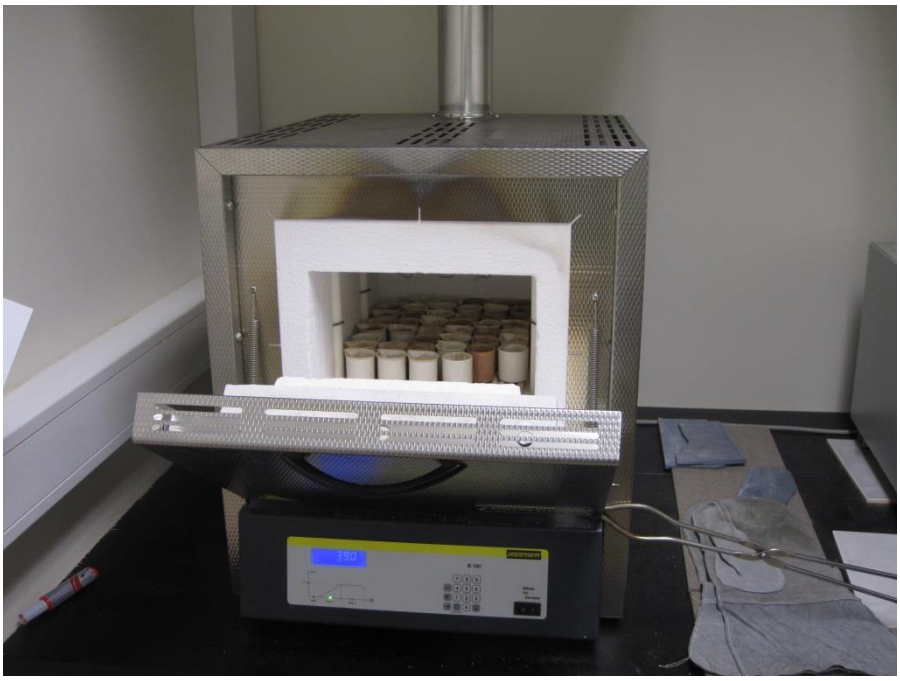


Foto 3.3.3.1. Muhvelahjus proovide põletamine kuumutuskao arvutamiseks

3.3.3.2. Orgaanilise aine elementkoostise määramise metoodika

Orgaanilise aine elementkoostise (orgaaniline süsinik - C_{org}, üldlämmastik - $N_{üld}$) määramiseks mõõdeti setteproovid orgaanilise aine CHNSO-analüsaatoriga (*ThermoScientific* FLASH 2000, Foto 3.3.3.1.). 15 µg lüofilisaatoris külmkuivatatud ning seejärel kuulveskis peenestatud sete kaaluti hõbetopsikutesse. Anorgaanilise süsiniku eemaldamiseks lisati igasse topsikusse paar tilka soolhapet (4M HCl) ning seejärel kuivatati proove ~80 °C juures 4 tundi, et CO_2 eralduks. Hõbetopsides proovid pakiti omakorda tinatopsikutesse, et analüsaatoris põlemisprotsessi intensiivistada.

Orgaanilise aine elementkoostise määramisel kasutati standardina tsüstiini (*ThermoFisherScientific*) ning referentsainena kõrge orgaanilise aine sisaldusega setet (*IVA Analysentechnik e. K*). Analüüsid tehti kolmes korduses ja tulemused on esitatud protsentides sette kuivaine kaalu kohta.

$C_{org}/N_{üld}$ suhte väärtused on väljendatud aatomsuhtena (Meyers, Teranes, 2001). $C_{org}/N_{üld}$ suhe leiab laiemat kasutust paleouuringutes orgaanilise aine päritolu määramisel. Suhte väärtus võimaldab identifitseerida, kas orgaaniline aine pärineb vetikatest (autohtoonne) või maismaataimedest (allohtoonne). Kui C/N suhe on ≥ 20, viitab see maismaalisele päritolule, C/N suhe vahemikus 4–10 aga veekogusisesele päritolule. Selline eristus tuleneb orgaanilise aine päritolumaterjalide biokeemilise koostise erinevustest — vetikate orgaaniline aine on valgurikas ja tselluloosivaene, soontaimedelt pärinev orgaanika aga tselluloosirikas.



Foto 3.3.3.1. Orgaanilise aine elementkoostise määramine. Proovide ettevalmistamine analüüsiks – külmkuivatamine lüofilisaatoris, kuivatatud proovide jahvatamine kuulveskis, kaalumine hõbetopsidesse, keemiline töötlemine, pakendamine, ja mõõtmine CHNSO-analüsaatoriga

3.3.3.3. Fosfori fraktsioonide ($P_{üld}$, P_{org}, P_{anorg}) määramise metoodika

Fosfori fraktsioonide kontsentratsioonid määrati spektrofotomeetriliselt molübdeensinise värvusreaktsiooni meetodil (Radojević, Bashkin, 2006), kasutades askorbiinhappe- ja molübdaatreaktiive (Foto 3.3.3.2.).



Foto 3.3.3.2. Fosfori fraktsioonide mõõtmine spektrofotomeetril, kasutades molübdeensinise värvusreaktsiooni meetodit

Nii üldfosfori ($P_{üld}$) kui anorgaanilise fosfori (P_{anorg}) määramiseks kaaluti kolmes paralleelis ~0,5 g märga setet. $P_{üld}$ proovid kuivatati ja põletati 550 °C juures 1 tund. Fosforifraktsioonide lahusesse viimiseks kasutati nii $P_{üld}$ proovide põletusjäägi kui ka P_{anorg} proovide värske sette puhul 0,5M soolhappe (HCl) lahust, kusjuures proove loksutati selles lahuses 3 tundi, kasutades automaatloksutit 160 rpm juures. Pärast seda filtreeriti proovid läbi happekindla klaasfiltri ning valmistati lahused askorbiinhappe- ja molübdaat-reaktiividega fosforisisalduse spektrofotomeetriliseks mõõtmiseks.
Mõõtmised viidi läbi spektrofotomeetril SPECORD PLUS 250 (*AnalytikJena*), kasutades spetsiaalseid UV-küvette. Fosforisisalduste (nii $P_{üld}$ kui P_{anorg}) määramiseks mõõdeti kompleksi neeldumist lainepikkusel 880 nm. Orgaanilise fosfori (P_{org}) kontsentratsioon leiti arvutuslikul teel, lahutades $P_{üld}$ kogusest P_{anorg} koguse. Tulemused on esitatud ühikutes milligrammi fosforit grammis kuivaines (mg P g^{-1} kuivas settes), samuti on P_{org} ja P_{anorg} fraktsioonide kogused esitatud protsentidena $P_{üld}$ koguses.

3.3.3.4. Mikroelementide analüüsi metoodika

2–3 g kuiva setteproovi uhmerdati käsitsi ahhaatuhmris. Analüüsiks võeti 250 mg proovi ja kinnistes reaktsioonianumates kõrge temperatuuri ning rõhu tingimustes lahustati see mikrolaineahjus (*AntonPaarMultiwave* 3000) EPA3052 meetodil. Lahustamiseks kasutati iga

proovi kohta 9 ml lämmastikhapet (HNO_3), 2 ml soolhapet (HCl), 3 ml fluorhapet (HF) ja 18 ml boorhapet (H_3BO_3).

Proovid analüüsiti **kvadrupool X-Series 2 ICP-MS** masinaga (*ThermoScientific*) ehk induktiivselt seotud plasma mass-spektromeetriga (Foto 3.3.3.3.). Mikroelementide määramisel kasutati multi- ja üheelemendilisi standardeid, referentsainena kasutati jõesetet SdAR-1 ja kilta SBC-1 (http://www.geoanalyst.org/index.php/proficiency-testing-proficiency-testing/geopt-programme/previous-rounds). Tulemused on esitatud ppm-ides. Tugiproovi SBC-1 mõõtmistulemused ja võrdlus referentsväärtustega on toodud Tabel 3.3.3.1.



Foto 3.3.3.3. Mikroelementide analüüs induktiivselt seotud plasma mass-spektromeetriga (ICP-MS)

Tabel 3.3.3.1. ICP-MS-ga mõõdetud tugiproov SBC-1 (savikilt) ja võrdlus referentsväärtustega. Sisaldused on ppm-des. Kaldkirjas on sisalduste provisoorsed väärtused.

Tugiproovi nr.	Savikilt SBC-1 Mõõdetud	Savikilt SBC-1 Mõõdetud	Savikilt **SBC-1** **Referents**
Be	4,34	3,84	***3,19***
V	229	262	***220***
Cr	116	131	***109***
Mn	1114	1286	***1162***
Co	20,5	23,6	***22,7***
Ni	82	95	***83***
Cu	32	35	***31***
Zn	194	179	***187***
As	37,19	36,57	***25,67***
Sr	191	188	***178***
Mo	4,16	3,53	***2,35***
Cd	0,43	0,38	***0,40***
Sn	4,6	4,1	***3,3***
Ba	898	781	***788***
Hf	4,27	3,11	***3,74***
Pb	35,9	24,9	***35,0***
Th	20,39	13,17	***15,84***
U	7,68	4,96	***5,76***

3.3.3.5. Põhikomponentide e makroelementide analüüsi metoodika

Proovide esmane kuivatamine tehti tsentrifuugimisega 10 min 5000 rpm juures. Settest eraldunud poorivesi valati pealt ja jääk kuivatati 105 °C juures õhkkuivaks. Kuivad proovid jahvatati volframkarbiidist tassi ja kettaga veskis ning proovipulber pressiti tabletiks ilma sideainet lisamata (Foto 3.3.3.4). Kõikide proovide kuumutuskaod määrati põletades proove 920 °C juures 3 tundi. Lisaks kasutati proovide ettevalmistamisel sulatusmeetodit, kus põletatud proovijääk sulatati boraatide seguga vahekorras 1 : 10 sulatatud preparaadiks.





Foto 3.3.3.4. Makroelementide analüüsi ettevalmistusliinid pulbertableti ja sulatatud preparaadi valmistamiseks, tablettide analüüs röntgenfluorestsents (XRF) spektromeetriga

Röntgenfluorestsents analüüs (XRF) teostati Bruker S4 spektromeetriga, kasutades Rh anoodiga röntgentoru. Sulatatud preparaadid analüüsiti Brukeri eelkalibreeritud standardivaba meetodit kasutades, tulemusi täpsustati Geoanalüütikute Assotsiatsiooni laboritevaheliste võrdluskatsete tugiproovide baasil. Sulatusmeetod on täpsem kui pulbermeetod, kuid see ei võimalda määrata kloori- ja väävlisisaldust (Cl lendub kuumutamisel täielikult, S suuremas osas). Seetõttu analüüsiti kõigi proovide pulbrist pressitud tabletid Brukeri eelkalibreeritud standardivaba meetodit kasutades. Nendest mõõtmistest saadi Cl- ja S-sisaldused. Pulberanalüüsi tulemused ülejäänud komponentidele korrigeeriti tuginedes võrdlusele sulatusmeetodil analüüsitud proovidega. Tulemused on esitatud protsentides kuivaine kaalust. Analüüsi täpsusest annavad ülevaate 2014. aasta laboritevahelise võrdluskatse tulemused (Tabel 3.3.3.2).

Tabel 3.3.3.2. Laboritevahelise võrdluskatse tulemused, milles osales 113 laborit. Sisaldused on protsentides

GeoPT35 Tonaliit, TLM-1			GeoPT35A Meresete, SdAR-1.		
	113 labori keskmine	Geoloogia Instituut XRF		113 labori keskmine	Geoloogia Instituut XRF
SiO_2	58,54	58,81	SiO_2	65,45	65,44
TiO_2	0,8307	0,840	TiO_2	0,560	0,565
Al_2O_3	17,29	17,47	Al_2O_3	11,83	11,83
Fe_2O_3 Σ	7,535	7,55	Fe_2O_3 Σ	6,448	6,42
MnO	0,1155	0,110	MnO	0,515	0,504
MgO	3,32	3,30	MgO	1,532	1,49
CaO	6,688	6,60	CaO	1,462	1,45
Na_2O	2,96	2,88	Na_2O	1,102	1,12
K_2O	1,639	1,63	K_2O	4,171	4,19
P_2O_5	0,1287	0,126	P_2O_5	0,1854	0,175
kk920 °C		0,66	kk920°C		4,74

3.3.3.6. Granulomeetrilise analüüsi metoodika

Setteproovide lõimise analüüsil määrati terrigeense materjali osakeste suuruseline jaotus. Selleks tuli setteproovide eeltöötluse käigus eemaldada proovidest orgaaniline ja karbonaatne aine.

Orgaanilise aine eemaldamiseks proovidest oksüdeeriti setteproove 30% vesinikülihapendiga (H_2O_2) umbes 8 tundi 80–90 °C juures. Seejärel proovid loputati mitu korda destilleeritud veega. Et setetes oli karbonaatset ainet vähe või puudus see sootuks, siis ettevalmistusetapp 10% soolhappega (HCl) jäeti ära. Samuti ei eemaldatud proovidest biogeenset silikaatset materjali, eelkõige ränivetikaid. Enne analüüsimist lisati proovidele 0,1% naatriumpürofosfaadi ($Na_4P_2O_7$ x 10 H_2O) lahust, et vältida väikeste osakeste kleepumist üksteise külge.

Granulomeetriliseks analüüsiks kasutati laserdifraktomeetrit Horiba Partica LA-950V2, mis määras proovis osakesed suurusvahemikus 10 nm kuni 2 mm (Foto 3.3.3.5). Seade töötab märgmõõtmissüsteemis, kas destilleeritud vee või etanooliga. Mõõtmine toimub kahe laseriga difraktsiooni meetodil. Valgusallikateks on 650 nm lainepikkusega laser ja 405 nm LED (*LightEmittingDiode*) valgusallikas. Signaali registreerib 87 detektorit. Tugev sinine LED valgusallikas ja vastavad detektorid võimaldavad registreerida tagasipeegelduvat valgust hästi suure nurga all ja seega mõõta väga väikeseid osakesi. Kahe laseri kooskasutamine võimaldab osakeste mõõtmist väga laias diapasoonis.



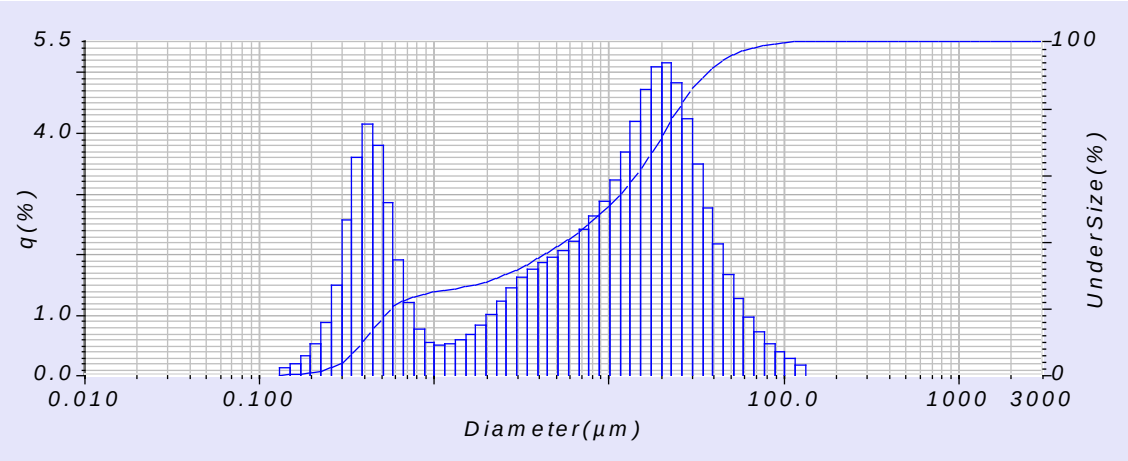
Foto 3.3.3.5. Granulomeetriline analüüs laserdifraktomeetril

Tabel 3.3.3.3. EVS standard 1997–2003. Alus: *Eurocode 7: geotechnical design – Part 1: General rules Indentification and description of soils*

Fraktsioon	Alafraktsioon	Osakeste suurus, mm
Rahnud		>200
Veerised		60-200
Kruusaterad	Kruusa jämeterad	20-60
	Kruusa keskterad	6-20
	Kruusa peenterad	2-6
Liivaterad	Liiva jämeterad	0,6-2
	Liiva keskterad	0,2-0,6
	Liiva peenterad	0,06-0,2
Mölliosakesed	Mölli jämeosakesed	0,02-0,06
	Mölli keskosakesed	0,006-0,02
	Mölli peenosakesed	0,002-0,006
Saueosakesed		<0,002

Seade töötab ühekordse mõõtmise/skaneerimise printsiibil kogu mõõtmisvahemiku ulatuses (10 nm – 2 mm), mille käigus määratakse osakeste sisaldus 93-s granulomeetrilises suurusklassis (Joonis 3.3.3.1). Mõõtmistulemuseks on osakeste mahu protsentuaalne jaotus suurusklassides. Seade arvutab automaatselt igale proovile terasuuruse aritmeetilise ja geomeetrilise keskmise, mediaani, moodi ja standardhälbe. Igast proovist tehti 2 kuni 3 mõõtmist ja võeti nende aritmeetiline keskmine.

Seadmega määratud suurusklassid summeeriti vastavateks granulomeetrilisteks klassideks vastavalt EVS standard 1997–2003 klassifikatsioonile (Tabel 3.3.3.3). Tulemused on esitatud fraktsioonide protsentuaalse sisaldusena ja peenemate fraktsioonide puhul on kasutatud nende enamlevinud nimetusi – saue asemel saviosakesed ja mölli asemel aleuriidiosakesed.



Joonis 3.3.3.1. Tüüpiline granulomeetriline jaotus Soome lahe setteproovides. Setteproov proovivõtupunktist 14 SL 11 (0–3 cm)

3.3.3.7. Sette mineraalse koostise määramise metoodika

Röntgendifraktsioon analüüs (XRD) teostati Brukeri D8 difraktomeetriga (Co-anoodiga röntgentoru, Lynxeye ribadetektor 190 kanaliga). 80 mg proovi (XRF analüüsiks jahvatatud pulbrit) peenestati täiendavalt käsiuhmris, segati piiritusega pastaks ja määriti laiali klaasalusele. Preparaatide XRD-kõverad skaneeriti nurkvahemikus 5 55 °2θ, seejärel analüüsiti neid TOPAS tarkvaraga, mis võimaldab Rietveldi meetodil määrata mineraalide sisaldusi proovis. Plagioklassi kaks erimit reaalselt XRD-kõveral ei eristu. Kahekomponendilises plagioklassi XRD-mudelis fikseeriti albiidi (*low albite*) võreparameetrid, eeldades, et see on proovis olemas. Teise komponendi võreparameetrite väärtused saadi mudeli sobitamisel mõõdetud kõverale ja need näitasid reeglipäraselt oligoklassi. Kahekomponendilist mudelit kasutati ka dolomiidi puhul (normaaldolomiit ja Ca-dolomiit), sest mõlemad on uuritud proovides olemas.

Proovist separeeriti sõelumise (0,04–0,1 mm) ja setitamisega (0,001–0,01 mm ja 0,01–0,04 mm) kolm erineva terasuurusega fraktsiooni, mida analüüsiti samal viisil. Setitamisajad arvutati Stokes'i valemist kvartsi tihedusega kerakestele, raskemate mineraalide (püriit, anataas) jaoks eraldi fraktsioonide piire ei arvutatud, kuid need on mõnevõrra väiksemad.

Mineraalide avastamispiirid XRD-meetodil on ühe protsendi suurusjärgus, tugevate refleksidega mineraalidel (anataas, kvarts, kaltsiit, dolomiit, püriit) on see alla ühe protsendi, päevakividel paar protsenti. Väikeste lisandmineraalide XRD-määrangud ligikaudu avastamispiiri tasemel on seega üsnagi ebakindlad. Suuremate sisalduste korral on XRD-analüüsi suhteline viga hinnanguliselt paarkümmend protsenti. XRD-meetod on siiski kõige lihtsam ja kiirem meetod sette mineraalse koostise uurimiseks. Käesolevas töös jäid XRD-

mudelist välja savimineraalid (illiit ja segakihilised) ning amorfne komponent (sealhulgas orgaaniline aine), nende summa hinnang saadi lahutamistehtega. Koos Soome lahe setteproovidega analüüsiti sama mudeliga ES1 tugiproovi (Kambriumi sinisavi Kunda karjäärist).

3.3.3.8. Setete dateerimismeetodid

Setete vanuse määramine on paleouuringute väga oluline osa. Ilma setete täpse vanuseta me ei tea, millisel ajal uuritavad setted moodustusid, millisel ajalõigul settekihtides täheldatavad sündmused aset leidsid ning samuti pole võimalik võrrelda setteanalüüside tulemusi vee kvaliteedi instrumentaalsete mõõtmistulemustega. Setete dateerimine on oluline setteläbilõigete analüüsimisel ning samuti selleks, et hinnata üleüldse settimiskiirust veekogus.

Käesolevas uuringus kasutati täpsema tulemuse saavutamiseks võimaluse korral samaaegselt mitut eri meetodit.

Kõige sagedamini kasutatakse nüüdisaegsete setete dateerimiseks plii loodusliku isotoobi Pb-210 radioaktiivsel lagunemisel (poolestusaeg 22,26 aastat) põhinevat metoodikat (Appleby, 2001). Sette Pb-210 üldaktiivsus koosneb kahest komponendist: settes sisalduva Ra-226 laguproduktina tekkivast “tasakaalulisest” Pb-210 fraktsioonist ning atmosfäärist pärinevast “mittetasakaalulisest” Pb-210 fraktsioonist. Vastavalt Pb-210 radioaktiivsele lagunemiskiirusele tähistab tasakaal Pb-210 üldsisalduse ja Ra-226 sisalduse vahel 150 aasta pikkust setete akumuleerumist. Settekihtide radiomeetrilised vanused arvutatakse erinevate mudelite abil, neist enamlevinud on CRS (*Constant Rate of Supply*) ja CIC (*Constant Initial Concentration*) mudelid (Appleby & Oldfield, 1978).

Võrdlusdateeringutena ja Pb-210-dateeringute korrigeerimiseks kasutati käesolevas töös peamiselt tuumakatsetustest pärinevate kunstlike radionukliidide Cs-137 ja Am²41 sisaldust setteläbilõigetes. Am²41 kõrgeim kontsentratsioon setteprofiilis markeerib atmosfääris läbiviidud tuumarelvade 1963. a katsetusi ning Cs-137 kõrgenenud sisaldused setteprofiili pinnakihtides tähistavad selle radionukliidi radioaktiivset sadestumist eelkirjeldatud tuumapommi katsetuste ja 1986. a. Tšernobõli tuumajaama tulekahju tagajärjel.

Setteprofiilide Pb-210, Ra-226, Cs-137 ja Am²41 analüüsid telliti Kopenhaageni Ülikooli geoteaduste ja loodusvarade majandamise osakonna gamma-dateerimise keskuse laboratooriumist (*Department of Geosciences and Natural Resource Management, The Gamma Dating Centre Copenhagen* (GDC)), kus radioaktiivsel lagunemisel eralduva gamma-kiirguse mõõtmiseks kasutati Canberra germaanium-detektorit. Külmkuivatatud proovidest mõõdeti Pb-210 tema gamma-maksimumist energiatasemel 46,5 keV, Ra-226 mõõdeti tema tütarisotoobi Pb-214 maksimumidest energiatasemel 295 ja 352keV ning Cs-137 mõõdeti tema gamma-maksimumist energiatasemel 661keV. “Mittetasakaalulise” Pb-210 aktiivsus määrati igas proovis Ra-226 aktiivsuse lahutamisel Pb-210 koguaktiivsusest.

3.4. Paleomeetod fooniliste sisalduste määramiseks

Paleomeetod veekogude uurimises kujutab endast uurimissuunda, kus analüüsitakse setteläbilõikeid (võivad olla moodustunud viimase sajandi või tuhandete aastate jooksul), dateeritakse nende vanus ja hinnatakse setetes salvestunud informatsiooni põhjal veekogus asetleidnud muutusi. Tänu setetes säiluvatele mikroskoopilistele organismidele või nende jäänustele ning setete keemilisele koostisele on setted looduslikuks arhiiviks, kuhu talletub teave looduslike, klimaatiliste ja inimtekkeliste protsesside kohta nii veekogus endas kui ka tema valgalal. Muutused veekogus võivad olla looduslikud, põhjustatud kas kliima- või keskkonnatingimuste muutumisest (nt Läänemeres soolsuse perioodiline muutumine), kuid viimastel sajanditel on üha olulisemaks muutunud inimese poolt põhjustatud muutused veekogude seisundis. Selle üheks olulisemaks tagajärjeks ja keskkonnaprobleemiks on osutunud inimese poolt põhjustatud veekogude eutrofeerumine ning vee kvaliteedi üleüldine langus, mille on tinginud põllumajandusest, tööstuslikest heitmetest ja olmeheitvetega veekokku kantud liigne hulk toitaineid.

Tänapäeval pööratakse üha rohkem tähelepanu veekogude majandamisele ja inimese poolt rikutud veekogude taastamisele. Edukas majandamine eeldab veeökosüsteemi funktsioneerimise tundmist ja inimmõju-eelse situatsiooni (keskkonnatingimuste) teadmist, selleks et seada realistlikud eesmärgid veekogude parendamiseks. Et teada saada, milline oli veekogu looduslähedane, intensiivsest inimmõjust veel puutumata seisund, ongi vajalikud paleouuringud, sest olemasolevad instrumentaalsed andmeread (veekogude monitooring) Eestis tavaliselt nii kaugele minevikku ei ulatu, kui veekogud olid veel looduslähedases seisundis. Euroopa Parlamendi ja Nõukogu veepoliitika raamdirektiivi (VRD) nõuete kohaselt (Directive…, 2000), mis sätestas liikmesriikidele eesmärgi saavutada veekogude “hea seisund” hiljemalt aastaks 2015, oli järvede seisundi määratlemise aluseks just eri tüüpi veekogude nüüdisolukorra võrdlemine foonitingimustega, st looduslähedase, intensiivsest inimmõjust veel puutumata seisundiga. Selleks kasutati paljudes Euroopa Liidu liikmesriikides, näiteks Suurbritannias (Bennion *et al*, 2003; 2004; 2005), Saksamaal (Schönfelder *et al*, 2002), Taanis (Bradshaw *et al*, 2002; 2003; Amsinck *et al*, 2003), Rootsis (Bradshaw, Anderson, 2001), Soomes (Kauppila, 2002; Miettinen *et al*, 2005; Räsänen *et al*, 2006) ja ka Eestis (Heinsalu, Alliksaar, 2005; 2009) paleolimnoloogilisi uuringuid. Ka Euroopa Parlamendi ja Nõukogu merestrateegia raamdirektiiv (MSRD) näeb ette kasutusele võtta vajalikud meetmed, et saavutada või säilitada mereakvatooriumis hea keskkonnaseisund hiljemalt aastaks 2020. Nii nagu siseveekogude, nii ka mere puhul võiks veekogu „hea seisund“ olla määratletud foonitingimustega e looduslähedase, intensiivsest inimmõjust veel puutumata seisundiga, mida saab taastuletada paleouuringutega, analüüsides meres toimunud keskkonnaseisundi muutusi viimase paarisaja aasta lõikes.

4. Tulemused

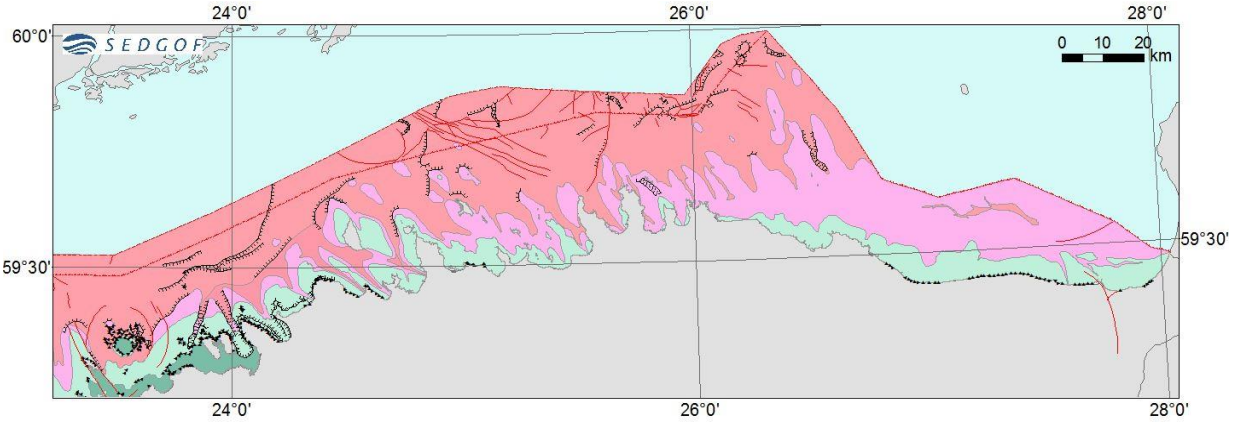
4.1. Soome lahe geoloogilised andmekihid (kaardid)

4.1.1. Aluspõhja geoloogiline kaart

Soome laht asub otse Balti kilbi ja Ida-Euroopa platvormi piiril. Sellest lähtuvalt on lahe aluspõhja põhjapoolne osa ühekorruselise ja lõunapoolne kahekorruselise ehitusega. Alumise korruse moodustab kristalne aluskord, mis koosneb paleoproterosoilistest, *ca* 1900–1800 Ma eest Svekofenni orogeneesi käigus moodustunud lauskurrutatud ja migmatiidistunud moondekivimeist. Moondekivimeid läbistavad paleo- ning mesoproterosoilised (*ca* 1670–1540 Ma) mäetekkejärgsed tardkivimid (rabakivid). Aluskorral lasub suure ajalise (*ca* 900 Ma) lüngaga monoklinaalselt hilisproterosoilistest ja varapaleosoilistest settekivimeist koosnev kate (settekivimiline pealiskord). Mõlemad struktuursed korrused on tektooniliselt tugevasti rikutud, kuid erinevalt alumisest, ei ole ülemine allunud kurrutusele ega moondele.

Regionaalses plaanis asub kaardistamisala Balti (Fennoskandia) kilbi lõunanõlval. Ala põhja- ja keskosas avanevad Kvaternaari setete all aluskorra kivimid, mis ranniku eel on kaetud Kambriumi terrigeensete ja Ordoviitsiumi valdavalt karbonaatsete settekivimitega (Joonis 4.1.1.1).

Kaardil on kujutatud Soome lahe aluspõhjakivimite (setendite) erivanuseliste komplekside (ladestikud ja ladekonnad) avamused. Ladestike eristamise aluseks on olnud kivimeis leiduvate kivististe koosluses aset leidnud muutused, st ühtede või teiste liikide ilmumine või kadumine. Viimased peegeldavad omakorda olulisi muutusi regiooni geoloogilises arengus. Üldiselt ühtivad litostratigraafilise üksuse piirid kivimilise muutuse tasemega, kuid seda mitte alati (Joonis 4.1.1.2).



Joonis 4.1.1.1. Soome lahe aluspõhja geoloogia

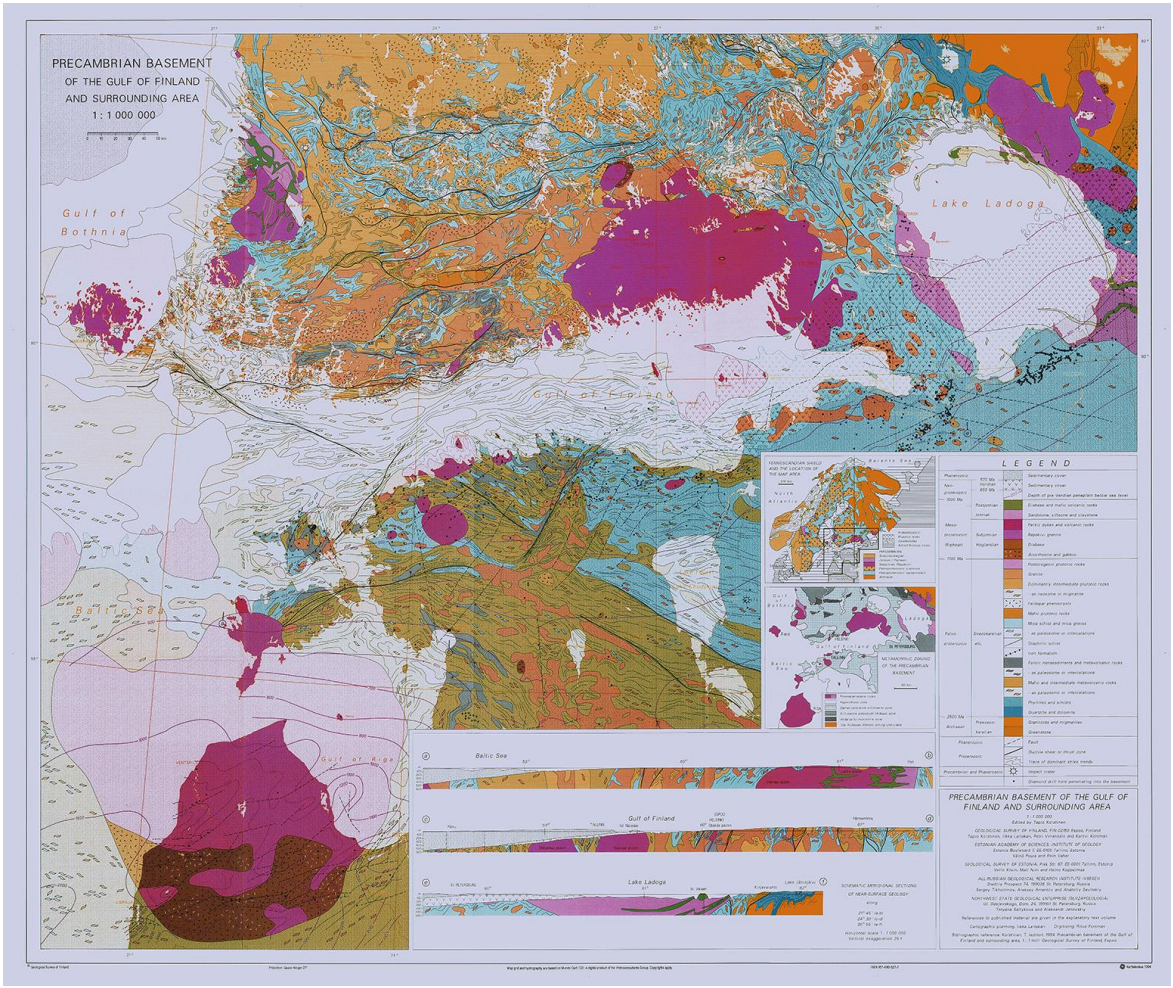
LADESTU *System*	LADESTIK *Series*	LADE *Stage*	LITOSTRATIGRAAFILINE ÜKSUS *Lithostratigraphical unit*		INDEKS *Index*	AVAMUS MEREPÕHJAS *Outcrop on sea bottom*	KIVIMI KIRJELDUS *Rock description*
KVATERNAAR *QUATERNARY*					Q	Q	Kvaternaari setted (ainult läbilõigetel) *Quaternary deposits (only on cross-sections)*
ORDOVIITSIUM *ORDOVICIAN*	KESK- *MIDDLE*	UHAKU	KÕRGEKALDA		O_2kr	O_2 lubjakivid	Savikas lubjakivi *Argillaceous limestone*
		LASNAMÄE	VÄO		$O_2vä$		Lubjakivi *Limestone*
		ASERI	KANDLE		O_2kn		Ooidlubjakivi *Ooid-limestone*
		KUNDA	PAKRI	LOOBU	O_2pk | O_2lb		Liivalubjakivi, lubjakivi *Sandy limestone, limestone*
		VOLHOVI	TOILA		$O_{1-2}tl$		*Glaukoniitlubjakivi Glauconite limestone*
		BILLINGENI					
		HUNNEBERGI	LEETSE		O_1lt	Ca+O_1 liivakivid, savid	Glaukoniitliivakivi *Glauconite sandstone*
		PAKERORDI	TÜRISALU		O_1tr		Maarjaskilt *Alum shale*
KAMBRIUM *CAMBRIAN*	FURONG *FURONGIAN*		ÜLGASE, TSITRE, KALLAVERE		$Ca_3ül$-O_1kl		Oobolusliivakivi *Obolus sandstone*
		DOMINOPOLI	TISKRE		Ca_1ts		Pisiteraline kvartsliivakivi *Fine-grained quartzose sandstone*
			LÜKATI		Ca_1lk		Sinisavi liivakivi vahekihtidega *Blue clay with interbeds of sandstone*
		LONTOVA	LONTOVA		Ca_1ln		Sinisavi, liivakivi *Blue clay, sandstone*
EDIACARA (VEND) *EDIACARAN (VENDIAN)*	VALDAI	KOTLINI	KROODI	VORONKA	V_2vr	V_2 liivakivid, aleuriidid, savid	Liivakivi, aleuriitne savi, savi *Sandstone, silty claystone*
				KOTLINI	V_2kt		Liivakivi, aleuroliit, savi *Sandstone,* siltstone, claystone
				GDOVI	V_2gd		Liivakivi, aleuroliit, savi *Sandstone, siltstone, claystone*
MESOPROTEROSOIKUM *MESOPROTEROZOIC*					MP	MP	Rabakivi *Rapakivi*
PALEOPROTEROSOIKUM *PALEOPROTEROZOIC*			LÄÄNE-EESTI		PP	PP	Moondekivimid: gneisid, migmatiidid, amfiboliidid jt *Metamorphic rocks: gneisses, migmatite, amphibolite etc*
			TALLINNA				
			ALUTAGUSE KOMPLEKS				

Joonis 4.1.1.2. Aluspõhja stratigraafiline tabel

Aluskord

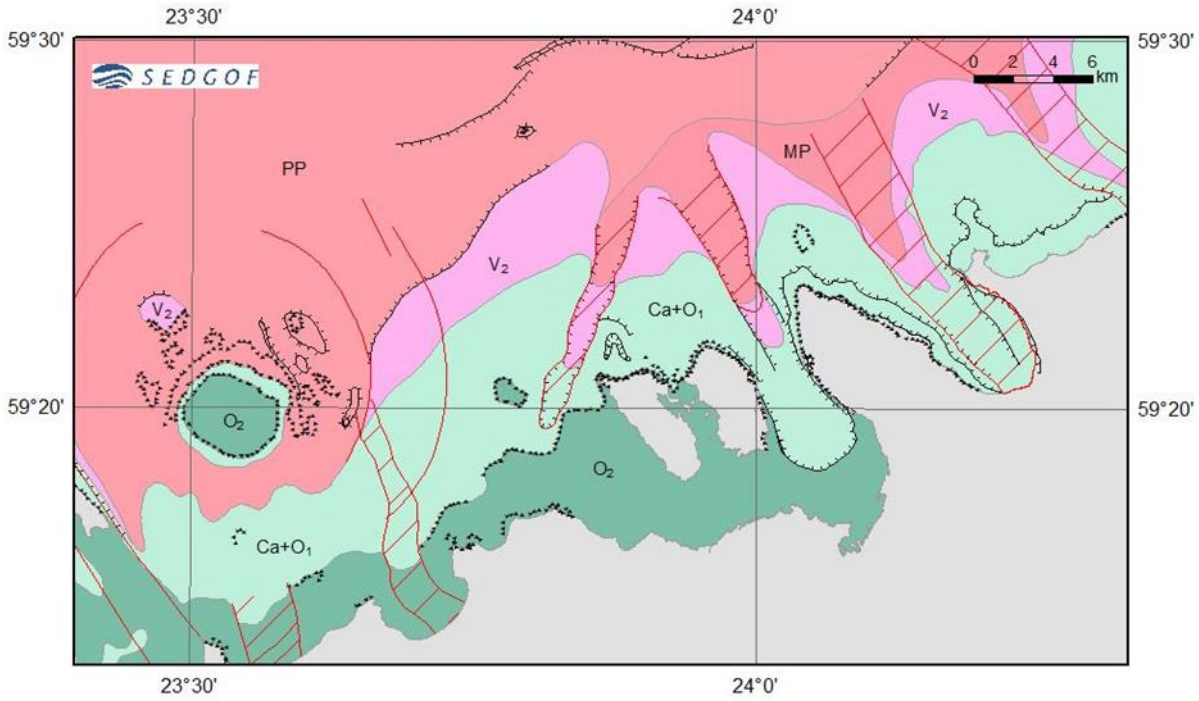
Kristalne aluskord avaneb Eesti majandusvööndi piires Soome lahe lääne- ja põhjaosas (Joonis 4.1.1.3). Põhiliselt Paleoproterosoikumis Svekofenni orogeneesi käigus formeerunud moondekivimeist koosneva maakoore paksus Soome lahe piirkonnas on 40–60 km. Lõunosas avaneb aluskord kohati paksu (100 ja enamgi meetrit) Kvaternaari setetest katte all mõningate Põhja-Eesti mattunud orgude (Harku, Kolga, Ülemiste, Pärispea jne) suudmealade põhjas ja üksikutel Soome lahe saartel (Prangli, Keri, Vaindloo jne). Soome lahe suudmealal paljandub aluskord Neugrundi madala piirkonnas (Joonis 4.1.1.4). Seal paljanduvad tugevasti purustatud (bretšastunud) kristalse aluskorra kivimid madala, 15–50 m paksuse veekihi all samanimelise, ligi 20 km-se läbimõõduga rõngasstruktuuri (meteoriidikraatri) ringvalli harjal. Soome lahe lõunaosa kristalse aluskorra moodustavad Paleoproterosoilise ladekonna (Orosirian 1.88–1.98 Ga) erinevate metamorfsete kivimite ja intrusioonidega (Statherian 1.62–1.67 Ga) (Kirs jt, 2009). Aluskorra moodustavad Jägala kompleksi sillimaniit-kordieriit ja biotiitgneisid, samuti happelised, keskmised ja aluselised metavulkaniidid, ning leikokraatsed gneisid (Puura, Floden, 1997). Intrusiivsete kivimitena esinevad Naissaare ja Neeme rabakivimassiivid, milles esinevad homogeense struktuuriga porfüürilised rabakivigraniidid.

Maardu massiivis esineb peenekristallilises rabakivigraniidis õhemaid (mõnikümmend cm) ja paksemaid (mõnikümmend m) apliitseid sooni.



Joonis 4.1.1.3. Kristalse aluskorra skemaatiline kaart (Koistinen, 1996)

Kristalne aluskord on allunud ulatuslikule denutatsioonile Ediacara-eelsel ajal ja seetõttu kaetud 1–20 m paksuse murenemikoorikuga, mis puudub settelise pealiskatteta aladel. Aluskorra paljandid merepõhjas kujutavad endast enamasti silekaljusid (*roche moutonnée*). Aluskorra suhteliselt tasasele pealispinnale on üldiselt omane väike (2–4 m kilomeetri kohta) lõunasuunaline kallakus. Neugrundi meteoriidikraatri (impaktstruktuuri) piirkonnas on aluskorra reljeef Alam-Kambriumis *ca* 535 Ma aset leidnud meteoriidiplahvatuse tagajärjel tugevasti muutunud. Impaktbretšade ja plahvatusejärgsete settekivimitega täidetud *ca* 500 m sügavust kraatrisüvikut ümbritseb kuni 7 km läbimõõduga kraatrivall, mille piires kerkivad meteoriidiplahvatusest tugevalt mõjutatud aluskorra kivimid kuni 15–30 m sügavuseni veepinnast. Ringvalli ümbritseb kuni 5 km laiuse vööna nn dislokatsioonide vöönd, mille piires kristalse aluskorra kivimitest hiidpangased kerkivad aluskorra pinnast sadakond meetrit ja enamgi ülespoole.



Joonis 4.1.1.4. Neugrundi madala piirkond

Kristalse aluskorra kivimikompleksid, välja arvatud rabakivi plutoonid, on kaardiala piires selgepiiriliselt liigestamata. Usaldusväärsed kaardistamisandmed selles osas tänaseks puuduvad, mistõttu kaardil ei ole ka esile toodud aluskorra litoloogilist ja struktuurset liigestust. Eesti maismaal läbiviidud süvapuurimised ning uuringud kaudsete meetoditega (magnetomeetrilised, gravimeetrilised ja seismilised uuringud) võimaldavad siiski mingil määral tõlgendada ka Soome lahe kohal läbiviidud magnetomeetriliste uuringute tulemusi. Analoogia põhjal maismaal kaardistatud struktuuridega võib eeldada, et kaardistusala piires on aluskorra Paleoproterosoikumi-vanuselistes kivimites vähemal või rohkemal määral esindatud neli struktuurilis-fatsiaalset vööndit (Puura, Floden, 1997):

1. Tallinna struktuurilis-fatsiaalne vöönd on esindatud Jägala kompleksiga, mis koosneb metavulkaniitidest ja metasedimentidest ning vähesel määral ka sulfiid-grafiitgneissidest ning magnetiitkvartsiitidest. Nimetatud kompleks hõlmab uuringuala keskosa. Jägala kompleksi kivimid on kujunenud amfiboliidifaatsiese tingimustes ning on migmatiidistunud plagioklass-mikrokliingraniitidega (Koppelmaa, Kivisilla, 1998).
2. Alutaguse struktuurilis-fatsiaalne vöönd levib ala ida- ja kirdeosas, põhiosa kivimitest moodustavad siin vilgugneisid (alumiiniumirikkaid tumedaid mineraale – kordieriiti, granaati ja sillimaniiti sisaldavad gneisid).
3. Lääne-Eesti vöönd ulatub uuringuala lääne- ja loodeossa. Sellele vööndile on iseloomulik tugevate jooneliste magnetanomaaliate esinemine, mis Tallinna vööndi piiri suhtes on sageli orienteeritud väikese nurga all. Lääne-Eesti vöönd on esindatud peamiselt amfiboolgneisside ning amfiboliitidega, kohati ka biotiit-plagiogneisside ning kvarts-päevakivigneissidega. Kivimite metamorfismiaste on siin kõrge, vastates kohati isegi granuliidifaatsiesele (Koppelmaa, Kivisilla, 1998).

4. Piiratud alal kaardiala idaosas, vahetult Jõhvi linnast põhja pool rannikuäärses akvatooriumis levivad ka Jõhvi struktuurse vööndi granuliitse faatsiese tugevasti moondunud kivimid. Kaardialal nad erosioonilõikes ei avane. Kompleks on esindatud nii pürokseen- ja kvarts-päevakivigneissidega kui ka kvartsiitidega. Viimased sisaldavad märkimisväärsel hulgal magnetiiti, võimalikku tööstuslikku huvi pakkuvad rauamaagi ilmingud lasuvad siiski maismaa piires.

Väga tugevasti kurrutatud ja rikutud Paleoproterosoikumi kivimeid läbistavad teadaolevalt vähemalt kaks Mesoproterosoikumi-aegset rabakivigraniitide plutooni – Neeme ja Naissaare. Neist viimane avaneb ilmselt Naissaare edelaosa ja ranniku vahelisel alal. Kogu tugevasti kurrutatud aluskord on olulisel määral graniidistunud ja migmatiidistunud.

Pakri saarte ja Viimsi poolsaare vahemikku jääb Naissaare rabakivimassiiv, mis vanuseliselt jääb Paleoproterosoikumi Statheriani ajastusse (1,67–1,62 Ga) ja on esindatud porfüürilaadsete kaaliumpäevakivigraniitidega. Need koosnevad enamasti kvarts-plagioklass-kaaliumpäevakivi keskmisekristalsest põhimassist, milles eristuvad suured (1–5 cm läbimõõdus) kaaliumpäevakivi (mikrokliini) fenokristallid.

Settekivimiline pealiskord

Hilisproterosoilistest (Ediacara) ja varapaleosoilistest (Kambrium ja Ordoviitsium) settekivimitest koosnev pealiskord lasub suure ajalise lünga (*ca* 1 miljard aastat) ja põiksusega kristalsel aluskorral. Pealiskorra kivimid puuduvad eelmises peatükis kirjeldatud aluskorra avamuse aladel. Ülejäänud alal levivad Kambriumi ja Alam-Ordoviitsiumi terrigeensed ning Kesk-Ordoviitsiumi karbonaatsed kivimid. Pealiskorra avamused on üldjoontes üksteisega rööpsed, kopeerides rannajoont ning aluskorda lõikunud mattunud orgude konfiguratsiooni. Kivimid on monoklinaalses lasumuses, kihtide kallakusega 2–4 m kilomeetri kohta lõuna poole. Üksnes tektooniliste rikete (Osmussaare, Põõsaspea) piirkonnas ja Neugrundi kraatri ringmurranguga ümbritsetud alal esineb sellest märgatavaid kõrvalekaldeid. Kuigi pealiskorra kivimid on selgelt rikutud mitmete tektooniliste murrangute ja riketega, ei ole nad allunud kurrutusele, mistõttu ka kaardialal põhjast lõunasse liikudes avanevad järjest nooremad kivimid. Neugrundi meteoriidikraatri ringmurrangust seespool on kõik plahvatusalused settekivimid, sh Alam-Kambriumi terrigeensed setted, tugevasti dislotseerunud. Seda kinnitavad nii Osmussaare puuraugu läbilõige kui ka seismoakustilise pidevsondeerimise profiilid.

Märkimisväärseks piiriks settekivimilises pealiskorras on Ediacara Kotlini ja Vara-Ordoviitsiumi Lontova lademe ning Vara-Ordoviitsiumi Hunnebergi ja Billingeni lademe vaheline piir. Neist esimene markeerib Ediacara madalaveelise terrigeense sedimentatsiooni asendumist sügavamaveeliste savikamate settekivimitega ning teine terrigeense sedimentatsiooni asendumist karbonaatsega.

Kuna andmed pealiskorra ehituse kohta on kogutud peamiselt kaudsete meetoditega (seismilised ja seismoakustilised uuringud), siis on kaardialal pealiskord jagatudki nimetatud piiride põhjal kolmeks üksuseks: Ediacara liivakivid, Kambriumi ja Vara-Ordoviitsiumi savid, aleuroliidid ja liivakivid ning Kesk-Ordoviitsiumi karbonaatsed setted. Seejuures levivad

viimased vaid kaardiala lääneosas Paldiski poolsaarest läänes, vahetult ranniku ääres 2–5 km laiuse ribana ning Neugrundi keskplatool. Avamus on keskmisest laiem Pakri saarte ning Osmussaare piirkonnas, ulatudes vastavalt 8–10 km-ni.

Kambriumi ja Vara-Ordoviitsiumi kompleks on samuti kõige ulatuslikuma levikuga ala lääneosas. Levila laius ulatub Osmussaare piirkonnas 20 km-ni. Pakri poolsaarest ida pool ühtib selle kompleksi levila kaardiala piires tema avamusalaga. Avamus kitseneb üha ida poole liikudes ning sisuliselt suidub välja Juminda poolsaare läänekaldal. Sealt ida poole kuni Vainupea neemeni on avamus sporaadiline, maksimaalse laiusega kuni 1 km. Sealt edasi ida poole levib kompleks jällegi küllaltki laia ja ühtlase, rannikuga paralleelse ribana, mis ida suunas laieneb, saavutades Lüganuse piirkonnas maksimaalse laiuse, ligikaudu 8 km.

Ediacara terrigeensed kivimid levivad kogu kaardistatud ala piires, jäädes paleoproterosoiliste kivimite avamuse ja ranniku vahelisele alale, avamus on kristalsete kivimite ning Kambriumi ja Vara-Ordoviitsiumi kompleksi avamuse vahel. Aserist vahetult lääne pool, Uhtju saarte piirkonnas, on selle avamuse maksimaalne laius kuni 25 km. Ida poole liikudes avamuse laius väheneb, jäädes Juminda poolsaarest ida pool juba valdavalt alla 10 km ning alates Viimsi poolsaarest ei ületa see reeglina 1,5 km (üksikutes kohtades kuni 3 km). Neugrundi kraatri piirkonnas on aluskorra kivimid meteoriidi löögi tõttu tõstetud valliks ning Ediacara avamus siin praktiliselt puudub. Pealiskorra üldist monotoonsust liigestavad peale tektooniliste rikete ka mitmed ürgorud ning Ordoviitsiumi veealune astang. Markantseteks reljeefielementideks on Neugrundi keskplatood ümbritsev ringkanal ning kraatrivalli nõlvad.

Ediacara ladestu (Vendi kompleks)

Ediacara ladestu avamusala kulgeb üle Soome lahe lõunaosa. Soome lahe idaosas on ladestu esindatud Gdovi, Kotlini ja Voronka kihistuga. Gdovi kihistu on vanim settelise pealiskorra basaalse ala moodustis Eestis. Ediacara ladestu kivimid on esindatud valdavalt nõrgalt kuni keskmiselt tsementeerunud liivakividega, milles on erineva paksusega kirjuvärviliste (punane-pruun-kollane-hall) savika aleuroliidi ja aleuroliidi vahekihte. Seismoakustiliste profiilide alusel võib Väike-Tütarsaare ja Mandri-Eesti vahelisel alal Gdovi kihistu paksus ulatuda 40–46 meetrini. Lääne pool Maardut ehk seal, kus Gdovi ja Voronka kihistut eraldav Kotlini kihistu laminariitsavi lasund välja kiildub, on valdavalt nõrgalt tsementeerunud kvartsliivakividest koosnevat 50–60 m paksust lasundit hakatud praktilistest eesmärkidest lähtuvalt käsitlema ühtse Kroodi kihistuna.

Kambriumi ladestu

Kambriumi ladestu purdkivimid lasuvad Ediacara ladestu kivimitel stratigraafilise lüngaga. Kambriumi ladestu moodustavad Alam-Kambriumi ladestiku (paksus ca 100 m) savid, aleuroliidid ja liivakivid. Ladestu kivimid avanevad Ida-Eestis klindieelsel, kuni 6 km laiusel nn Kambriumi terrassil. Alam-Kambriumi ladestiku piires võib Soome lahe lõunaosas eristada Lontova ja Lükati kihistut ühendavat ja kuni 80 m paksust sinisavilasundit.

Lontova kihistu on alal umbes 70 m paksune ja see hõlmab enamuse piki klindiastangut kulgeva Alam-Kambriumi ladestiku avamusalast. Soome lahe suudmealal on Lontova kihistu oma leviala läänepiiril ja liivakivi-aleuroliidi kihtide osakaal kihistus tõusnud pea 50%-ni. Siitpeale asendub Lontova kihistu Voosi kihistuga.

Lükati kihistu, mis kuulub Dominopoli lademesse, koostises valdab sinisavi, milles on aleuroliidi ja liivakivi vahekihte. Lükati kihistu on alal 10–15 m paksune. Kihistu avaneb enamasti kitsa vööna Kambriumi terrassi jalamil. Lükati kihistu on esindatud enamasti rohekashalli aleuriidika saviga – sinisaviga (60–70%) ja selles on kihiti nii glaukoniiti sisaldava tugevasti tsementeerunud kvartsliivakivi (Lükati liivakivi) kui ka peenteralise nõrgalt tsementeerunud kvartsliivakivi erineva paksusega vahekihte. Liivakivikihid on koondunud enamasti kihistu alaossa. Kivimiliste iseärasuste kõrval on kihistu diagnostiliseks tunnuseks foraminifeeri *Volborthella tenuis* koonusjate, 1–2 mm läbimõõduga kodade esinemine.

Tiskre kihistu kuulub samuti Dominopoli lademesse ja selle avamused on seotud enamasti Kambriumi terrassiga või siis klindiastangu jalamiga. Tiskre kihistus on valdavaks (kuni 80%) helehall peeneteraline kvartsliivakivi, milles esineb, seda eriti kihistu alaosas, rohekashalli glaukoniiti sisaldava savika aleuroliidi vahekihte.

Ordoviitsiumi ladestu

Ordoviitsiumi ladestu kivimid levivad Soome lahe lääneosas, Pakri poolsaarest lääne pool. Ladestu avamusala kulgeb paari- kuni kümnekonna kilomeetri laiuse vööndina Balti klindi Ordoviitsiumi (pae-) astangu jalamil nii maismaal kui merepõhjas, jälgides üldjoontes rannajoone konfiguratsiooni. Suurem osa avamusest jääb veealuse klindiplatoo äärele ja üksnes väike (sadakond meetrit) osa selle jalamile. Kahe eraldiasetseva jäänuksaarena esinevad Ordoviitsiumi ladestu setendid Krassi madalal ja Neugrundi keskplatool.

Ordoviitsiumi kivimid moodustavad pideva ülemineku Kambriumi kivimitele, sest Kambriumi ja Ordoviitsiumi piir kulgeb ühetaolises oobolusliivakivide lasundis ning on määratav üksnes puudulukuliste brahhiopoodide liigilise koostise alusel. Põhiliselt karbonaatkivimidega esindatud ladestu on uuritaval alal esindatud põhiliselt Kesk-Ordoviitsiumi ladestikuga. Ladestu stratigraafiline ulatus on Billingeni lademest kuni Uhaku lademeni. Ladestu maksimaalne paksus esineb Neugrundi süvikus (*ca* 50 m) (Suuroja jt, 1999).

Läbilõige algab alt üles liikudes Kallavere kihistu hallide pisi- ja peeneteraliste puudulukuliste brahhiopoodide kodasid ja nende purdu sisaldavate kvartsliivakividega (kuni 5 m), millel lasub tumepruun maarjaskilt (diktüoneemakilt) (kuni 6 m) ja selle peal omakorda eriteraline roheline glaukoniitliivakivi (kuni 5 m). Kõrgemal koosneb Ordoviitsiumi läbilõige karbonaatkivimitest – lubjakividest, merglitest, dolomiitidest.

Toila kihistu kuulub valdavalt Billingeni lademesse js see paljandub ka Väike-Pakri põhjaosa klindiastangus kuni 6 km ulatuses 1–1,2 m paksuse kihina. Kihistu on alal esindatud kõva helehalli glaukoniiti sisaldava õhukese- kuni keskmisekihilise lubjakiviga, milles on allpool helerohelise mergli vahekihte. Glaukoniit (u 5%) on jaotunud intervalli piires üsnagi ühtlaselt. Loobu kihistu on esindatud halli, puhta kuni nõrgalt savika, pisi- kuni peenekristallilise, detriidika kuni detriitja lainjalt keskmisekihilise lubjakiviga. Viimane on kohati

dolomiidistunud. Loobu kihistus on rohkesti konarpindseid fosfaatseid katkestuspindu ja peajalgsete (nautiloidide) kivistisi. Kihistu alumisel piiril on enamasti tugeva fosfaatse impregnatsiooniga tasane katkestuspind.

Pakri kihistu asendab Soome lahe lääneosas Loobu kihistut. Pakri kihistu on esindatud pruunikashalli lainjalt keskmisekihilise liivaka lubjakiviga, milles kerogeenika pruunikashalli kergelt liivaka mergli vahekihid. Kihistu stratotüüp asub Väike-Pakri saare klindiastangus. Pakri poolsaare klindiastanguis on Pakri kihistu lubjakivis täheldatud üksikuid, kuni 10 cm paksusi subvertikaalseid lubiliivakivi-täitelisi sooni – nn settesooni või klastilisi daike. Nende esinemissagedus ja paksus näib suurenevat lääne suunas.

Kandle kihistu, mida on käsitletud ka kui Aseri lademesse kuuluvat Aseri kihistut, paksus alal on 0,1–0,5 m. Kihistu kivimiks on hall raudooide sisaldav nõrgalt kuni keskmiselt savikas lubjakivi. See avaneb enamasti klindi Ordoviitsiumi astangus. Kihistu alumisel piiril on enamasti tugeva fosfaatse impregnatsiooniga uuretega katkestuspind.

Väo kihistu, mille paksus alal on 6–7 m, kuulub Lasnamäe lademesse. Kihistu on esindatud valdavalt detriitja kuni detriitse, pisi- kuni mikrokristallilise, keskmise- kuni paksukihilise kõva valkjashalli lubjakiviga, milles on rohkesti merglikelmeid ja stüloliitpindu. Samuti on kihistus hulganisti (üle 20) nõrga fosfaatse impregnatsiooniga lainjaid katkestuspindu. Lasnamäe lademe lubjakivile on iseloomulikud 5–10 cm kõrgused 1–2 cm läbimõõduga vertikaalsed ussikäigud. Värskelt on need käigud, mille puhul on tegu dolomiidistunud lubjakiviga, tumehallid ja porsudes muutuvad nad pruunikaks.

Kõrgekalda kihistu, mille lääne suunas vähenev paksus on 2–3 m, kuulub Uhaku lademesse. Kihistu avamusala kulgeb piki klindiastangu äärt. Kõrgekalda kihistu lubjakivi eristub nii lamamist kui lasumist suurema savikuse ja katkestuspindade iseloomu poolest: kui Väo kihistus on valdavaks fosfaatsed katkestuspinnad, siis Kõrgekalda kihistus on need valdavalt püriitsed.

4.1.2. Kvaternaari setete kaart

Kvaternaari setete kaart on suuremalt osalt koostatud aastatel 1989–1994 toimunud väikesemõõtkavaliste (1 : 200 000) kaardistamistööde andmetel (Talpas jt, 1989; 1994; Moskalenko, 1990). Rannikulähedases osas on kaardi koostamisel kasutatud suuremõõtkavalise (1 : 50 000) Eesti geoloogilise baaskaardi andmestikku.

Kvaternaari setted katavad merepõhja peaaegu kogu Soome lahe Eesti majandusvööndi osas. Aluspõhi paljandub piiratud aladel Naissaarest ida pool ja Neugrundi kraatri vallidel. Enamikul juhtudel on merepõhi kaetud erineva litoloogilise koostisega Holotseeni setetega, Ülem-Pleistotseeni viimase jäätumise moreeni ja hilisjääaja jääjärvesetetega. Vanemate Pleistotseeni setete levik on piiratud, neid on siiani avastatud peamiselt saartel puuritud puursüdamikes (Prangli, Naissaar, Aksi, Väike-Tütarsaar jt) ja Juminda poolsaare ning Naissaare vahelisel alal paiknevate veealuste vooretaoliste moodustiste koostises. Viimastes võib pleistotseenisetete paksus ületada 100 m (Lutt, Raukas, 1993). Kesk-Pleistotseeni setted kaardialal ei avane.

Aluspõhjalised kõvikud. Rannikulähedastel erosioonialadel avanevad pealiskorra karbonaatsed ja terrigeensed kivimid, kaardi keskosas Eesti riigipiiri ja majandusvööndi vahelisel alal ning Neugrundi kraatri vallidel ka aluskorra kristalsed kivimid. Aluskorra kristalsetest kivimitest kõvikuid leiame kaardilehe keskosast, rannikust 25–30 km kaugusel, viirsavide või merelise muda levikualal, kus nad esinevad ebakorrapärase kujuga gruppidena. Kõvikute esinemissagedus suureneb kaardialast põhja poole liikudes, asendudes lausalise kristalse aluskorra avamusega.

Aluspõhja kivimid paljanduvad kuni 2 km laiuse klindiesise Kambriumi terrassina ida–läänesuunaliselt katkendliku vööndina kaardiala idaosas vahetult ranniku lähistel, Kohtla-Järve joonelt kuni Sillamäeni. Väiksemad aluspõhja paljandid on teada kaardilehe lääneosas Paljassaare ja Kakumäe piirkonnas. Ulatuslik karbonaatsete ja terrigeensete aluspõhja kivimite paljandid on seotud Balti klindi Läänemere klindiosaga Pakri poolsaarest idas, Pakri saarte ja Osmussaare rannikul ning Neugrundi ja Krassi madalatel. Kaardiala keskosas pealiskorra kõvikud praktiliselt puuduvad.

Kesk-Pleistotseeni setted, peamiselt moreen ja sellega seotud liustikujõesetted, kuuluvad Ugandi kihistusse. Ugandi kihistu setted lasuvad otse aluskorral. Neiks seteteks on hallikaspruun, tardkivimite veeriseid sisaldav moreen, ebaselge varvilise tekstuuriga pruunikas jääjärvesete ja kollakashall kruusa ning veeriseid sisaldav liustikujõeliiv, mille lasumiks on varviline savi. Seismoakustilise pidevsondeerimise andmeil levivad Ugandi kihistu setted veealuste madalike (Kuradimuna, Tallinna madal jne), samuti Prangli, Keri, Naissaare jt saarte tuumikuis. Kihistu lamam asub tavaliselt 100–115 m, lasum aga 75–90 m allpool merepinda. Seega võib Ugandi kihistu setete paksus merepõhjas ulatuda 40 meetrini (Lutt, Raukas, 1993). Kaardialal Kesk-Pleistotseeni setted ei paljandu.

Ülem-Pleistotseeni setted on esindatud Prangli kihistu jäävaheaja mereliste setetega ning Järva kihistusse kuuluvate viimase jääaja moreeni ja teiste jäätekkeliste setetega. Prangli kihistu setteid on leitud Soome lahe saarte (Prangli, Aksi, Malusi ja Rammu) veealustel nõlvadel, samuti mitme veealuse madaliku, näiteks Kuradimuna, piires. Ka Põhja-Uhtjul ja Väike-Tütarsaarel moodustavad pinnakatte alumise, vahetult aluspõhjal lasuva osa üsna paksud (kuni 33 m) Prangli kihistu setted. Kihistu on esindatud rohekashalli, ebaselge horisontaalse või läätsja kihilisusega, H_2S-i sisaldava ja märgatava aleuriidilisandiga saviga (Lutt, Raukas, 1993). Kaardialal Prangli kihistu setted ei avane, küll aga on neid fikseeritud nii läbilõike AB kui CD keskosas Põhja-Uhtju piirkonnas puuraugus M12, kus nad moodustavad kuni 20 m paksuse lasundi.

Järva kihistusse kuuluvad nii Eesti rannikul kui šelfil sagedased viimase, Valdai jääaja setted. Vanimad, jää pealetungile viitavad aleuriitsed ja peliitsed setted lasuvad vahetult Prangli kihistul. Järva kihistu hall moreen jaotub tavaliselt kas liustikujõe- (Suurpea, Naissaar jt) või jääjärve- (Prangli, Juminda jt) setetega kaheks osaks. Rannikul tehtud puuraukude Pleistotseeni läbilõige lõpeb reeglina kas hilisjääaegse varvilise savi või liustikujõesetetega, kuid mõnel juhul lasuvad Holotseeni setted ka vahetult moreenil.

Tavaliselt ulatub Järva kihistu moreeni paksus 4–5 meetrini, kuid ei ole harvad ka juhud, kus moreenikiht puudub kas täielikult või on väga õhuke. Vanades orgudes, samuti voorjates moodustistes võib aga moreeni paksus ulatuda 30–40 meetrini. Moreen levib Eesti rannikumeres kõikjal, välja arvatud alad, kus merepõhjas paljanduvad aluspõhjakivimid (Lutt, Raukas, 1993).

Järva kihistu setete avamusalad hõlmavad enamuse kaardiala idaosast (ida poole Kunda–Vaindloo saare joonest). Seejuures kaugemal kui kaks kilomeetrit rannast avanevad merepõhja laugematel osadel enamasti Balti jääjärve viirsavid, moodustades siin ulatuslikke suhteliselt laugeid alasid. Rannalähedastel nõlvadel ning madalike ja saarte nõlvadel avanevad ka Järva kihistu moreenid kuni 3 km laiuste veealuste nõlvade konfiguratsiooni järgivate vööndite na.

Kaardiala keskosas (Naissaare–Vaindloo vahelisel alal) on Järva kihistu setete avamusi oluliselt vähem. Moreenialad on lahepärades kaetud nooremate Limneamere setetega, mistõttu moreeni avamused on katkendlikud ja kitsad, järgides ranniku ja saarte konfiguratsiooni ning esinedes eelkõige poolsaarte ja neemede tippude ümber ning saarte veealustel nõlvadel. Merepõhja reljeefist ning kulutus- ja akumulatsioonialade vaheldumisest tingituna moodustavad nad siin selgelt jälgitava loode–kagusuunaliste vööndite kompleksi. Praktiliselt sarnane levikumuster on iseloomulik ka Järva kihistu viirsavidele. Enamasti palistavad need avamused 1–2 km laiuste vööndite na eelkirjeldatud moreenide avamusi. Lisaks esinevad need avamused ka aluskorra kõrgendike nõlvadel. Vaid Juminda poolsaarest *ca* 15 km põhja pool on kaardistatud viirsavide ulatuslikum ja ühtlasem avamusala.

Naissaarest lääne pool on Järva kihistu avamuste levik piiratum. Moreeni ja viirsavi avamused palistavad paralleelsete vööndite na rannikujoont ja Osmussaare, Pakri saarte ning Krassi madala nõlvasid.

Holotseeni setted (pärastjääaegsed setted)

Holotseeni setetes on eristatavad neli settekompleksi, mis esindavad Balti mere erinevaid staadiume. Vanimateks on Joldiamere savikad aleuriitsete vahekihtidega setted. Neile järgnevad Antsülusjärve setted, mis on esindatud peamiselt savide ja aleuriitidega. Litoriina- ja Limneamere sügavaveelised setted on esindatud peamiselt merelise muda, kuid ka aleuriitide ja liivadega. Kõige nooremad Limneamere madalaveelised setted on esindatud kruusa, liiva ja aleuriidiga (Talpas jt, 1994).

Joldiamere setted lasuvad põiksusega Balti jääjärve setetel. Tegemist on kuni 1 m paksuse ähmase mikrokihilisusega aleuriidika saviga. Joldiamere lõpp ei väljendu meresetetes eriti selgelt, kuna settetingimused ja elustik olid sarnased järgneva, Antsülusjärve alguse omadega (Suuroja jt, 2012). Kaardil on Joldiamere ja Antsülusjärve setted kujutatud koos.

Antsülusjärve setted. Maakerke tulemusena kujunes umbes 10 300 aastat tagasi, tasemel *ca* 42 m ümp, suur mageveeline veekogu – Antsülusjärv. Seetõttu on neile setetele iseloomulik mageveelise molluskifauna esinemine. Setted on esindatud ebaselge kihilisusega musta või tumehalli, harvem pruunika saviga, milles on hüdrotroiliidi suletisi ja vahekihte.

Hüdrotroiliidi esinemine ongi akvatooriumil Antsülusjärve setete põhiliseks tunnuseks. Antsülusjärve setete paksus ulatub Soome lahes tavaliselt kuni 4 meetrini, kuid võib ulatuda ka kuni 6 meetrini (Lutt, Raukas, 1993).

Antsülusjärve setete avamused on kaardialal suhteliselt piiratud levikuga. Vaindloo ja Uhtju saartest ida pool need valdavalt puuduvad, levides vaid üksikute korrapäratute laikudena Jõhvi piirkonna rannikust 10–20 km kaugusel. Kaardilehe keskosas on avamusalade levik laialdasem, jälgides reeglina eelpool kirjeldatud Järva kihistu viirsavide avamusi veealustel nõlvadel sügavuse suurenedes ning moodustades sedasi selge loode–kagusuunalise vööndilise mustri. Sama tendents jätkub ka Naissaarest lääne pool. Erinevus on selles, et avamusi on siin vähem ning merepõhja reljeef rannikust eemaldudes on oluliselt tasasem. Nii kopeerib ka avamuste levik suuresti rannajoone konfiguratsiooni. Erandiks on Osmussaare ja Neugrundi kraatri piirkonnad. Samuti esineb Pakri saartest põhjas ulatuslik Antsülusjärve savide avamusala.

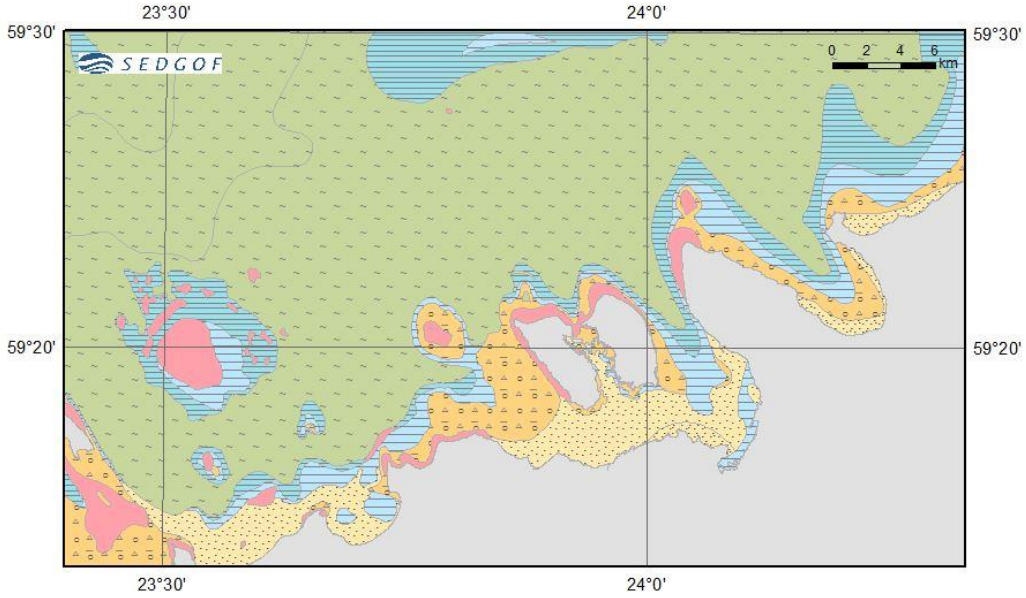
Limnea- ja Litoriinamere sügavaveelised setted. Litoriinameri oli kõrgeima soolsusega etapp Balti mere arengus, mida näitab ka sellele iseloomulik molluskifauna ning soolalembesed ränivetikad. Sellele staadiumile järgnes veetaseme pidev alanemine ja magestumine. Limneamere alguseks loetakse esimeste mageveeliste molluskite ilmumist. Limneamere ja Litoriinamere setete eristamine, eriti seismoakustiliste sondeerimismeetoditega, ei ole reeglina võimalik. Seepärast vaadeldakse Limnea- ja Litoriinamere setteid tavaliselt koos. Üldjuhul nimetatakse seda lasundit kaasaegseks mudaks või saviks. Lasundi alumine pind on terav, tähistatud katkestuspindade või liivakate kihtidega. Lasundi paksus jääb enamasti 5 m piiresse, kuid on kohti, kus see ulatub enam kui 10 meetrini. Näiteks Neugrundi kraatrit ümbritsevates vagumustes on fikseeritud isegi kuni 50 m paksune lasund (Suuroja jt, 2012).

Limnea- ja Litoriinamere setete avamusalad levivad kaardialal ulatuslikult, seda eriti kaardi lääneosas, kus nad hõlmavad kuni 75% alast, moodustades mere sügavamas osas laialdase, kuni 30 km laiuse avamusala. Ala lõunapiir järgib ranniku ja saarte kontuure. Kaardiala keskosas on Limnea- ja Litoriinamere setete avamusala samuti ulatuslik, kattes ca 40% kaardialast ning järgides üldjoontes merepõhja reljeefi loode–kagusuunalist vööndilisust. Limnea- ja Litoriinamere mudad ja savid avanevad siin mere sügavamates osades enamasti 50 m samasügavusjoonest sügavamal.

Vaindloo ja Uhtju saartest ida pool on Limnea- ja Litoriinamere setete levik oluliselt piiratum. Suhteliselt suuremad avamused jäävad Vaindloo saarest ida poole ning Jõhvi ja Sillamäe vahemiku rannikualast enam kui 10 km põhja poole, st piirkondadesse, kus mere sügavus on üle 50 m.

Limneamere (nüüdisranna) setted. Vahetult ranniku ääres, lahtedes ning madalikel ja saarte rannikutel esineb terrigeensete setete kompleks, mis on esindatud peamiselt eriteraliste liivadega, kuid ka kruusa ja aleuriidiga. Need on nüüdisranna setted, mis on korduvalt ümber setitatud, kuid neid võib siiski lugeda Limneamere kõige madalamaveelisema ja noorema staadiumi seteteks. Kuna tegemist on noorimate setetega, siis nende leviku- ja avamusalad reeglina ka kattuvad. Nüüdisranna setete levik kaardialal on tagasihoidlik ning avamusalad piiratud levikuga.

Kaardilehe idaosas on kõige ulatuslikumaks nüüdisranna setete levilaks Narva-Jõesuu rannik, kus nende avamuse laius on kuni 5 km ja seda kuni 10 km pikkusel rannikualal. Väiksemaid levialasid on teada ka Sillamäe ja Kohtla-Järve piirkonna rannikul ning Lõuna-Uhtju saare lõunanõlval, samuti Uhtju ja Diomiidi madala piirkondades. Kaardilehe keskosas on nüüdisranna setete levik piiratud peamiselt rannikuäärse vööndiga. Liivakad setted on iseloomulikud just lahepäradele. Neid setteid on teada nii Käsmu, Eru, Kolga, Kaberneeme, Ihasalu, Muuga, Tallinna kui Kopli lahest, lisaks ka Prangli saare lõunanõlval ning Naissaare rannikualal. Kaardiala lääneosas leiame nüüdisranna setteid üksnes rannikulähedastes tingimustes, kus nad on levinud Lohusalu, Lahepera, Pakri, Vihterpalu, Keibu ja Nõva lahes.



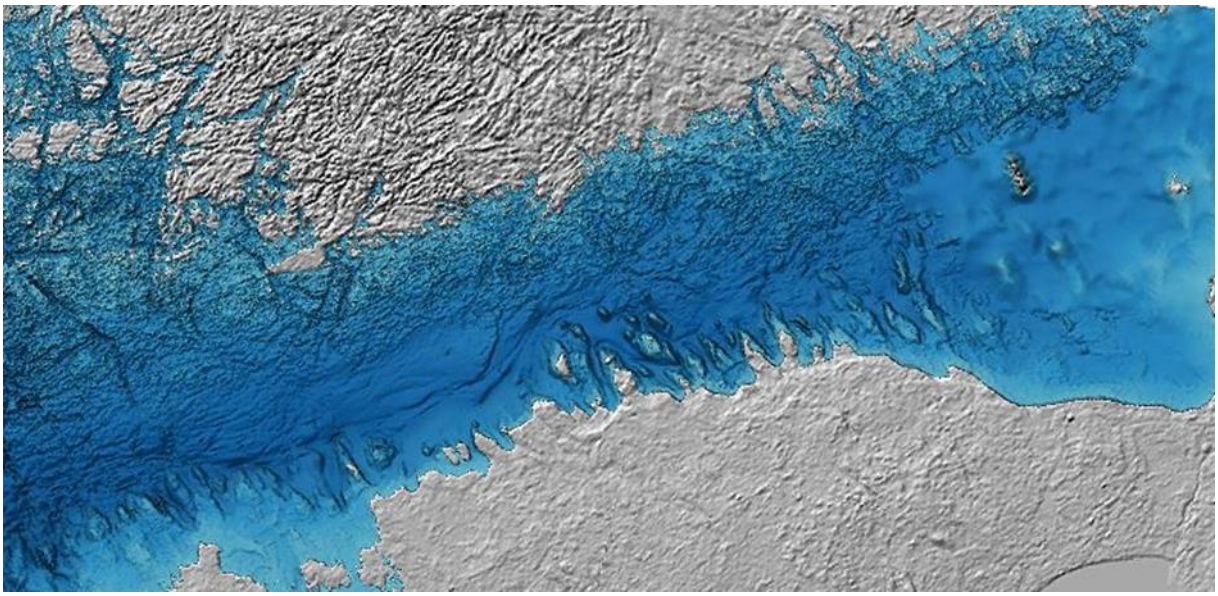
Joonis 4.1.2.1. Väljavõte Soome lahe Kvaternaari setete kaardist

STRATIGRAAFILINE ÜKSUS				BALTI MERE ARENGUSTAADIUM	GENEETILINE TÜÜP	SETTETÜÜBI INDEKS	ALUMISE PIIRI VANUS, tuhat a.
LADESTU	LADESTIK	ALAMLADESTIK	KIHISTU				
KVATERNAAR	HOLOTSEEN			LIMNEAMERI	meresetted	mIV*lm*	
				LITORIINAMERI	meresetted	mIV*lt*	
				ANTSÜLUSJÄRV	järvesetted	lIV*an*	
				JOLDIAMERI	meresetted	mIV*y*	11,7
	PLEISTOTSEEN	ÜLEM-PLEISTOTSEEN	JÄRVA	BALTI JÄÄJÄRV	jääjärvede setted	lgIII*jr*$_3$	
					jääjõgede setted	fIII*jr*$_3$	
					liustikusetted	gIII*jr*$_3$	
					jääjärvede setted	lgIII*jr*$_1$	115
			PRANGLI		meresetted	mIII*pr*	126
		KESK-PLEISTOTSEEN	UGANDI		jääjärvede setted	lgII	
					jääjõgede setted	fII	
					liustikusetted	gII	
							347

Joonis 4.1.2.2. Kvaternaari setete stratigraafiline skeem

4.1.3. Merepõhja geomorfoloogiline kaart

Vaatamata suhteliselt väikestele sügavustele (valdavalt kuni 120 meetrit, makismaalne 138 m Osmussaarest loodes), on Soome lahe merepõhja morfoloogia küllaltki mitmekesine. On võimalik eristada mitmeid oma morfoloogiliselt ilmelt erinevad rajoone. Keerukama reljeefiga on Soome lahe keskosa, kus klindilahed lõikuvad sügavalt maismaasse ning leidub hulgaliselt väiksemaid ja suuremaid saari ning madalikke (Joonis 4.1.3.1).

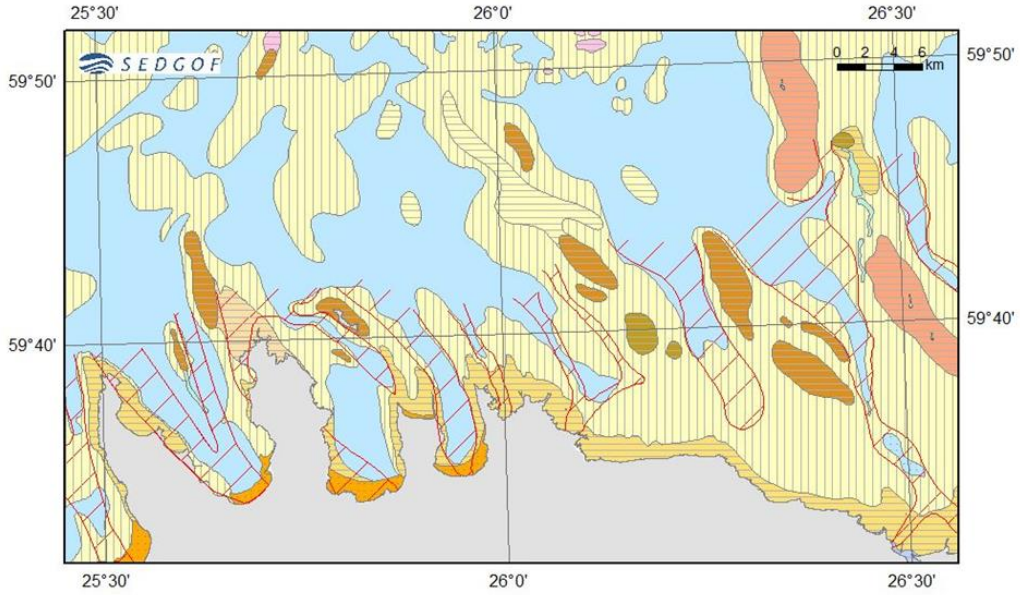


Joonis 4.1.3.1. Soome lahe ja ümbrisala reljeefi 3D kujutis (allikas: Baltic Sea Bathymetry Database)

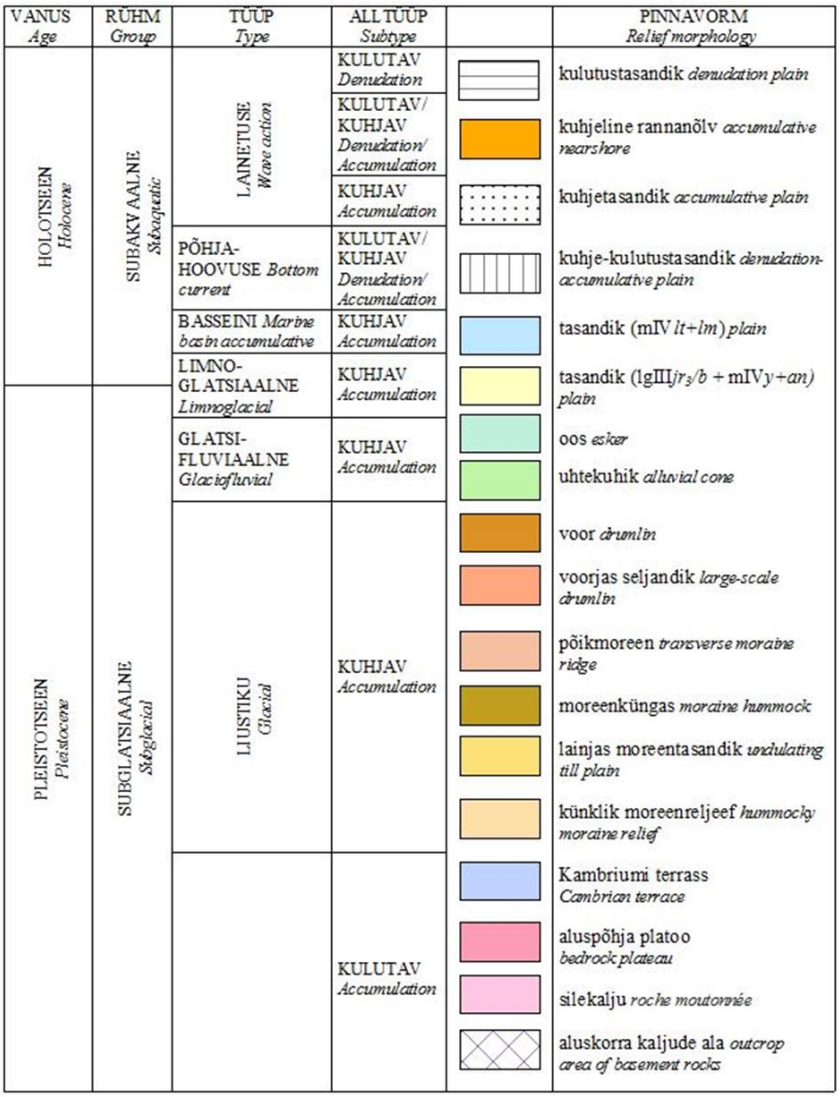
Eesti šelfimere geomorfoloogilised põhijooned on suuresti määratud paiknemisega Balti (Fennoskandia) kilbi ja Ida-Euroopa platvormi piiril. Balti kilbi lõunanõlvale on iseloomulik künklik reljeef liustike ja liustikusulavete erosiooninõvadega. Osaliselt merepõhjas paljanduvatesse Alam-Proterosoikumi kristalsetesse kivimitesse on lõikunud tektoonilised rikked (Talpas jt, 1994). See on olnud ka silekaljude tekke eelduseks.

Soome lahe nõgu hõlmab ligikaudu paarikümne kilomeetri laiust vööndit Balti kilbi lõunanõlva ja Ida-Euroopa platvormi vahel. Selles piirkonnas esineb aluspõhja kõrgendikke Juminda poolsaare, Naissaare ja Prangli ümbruses ning need on suures osas kaetud Pleistotseeni ja Holotseeni setetega. Soome lahe nõgu täidavad megavoored, voored ja künkad. Pinnavormide orienteeritus on tavaliselt loodest kagusse, harvem põhjast lõunasse.

Kaardil (Joonis 4.1.3.2.1 – Joonis 4.1.3.2.2) kujutatud pinnavormidena on eristatud: kulutustasandik, kuhjeline rannanõlv, kuhjetasandik, kuhje-kulutustasandik, basseini tasandik, jääjärve tasandik, oos, uhtekuhik, voor, voorjas seljandik, põikmoreen, moreenküngas, lainjas moreentasandik, künklik moreenreljeef, Kambriumi klindieelne tasandik, aluspõhja platoo, silekalju ja aluskorra kaljude ala.



Joonis 4.1.3.2.1. Väljavõte geomorfoloogilisest kaardist



Joonis 4.1.3.2.2. Kaardi legend

Suurimat osa nüüdispinnamoe kujundamisel on etendanud liustikuline morfogenees. Glatsiaalsed pinnavormid jagunevad:

- Kulutus- e eksaratsioonilised vormid (silekaljud, aluspõhja platoo);
- Kuhje- e akumulatsioonivormid (moreentasandikud, moreenkünkad, künklik moreenreljeef);
- Kulutus-kuhjevormid (voored, voorjad seljandikud), mis on kujunenud liustiku kulutaval ja kuhjaval tegevusel;
- Surve-kuhjelised vormid (põikmoreen).

Kui Soome lahe põhjaosas valdavad liustiku kulutusvormid (silekaljud, liustiku künnivaod), siis kaardistatava ala lõunaosas klindiesisel alal leidub kulutus-kuhjevorme suurte voorelaadsete pinnavormidena. Neile on iseloomulik pinnakatte suur paksus.

Aluspõhja platoo esineb kokku *ca* 60 km² suurusel alal Balti klindi läänemere klindilõigul Pakri poolsaare piirkonnas ja sellest läänes Pakri saarte ümbruses, Neugrundi ja Krassi madalate piirkonnas, samuti Osmussaare ümbruses.

Silekaljud levivad *ca* 40 km² suurusel alal. Piirkonda, kus silekaljusid leidub suurel alal, on kaardil kujutatud aluskorra kaljude alana (kokku 730 km²). Suurim silekaljude levikuala jääb Soome lahe keskossa, kaardistamisala põhjapoolsemasse piirkonda.

Jäätumiseelsetest pinnavormidest levib Kambriumi klindieelne tasandik *ca* 150 km² suurusel alal Narva lahes, kus see levib kuni 3 km laiuse vööndina rannajoonest. Ulatuslik ala ulatub Kohtla-Järve joonest kuni Aseri jooneni. Samuti esineb see Toolse lahes, Muuga ja Ihasalu lahtede vahelisel alal (Saviranna), Tallinna vanasadama ja Kopli poolsaare vahel, Kopli poolsaare lääneosas ning Kakumäe poolsaare ümbruses.

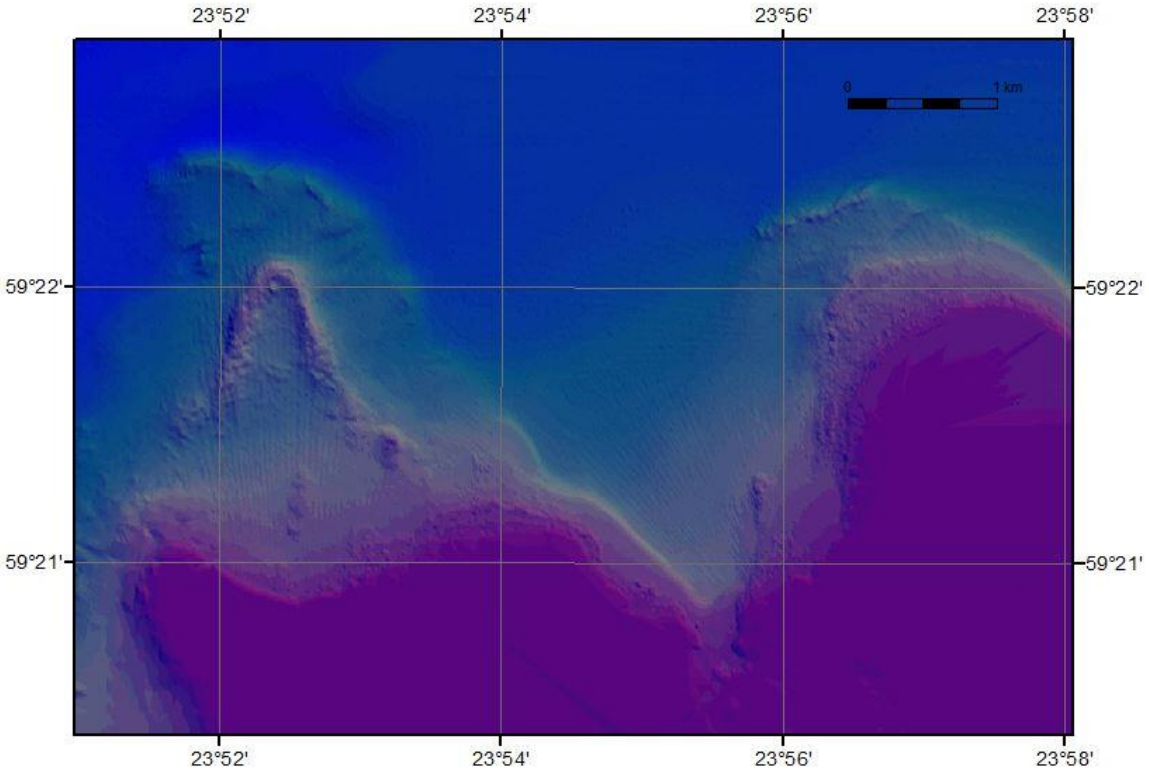
Liustikulistest pinnavormidest esinevad kaardialal voored (144 km²), voorjad seljandikud (125 km²) ja moreenkünkad (52 km²). Need on ümbritsetud sageli limnoglatsiaalsete tasandike ja nõlvadega.

Voortena on eristatud mitmed pikliku väljavenitatud kujuga madalad (Uusmadal, Naissaare, Littegrundi, Soolamadal jne). Voorte esinemistihedus on suurim Soome lahe keskosas. Voored ja megavoored tekkisid subglatsiaalsetes tingimustes liustike akumulatiivse ja eksaratsioonilise tegevuse tulemusel. Voored kujutavad endast liustiku liikumissuunas väljavenitatud seljandikulaadseid, moreensest segamaterjalist pinnavorme. Voorte tuum võib olla aluspõhja (aluskorra) kivimitest ja nende lagedel võib esineda mere kulutust, sügavamal kui 20 m aga põhjahoovuste erosiooni. Sageli võib voorte nõlvadel ja lagedel olla moreenist väljapestud jämedat materjali (kruusast munakateni) (Talpas jt, 1994).

Voorjad seljandikud esinevad kaardistamisala keskosas Keri, Prangli, Aksi, Rammu ja Koipsi saare ümbruses. Samuti on eristatud ulatuslikud voorjad seljandikud Vaindloo ning Põhja- ja Lõuna-Uhtju saare ümbruses.

Moreenkünkad esinevad valdavalt madalate piirkonnas Naissaarest ida pool. Moreenkünkad on Tallinna madal, Uusmadal, Kuradimuna, Nygrundi madal, Tuimadal. Moreenkünkad on kujunenud liustikuserva ees ja need ei markeeri liustikuserva.

Põikmoreeni (liustiku liikumissuunaga risti olev pinnavorm) esineb Pakri saartest põhja pool. Suur-Pakri saare põhjapoolsel rannanõlval asub Suur-Pakri “konks” (Joonis 4.1.3.3). Ilmselt on tegu polügeneetilise glatsiaalse moodustisega, mille läänepoolse haru moodustab arvatavasti teiste Pakri väikevoortega ligikaudselt samasuunaline voor, idapoolse aga sellega liitunud põikmoreen. Suur-Pakri “konksust” vähem kui kilomeeter põhja pool, u 40 m sügavuses vees lauge astangu äärel on veel teinegi, umbes 1 km pikkune ebamäärase kujuga katkendlik, põikmoreeni meenutav seljandik. Ka Väike-Pakri saare põhjapoolsel rannanõlval on jälgitavad Suur-Pakri omadele üsna sarnased moreenvallid-põikmoreenid (Suuroja jt, 2013).

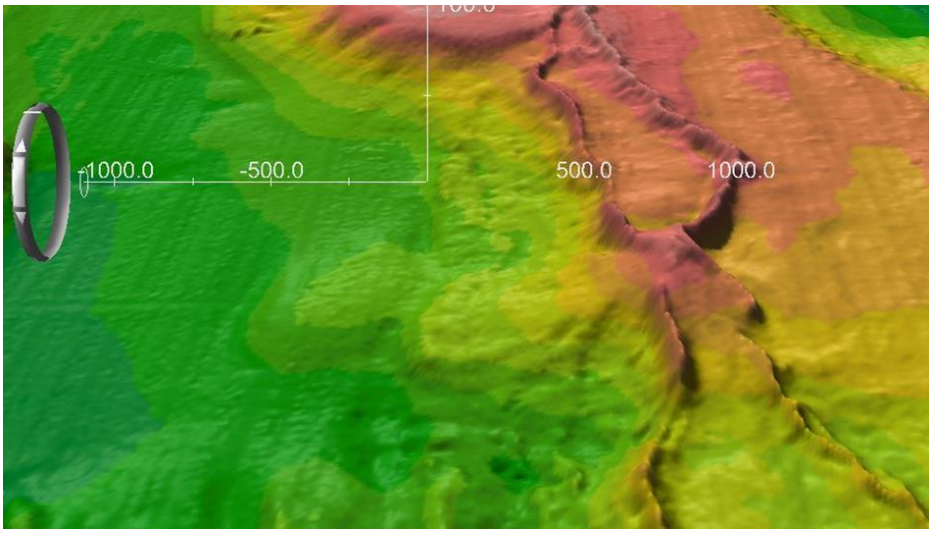


Joonis 4.1.3.3. Pakri „konks“. Veeteede Ameti (VTA) sügavusmõõdistusandmete kujutis

Künklik moreenreljeef levib 230 km²-l. Suuremad alad jäävad Dirhamist läände (45 km²), Naissaare ümbrusesse (35 km²), Viimsi poolsaare tipu ja Aegna ümbrusse (33 km²) ning Suur-Pakri saarest edelasse (33 km²).

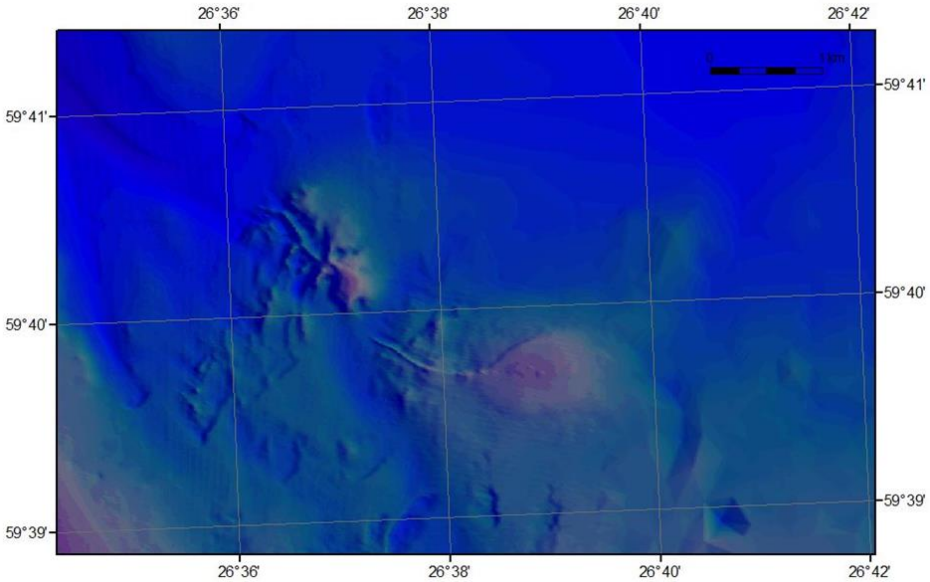
Lainjas moreentasandik levib 291 km-l. Suurim lainja moreentasandiku ala (200 km²) asub kitsa ribana rannanõlval või sellest mere pool Eru lahe idaosast kuni Merikülani. Teine suur (44 km²) lainja moreentasandiku ala levib piki rannanõlva ja sellega külgnevat mereosa Lohusalu poolsaarest kuni Tallinna Vanasadamani. Moreentasandikke moodustav moreenkate on tavaliselt kahekihilise ehitusega: alumise osa moodustab liustiku all moodustunud ja transporditud põhimoreen ning selle peal lasub reeglina savikam ablatsioonimoreeni kiht. Liustikukuhjelised moreentasandikud on tavaliselt mattunud jääpaisjärve- ja meresetete alla.

Liustiku taandumise algstaadiumis kujunesid välja ka fluvioglatsiaalsed reljeefivormid – põhiliselt 15–20 m kõrgused oosid (Joonis 4.1.3.4). Oosid koosnevad glatsiofluviaalsetest setetest (jämedateraline kruus, liiv, veerised, munakad ja rahnud), neile on iseloomulik põimjas kihilisus. Setete sorteeritus varieerub suurtes piirides, kuid kõigile glatsifluviaalsetele setetele on iseloomulik hea ümardatus. Fluvioglatsiaalseid oose leidub 5 km²-l ja suurim neist asub Letipea poolsaarest loodes Kakumadala ja Põhja-Uhtju madala vahel.



Joonis 4.1.3.4. Oosid merepõhjas. VTA sügavusmõõdistusandmete kujutis

Uhtekuhikuid on eristatud kaks ja need asuvad Uhtju madalast loodes (Joonis 4.1.3.5), moodustades kokku *ca* 0,8 km². Uhtekuhik on tunneloru (või oosi) otsas esinev glatsiofluviaalsetest setetest (kruusadest ja liivadest) koosnev lehvikukujuline pinnavorm. Reeglina on settimine pindalaline, st kas ühtlasest kanaliseerumata veekihist või toimub settimine deltalaadsetes väga rohkearvulistes ja paljukordselt hargnevates kanalites.



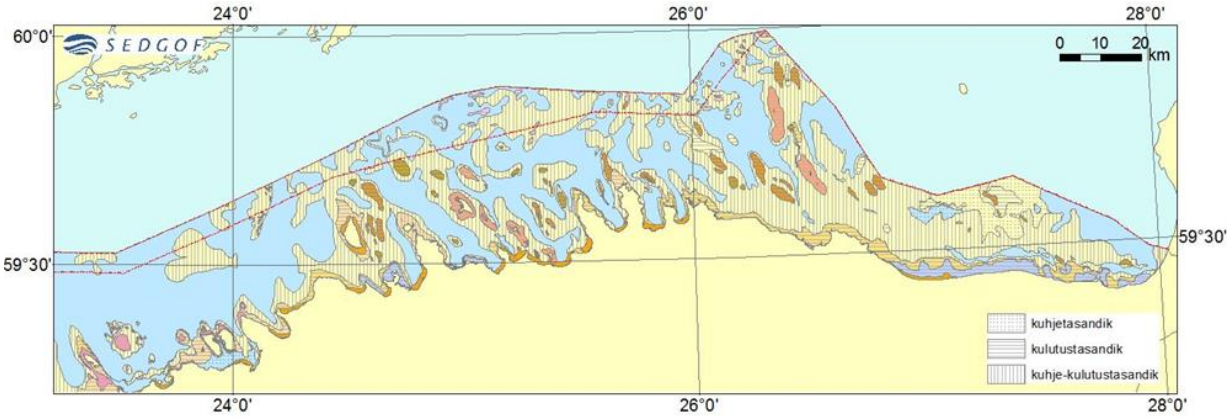
Joonis 4.1.3.5. Ooside esised uhtekuhikud. VTA sügavusmõõdistusandmete kujutis

Holotseeni pinnavormidest kuhjelist rannanõlva on eristatud 108 km²-l ja valdavalt lahepärades (Käsmu, Hara, Eru, Kolga, Kaberneeme, Ihasalu, Tallinna laht jne). Suur kuhjeline rannanõlv, suurusega 15 km², levib Naissaare ümbruses.

Suurima levikuga on kaardistataval alal basseinilise kuhje tasandikud, mis asuvad enamasti suurema sügavusega piirkondades. Holotseenis on toimunud siin aleuriitide ja peliitide settimine. Basseini kuhjetasandik esineb kaardialal kokku 4196 km²-l. Suurim (1784 km²) ühtne basseini kuhjetasandik levib Naissaarest läänes.

Balti jääpaisjärves kujunesid limnoglatsiaalsete setete kuhjumisel ulatuslikud tasandikud. Limnoglatsiaalsed tasandikud moodustavad suure enamuse kaardistatavast alast, ulatudes kuni 3770 km²-ni. Suurim ühtne limnoglatsiaalse tasandiku ala (1789 km²) asub kaardistamisala idaosas. Iseloomulikud on tasandunud või nõrgalt lainelised alad sügavusel 15–20 m.

Põhjahoovuste ja lainetuse poolt kujundatud pinnavormid on kaardistataval alal jaotatud kolme gruppi: kuhjetasandikke esineb pindalal 358 km², kulutustasandikke esineb 1151 km² ja kuhje-kulutustasandikke 3524 ruutkilomeetril. Suurim kuhjetasandik asub kaardiala idaosas Narva lahest loodes (Joonis 4.1.3.6).



Joonis 4.1.3.6. Kuhje-kulutustasandike levik Soome lahes

4.1.4. Maavarade sh raua-mangaani (Fe-Mn) konkretsioonide leviku kaart

Uuritava piirkonna peamisteks maavaradeks on liiva-kruusa lasundid. Maavara ilminguks loetakse Fe-Mn konkretsioone.

Liiva-kruusa leiukohad asuvad suhteliselt madalaveelistes piirkondades, kuid neid leidub ka sügavamal. Suurema sügavusega aladel kujutavad liiv ja kruus endast eelkõige jäänuksetteid, on õhukesed ja maavara seisukohalt seega perspektiivitud.

Valdavalt esinevad liivad-kruusad lahtedes (Kakumäe, Muuga, Ihasalu, Keibu, Kolga, Kaberneeme, Lahepere), veealuste küngaste nõlvadel (Tallinna madal, Uhtju madal, Uusmadal) ning saarte ümbruses (Prangli, Naissaar, Keri, Malusi saared). Lahepärades levivad enamasti peeneteralised liivad, saarte ja veealuste küngaste ümbruses aga kesk- ja jämedateralised liivad, tihti koos kruusaga. Suuremad uuritud liivalasundid paiknevad Tallinna, Muuga ja Ihasalu lahe piirkonnas ning Soome lahe kaguosas.

Liivalasundite tekkes Eesti rannikumeres etendavad olulist osa kvaternaariaegsed setted. Viimasel jääajal tekkinud liustikusetete (moreeni) kulutusel on suur tähtsus hilisemate meresetete kujunemisel.

Liiva leiukohtade uurimine pärast Eesti taasiseseisvumist on olnud seotud sadamate laiendamiseks vajaliku täitematerjali otsinguga. Muuga sadamat arendava riigiettevõtte AS Tallinna Sadam finantseeritud liivalasundi otsingud ja -uuringud, mis algasid 1994. aastal, kestsid üle 15 aasta. Liiva kaevandamine merest on seotud peamiselt suuremahuliste ehitusprojektidega. Prangli ja Naissaare liivalasunditest ammutatud liiva kasutati täitematerjalina Muuga sadama idaosa ehitustöödel.

Naissaare liivamaardla (Registrikaart 780)

Maardla pindala on 374,83 ha. Maardla plokid 1–4 paiknevad Naissaare kari piirkonnas, 5. ja 6. varuplokk asuvad Naissaare ja Littegrundi madalal, 7. plokk Naissaarest kagus. Maardla alal on mere sügavus 6–40 m, see suureneb kirdest edelasse; Naissaare ja Littegrundi madalal on mere sügavus 5–60 m ning Naissaarest kagus (7. plokk) 6–14 m.

Seisuga 17.02.2016 oli maardla ehitusliiva aktiivne tarbevaru 4 924 800 m³. Kasulikuks kihiks on eriteraline liiv, keskmise paksusega 8,8 m. Selle all ülipeeneteraline liiv, keskmise paksusega 9,7 m. Lamamiks on saviliivmoreen.

Vastavalt vee sügavusele kaevandatakse kahe erineva võimsuse ja mahutavusega pinnasepumpsüvendajaga. Sõltuvalt ilmast ja hoovustest valitakse ühe- või kahesuunaline kaevandamisskeem. Väljapumbatava kihi paksus on 0,3–0,4 m. Kasulikuks kihiks on eriteraline, kohati kruusa sisaldav liiv ning Naissaarest lõunas ka täitepinnasena kasutatav ülipeeneteraline liiv. Mereliste liivade levik muutub hüdrodünaamiliste tingimuste muutumisega. Aktiivsematel perioodidel kuhjub jämedateralisem liiv, hüdrodünaamiliselt rahulikumal perioodil peeneteralisem liiv. Sedimentatsioon toimub selles piirkonnas ka praegu.

Naissaare maardlast kaevandatav liiv on kasutatav ehitusliivana ehitussegudes.

Kaevandamisloa valdaja peab kaevandama pinnase pumpsüvendamismeetodiga, jätma merepõhja vähemalt 0,1 m paksuse liivakihi, mitte teostama kaevandamist 1. aprillist 15. juulini. Tuleb teostada heljumi leviku, põhjaloomastiku ja -taimestiku, kalastiku, rannaprotsesside ja batümeetrilist seiret, koostada võimaliku reostuse likvideerimise plaan.

Ihasalu liivamaardla (Registrikaart 803)

Maardla paikneb territoriaalmeres, Ihasalu lahe idaosas. Ihasalu poolsaarest asub maardla u 800 m kaugusel. Maardla pindala on 41,93 ha.

Kaevandamiseks kasutatakse pinnasepumpsüvendajat, süvisega 6,8–10,8 m vastavalt vee sügavusele. Sõltuvalt ilmast ja hoovustest valitakse kaevandamise skeem, mis võib olla kas ühe- või kahesuunaline. Maardla koosneb kahest plokist: 1. plokk 34,6 ha, 2. plokk 7,33 ha. 1. ploki kontuurimise aluseks oli tellija tingimus, et alla 0,05 mm fraktsiooni sisaldus ei tohi olla suurem kui 10% ja kasuliku kihi paksus on vähemalt 0,3 m (2. plokil 0,5 m), seda kaevandamise tehnoloogiast lähtuvalt. 1. ploki alal on mere sügavus 6–16 m. Kasuliku kihi

paksuseks on keskmiselt 4 m, lamamiks on limnoglatsiaalne savi. Seisuga 17.02.2016 oli ehitusliiva aktiivne tarbevaru 129 000 m³, täiteliiva aktiivne tarbevaru 667 000 m³.

Maardla maavara on kasutatav ehitusliivana. Keskkonna- ja looduskaitselised kitsendused puuduvad. Tegemist on kinnitatud varuga.

Kuradimuna liivamaardla (Registrikaart 805)

Maardla paikneb territoriaalmeres, Kuradimuna madala kirdeosas. Maardla pindlala on 2,28 ha.

Kaevandamiseks kasutatakse pinnasepumpsüvendajat, süvisega 6,8–10,8 m vastavalt vee sügavusele. Sõltuvalt ilmast ja hoovustest valitakse kaevandamise skeem, mis võib olla kas ühe- või kahesuunaline. Plokk asub 10,7–15,4 m sügavusel. Moreenil lasuva kasuliku kihi paksuseks on keskmiselt 2,2 m. Raskmetallide sisalduse poolest on liiva seisund hea ja naftaprodukte sisalduse poolest hea või rahuldav. Seisuga 17.02.2016 oli ehitusliiva aktiivne tarbevaru 24 000 m³.

Maardla maavara on kasutatav ehitusliivana. Keskkonna- ja looduskaitselisi kitsendusi ei ole. Tegemist on kinnitatud varuga.

Letipea liivamaardla (Registrikaart 928)

Letipea liivamaardla asub Letipea neemest u 9 km loodes, Lõuna-Uhtju saare läheduses. Mere sügavus on maardla alal 6–24 m. Maardla paikneb laugete nõlvade ja tasase harjaga loodesuunalisel (NW) seljandikul.

Maardla pindala on 133,16 ha. Maardla keskosas esineb kagu–loodesuunalise lasundina keskmiseteraline liiv (1. plokk). Maardla kirdeosas esineb kruus (2. plokk). Maardla edelaosas esineb valdavalt ülipeeneteraline liiv (3. plokk). Kvaternaarisetete alumise osa moodustab saviliiv- ja liivsavimoreen. Moreenil lasub plastne, kohati varvilise struktuuriga savi, millel omakorda lasub liiv ja kruus. Gravitatsioonilise sorteerituse tõttu tõuseb maardlal loode suunas peeneteralisema materjali osakaal. Kruusa sisaldus suureneb maardlal kirde suunas.

Seisuga 17.02.2016 oli ehitusliiva aktiivne tarbevaru 2054 000 m³, ehituskruusa aktiivne tarbevaru 449 000 m³ ja täiteliiva aktiivne tarbevaru 224 000 m³.

Liiva kaevandamisel saab kasutada ujuvat pinnasepumpsüvendajat, mille settebasseini suurus on tavaliselt kuni 12 000 m³. Liiva kaevandamine toimub süvendaja poolt survevee abil pinnase veega segamisel süvenduspeas ja selle pumpamisel läbi torustiku laeva settebasseini. Korraga eemaldatakse merepõhjast 0,3 kuni 0,4 meetrine settekiht. Varu jääb pumpsüvendamiseks sobilikku meresügavusse 6 kuni 24 meetrit.

Maardlast kaevandatav liiv on kasutatav ehitussegudes betooni täiteliivana sadama-, teening üldehituses. Kaasnevad maavarad täitepinnaseks, sõelutult ja fraktsioneeritult teedeehituseks ja ehitussegudesse. Ehitusliiva kasutatakse veel teedeehituses dreenkihtides.

Maardla kattub põhjaosas osaliselt (*ca* 26 ha ulatuses, mis on 2,1% elupaiga territooriumist) III kategooria kaitsealuse liigi *Halichoerus grypus* (hallhüljes; KLO9100107) elupaigaga.

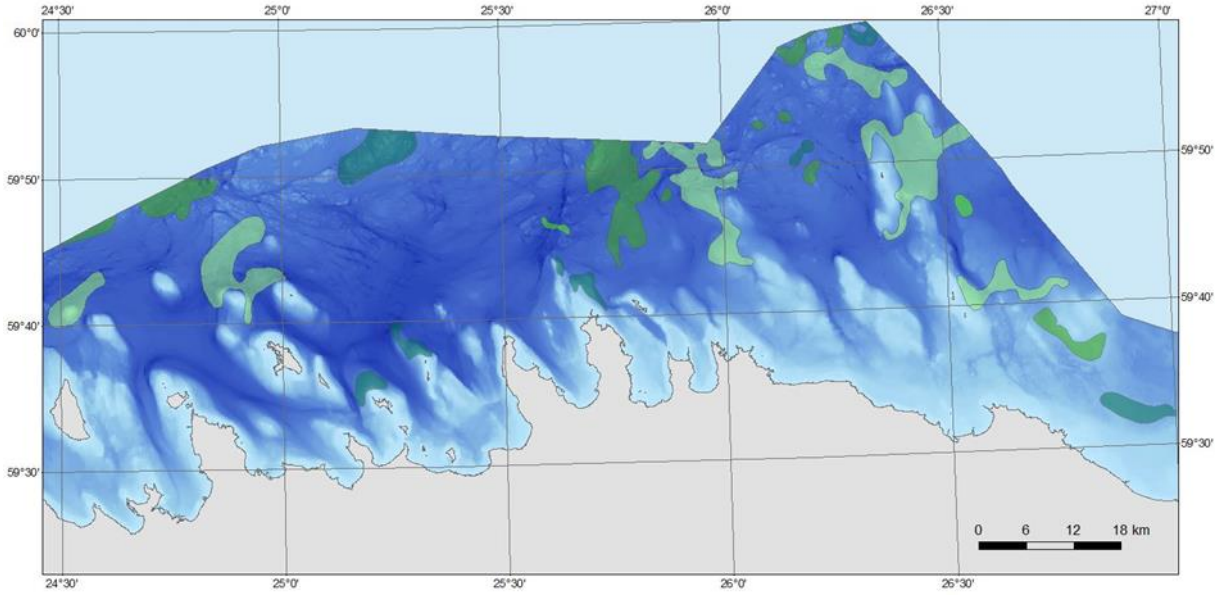
Uuringualale jääb ka endine Prangli liivamaardla (Registrikaart 0225), mis on praeguseks ammendunud. Maardla jääb Prangli saare lõunarannikust *ca* 1 km kaugusele ning asub 6 m ja 20 m samasügavusjoonte vahemikus. Maardla pindala on 50 ha, liiva suurim paksus 6,5 m. Prangli maardla jagati liiva peensusmooduli alusel kolmeks plokiks. 1. ja 3. ploki piires oli liiva

peensusmoodul üle 1,3. 2. plokis jäi peensusmoodul alla 1,3 (täieliiv). 2003. aastal kaevandati maardlast liiva 492 000 m^3 ja täiteliiva 158 000 m^3. Maardla laienduse piires esineb valdavalt ülipeenliiv (peensusmoodul alla 1) ja peenliiv (peensusmoodul 1,5–2,0). Keskmine ehitusliiva kihi paksus on 1. plokis 1,18 m ja 3. plokis 2 m. Keskmine maavara kihi paksus on 2. plokis 2,38 m. Nimetatud kihi paksused olid ka maardla varu arvutamise aluseks. Kaevandatud liiv oli kasutatav ehitusliivana Tallinna sadama ehitustöödel. Maardla kustutati maardlate nimistust 2012. aastal.

Diomidi perspektiivala 5 plokki asuvad Letipea neemest kirdes (Mahu sadamast põhja pool) Uhtju, Diomidi ja Barabanovi madala piirkonnas. Mere sügavused ulatuvad siin 10–47 m-ni. Perspektiivala pindala on kokku 230,54 ha. Valdavalt on tegemist ülipeene liivaga. Seisuga 17.02.2016 oli eriotstarbelise liiva prognoosvaru 2 644 000 m^3. Kaevandatav liiiv on kasutatav puiste- ning täitematerjalina.

Fe-Mn konkretsioonid esinevad reeglina kas nullsedimentatsiooni või transiitvööndis väga erinevatel sügavustel (10–120 m), tavaliselt Balti jääpaisjärve savide peal. Nende levikupiirkond jääb peamiselt Naissaarest ida poole, levik saarest lääne pool on tunduvalt väiksem (Joonis 4.1.4.1). Seletuseks võib olla põhjareljeefi mõju põhjalähedastele hoovustele. Kuna reljeef on lääne pool Naissaart palju laugem kui idas, siis võivad põhjahoovused olla nõrgemad ja settimine seetõttu intensiivsem (Talpas jt, 1994).

Soome lahe Fe-Mn konkretsioonid on ühed fosfori- ja mangaanirikkaimad Läänemeres. Reeglina katavad konkretsioonid koos õhukese jäänukliiva ja -kruusa kihiga hilis- või pärastjääaegseid järvesavisid või paiknevad pärsitud sedimentatsiooniga piirkondade poolvedelal peliidil (mudal). Esimesel juhul on tegemist peamiselt koorikulaadsete või kettakujuliste moodustistega ja nende läbimõõt võib ulatuda 20–30 cm-ni. Vähese settimisega aladel esineb enamasti 1–2 cm (max 3–4 cm) läbimõõduga kerakujulisi konkretsioone, mis lebavad 10–15 cm paksusel ja 2–3 mm vedela pruuni oksüdeerunud kihiga kaetud rohekashallil redutseerunud peliidil (Lutt, Raukas, 1993).



Joonis 4.1.4.1. Fe-Mn konkretsioonide levik Soome lahes

Kuju järgi eristatakse nelja tüüpi konkretsioone: kooriktüüpi, keratüüpi, segatüüpi ja radiaalsed (kettakujulisi). Neist kõige rohkem (289 km²) on uuringualal segatüüpi konkretsioone. Keratüüpi konkretsioone on 152 km²-l.

Lasumustingimuste alusel eristatakse kaht rühma:

- Veealuste nõlvade jäänuksetetega kaasnevad kooriktüüpi konkretsioonid;
- Vähese sedimentatsiooniga piirkondade keratüüpi või radiaalsed (kettakujulised) konkretsioonid.

Fe-Mn konkretsioonide tööstuslik tähtsus on metallide tootmise seisukohast väga väike, kuna nende summaarne Fe, Mn, P, Mo jt elementide sisaldus on tootmiseks liiga väike (Tabel 4.1.4.1). Neid võib aga kasutada adsorbentidena puhastusseadmetes.

Tabel 4.1.4.1. Fe-Mn konkretsioonide analüüsi tulemused

Meetod	Element	Ühik	MDL	Keskmine	Mediaan	Geom. keskmine	Standardhälve	Min	Max
MA250	Al	%	0.02	3.71	3.42	3.48	1.36	2.09	6.48
MA250	Ca	%	0.02	1.10	1.11	0.98	0.49	0.41	1.93
MA250	Fe	%	0.02	8.66	4.62	5.14	7.43	0.72	22.00
MA250	K	%	0.02	2.06	1.67	1.91	0.91	1.13	4.26
MA250	Mg	%	0.02	0.69	0.72	0.49	0.47	0.10	1.48
MA250	Na	%	0.002	0.94	0.84	0.89	0.35	0.52	2.05
MA250	P	%	0.001	0.82	0.36	0.45	0.74	0.05	2.04
MA250	S	%	0.04	0.04	0.02	0.03	0.02	0.02	0.10
MA250	Ti	%	0.001	0.13	0.11	0.11	0.08	0.04	0.28
MA250	Ag	PPB	20	55.06	50.50	50.14	27.46	24.00	147.00
MA250	As	PPM	0.2	109.08	59.65	58.94	96.19	5.30	250.90
AQ251	Au	PPB	0.2	0.83	0.85	0.56	0.61	0.10	2.10
AQ251	B	PPM	1	23.19	11.50	13.50	20.00	2.00	56.00
MA250	Ba	PPM	1	1823	1797	1650	797	756	3471
MA250	Be	PPM	1	1.53	2.00	1.41	0.54	0.50	2.00
MA250	Bi	PPM	0.04	0.17	0.15	0.12	0.12	0.02	0.41
MA250	Cd	PPM	0.02	0.89	0.51	0.51	0.87	0.02	2.85
MA250	Ce	PPM	0.02	53.0	50.5	48.9	20.5	21.7	87.7
MA250	Co	PPM	0.2	64.42	21.75	27.92	65.89	1.50	195.30
MA250	Cr	PPM	1	25.81	21.50	19.08	17.11	3.00	58.00
MA250	Cs	PPM	0.1	2.45	1.80	2.10	1.38	0.80	5.50
MA250	Cu	PPM	0.02	20.41	18.13	13.62	14.86	1.89	45.44
MA250	Dy	PPM	0.1	3.28	3.15	2.93	1.49	1.10	6.20
MA250	Er	PPM	0.1	1.82	1.80	1.63	0.82	0.70	3.20
MA250	Eu	PPM	0.1	0.81	0.85	0.72	0.37	0.30	1.70
MA250	Ga	PPM	0.02	13.78	15.02	12.99	4.31	5.80	20.52
MA250	Gd	PPM	0.1	4.34	4.35	3.78	2.14	1.40	9.10
MA250	Hf	PPM	0.02	1.85	1.90	1.66	0.75	0.37	3.62
AQ251	Hg	PPB	5	10.59	8.00	9.03	5.62	2.50	19.00
MA250	Ho	PPM	0.1	0.66	0.70	0.57	0.34	0.20	1.30
MA250	In	PPM	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.04

Meetod	Element	Ühik	MDL	Keskmine	Mediaan	Geom. keskmine	Standardhälve	Min	Max
MA250	La	PPM	0.1	29.9	29.2	27.2	12.2	10.9	48.8
MA250	Li	PPM	0.1	16.54	14.10	14.76	8.19	6.60	35.90
MA250	Lu	PPM	0.1	0.25	0.25	0.22	0.11	0.05	0.40
MA250	Mn	PPM	2	3792	5000	2844	2178	242	8713
MA250	Mo	PPM	0.05	53.47	24.86	13.25	99.89	0.49	425.91
MA250	Nb	PPM	0.04	5.14	4.64	4.41	2.71	1.59	10.42
MA250	Nd	PPM	0.1	23.08	21.75	20.69	9.96	7.70	38.40
MA250	Ni	PPM	0.1	57.61	49.20	28.11	54.35	2.80	199.00
MA250	Pb	PPM	0.02	19.94	20.01	19.06	5.77	9.41	29.67
AQ251	Pb204	PPM	0.01	0.16	0.16	0.13	0.08	0.04	0.33
AQ251	Pb206	PPM	0.01	3.40	3.18	2.89	1.81	0.87	7.22
AQ251	Pb207	PPM	0.01	2.51	2.41	2.12	1.35	0.62	5.36
AQ251	Pb208	PPM	0.01	6.46	6.17	5.47	3.46	1.56	13.70
MA250	Pr	PPM	0.1	6.49	6.00	5.85	2.73	2.30	10.40
MA250	Rb	PPM	0.1	83.09	77.20	78.16	28.37	42.60	138.40
MA250	Re	PPM	0.002	0.051	0.003	0.004	0.182	0.001	0.755
MA250	Sb	PPM	0.02	2.10	2.11	1.20	1.67	0.07	5.17
MA250	Sc	PPM	0.1	4.71	4.35	3.82	2.78	1.20	10.00
MA250	Se	PPM	0.3	0.20	0.15	0.18	0.12	0.15	0.60
MA250	Sm	PPM	0.1	4.43	4.15	3.97	1.96	1.50	8.70
MA250	Sn	PPM	0.1	2.81	1.30	1.80	2.92	0.60	11.30
MA250	Sr	PPM	1	437	346	368	245	119	927
MA250	Zn	PPM	0.2	109	83	81	73	11	271
MA250	Zr	PPM	0.2	68	62	62	26	20	134
MA250	Ta	PPM	0.1	0.46	0.25	0.31	0.60	0.10	2.70
MA250	Tb	PPM	0.1	0.45	0.45	0.30	0.31	0.05	1.10
MA250	Te	PPM	0.05	0.22	0.17	0.18	0.12	0.07	0.45
MA250	Th	PPM	0.1	6.39	5.95	5.87	2.56	3.00	11.00
MA250	Tl	PPM	0.05	1.10	0.72	0.83	1.01	0.29	4.49
MA250	Tm	PPM	0.1	0.25	0.30	0.20	0.13	0.05	0.40
MA250	U	PPM	0.1	5.04	4.25	3.75	3.54	1.10	12.40
MA250	V	PPM	1	56.38	61.50	39.36	39.52	8.00	144.00
MA250	W	PPM	0.1	5.29	3.45	3.00	5.09	0.20	17.40
MA250	Y	PPM	0.1	19.0	19.6	16.7	8.9	6.0	34.6
MA250	Yb	PPM	0.1	1.64	1.70	1.48	0.70	0.70	2.90

Maagaasi leiukoht Keri saarel avastati 1902. aastal puurkaevu puurimisel, kui 27 m sügavuselt hakkas eralduma gaasi, mis põles kuni 4 m kõrguse leegiga. Sügavuse kasvades eraldus ka gaasi rohkem ning puurimine katkestati. Järgmisel aastal alustati uue puuraugu rajamist vahetult eelmise kõrvale. Veel vähemalt 4–5-st täpselt määratlemata sügavusega gaasihorisondist toimusid geisrisarnased gaasipursked, mis olid kohati nii tugevad, et registreeriti isegi Tartu seismoloogiajaamas. Puuraugust koos liiva ja kividega väljapaiskuva gaasi undamist kuuldi ka Tallinnas. Põhjaveeni jõudmata lõpetati puurimine 115 m sügavusel aluskorra kivimites (teistel andmetel kvartsiidirahnus). 1907. aastal varustati puurauk firma

Siegert gaasikogumissüsteemiga ja gaasi hakati esmakordselt maailmas kasutama tuletorni valgustamiseks, aga ka majapidamise kütteks. Gaasi rõhk oli nii suur, et 3 atm-le seadistatud ventiil seisis tihti lahti.

1912. aasta aprillis algasid gaasipursked, millest kohalik press rääkis kui Kokskäri maavärinatest. Ligi 3 nädalat kestnud tugevate pursete seeria aasta lõpul kulutas läbi gaasitorud ja pumbamaja massiivse katuse ning paiskas gaasiga kaasahaaratud liiva ja kive majaka katusele, st vähemalt 32 m kõrgusele. Viimase, eriti tugeva purske järel gaasi intensiivne eraldumine lakkas. Tihti korratud väited puuraugu kokkuvarisemisest ei vasta tegelikkusele.

Poole aasta jooksul pärast Keri puuraugu rajamist eraldus V. Winkleri ütluste järgi (Bartels, 1937) 60 000 m³ metaanist (79,2%) ja vesinikust (20,8%) koosnevat gaasi. Vesinikusisaldus seati küll hiljem kahtluse alla. Gaas pidi sisaldama ka raskeid süsivesikuid, kuna ülalmainitud komisjoni teatel olevat torude kummitihendid olnud määrdunud „nafta ollusega“. Kokku kulutati Keril arvestuslikult ligikaudu 1 miljon m³ gaasi. Puuraugust immitses seda veel vähemalt 1945. aastani.

Rahvasuu teab rääkida gaasi eraldumisest veel teistegi saarte ümbruses ja rannikul. Sellistes kohtades ei külmu talvel vesi või jää on kollakas ja pude. Jää alla kogunenud gaas võib süttida (Suuroja jt, 2002).

Prangli gaasileiukoht avastati 1924. a naftaotsingute käigus. Gaasipursked (puurauk Prangli 1) toimusid kvaternaariaegsete savisetete vahelistest liivadest, mis lasusid 25,6–26,8; 38,1–40,8 ja 47,5–48,7 m sügavusel (Šufertov, 1960). A. Luha (1946) järgi aga vastavalt 25,6–26,2, 37,5–38,5 ja 42,4–45,1 m sügavusel. Teistel andmetel (Bartels 1937) 30, 40 ja 55–60 m sügavusel. Esimesest (ülemisest) gaasihorisondist eraldus puurmeistri teatel 1,5 atm rõhu juures gaasi ~700 m³/h, teisest 2 atm juures 1000–2000 m³/h ja kolmandast koguni 20 atm juures 18 000 m³/h. Selliste selgelt ülepakutud lähteandmetega oleks gaasivarud Prangli saare piires kuni 135 mln m³, mis seletab hilisemat jätkuvat huvi Prangli gaasi vastu. Sama puuraugu purustatud suudmest eraldus veel 1945. aastal mitte vähem kui 50–100 m³ gaasi ööpäevas (Šufertov, 1960). Gaasis oli metaani 95–96%, süsihappegaasi 1,3–1,5%, lämmastikku (koos Ar + Kr + He) 1,7–2,5% ja raskeid süsivesikuid < 1%.

Hiljem puuriti saarele veel kuus puurauku, 1946.–1947. aasta puuraugud nr 2 ja 3 (Krõlov, 1948). Neist nr 2 oli nr 1-st vaid 60 m kaugusel. 1959.–1960. puuriti (Kulikov, Tšeussova, 1962) puuraugud nr 4, 5, 5a ja 6. Puuraukudes 2, 4 ja 5 toimusid pärast mõningat seisakut puurimises gaasipursked. Vabalt eraldunud gaasi koostis oli kõikjal sarnane puuraugust nr 1 eraldunud gaasile, st tegemist oli metaaniga. Märgatavalt erines aga puuraukudes 5a ja 6 määratud vees lahustunud gaasi koostis. Ehkki kõik proovid polnud võetud kvaliteetselt (neis esines ilmselt atmosfäärse päritoluga hapnikku), ilmnes seaduspära, et Vendi liivakividest eraldus lämmastikgaas (N_2 kuni 96%), Kvaternaari setetest aga metaan-lämmastikgaas (N_2 25–63%; CH_4 36–74%). Seejuures täheldati, et aja jooksul muutus aluspõhjast eralduv gaas raskemaks – selle metaanisisaldus vähenes ja lämmastikusisaldus kasvas. Uuringud näitasid, et gaasivarude esialgsed hinnangud on selgelt ülepakutud, ning tõestasid gaasi läätselise leviku, kusjuures gaasirikkam on Prangli keskosa. Eristati neli gaasihorisonti (Kulikov,

Tšeussova, 1962), mis ei lange kokku puuraugu nr 1 omadega. I horisont lasub 77–91 m sügavusel ja on seotud Ugandi kihistu glatsifluviaalsete setetega. Gaasi deebit kõikus 200–450 m³ vahel (rõhk 5–8 atm). Perspektiivseimast, 62–68 m sügavusel vahetult Prangli jäävaheaja setetel lasuvast II horisondist toimusid ka gaasipursked. Nii saare lõunaosas 31–34 m sügavusel leviv III gaasihorisont (deebit on 45–50 m³/h, rõhk 3 atm) kui keskosas 9–40 m sügavusel leviv IV horisont (deebit 200 m³/h, rõhk 5 atm) on seotud moreenidevaheliste jääjärveliste liivadega.

I gaasihorisondi varuks hinnati (Kulikov, Tšeussova, 1962) 3 013 947–9 525 600 m³,

II horisondil aga 2 260 901–7 215 642 m³. Sama töö retsensent L. Paasikivi järgi on gaasi varu vastavalt 10 800 000 ja 8 100 000 m³.

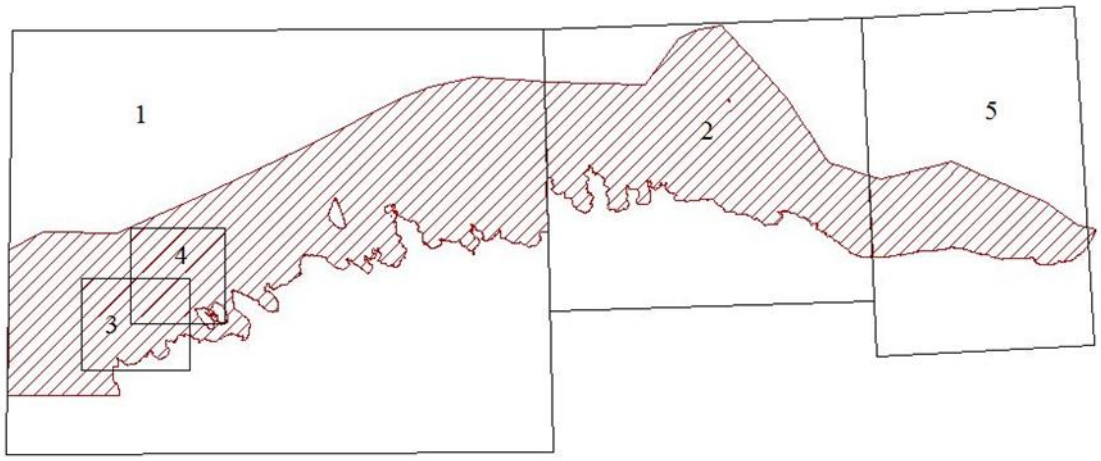
1959.–1960. aastal puuritud puuraukudest 4 ja 5a eraldub tänaseni piisavalt gaasi toidu valmistamiseks. Arvestades, et tavaline gaasipõleti kulutab 1 600 kcal/h (väike 900 ja suur 2300 kcal/h) ning lugedes 95% metaani sisaldava maagaasi kütteväärtuseks 8 000 kcal/m³, eraldub puuraugust ööpäevas gaasi: 24 x 600/800 = 4,8 m³ ja aastas: 365 x 4,8 = 1750 m³ (Suuroja jt, 2002).

Gaasiilminguid esineb ka Soome lahe suudmealal (Osmussaare ümbruses).

4.1.5. Põhjasetete litoloogiline kaart

Põhjasetete litoloogiline kaart on koostatud põhiliselt keskmisemõõtkavalise (1 : 200 000) kaardistamise käigus kogutud materjalide põhjal. Kaardi lääneosa on koostatud 90-ndate aastate algul ning idaosa 80-ndatel aastatel kogutud materjalile (aruanded EGF 4339 ja 4860) tuginedes (Joonis 4.1.5.1).

Põhjasetete leviku kaart (Joonis 4.1.5.2 – Joonis 4.1.5.3) aitab hinnata kaasaegset sedimentatsiooni, mille tundmine on olulise tähtsusega põhjasetete saastatuse uurimisel.



Joonis 4.1.5.1. Põhjasetete kaardi koostamisel kasutatud materjalid

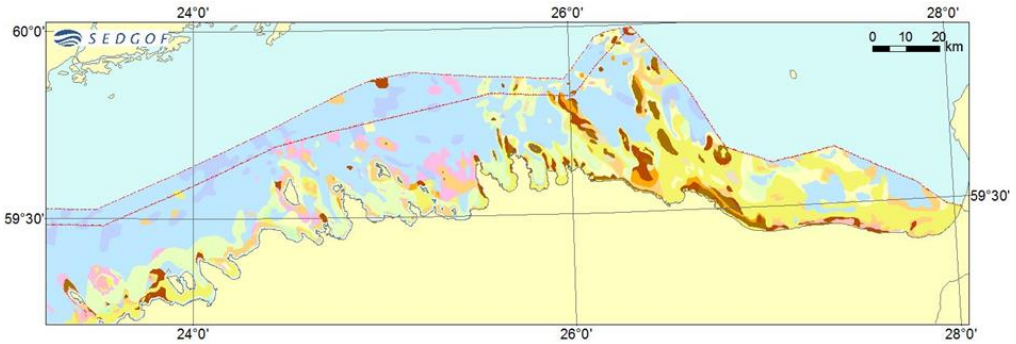
Põhjasetete kaardi koostamisel on kasutatud kaardistustöödel kogutud põhjaproovide andmeid. Proovide võtmisel kasutati settetorusid, haardkoppa ja vibropuuri. Oluliseks puuduseks proovide võtmisel on asjaolu, et neid pole võetud mitte igast litoloogilisest erimist eraldi, vaid tihti on erinevad settetüübid ühte proovi kokku segatud. Reeglina on

proov võetud ülemisest, 10 cm settekihist, hoolimata sellest, kas kiht oli homogeenne või mitte. Teine puudus on see, et andmed rannalähedaste alade kohta on puudulikud. Tavaliselt on proovid võetud sügavamalt kui 6 m (erandiks on Prangli saare ümbrus, kus proove võeti ka 3 m sügavuselt). Puudub tehnika töödeks madalas vees ja seetõttu on ka kaardi lääneosa (kuni Kolga laheni) ranna-aladel kasutatud 500-meetrist kaardistamata puhverala.

Merepõhja setete litoloogilise koostise eripära on tingitud kulutus- ja kuhjeprotsesside keerukast koosmõjust, mis pidevalt ajas muutub (Suuroja jt, 1999). Settimisprotsess sõltub väga mitmete erinevate tegurite koosmõjust (saadaolevast settematerjalist, lainetuse ja hoovuste mõjust, põhja reljeefist jne).

Kaardil kujutatud settetüübid jagunevad:

- Puhtad settetüübid (valdava fraktsiooni sisaldus > 75%) – liiv, aleuriit, peliit;
- Üleminekulised settetüübid (milles põhifraktsiooni sisaldus 50–75% ja lisandite hulk kuni 50%) – peliit aleuriidi ja/või liivaga, aleuriit peliidi ja/või liivaga, liiv aleuriidi ja/või peliidiga, liiv kruusaga;
- Segasetted, mille puhul on kõiki põhitüüpe alla 50%.



Joonis 4.1.5.2. Põhjasetete levik Soome lahes

Kõige rohkem on kaardistataval alal nn üleminekulisi setteid, milleks on peliit aleuriidi ja/või liivaga ning aleuriit peliidi ja/või liivaga. Neid levib kaardialal vastavalt 4068 ja 942 km²-l. Peliit aleuriidi või liivaga esineb eeskätt kaardi lääneosas, ida pool asenduvad need liivadega või üleminekuliste liivadega (liiv kruusaga, liiv aleuriidi või peliidiga) (Joonis 4.1.5.2).

Peliit lisandiga kui kõige levinum settetüüp moodustab kaardistatud alast 45% ja levib valdavalt enam kui 50 m sügavusel. Reeglina on setted rohekad, rohekashallid või mustad. Nende paksus võib ulatuda 10–15 m-ni ja levikupiirkond kujutab endast intensiivse settimise ala. Võib aga esineda kohti, kus sellise settekihi paksus on vaid 10 cm ja see asub tavaliselt Balti jääpaisjärve savide peal. Sel juhul on tegemist kas nullsedimentatsiooni- või transiitvööndiga (Talpas jt, 1994). Nendel aladel esineb ka Fe-Mn konkretsioone.

Aleuriit peliidi ja/või liivaga – nende setete sõltuvus meresügavusest on väiksem, nad levivad tihti rannalähedastel aladel, kuid võivad esineda ka sügavamal. Ranna lähedal kujunevad sellised setted kas madalaveelistel kuhjealadel või transiitvööndis.

Moreeni esineb 194 km²-l ja selle esinemissagedus on suurim Juminda poolsaare ning Ontika vahelisel alal. Moreeni avamused on enamasti kaetud õhukese veeriste, kruusa ja liiva segust koosneva settega. Madalaveelise kulutustasandiku piires on esindatud väga erineva lõimise ja järskude üleminekutega jäänuksetted, mis on moodustunud peamiselt moreeni pikaajalise läbipesemise tulemusel.

Liiva esineb 1375 km²-l ja seda eelkõige lahepärades. Materjal liigub lahepäradesse piki rannanõlva poolsaare otsas asuvatelt kulutusaladelt. Suurimad liiva-alad jäävad Soome lahe idaossa ning Keibu lahe – Noarootsi vahelisele alale. Liiv pole fraktsiooni suuruse järgi eristatud.

Jämepurdsed settetüübid kaardistataval alal on kruus ning kruus veeristega. Need jäänuksetted levivad moreeni avamusalal nn madalaveelistel kulutustasandikel, kus lainetus otseselt mõjutab merepõhja (Suuroja jt, 1999). Kruus veeristega on eristatud 240 km²-l kaardialast. Seda settetüüpi esineb eeskätt poolsaarte piirkonnas ja veealuste moreenseljandike aladel – nn väljapestud kruus. Suurima pindalaga kruusa leviala on Mohni ja Uhtju saare vahelisel alal. Kruus levib kaardialal 87 km²-l.

Aluspõhi paljandub 75 km²-l ja need alad asuvad veepiiri läheduses, kus lainetuse mõju on kõige tugevam, samuti veealuste kõrgendike piirkonnas. Aluspõhja paljandid ja madalaveelised kulutustasandikud ääristavad merre ulatuvaid poolsaari, Osmussaart ja mitmeid madalaid (Krassi, Sundgrund jm) ning madalaveelisi ranna-alasid Saka–Ontika–Toila vahemikus. Seal levivad jämedad rahnudest, munakaist, veeristest ja kruusast, harvem ka liivast koosnevad jäänuksetted. Rahnude vahel on veeriseid ja kruusa ning need koosnevad tard- ja moondekivimite murenemisel tekkinud materjalist, harvem on neis Kambriumi liivakivide tükke (Suuroja jt, 1999). Aluspõhi paljandub ka Neugrundi keskplatool ja laiguti kraatrivallil.

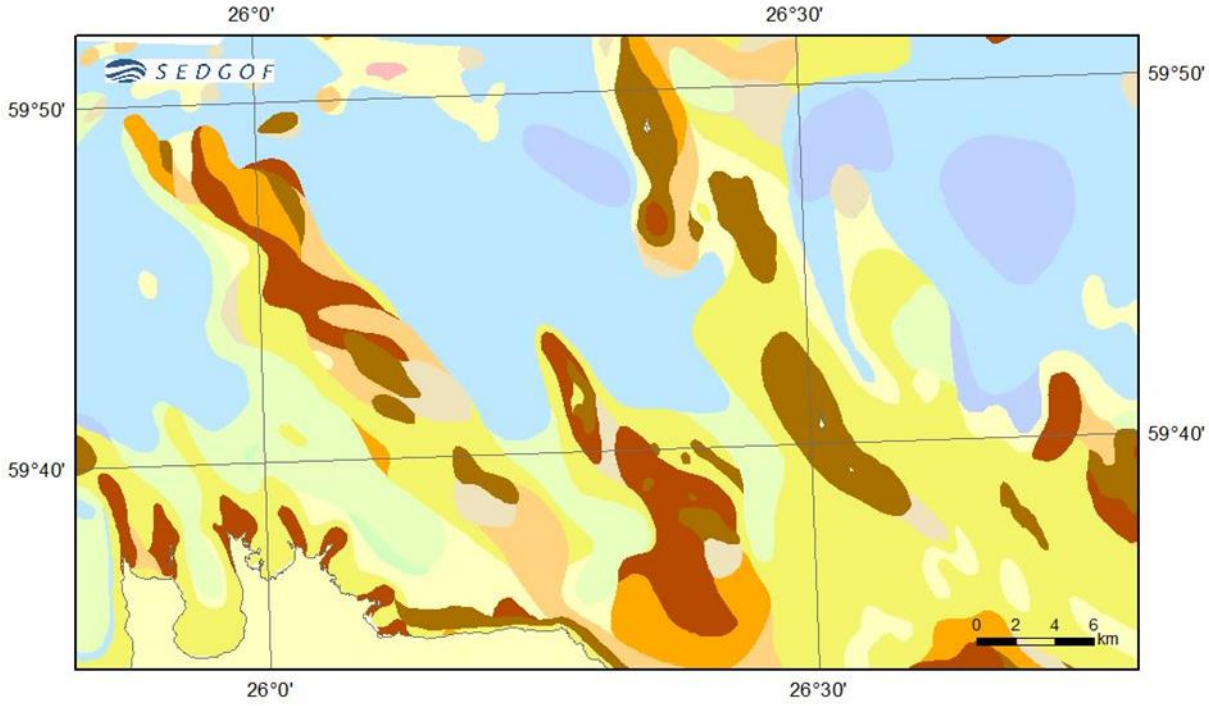
Puhtaid peliite on 678 km²-l ja nende esinemissagedus on suurem Soome lahe lääneosas. See settetüüp levib enam kui 50 m sügavusel merepõhjas. Valdavalt on tegemist Litoriina-Limneamere aegsete mudadega, mis on kas mustad või rohekad. Must peliit esineb sügavamates piirkondades (80–100 m), rohekas aga mõnevõrra madalamal (70–90 m).

Suhteliselt väikesel alal (64 km²) levivad merepõhjas ka puhtad aleuriidid. Need esinevad mõnedes lahtedes (Kolga, Pakri, Hara) või veealuste nõlvade piirkonnas (Viimsi poolsaare idanõlval). Suurim levikuala on Kakumäe lahes. Tegemist on kuhjealade setetega, kuid mõnikord võivad nad esineda ka nullsedimentatsiooni või transiitvööndi piires (Talpas jt, 1994).

Segasete levib 321 km²-l, kaardistatava ala läänepoolses osas. Seda leidub Neugrundi kraatrivalli alal, Naissaare lähedal, Rammu saare ja Juminda poolsaare vahelisel alal.

Madalaveelised kulutustasandikud lähevad üle kulutusnõlvadeks, mis sisuliselt kujutavad endast hilis- ja pärastjääaegse savi avamusi, mida esineb kaardistataval alal 96 km²-l. Need on kaetud õhukese, kuni 1 cm paksuse aleuriidi, liiva või kruusa kihiga, milles võib esineda ka üksikuid veeriseid. Selle settetüübi, mida samuti nimetatakse jäänuksetteks, tekkemehhanismi kohta on kaks enamlevinud seisukohta (Lutt, Raukas, 1993). Neist esimese kohaselt toimub varem moodustunud setete kulutamisel pidev läbipesemine, kusjuures

peenemad fraktsioonid kantakse ära, paigale jääb valdavalt liiva- ja kruusafraktsiooni materjal. Teise seisukoha järgi moodustuvad need setted jääpankadesse sattunud ja jää sulamisel põhja langenud purdmaterjalist.



Joonis 4.1.5.3. Väljavõte põhjasetete kaardist

Setete litoloogilise koostise sõltuvus vee sügavusest on valdavalt nõrk. Mõnede settetüüpide puhul on aga sõltuvus mere sügavusest ilmses korrelatsioonis. Näiteks peliit (ja peliiti sisaldavad setted) esinevad peamiselt enam kui 50 m sügavusel (Talpas jt, 1994).

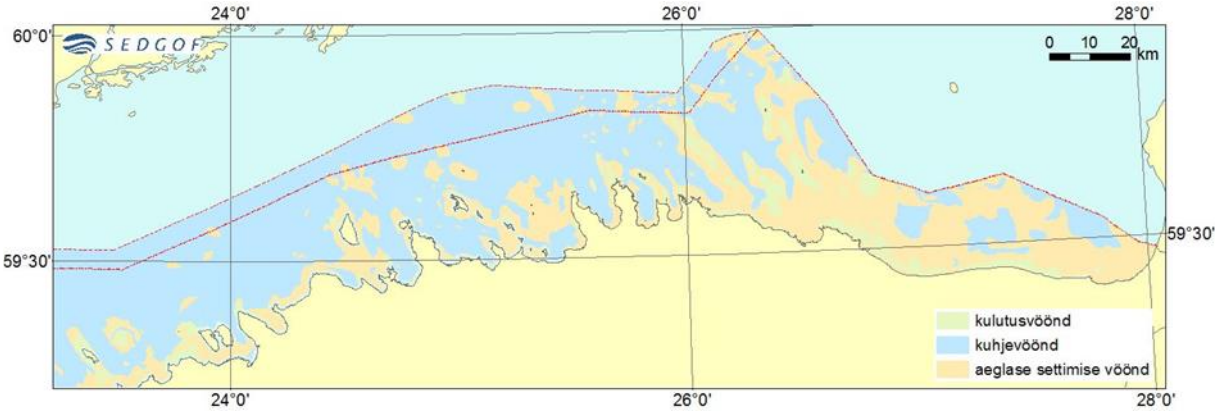
Üldjuhul on lahtedes enamasti hästi jälgitav erineva terajämedusega settematerjali jaotumine – lahesoppides ranna lähedal kruus, kruus veeristega, päras reeglina peen liiv, telgmistes osades ülekaalus aleuriidid, sügavaveelistes lahtedes (Tallinna, Kaberneeme, Kolga) ka peliidid. Lahtede külgmised ja suhteliselt järsud nõlvad on enamasti kulutusaladeks ning seal levivad peamiselt mitmesuguse terasuurusega jäänuksetted (Lutt, Raukas, 1993).

Sedimentatsiooni dünaamika alusel on kaardistatav ala jaotatud kolme vööndisse:

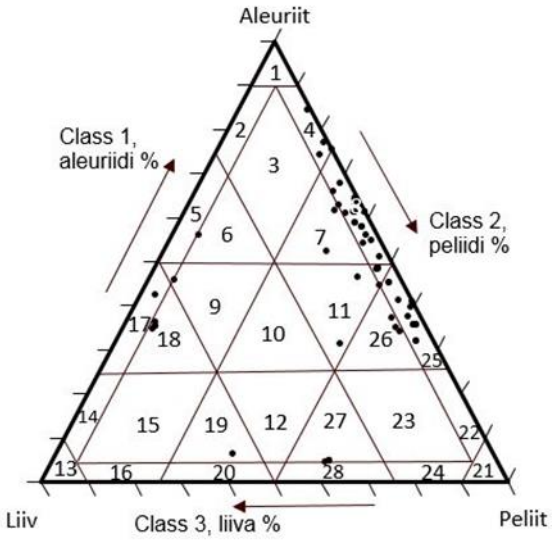
- kuhjevöönd (akumulatsioonivöönd);
- kulutusvöönd (abrasiooni- ja erosioonivöönd);
- aeglase settimise vöönd.

Kulutusvöönd võtab kaardialast enda alla 522 km². Kulutusvööndi settetüübid on moreen, kruus veeristega ja aluspõhjalised (Kambriumi) savid ning lubjakiviplatood. Madalaveelised kulutustasandikud levivad rannalähedases piirkonnas, kus lainetus mõjutab otseselt merepõhja (Lutt, Raukas, 1993). Kulutusvöönd ääristab poolsaari, tihedamini esineb poolsaarte tippudes (Pakri, Juminda, Pärispea, Käsmu), veealustel madalikel ja saarte ümbruses (Rammu, Mohni, Uhtju saared, Osmussaar).

Kuhjevöönd moodustab kaardialal Soome lahes ülekaalukalt suurima ala (63%), võttes enda alla 5763 km² (Joonis 4.1.5.4). Kuhjevööndi settetüüpideks on aleuriit, peliit, peliit aleuriidi ja/või liivaga, aleuriit peliidi ja/või liivaga (setete klassifikatsioon on toodud Joonis 4.1.5.5-l).



Joonis 4.1.5.4. Kulutus-, kuhje- ja settimisvööndid



1 aleuriit
2 liivakas aleuriit
3 liivakas-peliidikas aleuriit
4 peliidikas aleuriit
5 liivaleuriit
6 peliidikas liivaleuriit
7 liivakas peliitaleuriit
8 peliitaleuriit
9 liivakas-aleuriidikas miktiit
10 liivaleuriitpeliit miktiit
11 aleuriidikas-peliidikas miktiit
12 liivakas-peliidikas miktiit
13 liiv
14 aleuriidikas liiv
15 aleuriidikas-peliidikas liiv
16 peliidikas liiv
17 aleuriitliiv
18 peliidikas aleuriitliiv
19 aleuriidikas peliitliiv
20 peliitliiv
21 peliit
22 aleuriidikas peliit
23 liivakas-aleuriidikas peliit
24 liivakas peliit
25 aleuriitpeliit
26 liivakas aleuriitpeliit
27 aleuriidikas liivpeliit
28 liivpeliit

Joonis 4.1.5.5. Kolmnurkdiagramm süsteemi liiv-aleuriit-peliit kohta (Raukas, 1965)

Kuhjevöönd on eristatud sügavamaveelistel aladel, samuti lahtede pärades. Lahtede pärades paiknevatel kuhjetasandikel kohtab enamasti peent liiva või jämedafraktsioonilist aleuriiti.

Sügavamal paiknevad kuhjetasandikud on kaetud peliidiga (või siis aleuriidi/liiva lisandiga peliidiga).
Aeglase settimise vöönd levib 2840 km²-l, moodustades 31% kaardialast. Siin levivad liivad, kruusad, liiv kruusaga, liiv aleuriidi ja/või peliidiga, savid ja segasetted. Aeglase settimisega aladel esineb tavaliselt ka mitmesuguse kuju ja suurusega raua- ja mangaanikonkretsioone.

4.2. Soome lahe põhjasetete geokeemia (SedGoF raames loodud andmekihid)

Soome laht on poolsuletud veekogu. Selle pindala on 29 600 km², millest ligi 1/3 ehk 8400 km² jääb Eesti majandusvööndi piiridesse. Soome lahe põhjasetete keskkonnaseisundi määravad nende litoloogiline iseloom ja toksiliste raskmetallide (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn jt), As ja radioaktiivsete elementide (U ja Th) ning samuti lahe eutrofeerumist põhjustavate (P, N) ja erineval määral soodustavate elementide (Mo, Se, Cu ja Zn) sisaldus. Eutrofeerumisega seotud elemendid kontsentreeruvad maismaa- ja meretaimedes (Voitkevitš jt, 1990; Tabel 4.2.1), soodustavad taimede kasvu ja arengut. Maismaal vaadeldakse neid sageli ka taimede toiteelementidena, kuigi Cu, Mo, Se ja Zn kõrged sisaldused avaldavad toksilist mõju.
Põhjasetted jagunevad lõimise iseloomu ja makrokomponentide sisalduse järgi kaheks geneetiliselt erinevaks erimiks ehk litotüübiks: orgaanikat sisaldavateks savialeuriidi ja orgaanikavaesteks liivaleuriidi seteteks. Esimesed on settinud lahe sügavamatel aladel, valdavalt vahemikus 50–115 m, väga madala hüdrodünaamilise energia tingimustes ja need on savimineraalide- ja orgaanilise aine rikkad (Tabel 4.2.1). Teise erimi setted on kujunenud valdavalt rannale lähematel aladel, liikuva vee (jõgedest suubuv vool, tormilainetus, põhjahoovused) tingimustes. Need setted on eriteralised, savimineraalidevaesed ja koosnevad peamiselt kvartsist, päevakividest ning karbonaatsete kivimite peenesest.

Tabel 4.2.1. Elementide sisaldus meretaimede kuivaine mineraalosas (koostatud Voitkevitš jt, 1990 alusel) ja lahepõhja savialeuriidi setetes

Elementide kandja	**Min osa**	**Elemendid**									
		Cd	**Hg**	**Pb**	**Cr**	**Ni**	**P**	**Mo**	**Se**	**Cu**	**Zn**
	%	mg/kg					%	mg/kg			
Vetikad	**12**	**3,5**	**1,2**	**0,8**	**7,4**	**24**	**2,9**	**4**	**8**	**125**	**750**
Fütoplankton	**8**	**28**	**1,8**		**18**	**48**	**16**	**24**	**36**	**84**	**460**
Setted: 0–3 cm		0,57	0,04	29,7	69	37,4	0,124	6,36	0,713	32,3	127
3–6 cm		0,61		33,6	75	39,8	0,100	5,42	0,651	37,1	141
Mk* (ülemine osa)		0,102	0,056	17	35	18,6	0,066	1,4	0,083	14,3	52

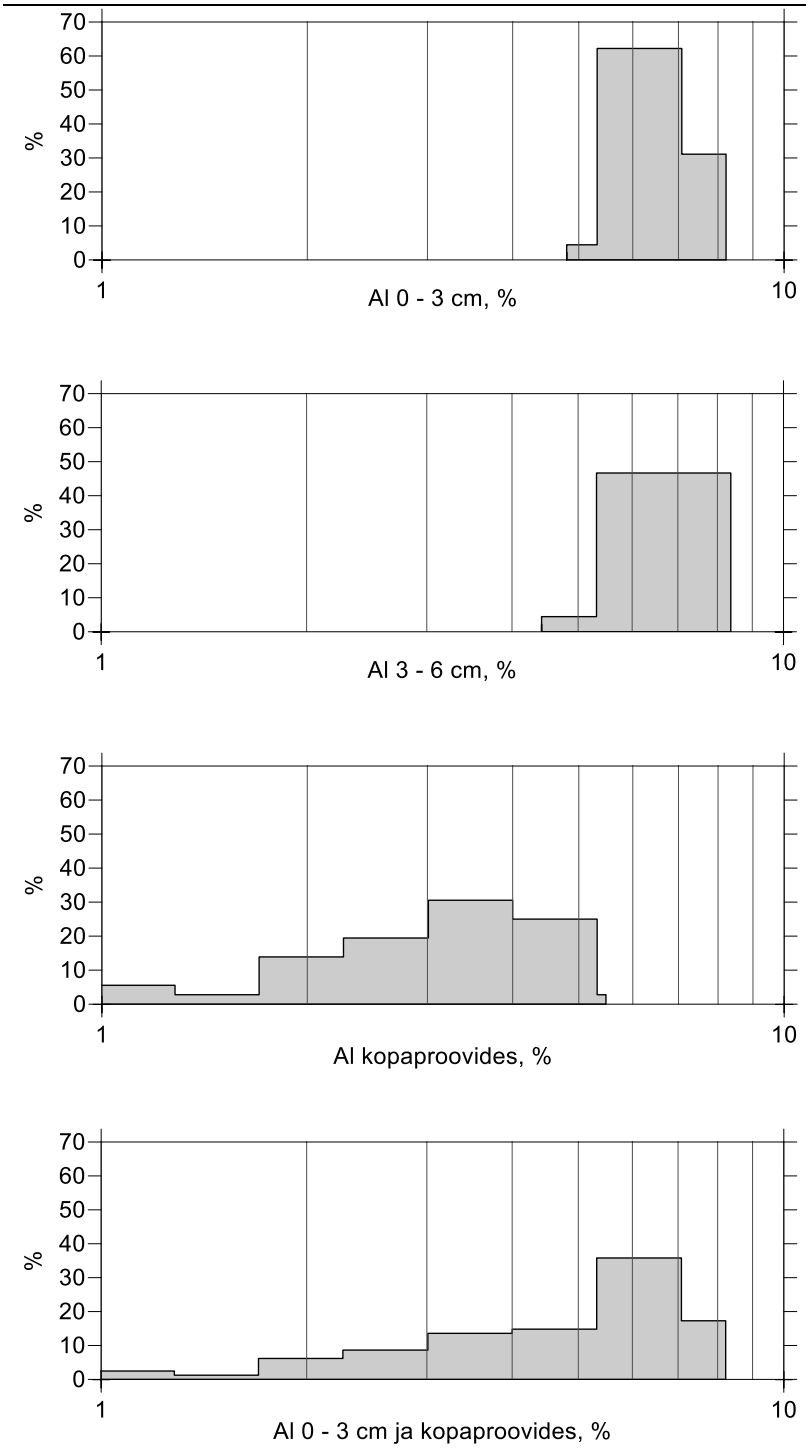
* Mk – maakoore keskmine

4.2.1. Makroelemendid

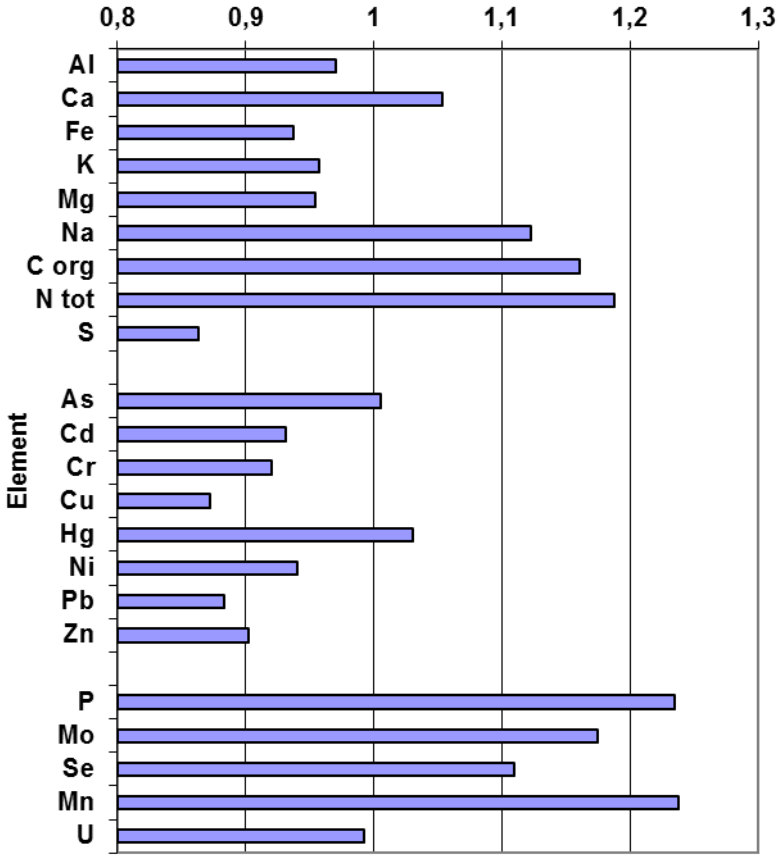
Litotüüpide mineraalse koostise erinevus kajastub kujukalt nende setete makroelementide keemilises koostises ja esmajärjekorras Al-sisalduse ja viimase jaotuse sageduse diagrammil (Joonis 4.2.1.1). Eraldatud litotüüpide lõikes on nende keemiline koostis taustaks, mis

määrab nendele omase mikroelementide foonilise sisalduse taseme ja selle variatsiooni ligikaudsed piirid ning sellel foonil eristuvad nii looduslikud anomaalse sisaldusega kui ka tehnogeenselt saastunud alad. Tulenevalt savialeuriidi setete mineraalsest koostisest on nende makrokomponentide keemiline koostis lähedane maakoore keskmisele sisaldusele, liivaleuriidi setete keemiline koostis on lähedane maakoore liivakivide koostisele. Nendest valikuliste elementide (Tabel 4.2.2.2) olulisimad geokeemilised parameetrid on koondatud Tabel 4.2.2.2.

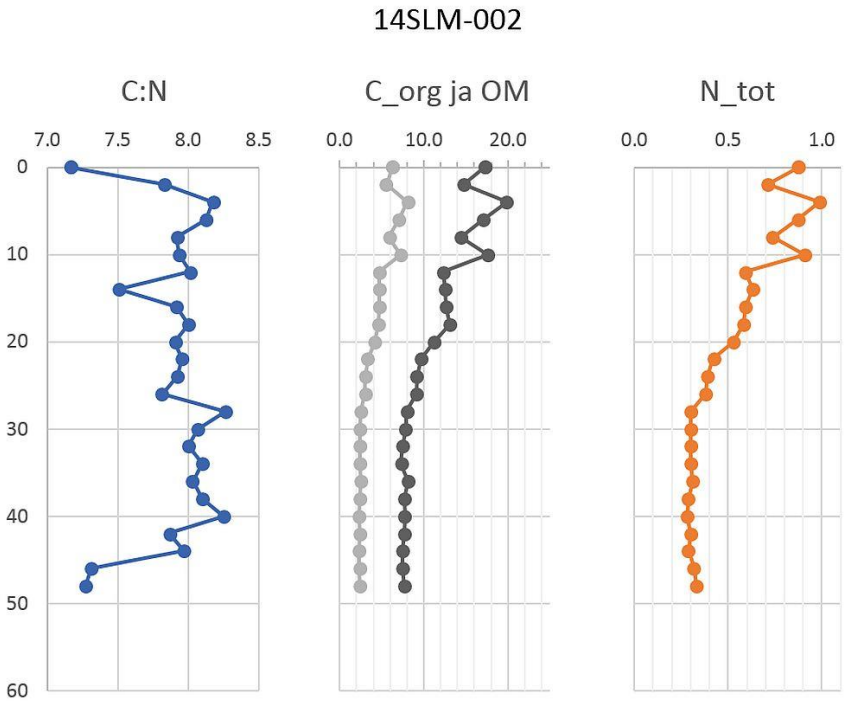
Kogutud savialeuriidi setete analüüsi tulemused näitavad üheselt, et viimastel aastatel on setete ülemine, 3 cm paksune kiht rikastunud orgaanilise aine ja kaltsiumiga ning selle tulemusel suhteliselt vaesunud teiste kivimit moodustavate elementide poolest (Al, Fe jt, Joonis 4.2.1.2). Setete rikastumine orgaanilise ainega algas tõenäoliselt möödunud sajandi kolmekümnendatel aastatel, selle suurenemine jätkus kuni kaasajani ja jätkub ka tulevikus Joonis 4.2.1.3).



Joonis 4.2.1.1. Alumiiniumisisalduse sagedusdiagrammid põhjasette proovides



Joonis 4.2.1.2. Proovide geomeetriliste keskmiste sisalduste suhe: 0–3 cm / 3–6 cm



Joonis 4.2.1.3. C ja N suhe, orgaanilise süsiniku (Corg), orgaanilise aine (OM) ning kogulämmastiku sisaldus uuringupunkti 14SLM-002 vertikaalläbilõikes

4.2.2. Mikroelemendid

Lahe põhjasetete mikroelementide sisaldus on otseses sõltuvuses lahe toitepiirkonnas avanevate aluspõhja (aluskorra) kivimite ja pinnakatte elementide sisaldusest. See on oluliselt mõjutatud inimtegevuse poolt ja erineb toksiliste raskmetallide, radioaktiivsete ja taimede kasvu soosivate elementide osas oluliselt lahe põhjasetetele omasest esialgsest looduslikust tasemest.

Tabel 4.2.2.2. Makroelementide, S, C ja N sisaldus (%) põhjasetetes

Ele-ment	Sügavus, cm	Vp arv	Parameetrid						Mk	Lk
			min	max	Ak	s	Xg	ξ		
		Orgaanilise aine (OM) rikas savialeuriit								
Al	0–3	44	4,80	8,22	6,62	0,76	6,58	1,12	7,74	2,5
Al	3–6	44	4,42	8,37	6,85	0,94	6,78	1,16	7,74	2,5
Ca	0–3	44	0,63	3,23	1,16	0,54	1,07	1,45	2,94	3,91
Ca	3–6	44	0,41	3,84	1,06	0,47	1,01	1,53	2,94	3,91
Fe	0–3	44	2,26	5,66	4,08	0,59	4,03	1,17	3,09	0,98
Fe	3–6	44	2,86	6,20	4,36	0,71	4,30	1,18	3,09	0,98
K	0–3	44	2,50	3,51	3,11	0,25	3,10	1,09	2,86	1,07
K	3–6	44	2,36	4,01	3,25	0,34	3,23	1,11	2,86	1,07
Mg	0–3	44	0,78	2,44	1,43	0,38	1,38	1,30	1,35	0,70
Mg	3–6	44	0,86	2,36	1,49	0,39	1,45	1,28	1,35	0,70
Na	0–3	44	0,86	3,99	1,99	0,75	1,86	1,44	2,07	0,33
Na	3–6	44	0,83	4,41	1,68	0,49	1,66	1,38	2,07	0,33
S	0–3	44	0,13	1,11	0,65	0,30	0,56	1,75	0,09	
S	3–6	44	0,02	1,44	0,79	0,33	0,65	2,30	0,09	
Corg	0–3	32	2,40	7,07	4,37	1,17	4,22	1,31		
Corg	3–6	32	1,32	6,23	3,78	1,04	3,63	1,34		
Ntot	0–3	32	0,32	0,88	0,56	0,14	0,54	1,27		
Ntot	3–6	32	0,18	0,74	0,47	0,12	0,45	1,31		
Savi,	0–3	34	11,1	66,6	41,8	14,4	38,9	1,49		
F<2 m	3–6	31	21,8	64,4	44,7	11,2	43,3	1,30		
		Savi- ja aleuriidirikas peeneteraline liiv								
Al	0–5	36	0,85	5,48	3,26	1,11	3,05	1,51		2,5
Ca	0–5	36	0,11	3,29	0,66	0,24	0,64	1,70		3,91
Fe	0–5	36	0,22	3,20	1,28	0,77	1,04	1,99		0,98
K	0–5	36	0,54	2,99	1,96	0,60	1,84	1,48		1,07
Mg	0–5	36	0,04	2,05	0,36	0,24	0,30	2,30		0,70
Na	0–5	36	0,23	4,26	0,91	0,39	0,86	1,73		0,33
S	0–5	36	0,02	1,09	0.08	0,11	0,04	3,25		0,03

* Vp – vaatluspunktid; Mk – maakoore keskmine; Lk – liivakivide keskmine; Ak – aritmeetiline keskmine; s – standardhälve; Xg – geomeetriline keskmine; ξ – geomeetriline standardhälve e standardhälve kordajana.

Lahe põhjasetete mikroelementide sisaldus on heterogeenne nii lateraalses suunas kui ka vertikaalses läbilõikes. Vaadeldavate elementide sisalduse, jaotuse ja hajuvuse olulisemad

seaduspärasused on koondatud geokeemilise sisuga joonistele (Joonis 4.2.2.1-a kuni Joonis 4.2.2.13-d) ja tabelitesse (Tabel 4.2.2.1 – Tabel 4.2.2.13).

Vaadeldavate elementide sisalduste analüüs näitab, et nende geokeemiliste parameetrite jaotus savialeuriidi erinevates kihtides ja samuti liivaleuriidi setetes on lähedane log-normaalsele (geomeetrilisele) seaduspärasusele. See ja mõningad erinevused on küllalt selgesti jälgitavad elementide sisalduse sageduse diagrammidel. Mainitust tulenevalt kasutatakse seletuskirjas ja joonistel geomeetrilist keskmist sisaldust (x_g) ja sisalduste dispersiooni iseloomustamisel standardhälvet kordajana (ξ). Need arvud võimaldavad selgitada, millises protsentuaalses osas setetest võib elementide sisaldus ületada ka keskkonnakasutuse (kaitse) eesmärkidel kehtestatud või kehtestatavaid piirsisaldusi.

Geomeetrilise keskmise (Xg) all käsitleme väärtust, mis kujutab endast keskmise arvutamisel osalevate proovide sisalduste korrutise n-dat juurt. Selline keskmine aitab minimeerida üksikute kõrgete sisalduste mõju keskmisele väärtusele ja on lähedane mediaansisaldusele.

Tabelites toodud valdava sisaldusena vaatleme sisaldusi, mis jäävad piiridesse x : ε kuni x × ε (kus x on aritmeetiline keskmine ja ε – standardhälve). Need sisaldused moodustavad teoreetiliselt 67,3% kogumi analüüside hulgast ja sageli vaadeldakse neid foonina. Sisaldusi, mis jäävad piiridesse x × ε kuni x × ε^2 ja moodustavad ligi 13,6%, vaatleme kõrgendatuna ja neid, mis jäävad piiridesse x × ε^2 kuni x × ε^3 ja moodustavad ligi 2,3% kogumist, kõrgetena. x × ε^3 piiri ületavaid sisaldusi vaadeldakse anomaalsetena.

Toksilised raskmetallid (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn) ja As

4.2.2.1. Cd (Kaadmium)

Cd on kalkofiilne element, poolmetall, mille aatomnumber on 48 ja aatommass 112. Looduses levib Cd 8 stabiilse isotoobina, millest on olulisemad Cd-114 (28,7%) ja Cd-112 (24,1%). Setete (kivimite) ühendites esineb Cd oksüdatsiooniastmega +2.

Cd keskmine sisaldus maakoores on 0,102 mg/kg, kuid kivimtüüpide lõikes muutlik. Tardkivimites varieerub Cd-sisaldus tavaliselt 0,05–0,2 mg/kg piirides, settekivimites on Cd-sisalduse variatsioon veelgi suurem. Keskmine Cd-sisaldus läheneb savikivimites 0,25 mg/kg ja väheneb liivakivides < 0,04 mg/kg. Orgaanikarikastes kivimites võib Cd-sisaldus olla veelgi kõrgem, Eesti graptoliitargilliidis varieerub Cd-sisaldus valdavalt 0,1–1 mg/kg piirides, kuid kilda läbilõike alumises osas ulatub 38 mg/kg. Eesti mulla huumushorisondi kuningvees lahustuv valdav Cd-sisaldus jääb 0,08–0,29 mg/kg piiridesse (Petersell jt, 2015). Cd kogusisaldus on sellest ligi 10–20% kõrgem.

Valdav enamus Cd on koondunud isomorfselt kivimit moodustavatesse mineraalidesse.

Pinnalähedases keskkonnas on Cd kergemini liikuv happelises ja neutraalses keskkonnas, kus pH on alla 8. See on ka põhjuseks, miks Cd liikuvus väheneb karbonaatiderikastes setetes (Bowen, 1979).

Cd kontsentreerub ka veetaimede mineraalosas. On tuvastatud, et kõrge Cd-sisaldusega mullad on toksilised (Vadkovskaja, Lukašev, 1981). Samas on teada, et Cd-puudus organismis pidurdab selle kasvu, takistab loomadel järglaskonna saamist (Kabata-Pendias, Pendias, 1989).

Soome lahe savialeuriidi lõimisega põhjasetete ülemise, 0–3 cm kihi keskmine Cd-sisaldus on 0,57 mg/kg, mis on enam kui 5 korda kõrgem Mk keskmisest (Joonis 4.2.2.1-a) ja 3 korda kõrgem Eesti mulla huumushorisondi sisaldusest (Tabel 4.2.2.1). Sisalduste dispersioon on kõrgendatud (Joonis 4.2.2.1-c) ja maksimaalsed sisaldused ulatuvad 1,64 mg/kg (Joonis 4.2.2.1-a). Need ületavad enam kui 15 korda huumushorisondi keskmise sisalduse. Maksimaalsed sisaldused levivad Kunda ja Tallinna idapikkuste vahelisel alal. Joonis 4.2.2.1-c–lCd-sisaldus alumises, 3–6 cm kihis jälgib küll üldjuhul ülemise kihi seaduspärasusi, kuid on piirkonniti erinev ja sisalduste dispersioon heitlikum.

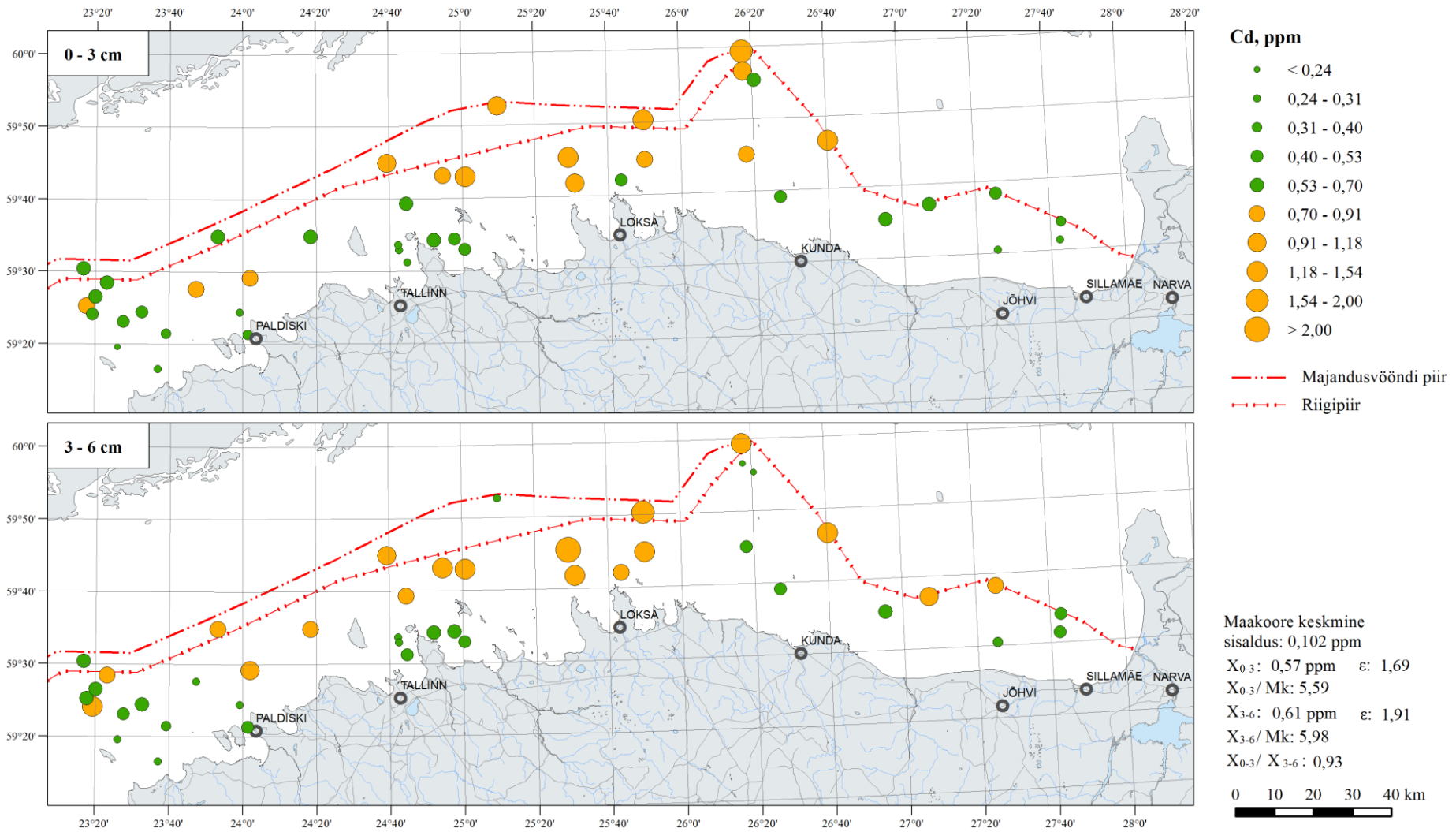
Alumise kihi keskmine Cd-sisaldus on 0,61 mg/kg ehk ligi 7% kõrgem sisaldusest ülemises kihis. Viimastel aastatel on põhjasetetes toimunud kaootiliselt pea kogu alal Cd-sisalduse vähenemine (Joonis 4.2.2.1-d). Mõningane suurenemine on toimunud ainult Eesti majandusvööndi põhja- ja läänepiirkonnas.

Savialeuriidi setetes on Cd-sisalduse ja Cu, Zn, As, Mo, N-tot ning C-org vaheline korrelatsioon tugev, positiivne, korrelatsioon Mn, Sb, U ja lahe sügavusega on nõrgalt positiivne. Saviosakeste suhtes käitub Cd neutraalselt.

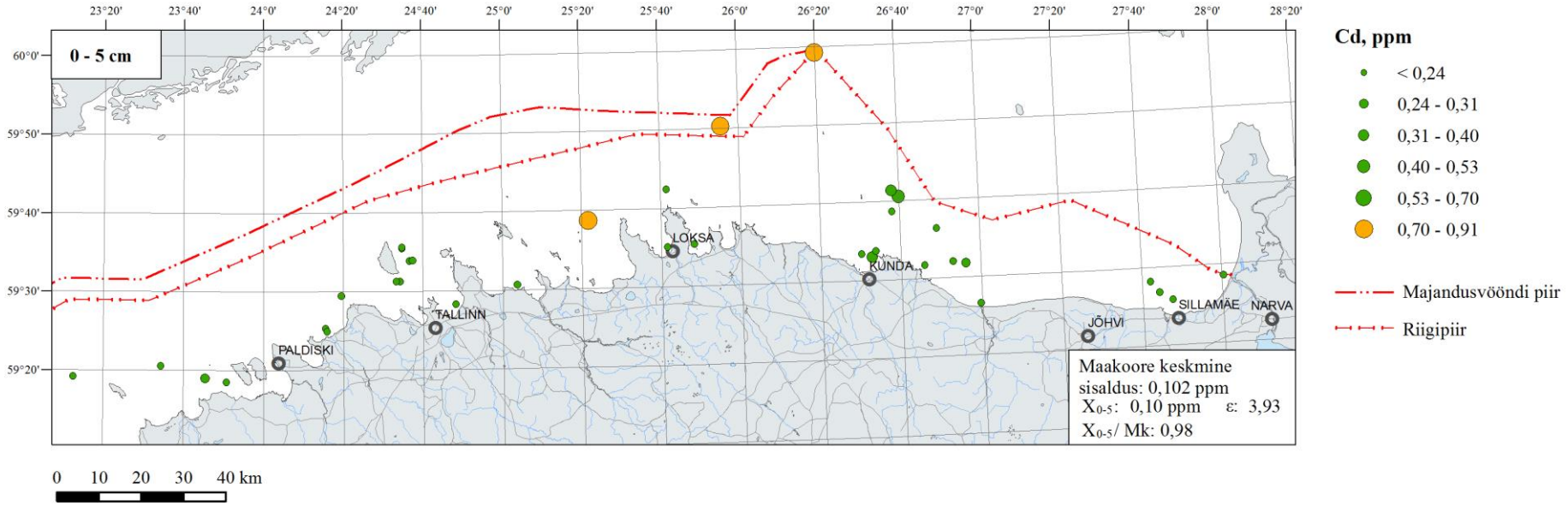
Liivaleuriidi setetes on Cd-sisaldus oluliselt madalam, keskmiselt lähedane maakoore keskmisele (Joonis 4.2.2.1-b, Tabel 4.2.2.1), kuid dispersioon on eriti kõrge ja heitlik. (Joonis 4.2.2.1-c). Viimane on põhjustatud liivaleuriidi setete muutlikust lõimisest ja mineraalsest koostisest. Maksimaalsed sisaldused ulatuvad 0,89 mg/kg ning jäävad Kunda ja Maardu idapikkuste vahelisele alale. On iseloomulik Cd kõrge positiivne korrelatsioon lahe sügavuse, Mn, Fe, Co, Zn, As ja U sisalduse vahel. Korrelatsioon Ni, Cu, Pb ja Ba-ga on nõrgalt positiivne.Kopaproovide lõimis ei ole määratud.

Tabel 4.2.2.1. Cd-sisaldus lahe põhjasetetes, mg/kg

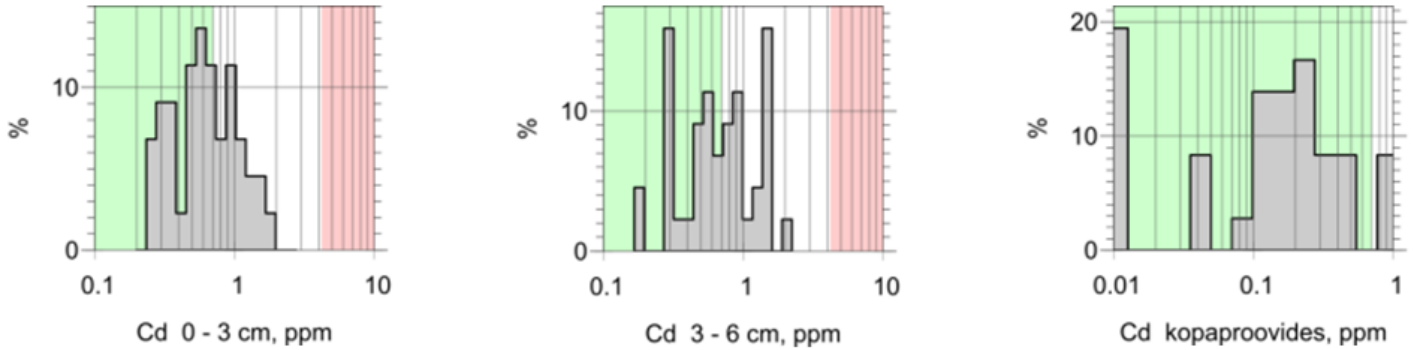
Lahe põhjasetted		Proo-vide arv	Geokeemilised parameetrid							Xg /Mk
Litotüüp	Sügavus, cm		Sisaldused			ξ	Sisalduse piirid (kuni), mg/kg			
			x_{min}	x_{max}	x_g		valdav	kõrgend.	kõrge	
Savialeuriit	0-3	44	0,23	1,64	0,57	1,69	0,96	1,6	2,7	5,59
	3–6	44	0,17	2,15	0,61	1,91	1,2	2,0	3,8	5,98
Liivaleuriit	0–5	36	0,01	0,89	0,10	3, 93				0,98
Fe-Mn konkr.	0–5	8	0,59	2,85	1,33	1,74				13,04
Konkr. ümbris	0–5	7	0,23	0,94	0,52	1,71				0,51
	> 5	7	0,13	0,25	0,19	1,85				1,86



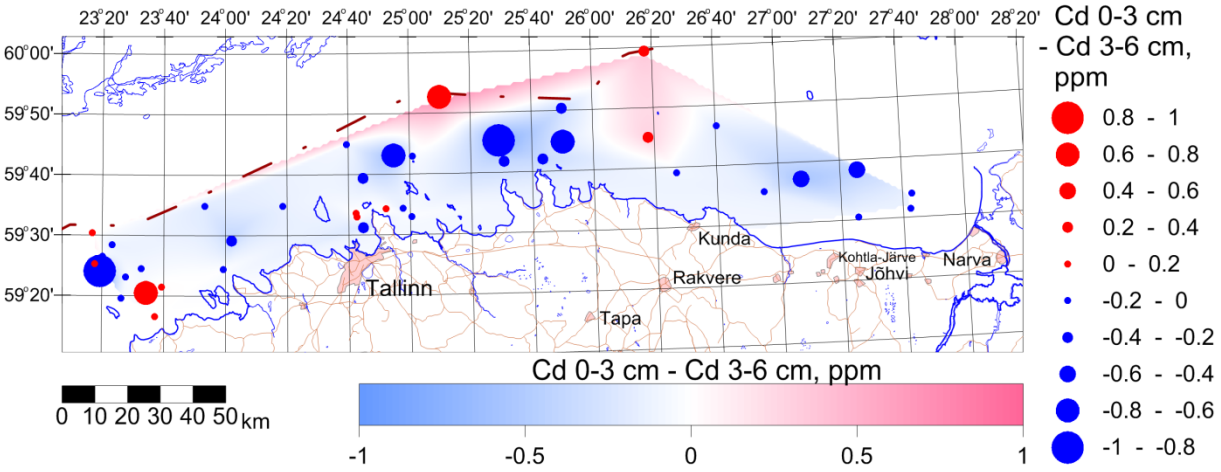
Joonis 4.2.2.1-a. Cd pindalaline levik Soome lahe savialeuriidi põhjasetete kahes ülemises, 0–3 cm ja 3–6 cm intervallis. Roheline värv tähistab SedGoF „hea“ piirväärtusest madalamaid sisaldusi, kollane – SedGoF „hea“ ja „rahuldav“ piirväärtuste vahepealseid sisaldusi, ning punane – SedGoF „rahuldav” piirväärtusest suuremaid sisaldusi



Joonis 4.2.2.1-b. Cd pindalaline levik Soome lahe liivaleuriidi põhjasetete ülemises, 0–5 cm intervallis (kopaproovid). Roheline värv tähistab SedGoF „hea“ piirväärtusest madalamaid sisaldusi, kollane – SedGoF „hea“ ja „rahuldav“ piirväärtuste vahepealseid sisaldusi, ning punane–SedGoF „rahuldav” piirväärtusest suuremaid sisaldusi



Joonis 4.2.2.1-c. Cd-sisalduse jaotusdiagrammid: savialeuriidis 0–3 ja 3–6 cm intervallides ning liivaleuriidi 0–5 cm intervallis (kopaproovid)



Joonis 4.2.2.1-d. Cd-sisalduste vahe põhjasette proovides sügavuselt 0–3 ja 3–6 cm merepõhjast

4.2.2.2. Cr (Kroom)

Cr on sidero-litofiilne element, mille aatomnumber on 24 ja aatommass 52. Cr levib looduses 5 stabiilse isotoobina, millest Cr-52 moodustab 84% kogu Cr massist. Cr esineb kivimite ühendites oksüdatsiooniastmega +3, harvem +2 ja +6.

Cr keskmine sisaldus maakoores on ligi 35 mg/kg, kuid magmakivimites väga varieeruv, valdavalt 10–2300 mg/kg piirides. Settekivimites on Cr-sisaldus ühtlasem, kroomirikkamad on savid (100 mg/kg) ja -vaesemad – lubjakivid (5 mg/kg). Eesti graptoliitargilliidi Cr-sisaldus varieerub valdavalt 30–70 mg/kg, mulla huumushorisondis 14–39 mg/kg piirides.

Üle 90% Cr esineb halvasti lahustuvate silikaatsete mineraalide oksiidsetes ühendites, esmajärjekorras Fe-rikastes mineraalides.

Mullas on Cr normaaltingimustes väheliikuv. Selle adsorptsioon savimineraalide poolt on sõltuvuses pH-st. Cr6+ adsorptsioon suureneb pH vähenedes ja Cr3+ adsorptsioon suureneb koos pH kasvuga. Cr-mineraalid on murenemisele vastupidavad. Kergemini lahustuvad vees ja adsorbeeruvad Cr6+-ühendid.

Cr mõju taimedele pole ühemõtteliselt selgitatud. Kuna Cr-sisaldus on taimede mineraalosas kordades kõrgem kui mullas, kuulub Cr tõenäoliselt bioaktiivsete elementide hulka (Vadkovskaja, Lukašev, 1981). Cr on kantserogeenne, Cr6+-ühendid samuti toksilised, kahjustavad esmajärjekorras maksa ja neerude tegevust (Koljonen, 1992; De Vos, Tarvainen, 2006).

Soome lahe savialeuriidi lõimisega põhjasetete ülemise, 0–3 cm kihi keskmine Cr-sisaldus on 69 mg/kg, mis on ligi 2 korda kõrgem Mk keskmisest (Joonis 4.2.2.2-a) ja 3 korda kõrgem Eesti mulla huumushorisondi sisaldusest (

Tabel 4.2.2.**2**). Sisalduste dispersioon on madal ja maksimaalsed sisaldused ulatuvad ainult 89 mg/kg (Joonis 4.2.2.2-b), mis ületavad kuni 4 korda huumushorisondi keskmise sisalduse. Maksimaalsed sisaldused levivad kaootiliselt ja mõnevõrra suurenevad Loksa idapikkusest lääne suunas (Joonis 4.2.2.2-a).

Cr-sisaldus alumises, 3–6 cm kihis jälgib küllalt üheilmeliselt ülemise kihi seaduspärasusi, kuid on üksikutes hajutatud punktides oluliselt erinev. Üldise Cr-sisalduse vähenemise taustal toimub nendes punktides Cr-sisalduse suurenemine.

Alumise kihi keskmine Cr-sisaldus on 75 mg/kg ehk ligi 9% kõrgem sisaldusest ülemises kihis. Viimastel aastatel on savialeuriidi põhjasetetes jälgitav pea kogu alal Cr-sisalduse vähenemine (Joonis 4.2.2.2-d). Mõningane suurenemine on fikseeritud ainult üksikutes punktides kogu majandusvööndi piirides.

Savialeuriidi setetes on Cr-sisalduse ja Mg, Al, Fe ning Ni vaheline korrelatsioon tugev, positiivne, C-org ja lahe sügavuse vaheline korrelatsioon puudub. Saviosakeste osakaalust on Cr samuti tugev positiivne sõltuvus.

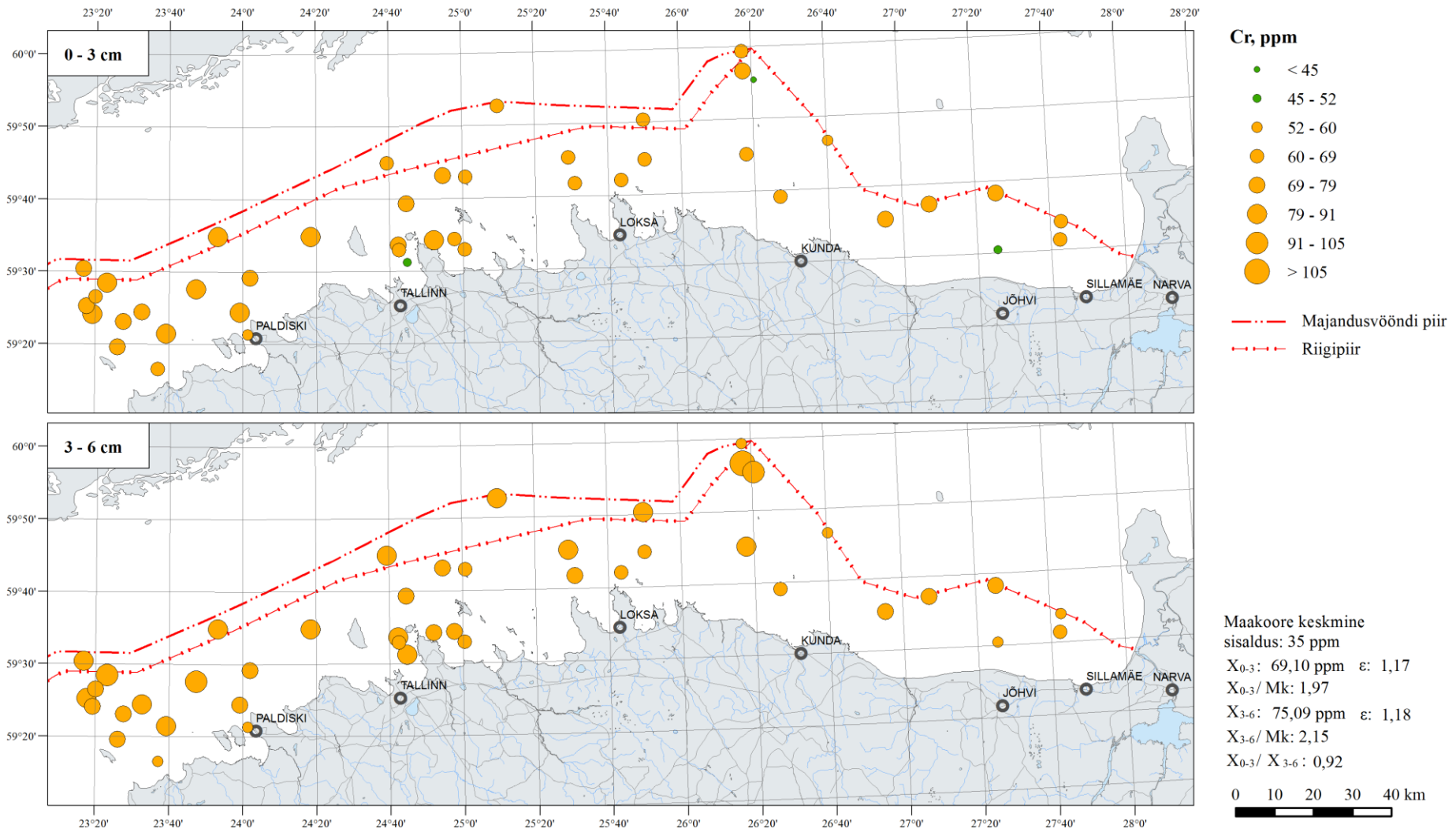
Liivaleuriidi setetes on Cr-sisaldus oluliselt madalam, keskmiselt enam kui 2 korda madalam maakoore keskmisest (Joonis 4.2.2.2-c,

Tabel 4.2.2.**2**), kuid dispersioon väga kõrge ja korrapäratu (Joonis 4.2.2.2-b). Viimane on põhjustatud liivaleuriidi setete muutlikust lõimisest ja mineraalsest koostisest. Maksimaalsed

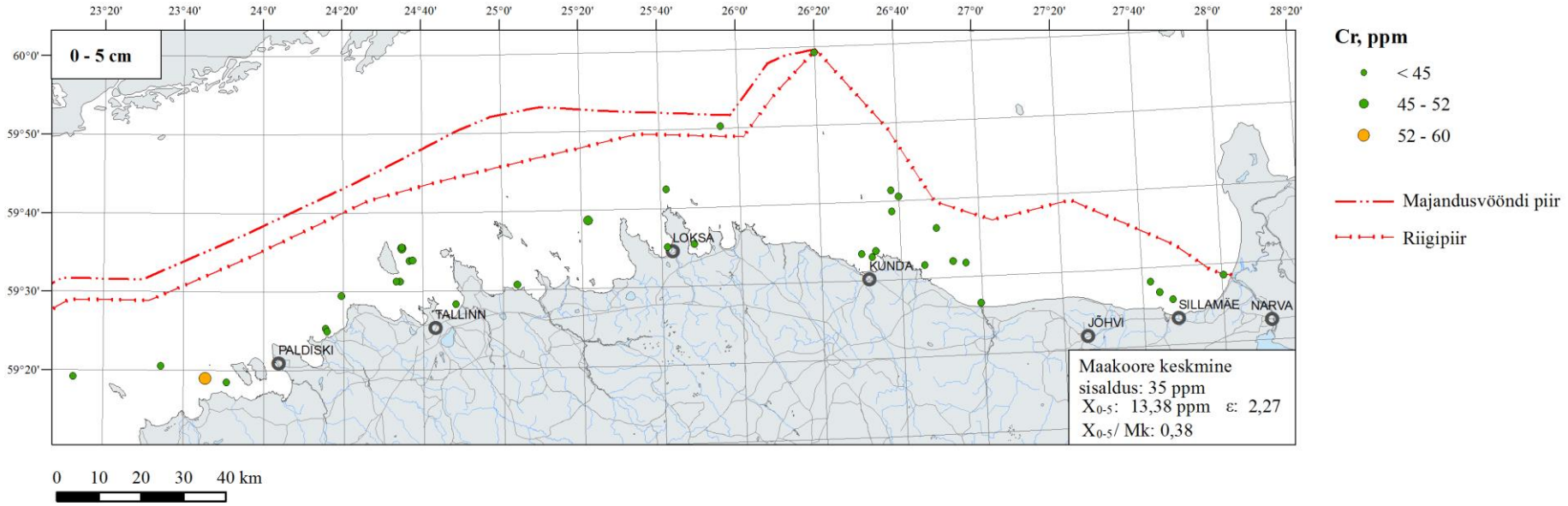
sisaldused ulatuvad 55 mg/kg ja jäävad majandusvööndi läänepiirkonda. Iseloomulik on Cr väga kõrge positiivne korrelatsioon Mg, K, Ca, Fe, Co, Ni, Cu, Zn ja Pb sisalduse vahel. Samuti on oluline seos Al, As, Cd, U ja teatud määral mere sügavusega.

Tabel 4.2.2.2. Cr-sisaldus lahe põhjasetetes, mg/kg

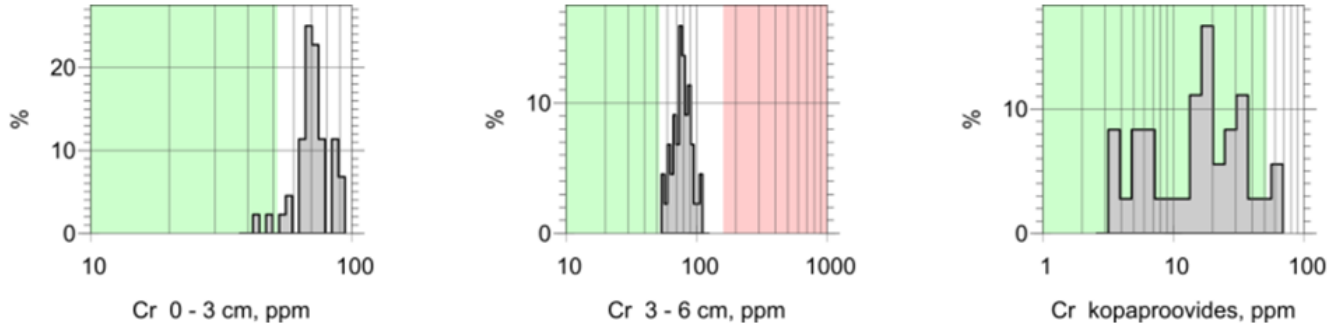
Lahe põhjasetted		Proo-vide arv	Geokeemilised parameetrid							X_g /Mk
Litotüüp	Sügavus, cm		Sisaldused			ξ	Sisalduse piirid (kuni), mg/kg			
			x_{min}	x_{max}	x_g		valdav	kõrgend.	kõrge	
Savialeuriit	0–3	44	41	89,2	69,1	1,17	81	95	110	1,97
	3–6	44	54	107	75,1	1,18	89	100	120	2,15
Liivaleuriit	0–5	36	3	54,7	13,4	2,27				0,38
Fe-Mnkonkr.	0–5	8	20	58	36,9	1,44				1,05
Konkr. ümbris	0–5	7	17	71	37,4	1,65				1,07
	> 5	6	71	107	90,7	1,16				2,59



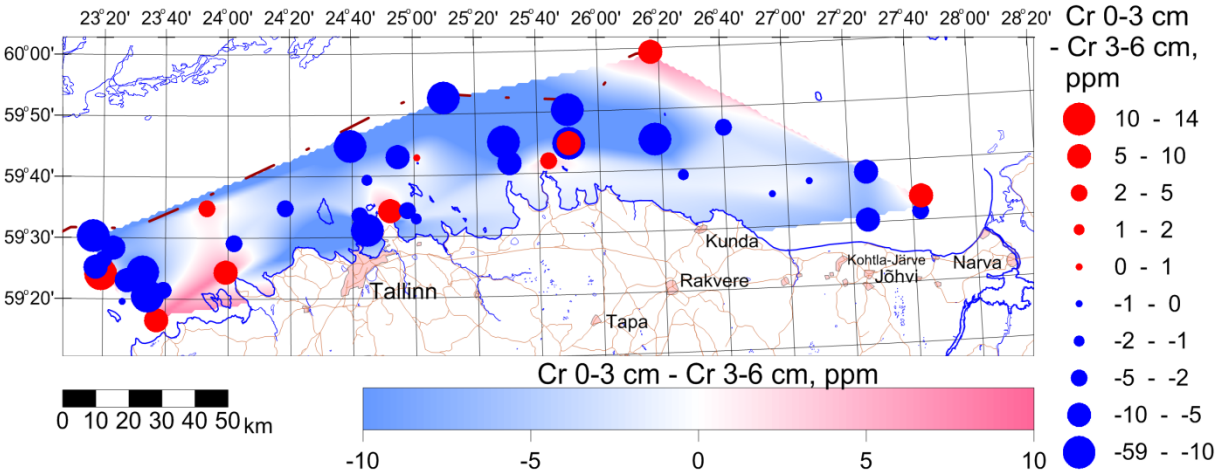
Joonis 4.2.2.2-a. Cr pindalaline levik Soome lahe savialeuriidi põhjasetete kahes ülemises, 0–3 cm ja 3–6 cm intervallis. Roheline värv tähistab SedGoF „hea“ piirväärtusest madalamaid sisaldusi, kollane – SedGoF „hea“ ja „rahuldav“ piirväärtuste vahepealseid sisaldusi, ning punane – SedGoF „rahuldav” piirväärtusest suuremaid sisaldusi



Joonis 4.2.2.2-b. Cr pindalaline levik Soome lahe liivaleuriidi põhjasetete ülemises, 0–5 cm intervallis (kopaproovid). Roheline värv tähistab SedGoF „hea“ piirväärtusest madalamaid sisaldusi, kollane – SedGoF „hea“ ja „rahuldav“ piirväärtuste vahepealseid sisaldusi, ning punane – SedGoF „rahuldav” piirväärtusest suuremaid sisaldusi



Joonis 4.2.2.2-c. Cr-sisalduse jaotusdiagrammid: savialeuriidis 0–3 ja 3–6 cm intervallides ning liivaleuriidi 0–5 cm intervallis (kopaproovid)



Joonis 4.2.2.2-d. Cr-sisalduste vahe põhjasette proovides sügavuselt 0–3 ja 3–6 cm merepõhjast

4.2.2.3. Cu (Vask)

Cu on kalkofiilne element, tüüpiline metall, mille aatomnumber on 29 ja aatommass 63. Looduses levib Cu 2 stabiilse isotoobina, Cu-63 ja Cu-65, millest esimene moodustab 69,2%. Kivimites esineb ühendites, oksüdatsiooniastmega peamiselt +2 ja harvem +1.

Cu keskmine sisaldus maakoores on 14,3 mg/kg. Aluseliste kivimite keskmine Cu-sisaldus on 90 mg/kg, nende erimites ulatub 880 ja üle selle. Madalaim Cu-sisaldus (1–3 mg/kg) on fikseeritud happelistes leeliskivimites (Ivanov, 1996). Settekivimites on Cu-sisaldus madalam, maksimaalselt kontsentreerub savides, kus selle keskmine sisaldus läheneb 45 mg/kg. Ka graptoliitargilliidis on Cu-sisaldus kõrge ja ulatub 140–180 mg/kg.

Eesti mulla huumushorisondi kuningvees lahustuva Cu valdav sisaldus jääb 4,4–11 mg/kg piiridesse, mis on ligi 37% madalam Cu kogusisaldusest (Petersell jt, 1996; 2015).

Murenemisel on Cu-ühendid liikuvad happelises, esmajärjekorras väävelhappelises keskkonnas, kuid küllalt inertsed taandavas leeliskeskkonnas (Vadkovskaja, Lukašev, 1981).

Cu on kõikide taimede ja elusorganismide eluks oluline element. Cu vähesus või kõrge sisaldus põhjustab taimede tõsiseid haigestumisi. Cu-ühendite kõrged sisaldused mullas on toksilised (Kabata-Pendias, Pendias, 1992).

Soome lahe savialeuriidi lõimisega põhjasetete ülemise, 0–3 cm kihi keskmine Cu-sisaldus on 32 mg/kg, mis on enam kui 2 korda kõrgem Mk keskmisest (Joonis 4.2.2.3-a) ja 3 korda kõrgem Eesti mulla huumushorisondi sisaldusest (Tabel 4.2.2.3). Sisalduste dispersioon on madal (Joonis 4.2.2.3-c), maksimaalsed sisaldused ulatuvad ainult 45 mg/kg (Joonis 4.2.2.3-a) ja need levivad hajutatult kogu majandusvööndi piirides.

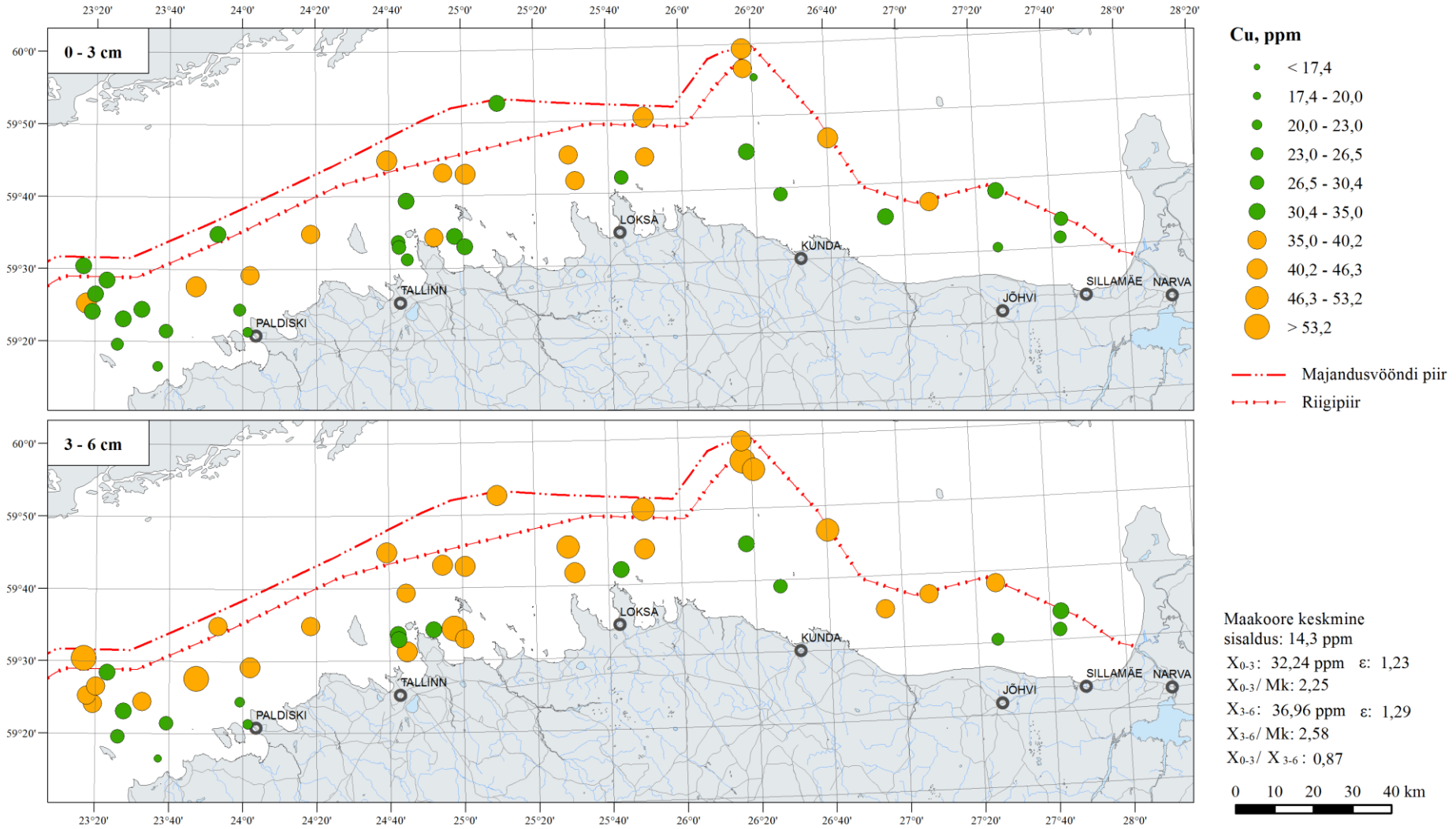
Cu-sisaldus alumises, 3–6 cm kihis jälgib ülemise kihi seaduspärasusi. Selle kihi keskmine sisaldus on 37 mg/kg ehk ligi 15% kõrgem sisaldusest ülemises kihis. Cu-sisalduse vähenemine on iseloomulik pea kogu majandusvööndile (Joonis 4.2.2.3-d). Mõningane suurenemine on toimunud ainult majandusvööndi põhja- ja läänepiirkondades.

Savialeuriidi setetes on jälgitav Cu ja C-org, N-tot, S, Cd, Mo ning Zn sisalduse vahel tugev positiivne korrelatsioon, lahe sügavusega on nõrgalt positiivne. Saviosakeste suhtes käitub Cu neutraalselt.

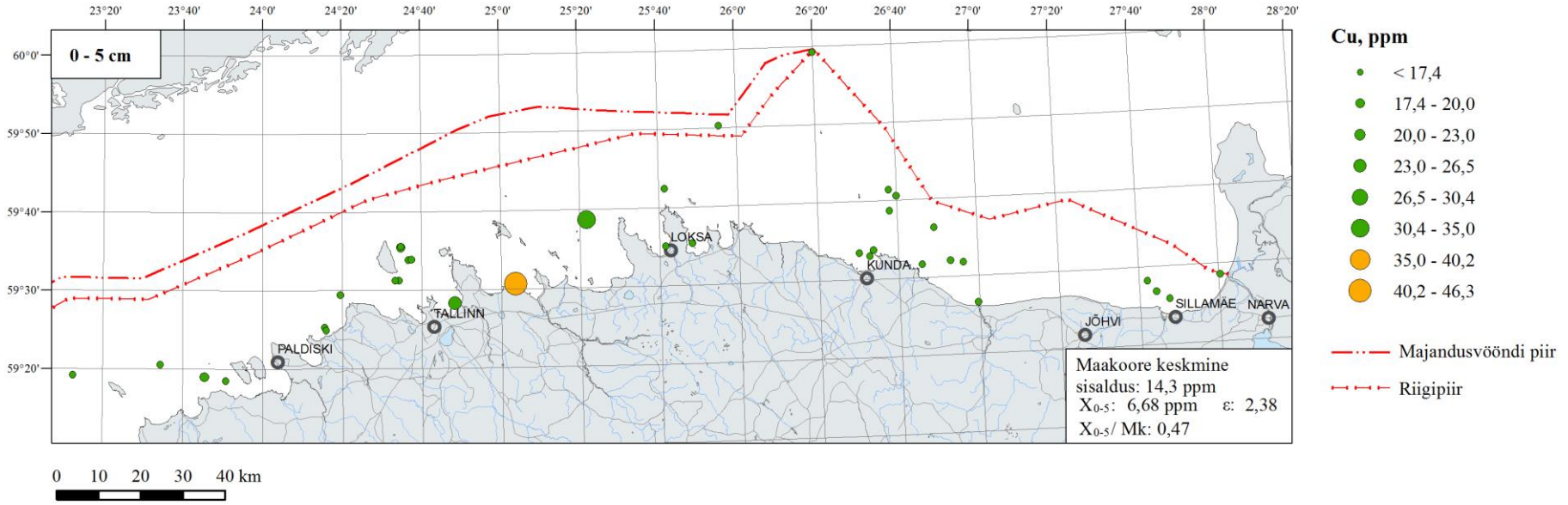
Liivaleuriidi setetes on Cu-sisaldus oluliselt madalam (
Joonis 4.2.2.3-b), keskmiselt ligi 2 korda madalam maakoore keskmisest (Tabel 4.2.2.3). Tänu üksikutele suhteliselt kõrgetele sisaldustele (kuni 44,8 mg/kg) on sisalduste dispersioon väga kõrge. Iseloomulik on Cu kõrge positiivne korrelatsioon S, Fe, Cr, Ni, Sn, SbPb, Zn ja As sisaldustega. Korrelatsioon Cu-sisalduse ja lahe sügavuse vahel on nõrgalt positiivne.

Tabel 4.2.2.3. Cu-sisaldus lahe põhjasetetes, mg/kg

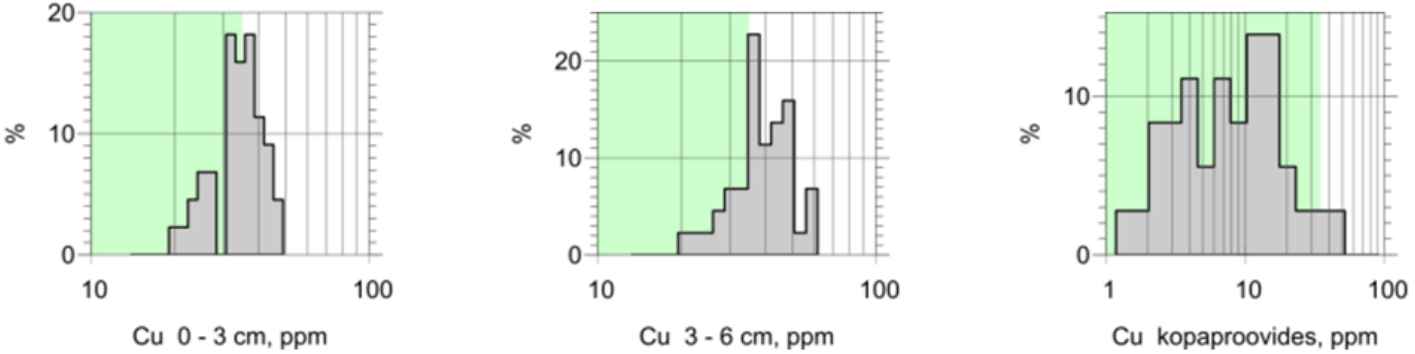
Lahe põhjasetted		Proo-vide arv	Geokeemilised parameetrid							Xg /Mk
Litotüüp	Sügavus, cm		Sisaldused			ξ	Sisalduse piirid (kuni), mg/kg			
			x_{min}	x_{max}	x_g		valdav	kõrgend.	kõrge	
Savialeuriit	0–3	44	18,4	45,5	32,2	1,23	40	49	60	2,25
	3–6	44	18,8	60,9	37,0	1,29	48	62	79	2,59
Liivaleuriit	0–5	36	1,3	44,8	6,7	2,38				0,47
Fe-Mn konkr.	0–5	8	17,6	45,4	29,1	1,37				2,03
Konkr. ümbris	0–5	7	10,2	35,0	19,0	1,50				1,33
	> 5	6	28,0	57,1	44,5	1,28				3,11



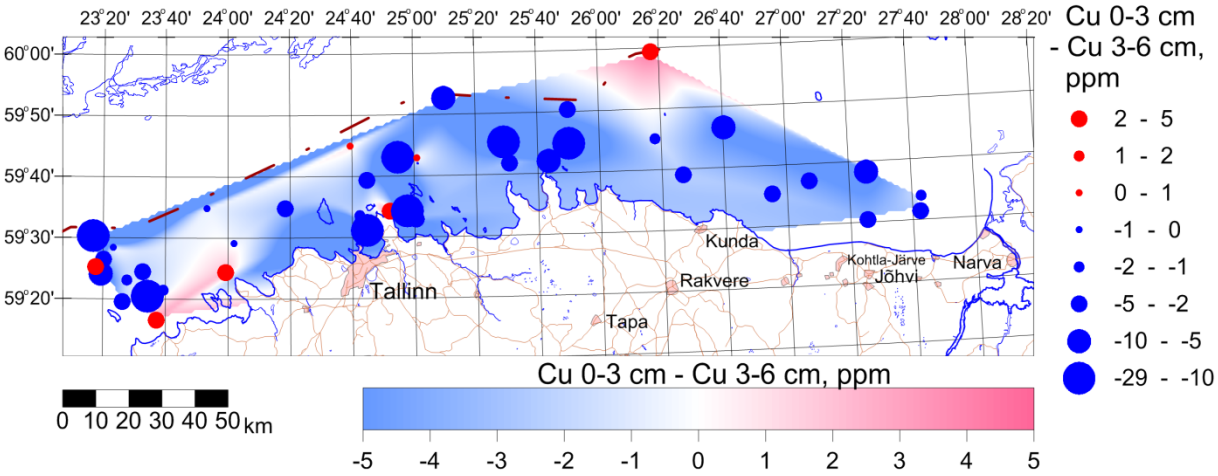
Joonis 4.2.2.3-a. Cu pindalaline levik Soome lahe savialeuriidi põhjasetete kahes ülemises, 0–3 cm ja 3–6 cm intervallis. Roheline värv tähistab SedGoF „hea“ piirväärtusest madalamaid sisaldusi, kollane – SedGoF „hea“ ja „rahuldav“ piirväärtuste vahepealseid sisaldusi, ning punane – SedGoF „rahuldav” piirväärtusest suuremaid sisaldusi



Joonis 4.2.2.3-b. Cu pindalaline levik Soome lahe liivaleuriidi põhjasetete ülemises, 0–5 cm intervallis (kopaproovid). Roheline värv tähistab SedGoF „hea“ piirväärtusest madalamaid sisaldusi, kollane – SedGoF „hea“ ja „rahuldav“ piirväärtuste vahepealseid sisaldusi, ning punane – SedGoF „rahuldav” piirväärtusest suuremaid sisaldusi



Joonis 4.2.2.3-c. Cu-sisalduse jaotusdiagrammid: savialeuriidis 0–3 ja 3–6 cm intervallides ning liivaleuriidi 0–5 cm intervallis (kopaproovid)



Joonis 4.2.2.3-d. Cu-sisalduste vahe põhjasette proovides sügavuselt 0–3 ja 3–6 cm merepõhjast

4.2.2.4. Hg (Elavhõbe)

Hg on kalkofiilne mikroelement, mille aatomnumber on 80 ja aatommass 201. Hg esineb looduses 7 isotoobina, millest levinum on Hg-199 (moodustab 23,3%). Kivimites esineb Hg peamiselt ühendites, oksüdatsiooniastmega +1 ja +2.

Hg-sisaldus on maakoores väga madal, kuid küllalt üheilmeline, keskmiselt 56 µg/kg. Magmakivimite formeerumisel pole täheldatud Hg kontsentreerumist kindlatesse kivimgruppidesse. Settekivimitest kontsentreerub Hg savides (180 µg/kg), on madal liivakivimites (10 µg/kg) ja karbonaatsetes kivimites (20 µg/kg). Graptoliitargilliidis on Hg-sisaldus suhteliselt kõrge. Kuningvees lahustuv sisaldus jääb valdavalt 100–300 µg/kg piiridesse. Eesti mulla huumushorisondis jääb kuningvees lahustuva Hg sisaldus valdavalt 19–62 µg/kg piiridesse.

Hg on mullas enam seotud orgaanilise aine ja savimineraalidega. Hg mobiilsus väheneb mulla madala (< 3) ja kõrge (> 12) pH korral.

Hg ja selle soolad on kõrgtoksilised. Need mõjuvad negatiivselt pea kõikidele eluvormidele.

Soome lahe savialeuriidi lõimisega põhjasetete ülemise, 0–3 cm kihi kuningvees lahustuva Hg fraktsiooni keskmine sisaldus on 44 µg/kg (Joonis 4.2.2.4-a), mis on enam kui 20% madalam Mk keskmisest, kuid sama palju kõrgem mulla huumushorisondi keskmisest (Tabel 4.2.2.4). (On tõenäoline, et Hg kogusisaldus on lähedane maakoore keskmisele). Sisalduste dispersioon on kõrgendatud ja maksimaalsed sisaldused ulatuvad 110 µg/kg (Joonis 4.2.2.4-c). Need ületavad enam kui 3 korda huumushorisondi keskmise sisalduse ja levivad Tallinna idapikkuse vööndis, peamiselt Tallinna lahe piirkonnas. Hg-sisaldus alumises, 3–6 cm kihis jälgib küll üldjuhul ülemise kihi seaduspärasusi, kuid sisalduste dispersioon on heitlikum.

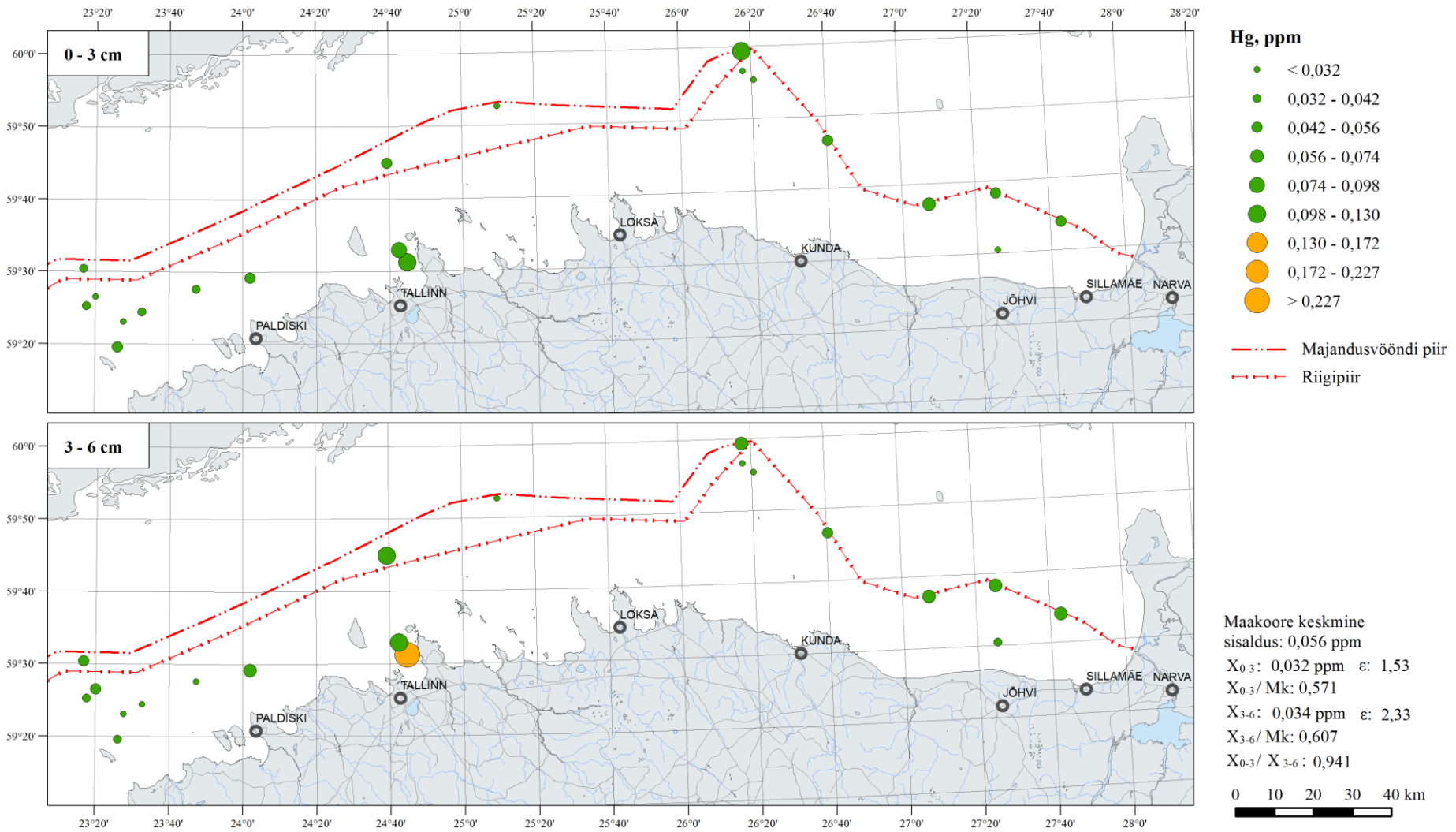
Alumise kihi keskmine Hg-sisaldus on lähedane ülemise kihi sisaldusele. Viimastel aastatel on setetes aga jälgitav Hg-sisalduse vähenemine Tallinna piirkonnas ja suurenemine lahe majandusvööndi põhja- ja läänepiirkondades (Joonis 4.2.2.4-c).

On märkimist vääriv, et savialeuriidi setetes puudub korrelatsioon Hg ja kõigi teiste elementide (v.a nõrk korrelatsioon Pb-ga), samuti lahe sügavuse ja setete saviosakeste sisalduste vahel, suhted on neutraalsed.

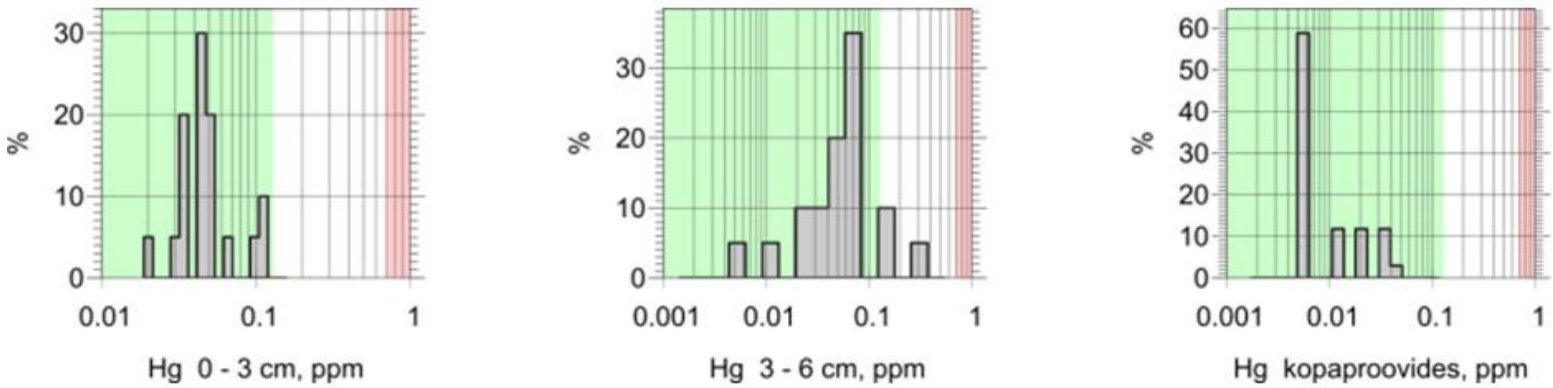
Liivaleuriidi setetes on Hg-sisaldus väga madal, valdavalt analüüsi tundlikkusele lähedane (10 µg/kg) või sellest madalam.

Tabel 4.2.2.4. Hg-sisaldus lahe põhjasetetes (kuningvees lahustunud osa), µg/kg

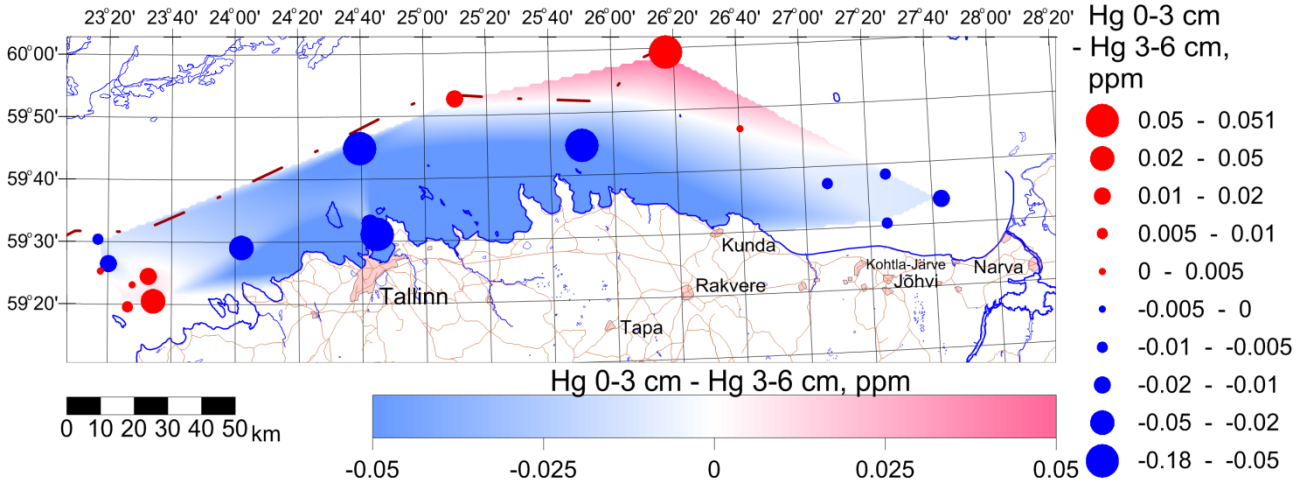
Lahe põhjasetted		Proo-vide arv	Geokeemilised parameetrid							Xg /Mk
Litotüüp	Sügavus, cm		Sisaldused			ξ	Sisalduse piirid (kuni), mg/kg			
			x_{min}	x_{max}	x_g		valdav	kõrgend.	kõrge	
Savialeuriit	0–3	20	20	110	44	1,53	67	100	160	0,79
	3–6	20	< 10	282	44	2,33	100	240	550	0,79
Liivaleuriit	0–5	34	< 10	40	12					0,21
Fe-Mnkonkr.	0–5	8	< 10	19	11	1,71				0,20
Konkr. ümbris	0–5	7	< 19	30	22	1,75				0,39
	> 5	6	< 10	24	15	1,61				0,27



Joonis 4.2.2.4-a. Hg pindalaline levik Soome lahe savialeuriidi põhjasetete kahes ülemises, 0–3 cm ja 3–6 cm intervallis. Roheline värv tähistab SedGoF „hea“ piirväärtusest madalamaid sisaldusi, kollane – SedGoF „hea“ ja „rahuldav“ piirväärtuste vahepealseid sisaldusi, ning punane – SedGoF „rahuldav” piirväärtusest suuremaid sisaldusi



Joonis 4.2.2.4-b. Hg-sisalduse jaotusdiagrammid: savialeuriidis 0–3 ja 3–6 cm intervallides ning liivaleuriidi 0–5 cm intervallis (kopaproovid)



Joonis 4.2.2.4-c. HG- sisalduste vahe põhjasette proovides sügavuselt 0–3 ja 3–6 cm merepõhjast

4.2.2.5. Ni (Nikkel)

Ni on siderofiilne element, mille aatomnumber on 28 ja aatommass 59. Looduses levib 5 stabiilse isotoobina, millest levinuim on Ni-58 (68,3%). Kivimites levib ühendites, oksüdatsiooniastmega +2, harvem +1 ja +3.

Ni maakoore keskmine sisaldus on 18,6 mg/kg, kuid erinevates kivimtüüpides väga erinev, aluselistes kivimites ületab sageli 100 mg/kg piiri, leukokraatsetes graniitides jääb sageli alla 5 mg/kg piiri. Ka settekivimites on Ni-sisaldus väga erinev, madal liivakivides (2 mg/kg) ja kõrge savides (70 mg/kg).

Graptoliitargilliidis on Ni-sisaldus kõrge, varieerub 60–310 mg/kg piirides, Eesti mulla huumushorisondis 6,3–16 mg/kg piirides.

Valdav osa Ni esineb kivimit moodustavates mineraalides isomorfselt, absorbeerunult või teiste maakmineraalide koostises (Ivanov, 1996).

Murenemisprotsessides happelises keskkonnas muutuvad Ni-ühendid liikuvateks, neutraalses ja leeliseses keskkonnas säilitavad nad tavaliselt inertsuse või settivad välja (Vadkovskaja, Lukašev, 1981).

Ni-sisaldus taimede mineraalosas on lähedane sisaldusele mullas. Kõrged Ni-sisaldused on enamuses toksilised (Kabata-Pendias, Pendias, 1992).

Soome lahe savialeuriidi lõimisega põhjasetete ülemise, 0–3 cm kihi keskmine Ni-sisaldus on 37 mg/kg, mis on ligi 2 korda kõrgem Mk keskmisest (Joonis 4.2.2.5-a) ja enam kui 3 korda kõrgem Eesti mulla huumushorisondi sisaldusest (Tabel 4.2.2.5). Sisalduste dispersioon on madal ja maksimaalsed sisaldused ulatuvad ainult 54 mg/kg (Joonis 4.2.2.5-c), mis ületavad enam kui 5 korda huumushorisondi keskmise sisalduse. Maksimaalsed sisaldused levivad kaootiliselt ja mõnevõrra suurenevad Kunda idapikkusest lääne suunas.

Ni-sisaldus alumises, 3–6 cm kihis jälgib üldjoontes ülemise kihi seaduspärasusi, kuid on hajutatud punktides oluliselt erinev.

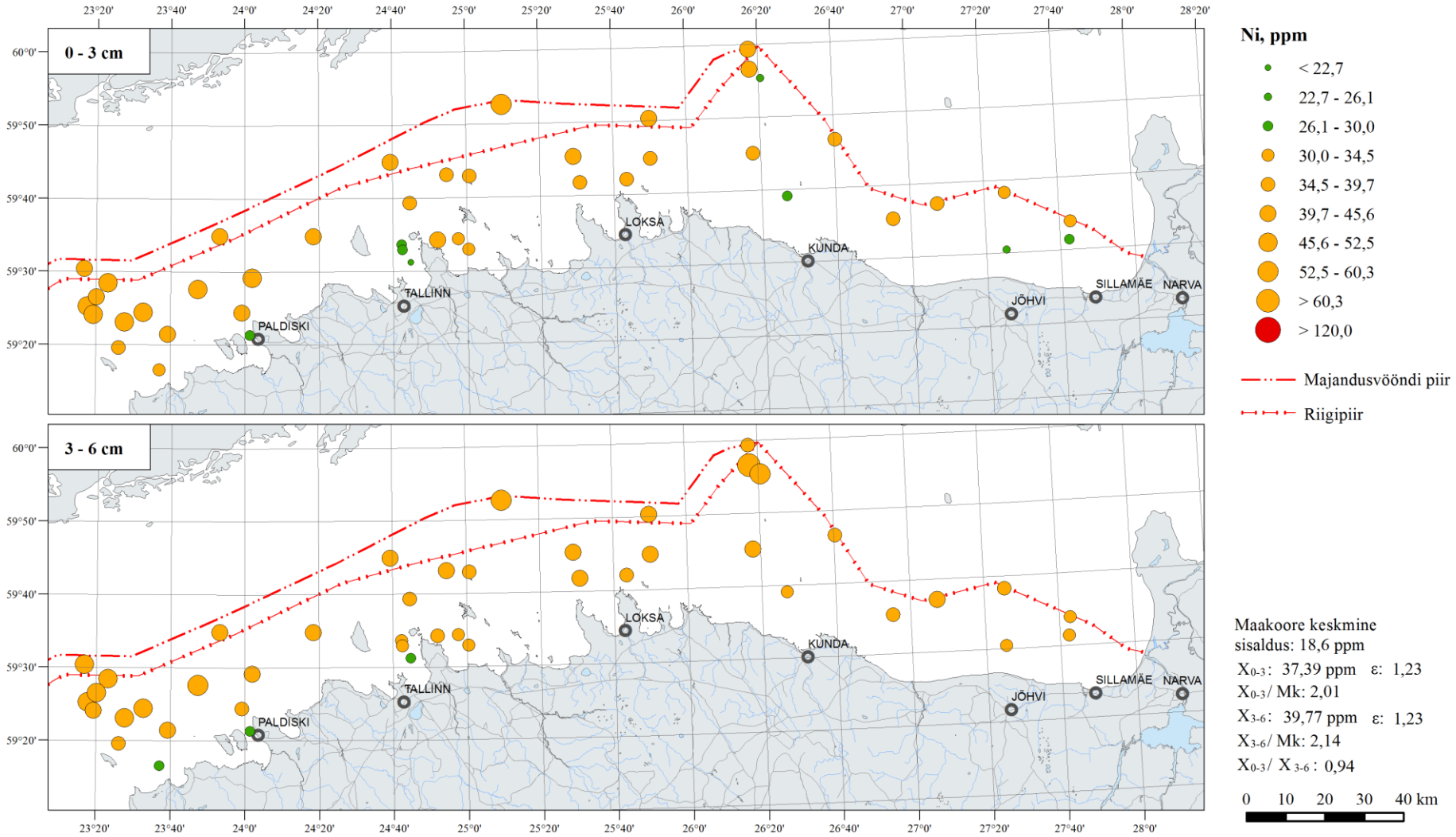
Alumise kihi keskmine Ni-sisaldus on 40 mg/kg ehk ligi 6% kõrgem sisaldusest ülemises kihis. Viimastel aastatel on savialeuriidi põhjasetetes valdaval alal jälgitav Ni-sisalduse vähenemine (Joonis 4.2.2.5-d). Suurenemine on toimunud majandusvööndi läänepiirkonnas, eriti Paldiski idapikkuse vööndis.

Savialeuriidi setetes on Ni ja Fe, Cr, Cu, Co ning Zn sisalduste vaheline korrelatsioon, samuti korrelatsioon lahe sügavuse ja saviosakestega ühemõtteliselt positiivne, C-org ja Ni vaheline korrelatsioon on nõrgalt positiivne.

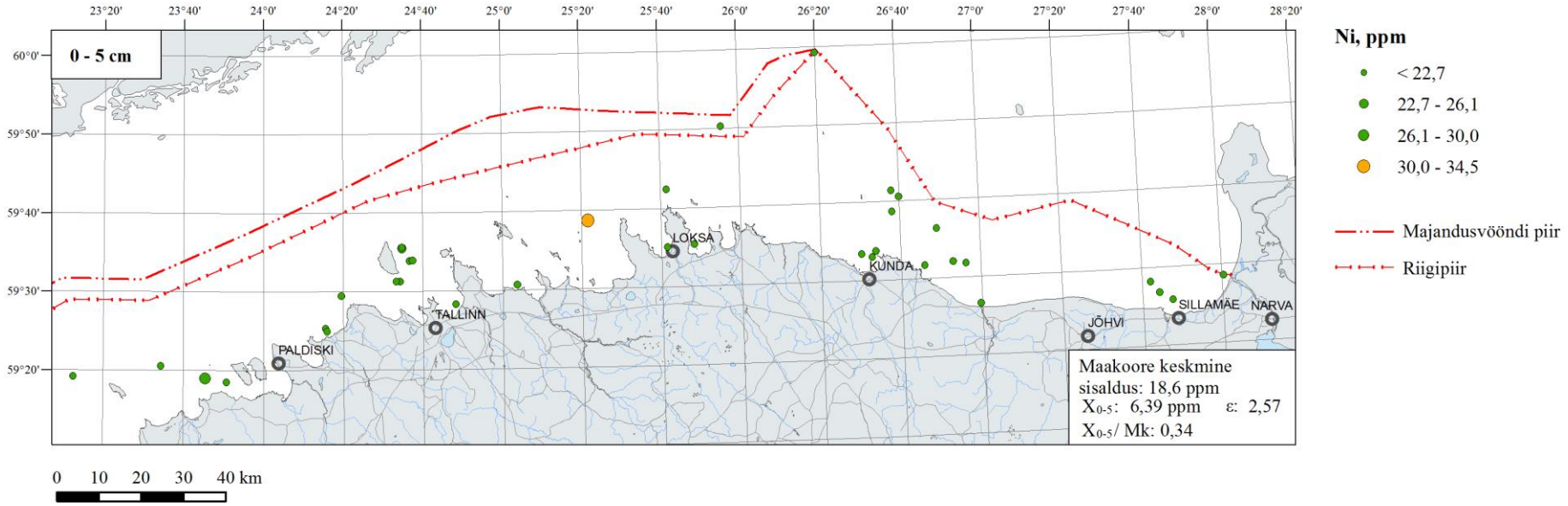
Liivaleuriidi setetes on Ni-sisaldus enam kui 5 korda madalam sisaldusest huumushorisondis, (Tabel 4.2.2.5), kuid dispersioon kõrge ja korrapäratu (Joonis 4.2.2.5-d). Viimane on põhjustatud liivaleuriidi setete muutlikust lõimisest ja mineraalsest koostisest. Maksimaalsed sisaldused ulatuvad 34 mg/kg ja jäävad majandusvööndi läänepiirkonda. On iseloomulik Ni kõrge positiivne korrelatsioon Al, Mg, S, K, Ca, Cr, Cu, Zn, ja Pb sisaldusega.

Tabel 4.2.2.5. Ni-sisaldus lahe põhjasetetes, mg/kg

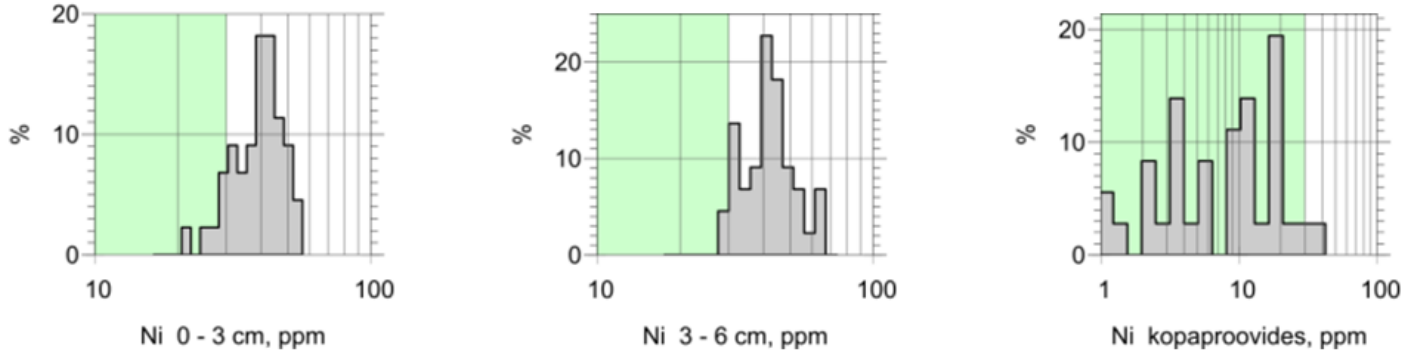
Lahe põhjasetted		Proo-vide arv	Geokeemilised parameetrid							Xg /Mk
Litotüüp	Sügavus, cm		Sisaldused			ξ	Sisalduse piirid (kuni), mg/kg			
			x_{min}	x_{max}	x_g		valdav	kõrgend.	kõrge	
Savialeuriit	0–3	44	20,5	54,2	37,4	1,23	46	57	70	2,01
	3–6	44	26,3	62,8	39,8	1,23	49	60	74	2,14
Liivaleuriit	0–5	36	1	34	6,39	2,57				0,34
Fe-Mn konkr.	0–5	8	38,1	199	92,0	1,54				4,95
Konkr. ümbris	0–5	7	9,9	41,8	22,9	1,60				1,23
	> 5	6	40,8	62,8	53,76	1,17				2,94



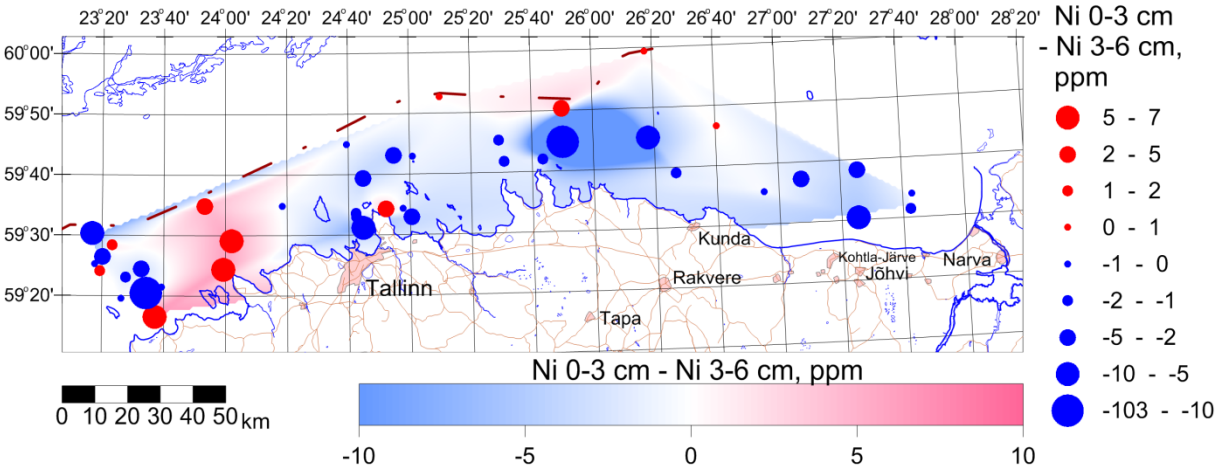
Joonis 4.2.2.5-a. Ni pindalaline levik Soome lahe savialeuriidi põhjasetete kahes ülemises, 0–3 cm ja 3–6 cm intervallis. Roheline värv tähistab SedGoF „hea“ piirväärtusest madalamaid sisaldusi, kollane – SedGoF „hea“ ja „rahuldav“ piirväärtuste vahepealseid sisaldusi, ning punane – SedGoF „rahuldav” piirväärtusest suuremaid sisaldusi



Joonis 4.2.2.5-b. Ni pindalaline levik Soome lahe liivaleuriidi põhjasetete ülemises, 0–5 cm intervallis (kopaproovid). Roheline värv tähistab SedGoF „hea“ piirväärtusest madalamaid sisaldusi, kollane – SedGoF „hea“ ja „rahuldav“ piirväärtuste vahepealseid sisaldusi, ning punane – SedGoF „rahuldav” piirväärtusest suuremaid sisaldusi



Joonis 4.2.2.5-c. Ni-sisalduse jaotusdiagrammid: savialeuriidis 0–3 ja 3–6 cm intervallides ning liivaleuriidi 0–5 cm intervallis (kopaproovid)



Joonis 4.2.2.5-d. Ni-sisalduste vahe põhjasette proovides sügavuselt 0–3 ja 3–6 cm merepõhjast

4.2.2.6. Pb (Plii)

Pb on kalkofiilne element (metall), mille aatomnumber on 82 ja aatommass 207. Looduses esineb nelja stabiilse, Pb-204, Pb-206, Pb-207 ja Pb-208 isotoobina, millest viimane moodustab 52% kogumassist. Kivimites esineb Pb peamiselt ühendites, oksüdatsiooniastmega +2 ja +4.

Pb keskmine sisaldus on maakoores 17 mg/kg, millest isotoobid Pb-206 ja Pb-207 on U ja Pb-208 Th radioaktiivrea lagunemise lõpp-produktid. See on avaldanud kahtlemata mõju Pb-sisaldusele ja jaotusele kivimites, samuti lahe põhjasetetes.

Tardkivimite kujunemisel kontsentreerub Pb granitoididesse.

Settekivimitest on Pb-sisaldus kõrgeim savides. Ka Eesti graptoliitargilliidis on Pb-sisaldus kõrge ja ulatub 200 mg/kg, üksikjuhtudel ületab 300 mg/kg (Loog, Petersell, 1994). Valdav Pb-sisaldus Eesti mulla huumushorisondis jääb 16–30 mg/kg piiridesse (Petersell jt, 2015).

Maakoores on teada üle 300 Pb-mineraali. Kõige levinumad nendest on galeniit (PbS) ning selle murenemisel tekkivad tserussiit ($PbCO_3$) ja anglesiit. Pb kontsentreerub sageli püriidis, sfaleriidis, sfeenis jt maakmineraalides. Kõik need mineraalid levivad ka graptoliitargilliidis. Murenemisel muutub Pb väheliikuvaks ja absorbeeritakse savimineraalide poolt. Pole välistatud, et võivad tekkida ka Pb sekundaarsed ühendid S ja OH-ga.

Pb mõju taimedele pole selge, tema sisaldus taimede mineraalosas on ainult ligi 50% madalam kui mullas. Pb kõrged sisaldused on toksilised, kantserogeense ja teratogeense toimega (Koljonen, 1992; De Vos, Tarvainen, 2006).

Soome lahe savialeuriidi lõimisega põhjasetete ülemise, 0–3 cm kihi keskmine Pb-sisaldus on 30 mg/kg, mis on ligi 1,8 korda kõrgem Mk keskmisest (Joonis 4.2.2.6-a) ja 1,5 korda kõrgem Eesti mulla huumushorisondi sisaldusest (Tabel 4.2.2.6). Sisalduste dispersioon on madal ja maksimaalsed sisaldused ulatuvad 62 mg/kg (Joonis 4.2.2.6-c), mis ületavad kuni 3 korda huumushorisondi keskmise sisalduse ja levivad kaootiliselt kogu alal.

Pb-sisaldus alumises, 3–6 cm kihis jälgib küllalt üheilmeliselt ülemise kihi seaduspärasusi, kuid on üksikutes hajutatud punktides erinev. Üldise Pb-sisalduse vähenemise taustal toimub nendes punktides Pb-sisalduse suurenemine.

Alumise kihi keskmine Pb-sisaldus on 40 mg/kg ehk ligi 33% kõrgem sisaldusest ülemises kihis. Viimastel aastatel on savialeuriidi põhjasetetes jälgitav pea kogu alal Pb-sisalduse vähenemine (Joonis 4.2.2.6-d). Koos Pb-sisalduse vähenemisega on toimunud nooremates setetes Pb isotoopkoostise lähenemine Soome-Rootsi proterosoilistest kivimitest kujunenud mulla künnikihi Pb isotoopkoostisele.

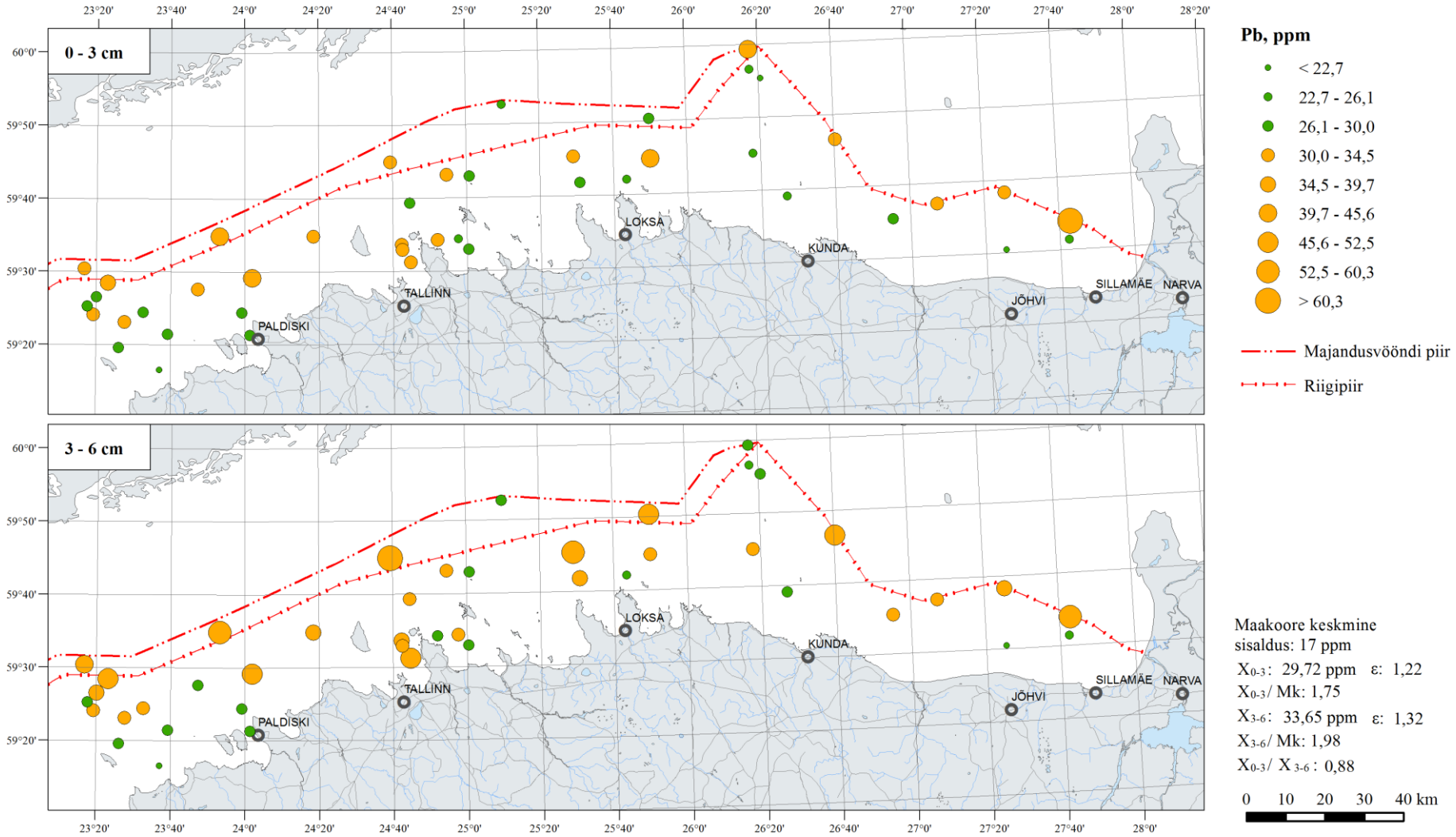
Savialeuriidi setetes ei korreleeru Pb-sisaldus ühegi vaadeldava elemendiga ega lahe sügavusega. Ülemises (0–3 cm) intervallis on märgatav korrelatsioon orgaanilise ainega, alumises (3–6 cm) seevastu – savifraktsiooniga.

Liivaleuriidi setetes on Pb-sisaldus ligi 2 korda madalam sisaldusest savialeuriidi setetes, lähedane maakoore keskmisele (Joonis 4.2.2.6-b ja Tabel 4.2.2.6), kuid dispersioon on väga kõrge ja korrapäratu. Viimane on põhjustatud liivaleuriidi setete muutlikust lõimisest ja mineraalsest koostisest. Maksimaalsed Pb-sisaldused liivaleuriidi setetes ulatuvad 34 mg/kg

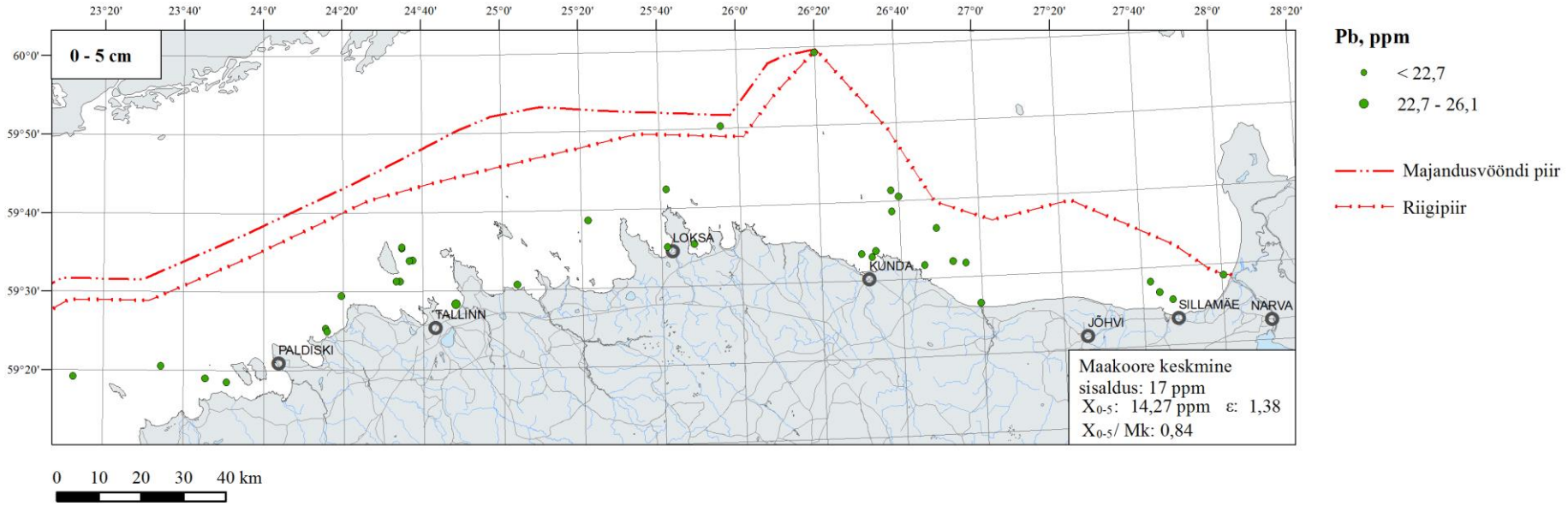
ja esinevad majandusvööndis hajutatult. Iseloomulik on Pb kõrge positiivne korrelatsioon Al, Mg, K, Cr, Ni, Fe, Cu, Zn ja As sisalduse vahel.

Tabel 4.2.2.6. Pb-sisaldus lahe põhjasetetes, mg/kg

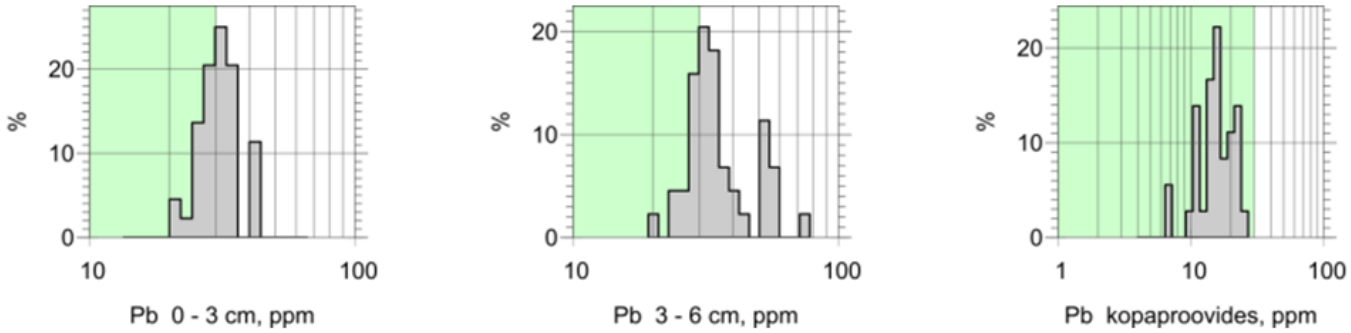
Lahe põhjasetted		Proo-vide arv	Geokeemilised parameetrid							Xg /Mk
Litotüüp	Sügavus, cm		Sisaldused			ξ	Sisalduse piirid (kuni), mg/kg			
			x_{min}	x_{max}	x_g		valdav	kõrgend.	kõrge	
Savialeuriit	0–3	44	19,6	62,5	29,7	1,22	36	44	54	1,75
	3–6	44	20,1	73,0	33,7	1,32	44	59	78	1,98
Liivaleuriit	0–5	36	6,1	23,1	14,3	1,38				0,84
Fe-Mn konkr.	0–5	8	16,0	29,7	22,0	1,25				1,29
Konkr. ümbris	0–5	7	14,3	25,6	19,8	1,19				1,14
	> 5	6	22,3	28,0	25,1	1,08				1,48



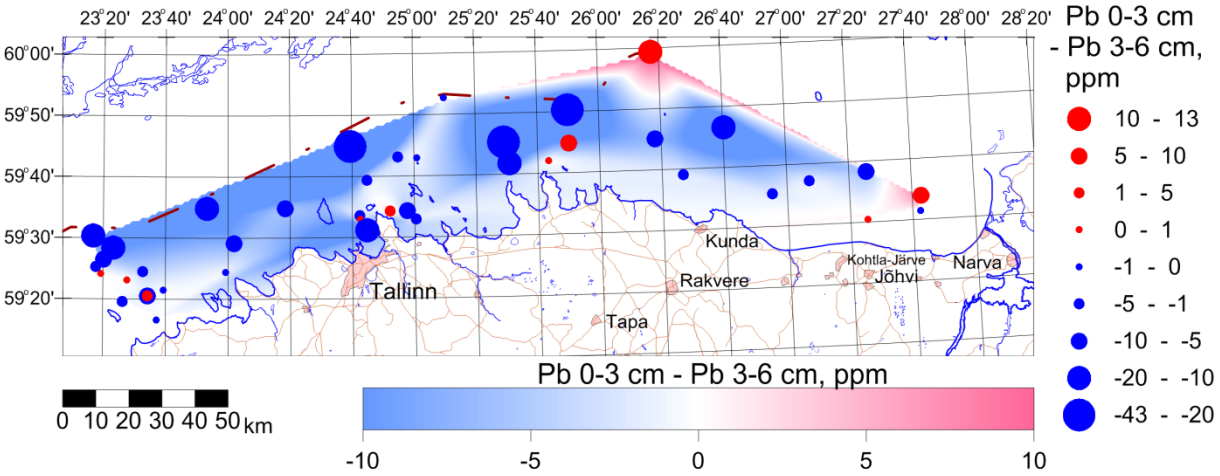
Joonis 4.2.2.6-a. Pb pindalaline levik Soome lahe savialeuriidi põhjasetete kahes ülemises, 0–3 cm ja 3–6 cm intervallis. Roheline värv tähistab SedGoF „hea“ piirväärtusest madalamaid sisaldusi, kollane – SedGoF „hea“ ja „rahuldav“ piirväärtuste vahepealseid sisaldusi, ning punane – SedGoF „rahuldav” piirväärtusest suuremaid sisaldusi



Joonis 4.2.2.6-b. Pb pindalaline levik Soome lahe liivaleuriidi põhjasetete ülemises, 0–5 cm intervallis (kopaproovid). Roheline värv tähistab SedGoF „hea“ piirväärtusest madalamaid sisaldusi, kollane – SedGoF „hea“ ja „rahuldav“ piirväärtuste vahepealseid sisaldusi, ning punane – SedGoF „rahuldav” piirväärtusest suuremaid sisaldusi



Joonis 4.2.2.6-c. Pb-sisalduse jaotusdiagrammid: savialeuriidis 0–3 ja 3–6 cm intervallides ning liivaleuriidi 0–5 cm intervallis (kopaproovid)



Joonis 4.2.2.6-d. Pb-sisalduste vahe põhjasette proovides sügavuselt 0–3 ja 3–6 cm merepõhjast

4.2.2.7. Zn (Tsink)

Zn on kalkofiilne element (metall), mille aatomnumber on 30 ja aatommass 65. Zn levib looduses 5 stabiilse isotoobina, millest olulisemad on Zn-64 (48,6%), Zn-66 (27,9%) ja Zn-68 (18,8%), ning esineb kivimite ühendites, oksüdatsiooniastmega +2.

Maakoore keskmine Zn-sisaldus on ligi 52 mg/kg, peamistes kivimtüüpides oluliselt erinev. Magmakivimites ulatub Zn-sisaldus 360–870 mg/kg (Ivanov, 1996), settekivimitest on Zn-sisaldus kõrgeim savides ja madalaim liivakivides. Eesti graptoliitargilliidis ulatub Zn-sisaldus 400 mg/kg (Loog, Petersell, 1994), mulla huumushorisondis jääb kuningvees lahustuva Zn sisaldus valdavalt 25–62 mg/kg piiridesse (Petersell jt, 2015), mis moodustab ligi 76% kogusisaldusest.

Zn-mineraalide arv ületab maakoores 140 piiri. Nende hulgas on suures ülekaalus sfaleriit (ZnS) ja selle murenemisel tekkiv smitsoniit ($ZnCO_3$). Võib kontsentreeruda Fe jt metallide sulfiidides, kivimmoodustajatest mineraalidest vilkudes, amfiboolides, pürokseenides ja oliviinis.

Murenemisel muutub Zn liikuvaks. Sõltuvalt keskkonnast käituvad need ühendid erinevalt. Näiteks karbonaatiderikkas keskkonnas on Zn-ühenditel suund kontsentreeruda, sulfaatses keskkonnas – hajuda.

Zn on oluline taimede toitemikroelement (Kabata-Pendias, Pendias, 1992), tema ühendite kõrged sisaldused mõjuvad aga toksiliselt ja on kantserogeensed (Koljonen, 1992).

Soome lahe savialeuriidi lõimisega põhjasetete ülemise, 0–3 cm kihi keskmine Zn-sisaldus on 126 mg/kg, mis on ligi 2,5 korda kõrgem Mk keskmisest (Joonis 4.2.2.7-a) ja enam kui 3 korda kõrgem Eesti mulla huumushorisondi sisaldusest (Tabel 4.2.2.7). Sisalduste dispersioon on madal ja maksimaalsed sisaldused ulatuvad ainult 187 mg/kg (Joonis 4.2.2.7-c), mis levivad kaootiliselt ja mõnevõrra suurenevad Kunda idapikkusest lääne suunas.

Zn-sisaldus alumises, 3–6 cm kihis jälgib üldjoontes ülemise kihi seaduspärasusi.

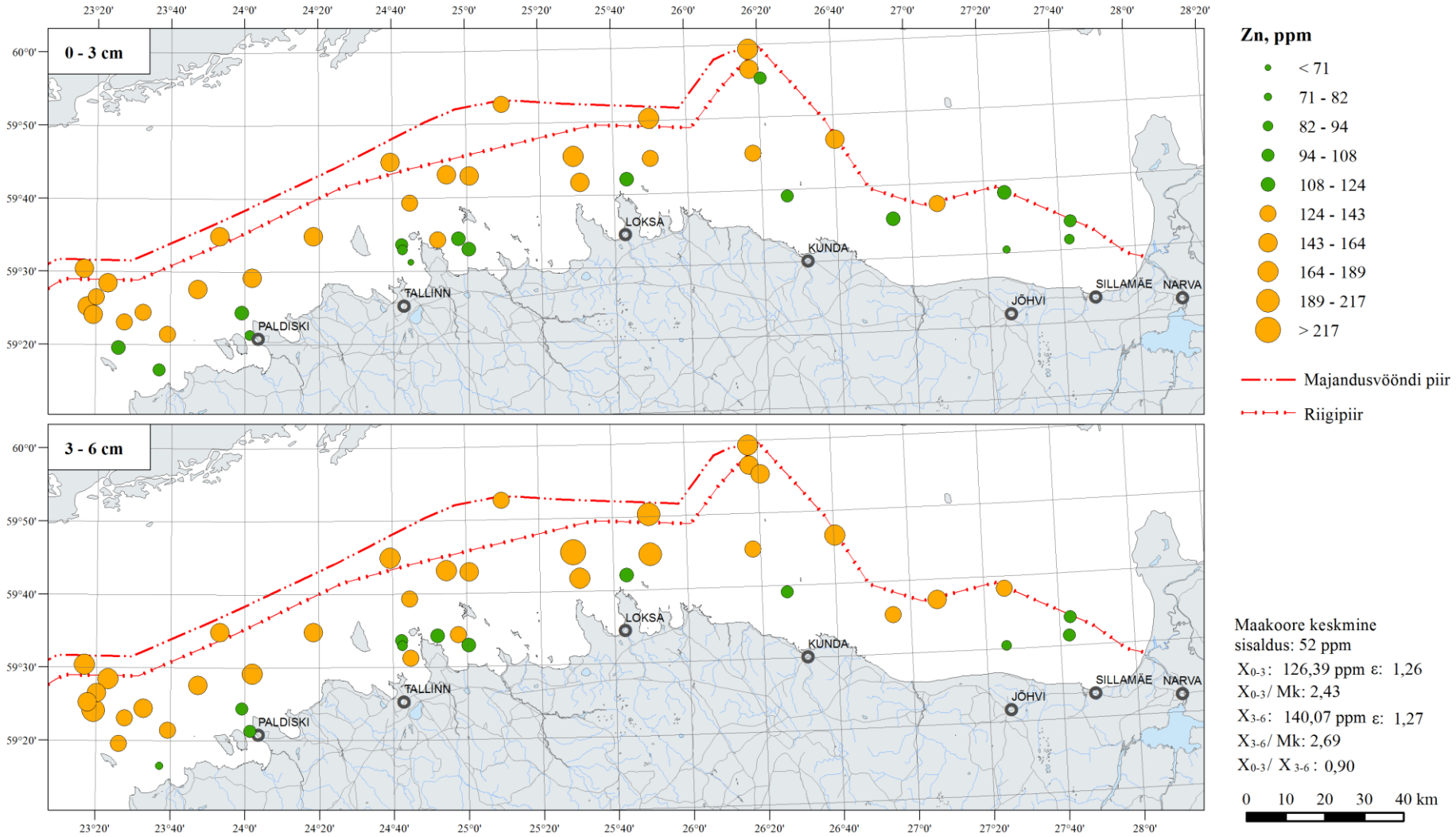
Alumise kihi keskmine sisaldus on 140 mg/kg ehk ligi 10% kõrgem sisaldusest ülemises kihis. Viimastel aastatel on savialeuriidi põhjasetetes jälgitav valdaval alal Zn-sisalduse vähenemine (Joonis 4.2.2.7-d). Suurenemine on toimunud üksikutes punktides majandusvööndi läänepiirkonnas.

Savialeuriidi setetes on Zn ja S, Fe, Ni, Cu, Mo ja Cd sisalduste, samuti korrelatsioon orgaanilise aine, kogulämmastiku sisalduse ja lahe sügavuse vahel ühemõtteliselt positiivne. Seos saviosakeste sisaldusega on nõrgalt positiivne.

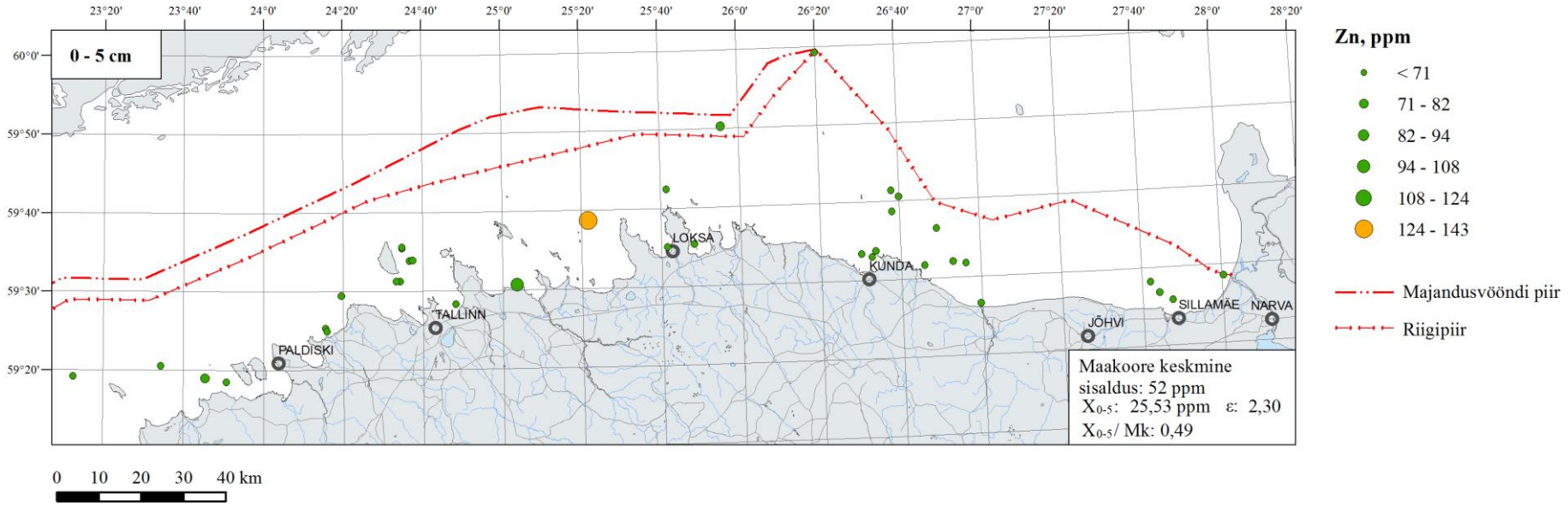
Liivaleuriidi setetes on Zn-sisaldus enam kui 5 korda madalam sisaldusest savialeuriidi setetes (Tabel 4.2.2.7), kuid dispersioon kõrge ja korrapäratu. Viimane on põhjustatud liivaleuriidi setete muutlikust lõimisest ja mineraalsest koostisest. Maksimaalsed sisaldused ulatuvad 127 mg/kg ja jäävad majandusvööndi keskpiirkonda (Joonis 4.2.2.7-b). Iseloomulik on Zn kõrge positiivne korrelatsioon Al, Mg, K, Ca, S, Ni, Cu, As, Se, Mo, Cd ja Pb sisaldusega, märgatav korrelatsioon lahe sügavusega.

Tabel 4.2.2.7. Zn-sisaldus lahe põhjasetetes, mg/kg

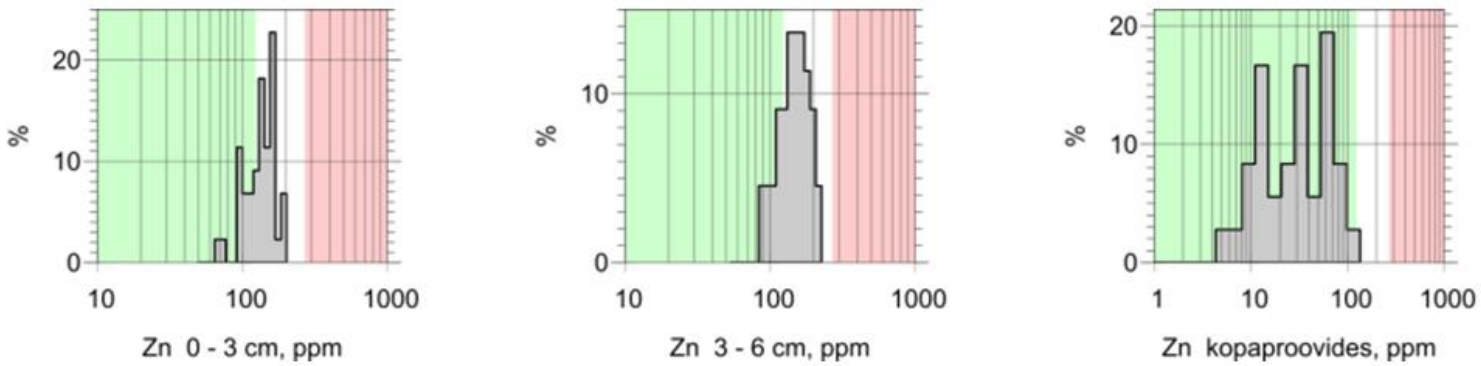
Lahe põhjasetted		Proo-vide arv	Geokeemilised parameetrid							X_g /Mk
Litotüüp	Sügavus, cm		Sisaldused			ξ	Sisalduse piirid (kuni), mg/kg			
			x_{min}	x_{max}	x_g		valdav	kõrgend.	kõrge	
Savialeuriit	0–3	44	66,2	187	126,4	1,26	160	200	250	2,43
	3–6	44	80,7	224	140,1	1,27	180	230	290	2,69
Liivaleuriit	0–5	36	4,8	127	25,5	2,30				0,45
Fe-Mn konkr.	0–5	8	92	271	164	1,35				3,15
Konkr. ümbris	0–5	7	49,8	150	86,3	1,42				1,70
	> 5	6	105	165	142	1,17				2,73



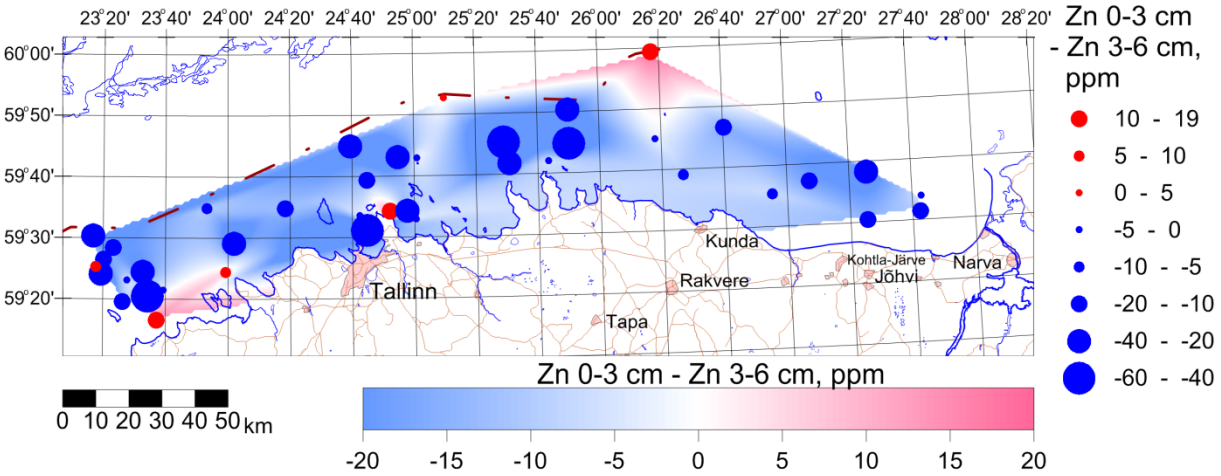
Joonis 4.2.2.7-a. Zn pindalaline levik Soome lahe savialeuriidi põhjasetete kahes ülemises, 0–3 cm ja 3–6 cm intervallis. Roheline värv tähistab SedGoF „hea“ piirväärtusest madalamaid sisaldusi, kollane – SedGoF „hea“ ja „rahuldav“ piirväärtuste vahepealseid sisaldusi, ning punane – SedGoF „rahuldav” piirväärtusest suuremaid sisaldusi



Joonis 4.2.2.7-b. Zn pindalaline levik Soome lahe liivaleuriidi põhjasetete ülemises, 0–5 cm intervallis (kopaproovid). Roheline värv tähistab SedGoF „hea“ piirväärtusest madalamaid sisaldusi, kollane – SedGoF „hea“ ja „rahuldav“ piirväärtuste vahepealseid sisaldusi, ning punane – SedGoF „rahuldav” piirväärtusest suuremaid sisaldusi



Joonis 4.2.2.7-c. Zn-sisalduse jaotusdiagrammid: savialeuriidis 0–3 ja 3–6 cm intervallides ning liivaleuriidi 0–5 cm intervallis (kopaproovid)



Joonis 4.2.2.7-d. Zn-sisalduste vahe põhjasette proovides sügavuselt 0–3 ja 3–6 cm merepõhjast

4.2.2.8. As (Arseen)

As on kalkofiilne element, poolmetall, mille aatomnumber on 33 ja aatommass 75. Loodusliku As moodustab stabiilne isotoop As-75 ja see esineb looduslikes ühendites peamiselt oksüdatsiooniastmega +3 ja +5, harvem 0 ja –5.

As keskmine sisaldus maakoores on 2 mg/kg, ultraaluselistes kivimites 0,7 mg/kg ja graniitides 3 mg/kg. Settekivimitest on As-rikkamad savikivimid (13 mg/kg). As moodustab üle 300 iseseisva mineraali, milledest levinum on arsenopüriit (Ivanov, 1996). Üle poole As esineb kivimmoodustajates mineraalides ja sulfiididest isomorfse seguna. Eestis ulatub As-sisaldus graptoliitargilliidis 213 mg/kg, mulla huumushorisondis varieerub kuningvees lahustuv sisaldus valdavalt piirides 1,5–6,3 mg/kg. Viimane on kogusisaldusest ligi 5–15% madalam.

As-ühendid on toksilised ja mürgised (Kabata-Pendias, Pendias, 1992), neid kasutatakse põldudel umbrohutõrjevahenditena, kuid samuti ka meditsiinis.

As kõrgendatud kontsentratsioon põhjustab vähkkasvajate teket ja neerude pigmentatsiooni (WHO, 1996).

Soome lahe savialeuriidi lõimisega põhjasetete ülemise, 0–3 cm kihi As kuningvees lahustuva fraktsiooni keskmine sisaldus on 8,8 mg/kg (5–15% madalam kogusisaldusest), mis on enam kui 4 korda kõrgem Mk keskmisest (Joonis 4.2.2.8-a) ja Eesti mulla huumushorisondi sisaldusest (Tabel 4.2.2.8). Sisalduste dispersioon on madal ja maksimaalsed sisaldused ulatuvad 19,5 mg/kg (Joonis 4.2.2.8-c) ning ainult ühes kõrge Mn-sisaldusega uuringupunktis (15SL-077; esinesid Fe-Mn konkretsioonid) ulatub 41,5 mg/kg. Maksimaalsed sisaldused levivad kaootiliselt ja mõnevõrra suurenevad Kunda idapikkusest lääne suunas.

As-sisaldus alumises, 3–6 cm kihis jälgib üldjoontes ülemise kihi seaduspärasusi, kuid on üksikutes hajutatud punktides oluliselt erinev.

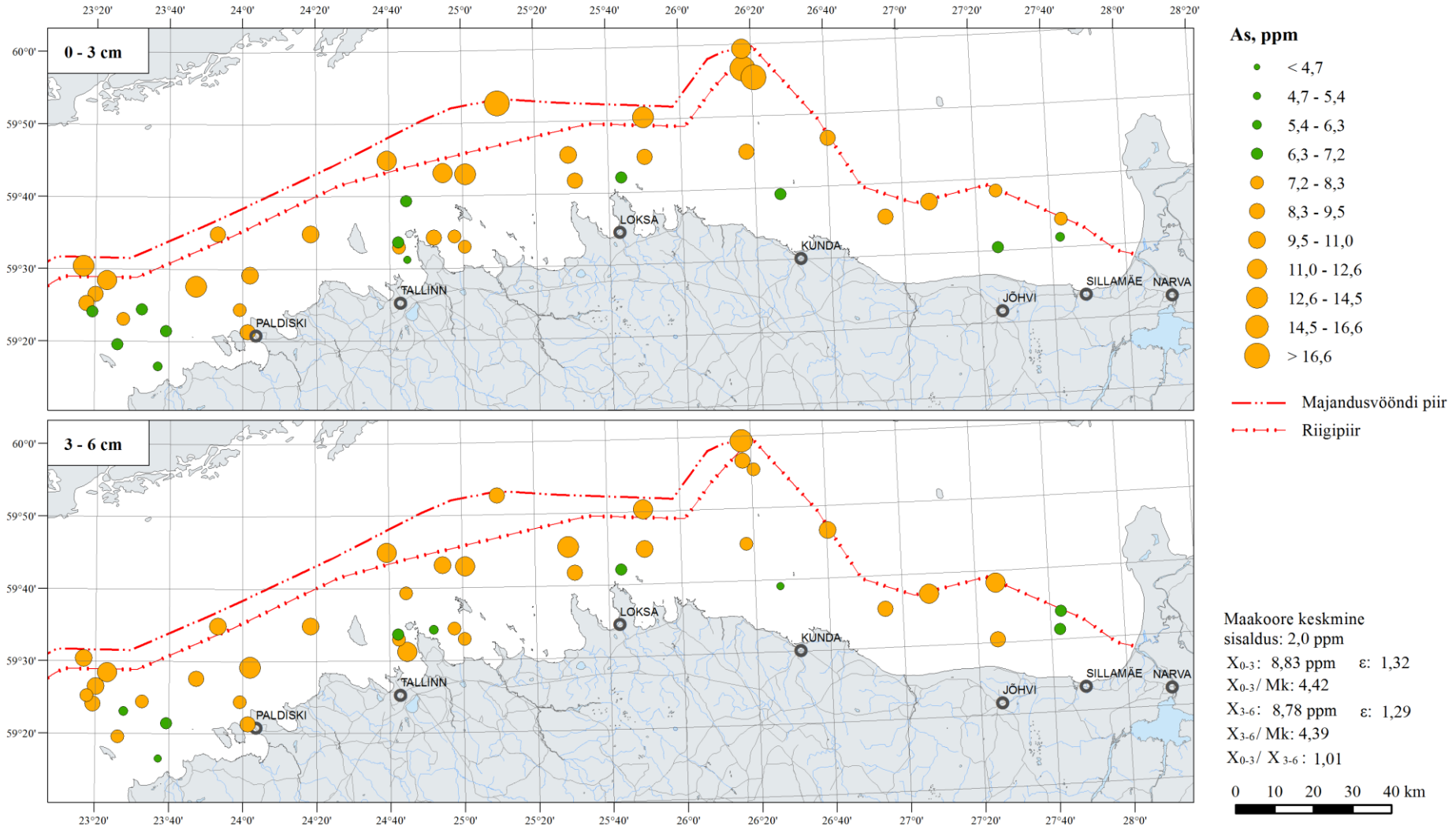
Alumise kihi keskmine As-sisaldus on 8,8 mg/kg ehk lähedane sisaldusele ülemises kihis, samas aga üksikute punktides erinev (Joonis 4.2.2.8-d). Peamised muutused on toimunud majandusvööndi läänepoolsel alal.

Savialeuriidi setetes korreleerub As, Cu, Zn, Se, Cd, orgaanika, N-tot ja saviosakeste sisaldusega.

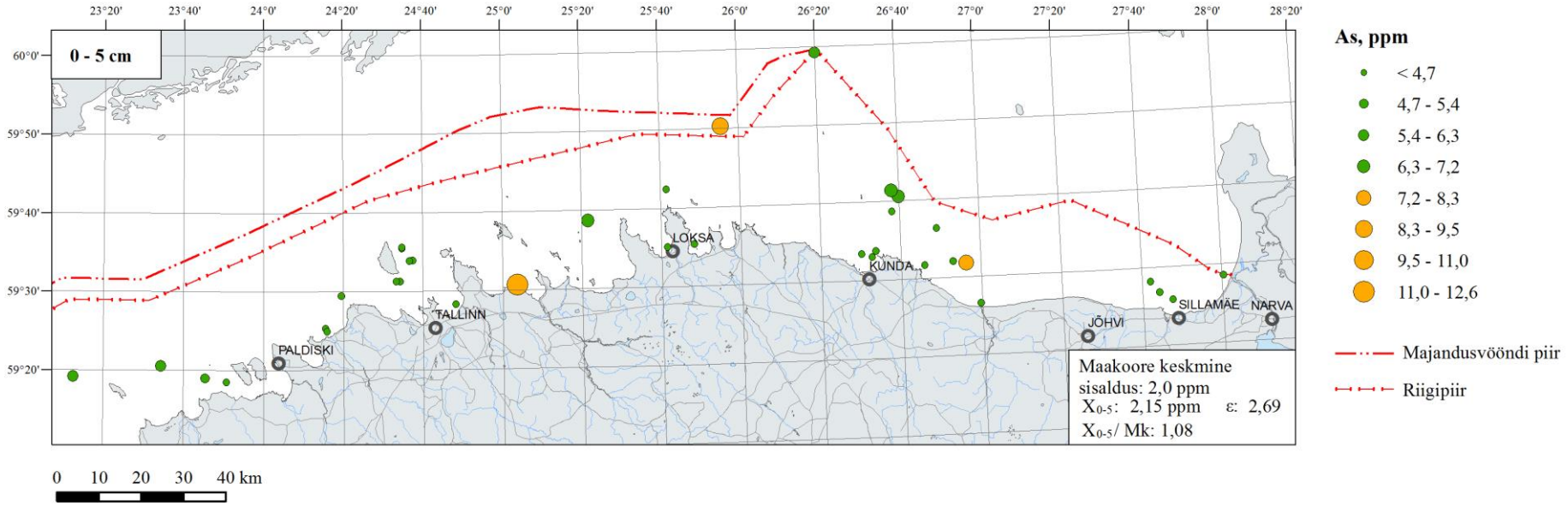
Liivaleuriidi setetes on As-sisaldus enam kui 4 korda madalam sisaldusest savialeuriidi setetes, (Tabel 4.2.2.8), kuid dispersioon kõrge. Viimane on põhjustatud liivaleuriidi setete muutlikust lõimisest ja mineraalsest koostisest. Maksimaalsed sisaldused ulatuvad 12 mg/kg ja jäävad majandusvööndi läänepiirkonda, Kunda idapikkusest lääne suunas (Joonis 4.2.2.8-b). Iseloomulik on As kõrge positiivne korrelatsioon P, S, Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd ja Pb sisalduse, samuti lahe sügavuse vahel.

Tabel 4.2.2.8. As-sisaldus lahe põhjasetetes, mg/kg

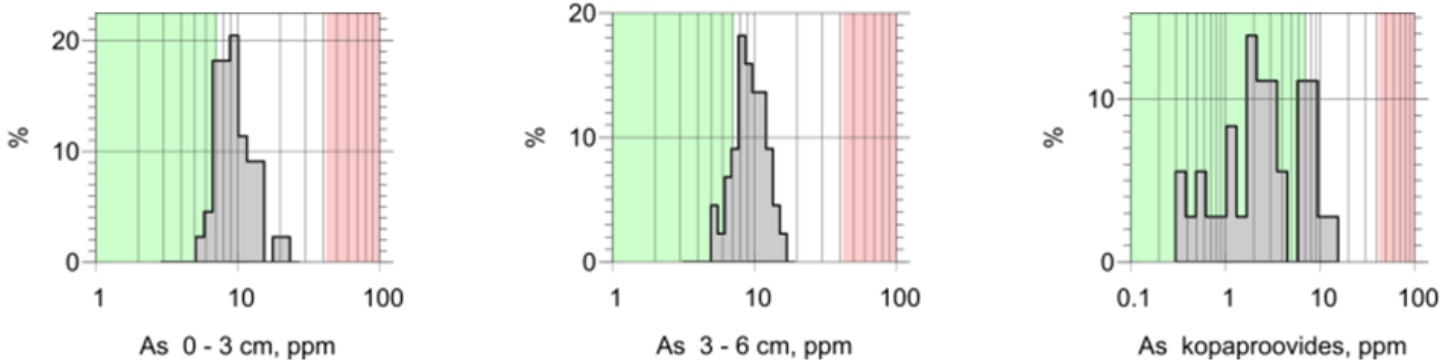
Lahe põhjasetted		Proo-vide arv	Geokeemilised parameetrid							Xg /Mk
Litotüüp	Sügavus, cm		Sisaldused			ξ	Sisalduse piirid (kuni), mg/kg			
			x_{min}	x_{max}	x_g		valdav	kõrgend.	kõrge	
Savialeuriit	0–3	44	4,9	41,4	8,83	1,32	12	15	20	4,41
	3–6	44	5,1	15,1	8,78	1,29	11	15	19	4,39
Liivaleuriit	0–5	36	0,3	11,9	2,15	2,69				1,07
Fe-Mn konkr.	0–5	8	21,8	251	158	2,16				79,0
Konkr. ümbris	0–5	7	6,2	19,5	10,9	1,59				5,25
	> 5	6	7,1	11,6	8,54	1,17				4,27



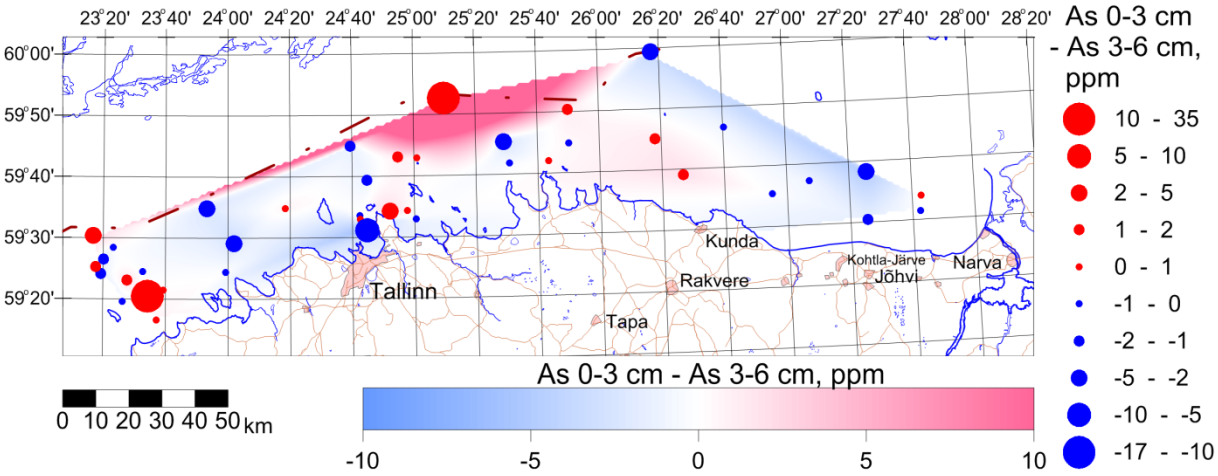
Joonis 4.2.2.8-a. As pindalaline levik Soome lahe savialeuriidi põhjasetete kahes ülemises, 0–3 cm ja 3–6 cm intervallis. Roheline värv tähistab SedGoF „hea“ piirväärtusest madalamaid sisaldusi, kollane – SedGoF „hea“ ja „rahuldav“ piirväärtuste vahepealseid sisaldusi, ning punane – SedGoF „rahuldav” piirväärtusest suuremaid sisaldusi



Joonis 4.2.2.8-b. As pindalaline levik Soome lahe liivaleuriidi põhjasetete ülemises, 0–5 cm intervallis (kopaproovid). Roheline värv tähistab SedGoF „hea“ piirväärtusest madalamaid sisaldusi, kollane – SedGoF „hea“ ja „rahuldav“ piirväärtuste vahepealseid sisaldusi, ning punane – SedGoF „rahuldav” piirväärtusest suuremaid sisaldusi



Joonis 4.2.2.8-c. As-sisalduse jaotusdiagrammid: savialeuriidis 0–3 ja 3–6 cm intervallides ning liivaleuriidi 0–5 cm intervallis (kopaproovid)



Joonis 4.2.2.8-d. As-sisalduste vahe põhjasette proovides sügavuselt 0–3 ja 3–6 cm merepõhjast

Taimede toiteelemendid

4.2.2.9. P (Fosfor)

P on litofiilne-siderofiilne element (mittemetall), mille aatomnumber on 15 ja aatommass 31. Looduses on esindatud ühe isotoobina (P-31) ja esineb kivimites peamiselt ühendites, oksüdatsiooniastmega +3, +5 ja -3, samuti kompleksiooni $(PO_4)_3$ koostises.

P keskmine sisaldus on maakoores ligi 665 mg/kg. Magmakivimite kujunemisel kontsentreerub P peamiselt aluselistesse kivimitesse, moodustades keskmiseks sisalduseks ligi 1200 mg/kg, eriti nende leelisrea erimitesse kuni fosforiidimaardlate kujunemiseni (P-sisaldus kuni 14–16%). Graniitide keskmine P-sisaldus on 750 mg/kg. Settekivimites on P-sisaldus erinev, kõrgem savikivimites ja madalam liivakivides, vaatamata sellele, et viimastega on seotud suured biogeense päritoluga fosforimaardlad. Eestis ulatub P-sisaldus Alam-Ordoviitsiumi Pakerordi lademe oobolusliivakivis 13%-ni. Eesti mulla huumushorisondi keskmine P-sisaldus on 1100 mg/kg, valdav 380–1700 mg/kg.

Kõikides magmakivimites esineb P apatiidi, $Ca_5(PO_4)_3F$ või $Ca_5(PO_4)_3Cl$ näol ja sageli täiendavalt F, Sr ning teiste elementide poolest rikaste monatsiidi, ksenotiimiga. Päevakividest, pürokseenidest ja amfiboolidest tehtud määrangud näitavad, et P-sisaldus nendes on madalam või lähedane kivimi keskmisele P-sisaldusele (Ivanov, 1996).

Valdav enamus P-mineraalidest on raskesti lahustuvad või lahustuvad aeglaselt happelises keskkonnas. Migreeruvatest lahustest tarbitakse P kasvuperioodil taimede poolt, hilissügisest kuni varakevadeni võib P kanduda pinnasevette ja veekogudesse.

P on üks olulisemaid taim- ja loomorganismide toiteelemente (Fersman, 1954). Selle sisaldus taimede mineraalosas on kümneid kordi kõrgem sisaldusest toitepinnases.

Soome lahe savialeuriidi lõimisega põhjasetete ülemise, 0–3 cm kihi keskmine P-sisaldus on 1238 mg/kg, mis on ligi 2 korda kõrgem Mk keskmisest (Joonis 4.2.2.9-a) ja ligi 16% kõrgem Eesti mulla huumushorisondi sisaldusest (

Tabel 4.2.2.**9**). Sisalduste dispersioon on madal, maksimaalsed sisaldused ulatuvad 3380 mg/kg ja levivad ida pool Maardu idapikkust (Joonis 4.2.2.9-c).

P-sisaldus alumises, 3–6 cm kihis jälgib ülemise kihi seaduspärasusi, kuid on keskmiselt 19% madalam kui ülemises kihis.

Viimastel aastatel on savialeuriidi põhjasetete ülemises kihis toimunud P-sisalduse tõus, mis moodustab enam kui 6% aastas. P-sisalduse maksimaalne tõus on toimunud Loksa ja Aseri, samuti ka Vihterpalu idapikkuste vööndis. Eriti intensiivne on olnud tõus majandusvööndi idapiirkonnas (Joonis 4.2.2.9-d). Nendele sisaldustele põhjasetetes lisandub ka lahe läänepiirkonna põhjalähedases vees (kevadperioodil võetud proovides) P-sisalduse intensiivne tõus kuni 0,63 mg/l.

Savialeuriidi setetes on P-sisalduste ja kõigi teiste elementide sisalduste, samuti lahe sügavuse ja saviosakeste sisalduste vaheline seos neutraalne.

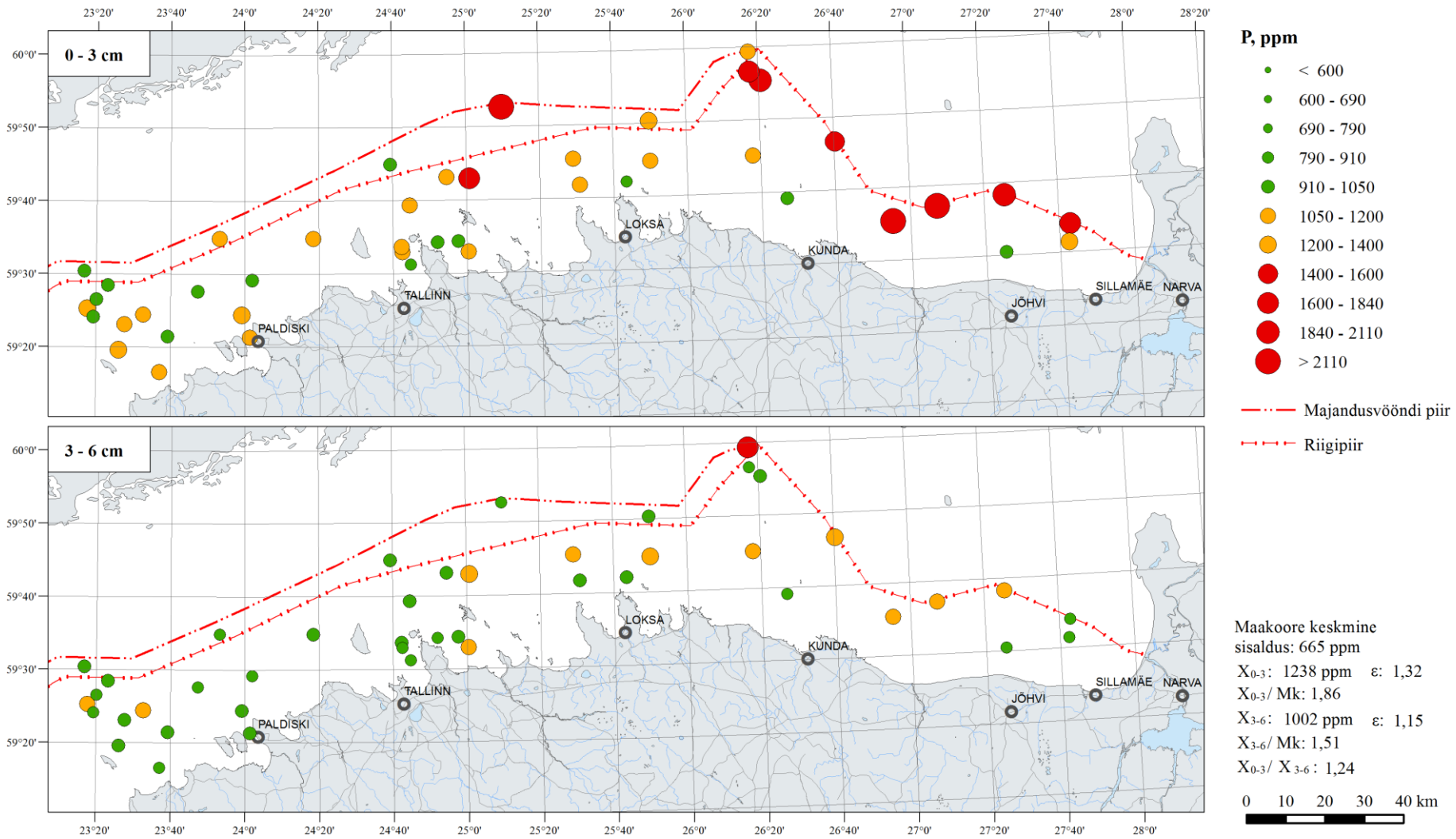
Liivaleuriidi setetes on P-sisaldus ligi 2 korda madalam sisaldusest savialeuriidi setetes (

Tabel 4.2.2.**9**), kuid dispersioon kõrge ja korrapäratu. Viimane on põhjustatud liivaleuriidi setete muutlikust lõimisest ja mineraalsest koostisest. Maksimaalsed sisaldused ulatuvad 1200 mg/kg ja esinevad hajutatult majandusvööndi kesk- ning idapiirkonnas (Joonis 4.2.2.9-

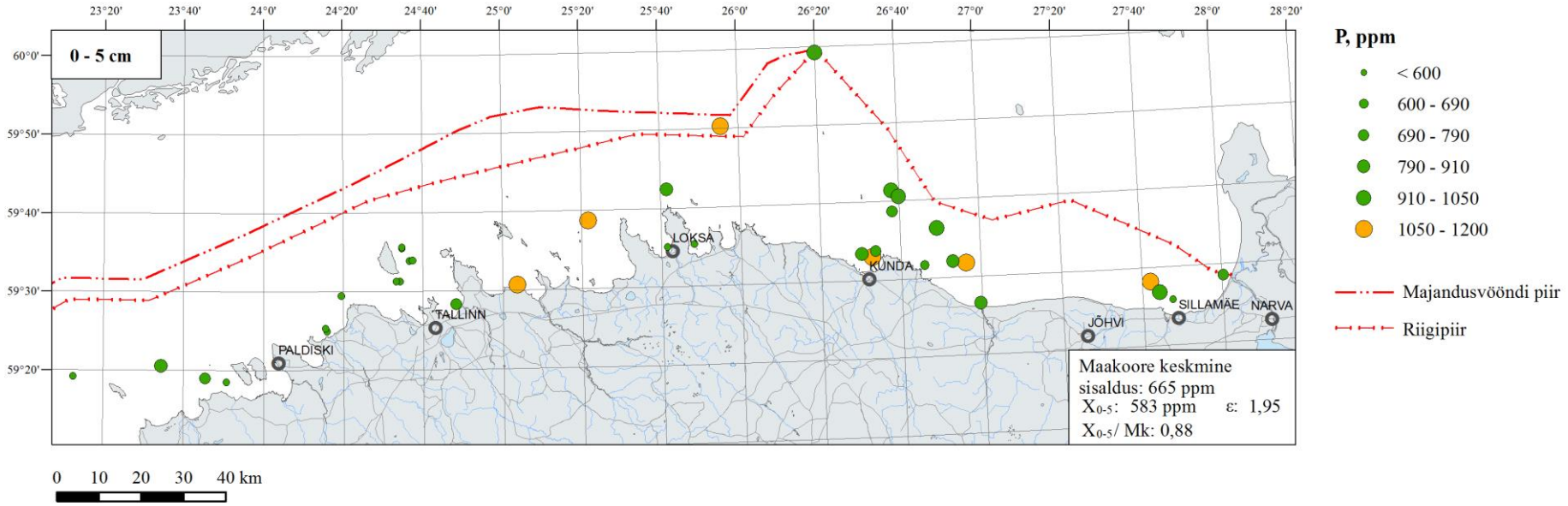
b). Iseloomulik on märgatav positiivne korrelatsioon K, Fe, As, Zn, Cd ja U sisaldustega ja nõrk korrelatsioon Pb-sisalduse ja lahe sügavusega.

Tabel 4.2.2.9. P-sisaldus lahe põhjasetetes, mg/kg

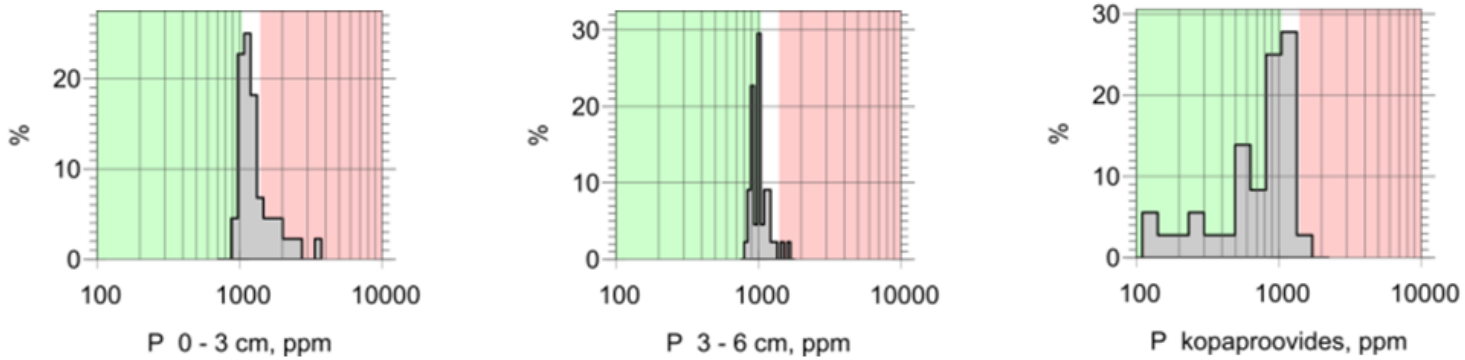
Lahe põhjasetted		Proo-vide arv	Geokeemilised parameetrid							Xg /Mk
Litotüüp	Sügavus, cm		Sisaldused			ξ	Sisalduse piirid (kuni), mg/kg			
			x_{min}	x_{max}	x_g		valdav	kõrgend.	kõrge	
Savialeuriit	0–3	44	890	3380	1238	1,32	1600	2200	2900	1,86
	3–6	44	800	1610	1002	1,15	1150	1300	1500	1,51
Liivaleuriit	0–5	36	120	1200	583	1,95				0,88
Fe-Mn konkr.	0–5	8	1200	20400	11500	2,38				17,29
Konkr. ümbris	0–5	7	570	1890	1200	1,50				1,80
	> 5	6	820	1010	910	1,07				1,37



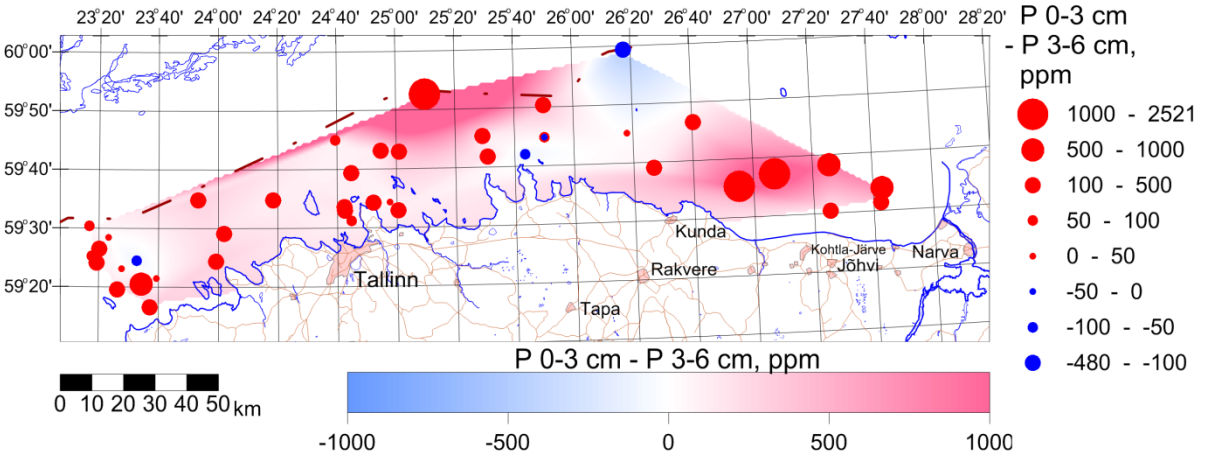
Joonis 4.2.2.9-a. P pindalaline levik Soome lahe savialeuriidi põhjasetete kahes ülemises, 0–3 cm ja 3–6 cm intervallis. Roheline värv tähistab SedGoF „hea“ piirväärtusest madalamaid sisaldusi, kollane – SedGoF „hea“ ja „rahuldav“ piirväärtuste vahepealseid sisaldusi, ning punane – SedGoF „rahuldav” piirväärtusest suuremaid sisaldusi



Joonis 4.2.2.9-b. P pindalaline levik Soome lahe liivaleuriidi põhjasetete ülemises, 0–5 cm intervallis (kopaproovid). Roheline värv tähistab SedGoF „hea“ piirväärtusest madalamaid sisaldusi, kollane – SedGoF „hea“ ja „rahuldav“ piirväärtuste vahepealseid sisaldusi, ning punane – SedGoF „rahuldav” piirväärtusest suuremaid sisaldusi



Joonis 4.2.2.9-c. P-sisalduse jaotusdiagrammid: savialeuriidis 0–3 ja 3–6 cm intervallides ning liivaleuriidi 0–5 cm intervallis (kopaproovid)



Joonis 4.2.2.9-d. P-sisalduste vahe põhjasette proovides sügavuselt 0–3 ja 3–6 cm merepõhjast

4.2.2.10. Mo (Molübdeen)

Mo on kalko-siderofiilne element, mille aatomnumber on 42 ja aatommass 96. Looduses esineb Mo 7 stabiilse isotoobina valdavalt ühendites, oksüdatsiooniastmega +4 ja +6.

Maakoore keskmine Mo-sisaldus on ligi 1,4 mg/kg. Tardkivimites on Mo-sisaldus kõrgem granitoidides ja eriti mõnedes leelisrea kivimites, milledes on teada Mo-sisaldused kuni 78 mg/kg (Ivanov,1997). Settekivimites on Mo-sisaldus heterogeensem, on kontsentreerunud savikivimitesse, eriti nende orgaanikarikastesse erimitesse, kus võivad moodustuda metallorgaanilised ühendid. Maakoores on teada 24 Mo-mineraali, millest on levinud ainult molübdeniit ja selle murenemisproduktid. Kuni mõnekümne mg/kg Mo-sisaldus võib esineda Fe- ja Ti-mineraalides, samuti Fe-Mn konkretsioonides.

Ka Eesti graptoliitargilliidis on Mo-sisaldus väga kõrge, kuni 1000 mg/kg (Loog, Petersell, 1994), Euroopa maade künnikihi Mo kogusisaldus on 0,62 mg/kg (Salminen jt, 2005), kuningvees lahustuv sisaldus 0,42 mg/kg (Reimann *et al*, 2014). Eesti mulla huumushorisondi kuningvees lahustuva Mo sisaldus on 0,47 mg/kg.

Murenemisel käitub Mo erinevalt. Happelises keskkonnas on väheliikuv ja võib moodustada raskesti lahustuvaid ühendeid Fe, Pb, Cu ja Ca-ga.

Mo on oluline taimede ja loomade toitemikroelement. Tema sisaldus taimede mineraalosas on kordades kõrgem kui toitepinnases. Samas on Mo kõrged sisaldused toksilised (Koljonen, 1992).

Soome lahe savialeuriidi lõimisega põhjasetete ülemise, 0–3 cm kihi keskmine Mo-sisaldus on 6,2 mg/kg, mis on enam kui 4 korda kõrgem Mk keskmisest (Joonis 4.2.2.10-a) ja ligi 13 korda kõrgem Eesti mulla huumushorisondi kuningvees lahusuvast sisaldusest (Tabel 4.2.2.10). Sisalduste dispersioon on väga kõrge ja maksimaalsed sisaldused ulatuvad 31 mg/kg (Joonis 4.2.2.10-c). Need ületavad ka elumaal lubatud sisalduse piiri (20 mg/kg) ja levivad Kunda idapikkusest läände jääva majandusvööndi piires.

Mo-sisaldus alumises, 3–6 cm kihis jälgib küll üldjuhul ülemise kihi seaduspärasusi, kuid on piirkonniti erinev ja sisalduste dispersioon heitlikum.

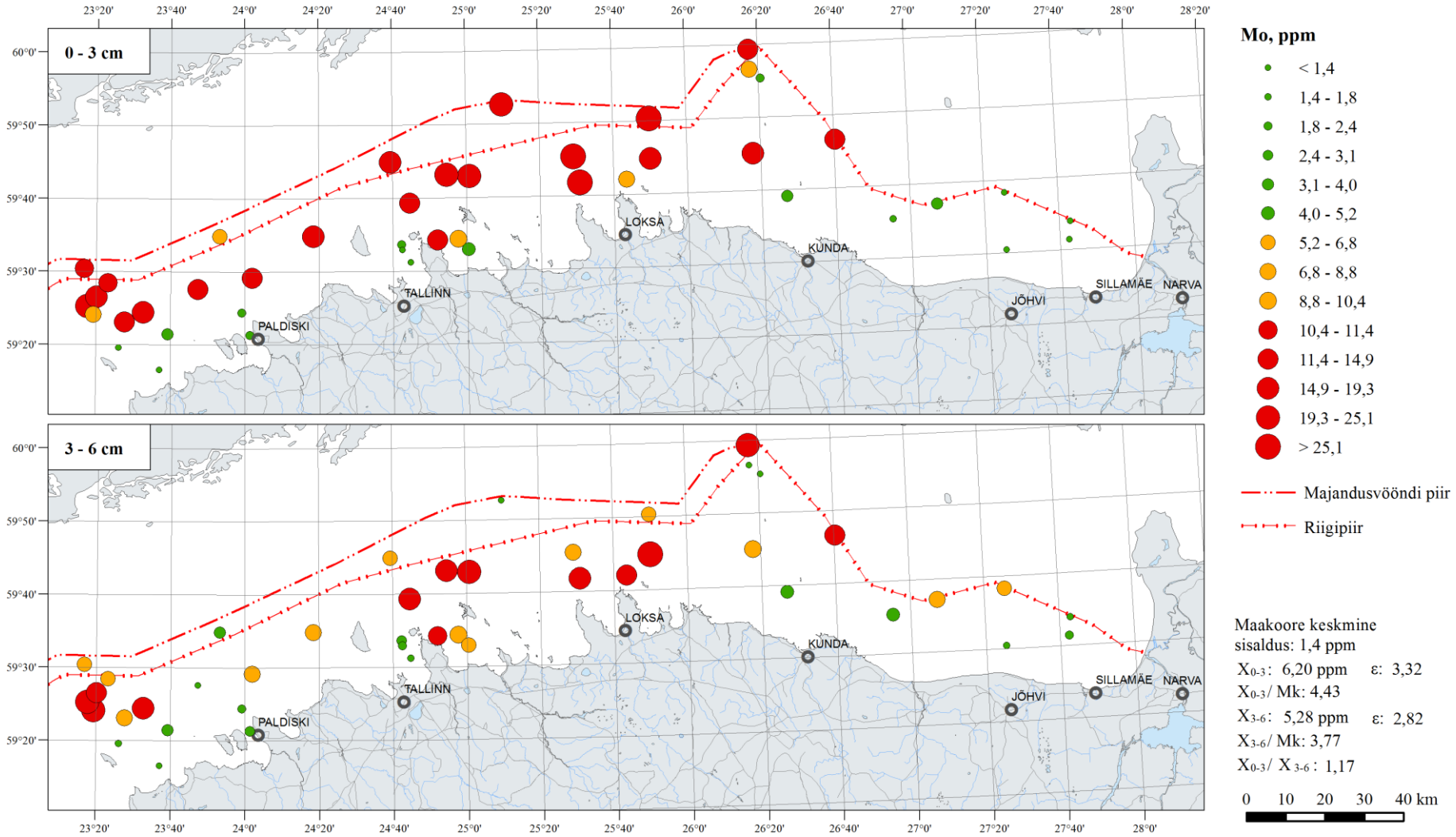
Alumise kihi keskmine sisaldus on 5,3 mg/kg ehk ligi 12% madalam sisaldusest ülemises kihis. Viimastel aastatel on põhjasetetes toimunud lääne pool Aseri idapikkust kaootiliselt pea kogu alal Mo-sisalduse suurenemine ja ida pool – sisalduse vähenemine (Joonis 4.2.2.10-d).

Savialeuriidi setetes on Mo-sisalduse ja C-org, S, Ni, Cu, Zn, Cd ning U sisalduse ja samuti lahe sügavuse vahel positiivne korrelatsioon. Saviosakeste ja Mo vahel on märgata vaid nõrka seost.

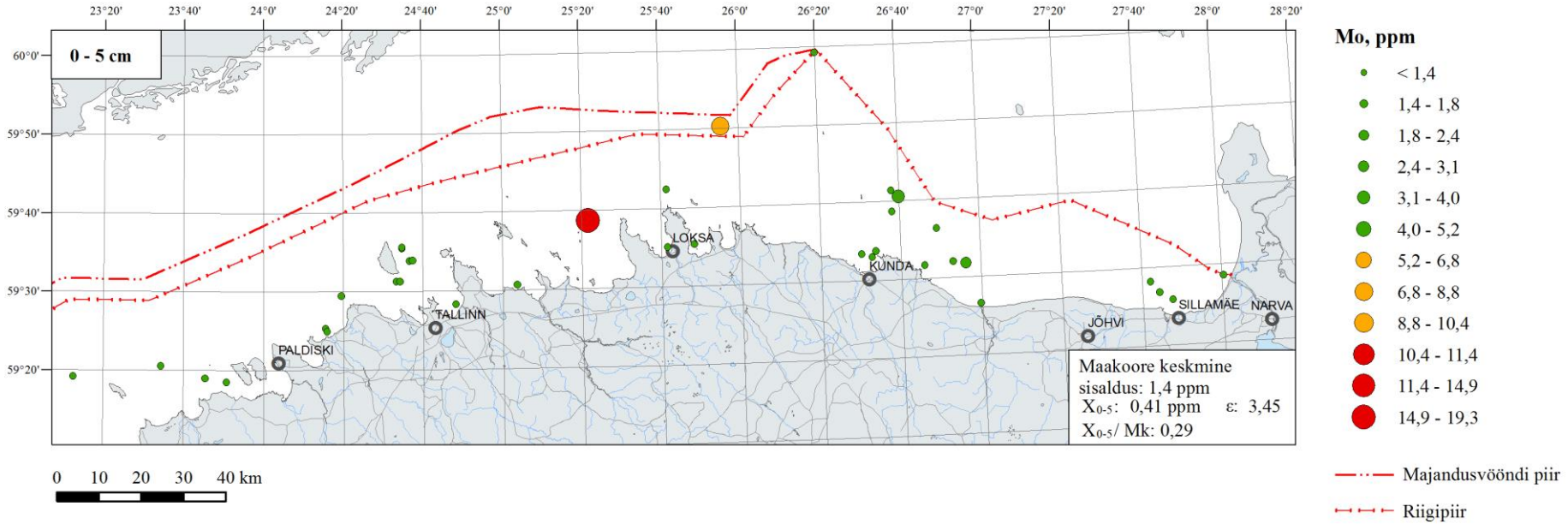
Liivaleuriidi setetes on Mo-sisaldus enam kui 10 korda madalam sisaldusest savialeuriidis, keskmiselt lähedane huumushorisondi keskmisele (Tabel 4.2.2.10), kuid dispersioon eriti kõrge ja heitlik. Viimane on põhjustatud liivaleuriidi setete muutlikust lõimisest ja mineraalsest koostisest. Maksimaalsed sisaldused ulatuvad 17 mg/kg ja jäävad Käsmu ja Maardu idapikkuse vahelisele alale (Joonis 4.2.2.10-b). Iseloomulik on Mo kõrge positiivne korrelatsioon lahe sügavuse, S, Fe, Mn, Cu, Ni, Cd ja Zn sisalduse vahel.

Tabel 4.2.2.10. Mo-sisaldus lahe põhjasetetes, mg/kg

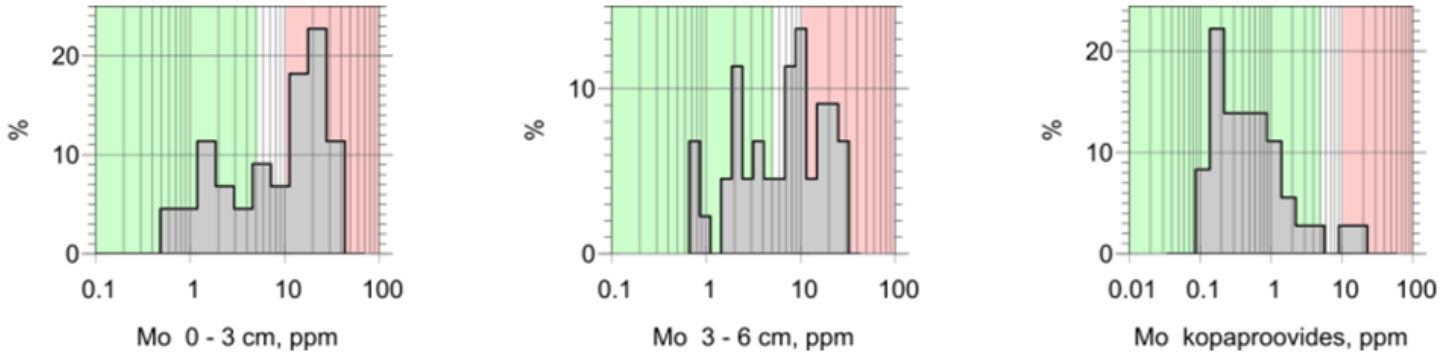
Lahe põhjasetted		Proo-vide arv	Geokeemilised parameetrid							Xg /Mk k
Litotüüp	Sügavus, cm		Sisaldused			ξ	Sisalduse piirid (kuni), mg/kg			
			x_{min}	x_{max}	x_g		valdav	kõrgend.	kõrge	
Savialeuriit	0–3	44	0,48	30,9	6,20	3,32	21	68	220	4,43
	3–6	44	0,67	25,5	5,28	2,82	14	42	120	3,78
Liivaleuriit	0–5	36	0,07	17,0	0,41	3,45				0,29
Fe-Mn konkr.	0–5	8	30,5	426	70,0	2,09				50,00
Konkr. ümbris	0–5	7	0,92	7,79	2,63	2,09				1,88
	> 5	6	0,67	5,63	1,07	2,11				0,76



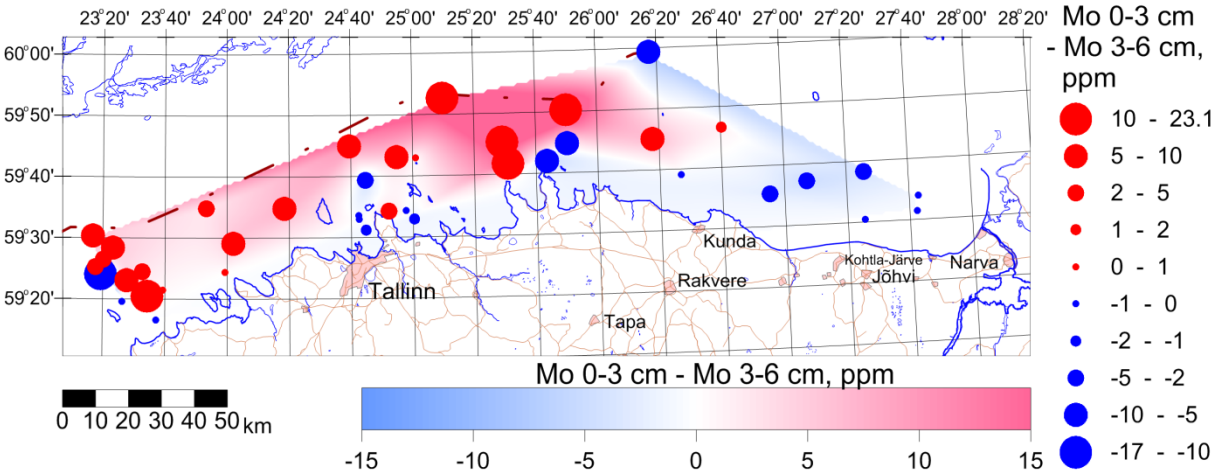
Joonis 4.2.2.10-a. Mo pindalaline levik Soome lahe savialeuriidi põhjasetete kahes ülemises, 0–3 cm ja 3–6 cm intervallis. Roheline värv tähistab SedGoF „hea“ piirväärtusest madalamaid sisaldusi, kollane – SedGoF „hea“ ja „rahuldav“ piirväärtuste vahepealseid sisaldusi, punane – SedGoF „rahuldav” piirväärtusest suuremaid sisaldusi



Joonis 4.2.2.10-b. Mo pindalaline levik Soome lahe liivaleuriidi põhjasetete ülemises, 0–5 cm intervallis (kopaproovid). Roheline värv tähistab SedGoF „hea“ piirväärtusest madalamaid sisaldusi, kollane – SedGoF „hea“ ja „rahuldav“ piirväärtuste vahepealseid sisaldusi, ning punane – SedGoF „rahuldav” piirväärtusest suuremaid sisaldusi



Joonis 4.2.2.10-c. Mo-sisalduse jaotusdiagrammid: savialeuriidis 0–3 ja 3–6 cm intervallides ning liivaleuriidi 0–5 cm intervallis (kopaproovid)



Joonis 4.2.2.10-d. Mo-sisalduste vahe põhjasette proovides sügavuselt 0–3 ja 3–6 cm merepõhjast

4.2.2.11. Se (Seleen)

Se on kalkofiilne element, mittemetall. Selle aatomnumber on 34 ja aatommass 79. Looduses esineb Se 6 stabiilse isotoobina, kivimite ühendites oksüdatsiooniastmega –2, +2, +4 ja +6.

Se keskmine sisaldus maakoores on ligi 0,083 mg/kg ja sisaldus varieerub tardkivimites valdavalt 0,025–0,120 mg/kg piirides. Settekivimites on Se-sisaldus maksimaalne savikivimites (0,30 mg/kg) ja minimaalne liivakivides (0,010 mg/kg). Eesti graptoliitargilliidis varieerub Se-sisaldus 1,10–5,50 mg/kg piirides, Euroopa maade mulla künnikihis kuningvees lahustuv valdav sisaldus on < 0,05–0,54 mg/kg (Reimann, *et al,* 2014) ja sama sisaldus Eesti mulla huumushorisondis 0,052–0,32 mg/kg (Petersell jt, 2015).

Murenemisel on Se väga mobiilne happelises keskkonnas, koos pH vähenemisega suureneb mobiilsus (Gondi *et al*, 1992).

Se on bioaktiivne element ja vajalik kõikide organismide elutegevuses. Se-ühendite kõrged sisaldused on toksilised. Need põhjustavad juuste ja küünte kaotuse. Toiduainete kõrge Se-sisaldusega kaasnev mürgitus võib lõppeda surmaga (De Vos, Tarvainen, 2006).

Soome lahe savialeuriidi lõimisega põhjasetete ülemise, 0–3 cm kihi keskmine Se-sisaldus on 0,72 mg/kg, mis on enam kui 8 korda kõrgem Mk keskmisest (Joonis 4.2.2.11-a) ja enam kui 5 korda kõrgem Eesti mulla huumushorisondi kuningvees lahustuvast sisaldusest (Tabel 4.2.2.11). Sisalduste dispersioon on kõrge ja maksimaalsed sisaldused ulatuvad 1,26 mg/kg (Joonis 4.2.2.11-c). Need levivad kaootiliselt ja suurenevad Kunda idapikkusest lääne suunas.

Se-sisaldus alumises, 3–6 cm kihis jälgib üldjoontes ülemise kihi seaduspärasusi, kuid eranditega (Joonis 4.2.2.11-a).

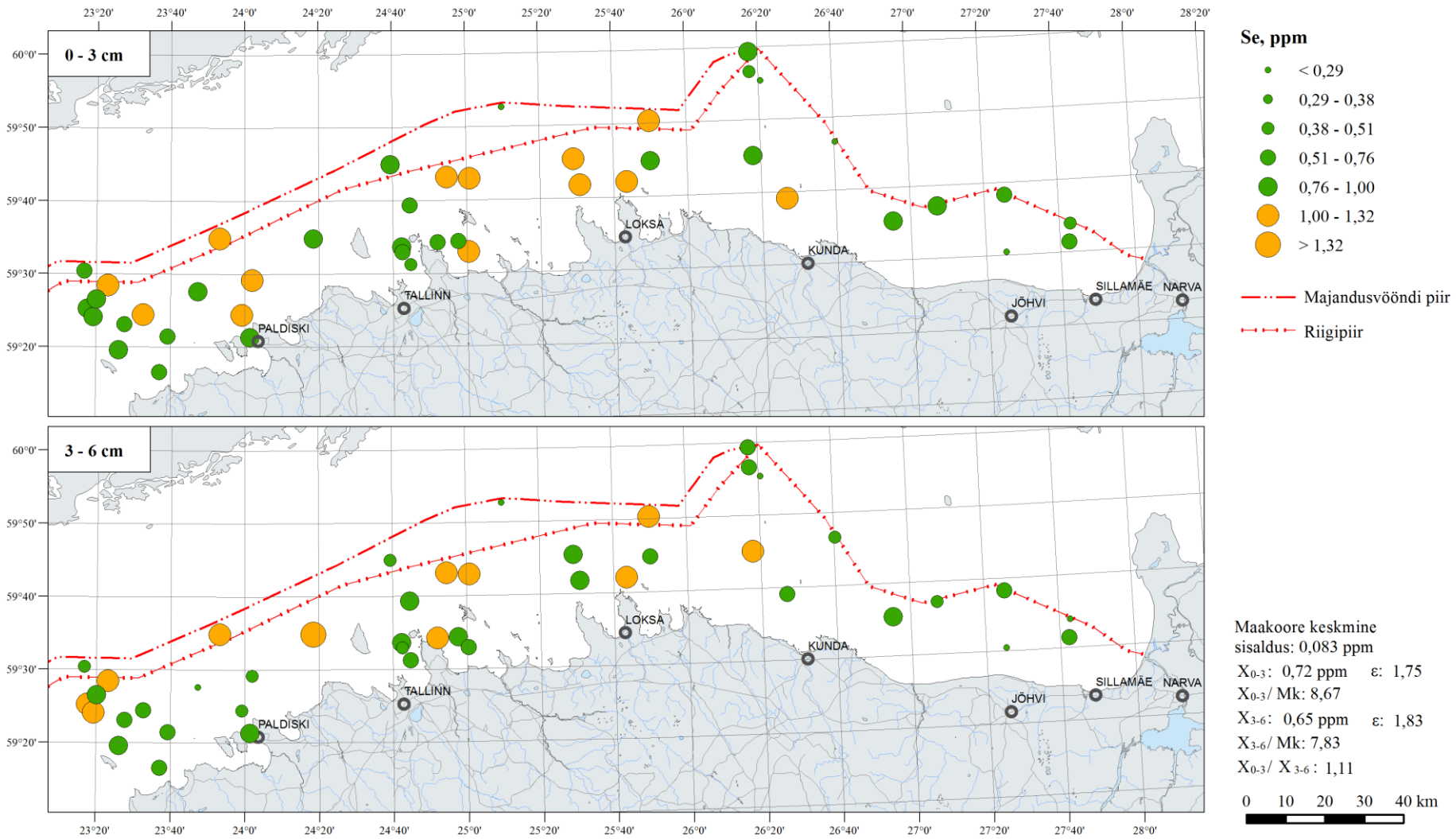
Alumise kihi keskmine sisaldus on 0,65 mg/kg ehk ligi 11% madalam sisaldusest ülemises kihis. Viimastel aastatel on savialeuriidi põhjasetetes jälgitav valdaval alal Se-sisalduse suurenemine, eriti majandusvööndi läänepiirkonnas (Joonis 4.2.2.11-d).

Savialeuriidi setetes on Se ja S, Cr, Zn ning U vaheline positiivne korrelatsioon märgatav, kuid korrelatsioon teiste elementide ja saviosakestega on neutraalne. Korrelatsioon Se ja C-org vahel tuleb esile vaid alumises (3–6 cm) intervallis.

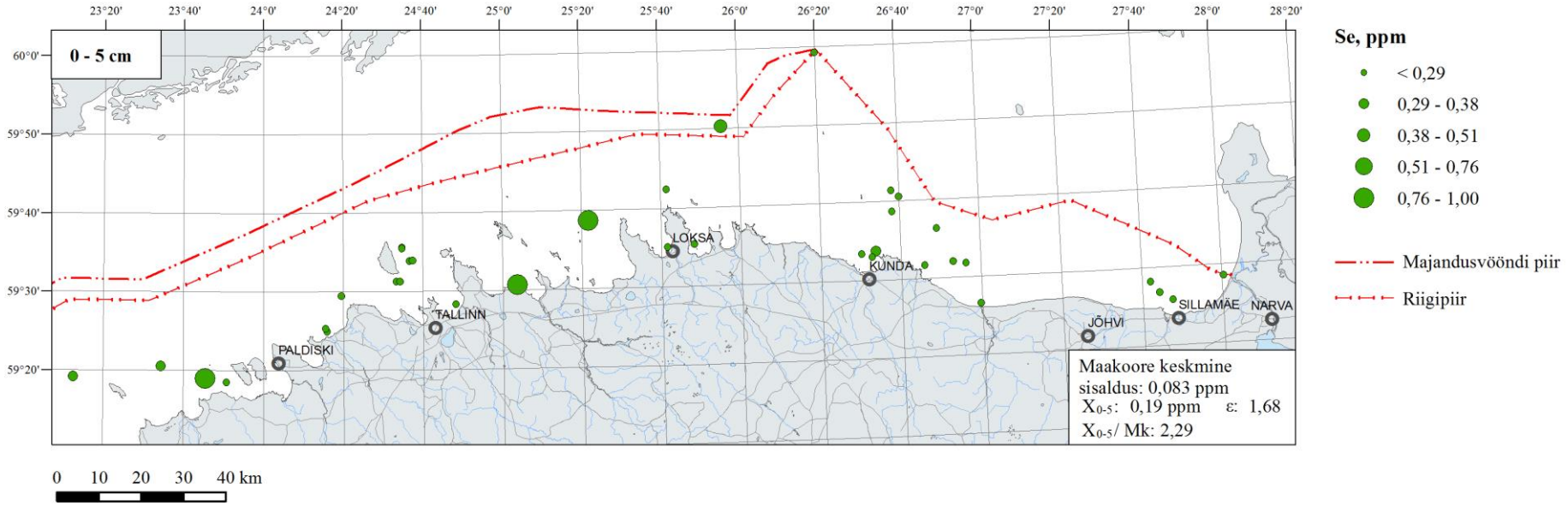
Liivaleuriidi setetes on Se-sisaldus enam kui 5 korda madalam sisaldusest savialeuriidi setetes (Tabel 4.2.2.11), kuid dispersioon kõrge ja korrapäratu. Viimane on põhjustatud liivaleuriidi setete muutlikust lõimisest ja mineraalsest koostisest. Üksikud maksimaalsed sisaldused ulatuvad 0,97 mg/kg ja jäävad majandusvööndi läänepoolsele alale. Iseloomulik on kõrge positiivne korrelatsioon Se ja Mg, Ca, S, Cr, Fe, Ni, Cu, As, Zn, Mo, Cd, Tl ning Pb sisaldustega ja märgatav korrelatsioon lahe sügavusega.

Tabel 4.2.2.11. Se-sisaldus lahe põhjasetetes, mg/kg

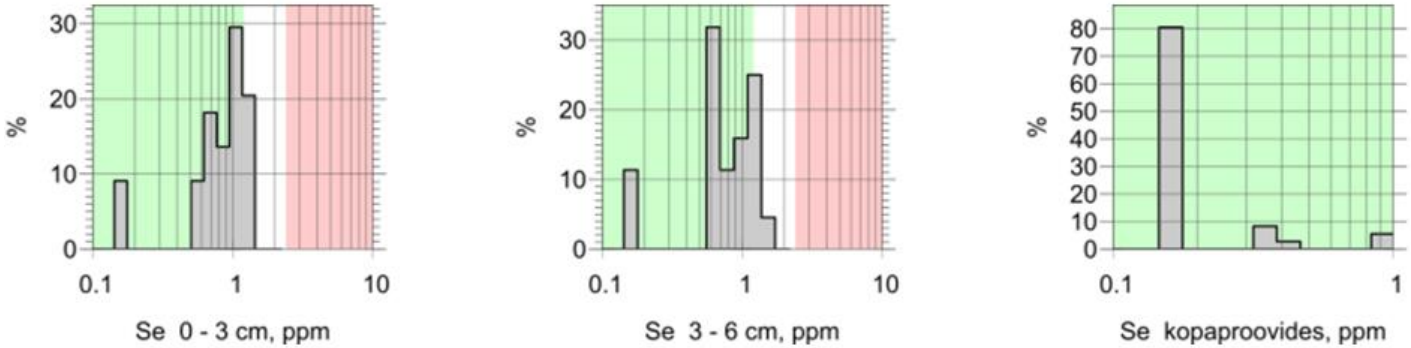
Lahe põhjasetted		Proo-vide arv	Geokeemilised parameetrid							Xg /Mk
Litotüüp	Sügavus, cm		Sisaldused			ξ	Sisalduse piirid (kuni), mg/kg			
			x_{min}	x_{max}	x_g		valdav	kõrgend.	kõrge	
Savialeuriit	0–3	44	0,15	1,26	0,72	1,75	0,4-1,3	2,2	3,9	8,67
	3–6	44	0,15	1,41	0,65	1,83	0,4-1,2	2,2	4,0	7,83
Liivaleuriit	0–5	36	0,13	0,97	0,19	1,68				2,29
Fe-Mn konkr.	0–5	8	<0,1	0,60	0,48	1,34				5,78



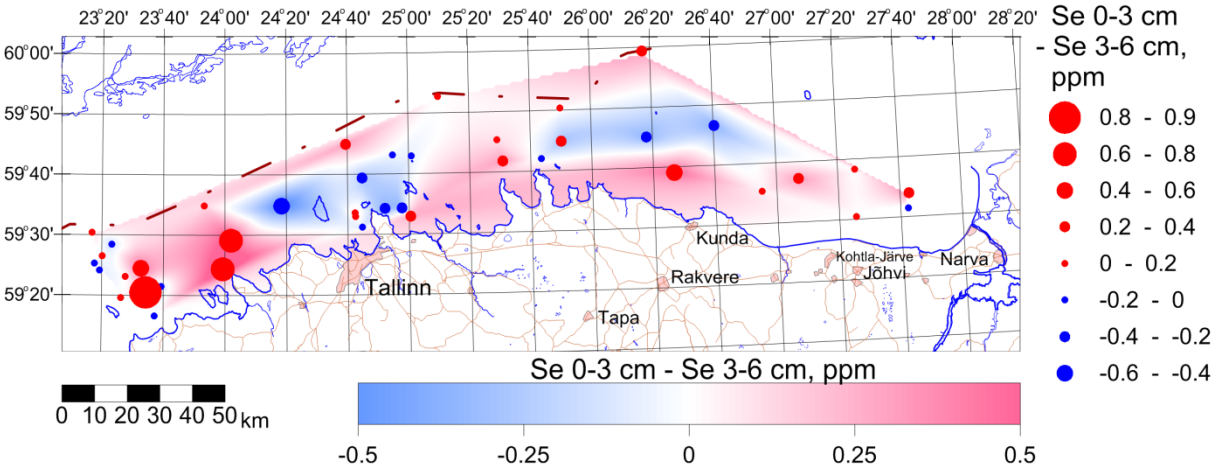
Joonis 4.2.2.11-a. Se pindalaline levik Soome lahe savialeuriidi põhjasetete kahes ülemises, 0–3 cm ja 3–6 cm intervallis. Roheline värv tähistab SedGoF „hea“ piirväärtusest madalamaid sisaldusi, kollane – SedGoF „hea“ ja „rahuldav“ piirväärtuste vahepealseid sisaldusi, ning punane – SedGoF „rahuldav” piirväärtusest suuremaid sisaldusi



Joonis 4.2.2.11-b. Se pindalaline levik Soome lahe liivaleuriidi põhjasetete ülemises, 0–5 cm intervallis (kopaproovid). Roheline värv tähistab SedGoF „hea“ piirväärtusest madalamaid sisaldusi, kollane – SedGoF „hea“ ja „rahuldav“ piirväärtuste vahepealseid sisaldusi, ning punane – SedGoF „rahuldav” piirväärtusest suuremaid sisaldusi



Joonis 4.2.2.11-c. Se-sisalduse jaotusdiagrammid: savialeuriidis 0–3 ja 3–6 cm intervallides ning liivaleuriidi 0–5 cm intervallis (kopaproovid)



Joonis 4.2.2.11-d. Se-sisalduste vahe põhjasette proovides sügavuselt 0–3 ja 3–6 cm merepõhjast

4.2.2.12. U (Uraan)

U on litofiilne ja kõrgradioaktiivne element (metall), mille aatomnumber on 92 ja aatommass 238. Levib looduses peamiselt isotoobina U-238, mis moodustab massist 99,3%. Esineb kivimites ühenditena, oksüdatsiooniastmega peamiselt +4 ja +6, harvem +3 ja +5.

Maakoore keskmine U-sisaldus on ligi 2,5 mg/kg ja peamistes kivimtüüpides väga erinev. Tardkivimite kujunemisel kontsentreerub U granitoididesse, kus eelistab leelisrea erimeid. Kui ultraaluselistes kivimites langeb U-sisaldus sageli < 0,1 mg/kg, siis leelisgraniitides ja nefeliinsüeniitides ületab see sageli 20 mg/kg piiri ning ulatub erandjuhtudel 100 mg/kg (Ivanov, 1997). Ka rabakivi formatsiooni ja svekofenniidide granitoidides ulatub U-sisaldus 10–16 mg/kg (Koljonen, 1992). U-sisaldus on väga madal lubjakivides, sageli < 0,2 mg/kg, ja ületab savikivimites 3 mg/kg piiri. EL künnikihi keskmine U-sisaldus on 2,0 mg/kg (De Vos, Tarvainen 2006).

Sageli kontsentreerub U kaustobioliitides ja fosforiitides. Eriti kujukalt on see jälgitav Eesti graptoliitargilliidis, kus U-sisaldus ulatub 380 mg/kg (Loog, Petersell, 1994), ja fosforiidis, mille U-sisaldus ulatub 40–52 mg/kg (Petersell, 1991). Eesti mulla huumushorisondi valdav U-sisaldus on 1,3–4,2 mg/kg.

Maakoores on teada üle 150 U-mineraali. Need on kõik hapnikuühendid. Olulisemad mineraalid on uraniniit ja branneriit. Sageli on U-sisaldus kõrge monatsiidis, kolumbiidis, tsirkoonis, fosfaatides jt aktsessoorsetena levivates mineraalides. Need võivad kontsentreeruda ja põhjustada lokaalseid kõrge U-Th sisaldusega alasid. Kivimit moodustavatest mineraalidest on U-rikkamad leelisrea kivimite amfiboolid, vilgud ja ka pürokseenid. Nendes mineraalides võib U-sisaldus ulatuda 100–200 mg/kg.

Murenemisel on U-ühendid happelises keskkonnas keskmiselt, leeliseses keskkonnas kergemini liikuvad. Need absorbeeritakse osaliselt savimineraalide poolt. U võib ka kontsentreeruda murenemisel moodustuvates raskesti lahustuvates P, As jt elementide ühendites ning redutseeruvas keskkonnas orgaanikarikastes setetes.

U kuulub bioaktiivsete mikroelementide hulka. U mõõdukad sisaldused avaldavad teatavate taimeliikide kasvule positiivset mõju (Vadkovskaja, Lukašev, 1981). Kõrgete sisalduste puhul avaldab U toksilist ja kantserogeenset mõju ning põhjustab mutatsioone (Neručev, 1982).

Soome lahe savialeuriidi lõimisega põhjasetete ülemise, 0–3 cm kihi keskmine U-sisaldus on 5,7 mg/kg, mis on enam kui 2 korda kõrgem Mk keskmisest (Joonis 4.2.2.12-a) ja Eesti mulla huumushorisondi sisaldusest (Tabel 4.2.2.12). Sisalduste dispersioon on madal ja maksimaalsed sisaldused ulatuvad 9,7 mg/kg (Joonis 4.2.2.12-c), mis ületavad pea 4 korda huumushorisondi keskmise sisalduse. Maksimaalsed sisaldused levivad kaootiliselt ja suurenevad Kunda idapikkusest lääne suunas.

U-sisaldus alumises, 3–6 cm kihis jälgib üldjoontes ülemise kihi seaduspärasusi, kuid on laiguti oluliselt erinev.

Alumise kihi keskmine U-sisaldus on 5,9 mg/kg ehk lähedane sisaldusele ülemises kihis. Viimastel aastatel on savialeuriidi põhjasetetes majandusvööndi idaosas jälgitav U-sisalduse

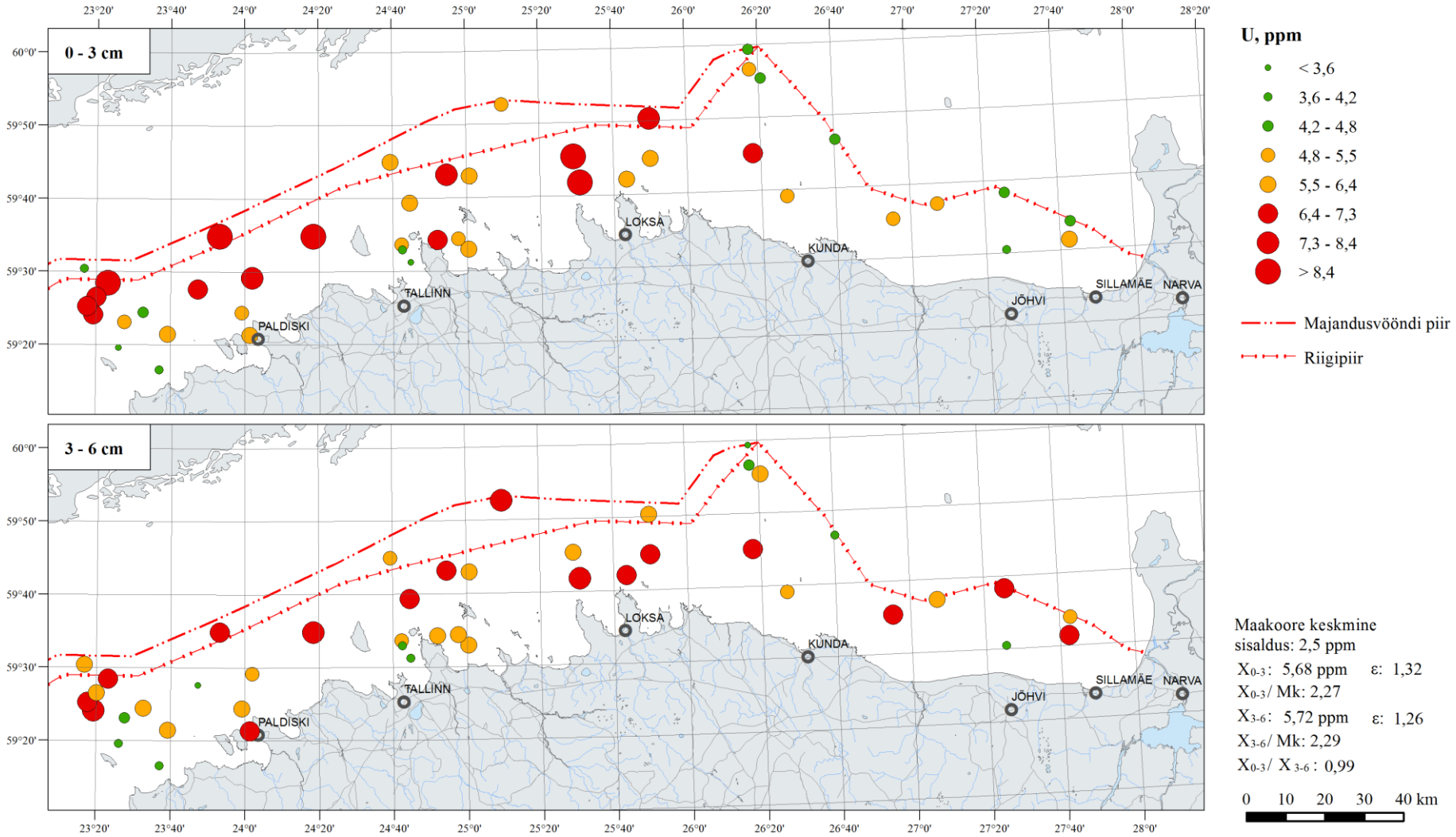
vähenemine (Joonis 4.2.2.12-d) ja suurenemine majandusvööndi kesk- ja läänepiirkonnas, eriti Kahala ja Paldiski idapikkuse vööndis.

Savialeuriidi setetes on saviosakeste U ja Al, Fe, Cr, Ni, Zn, Se, Mo ning Tl sisalduste vaheline korrelatsioon ühemõtteliselt positiivne, C-org ja lahe sügavuse vaheline korrelatsioon on nõrk, kuid märgatav.

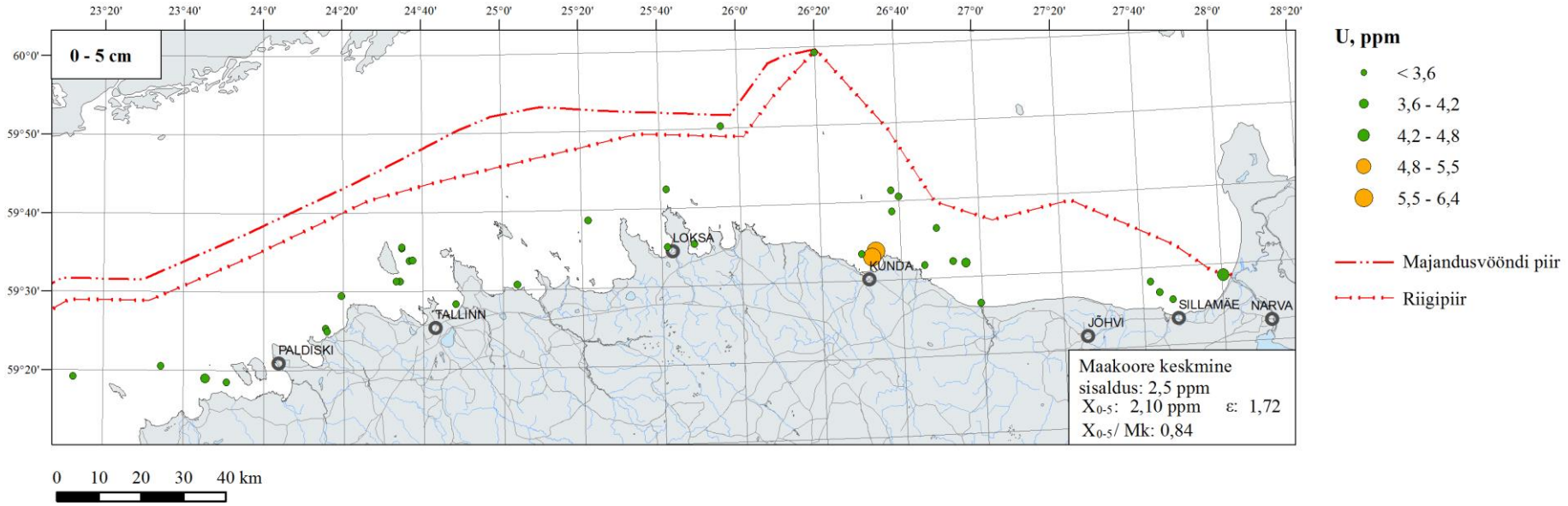
Liivaleuriidi setetes on U-sisaldus enam kui 2,5 korda madalam sisaldusest huumushorisondis, (Tabel 4.2.2.12), kuid dispersioon kõrge. Viimane on põhjustatud liivaleuriidi setete muutlikust lõimisest ja mineraalsest koostisest. Maksimaalsed sisaldused ulatuvad 6,4 mg/kg ja jäävad Kunda jõe suudmealale (Joonis 4.2.2.12-b). U- ja P-sisalduse vahel on jälgitav selge positiivne korrelatsioon, U ja makroelementide ning rea mikroelementide (Cr, Ni ja Pb) vaheline korrelatsioon on nõrgalt positiivne.

Tabel 4.2.2.12. U-sisaldus lahe põhjasetetes, mg/kg

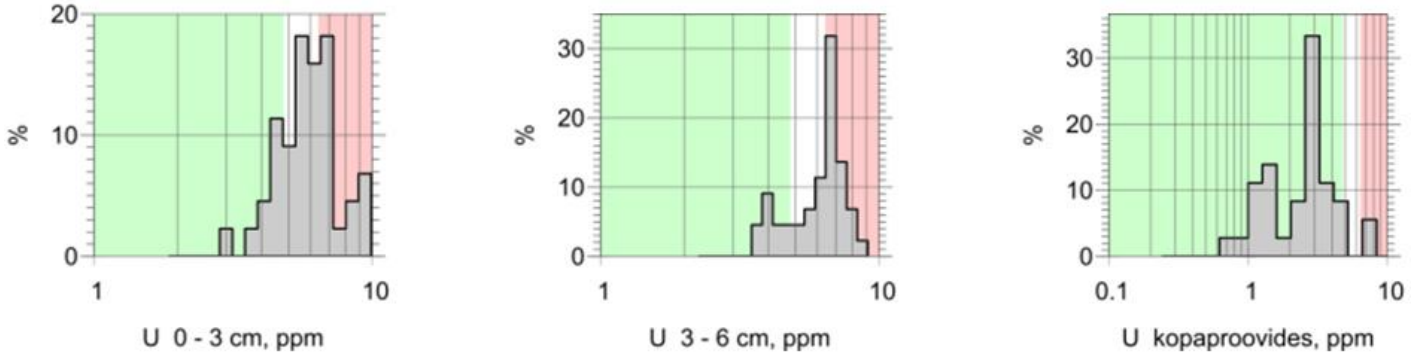
Lahe põhjasetted		Proo-vide arv	Geokeemilised parameetrid							Xg /Mk
Litotüüp	Sügavus, cm		Sisaldused			ξ	Sisalduse piirid (kuni), mg/kg			
			x_{min}	x_{max}	x_g		valdav	kõrgend.	kõrge	
Savialeuriit	0–3	44	2,7	9,7	5,68	1,32	7,5	9,9	13	2,27
	3–6	44	3,5	8,2	5,87	1,25	7,3	9,2	12	2,29
Liivaleuriit	0–5	36	0,7	6,4	2,10	1,72				0,84
Fe-Mn konkr.	0–5	8	4,1	12,4	7,68	1,37				3,07
Konkr. ümbris	0–5	7	2,3	5,5	3,33	1,39				1,33
	> 5	6	3,4	5,8	4,57	1,19				1,83



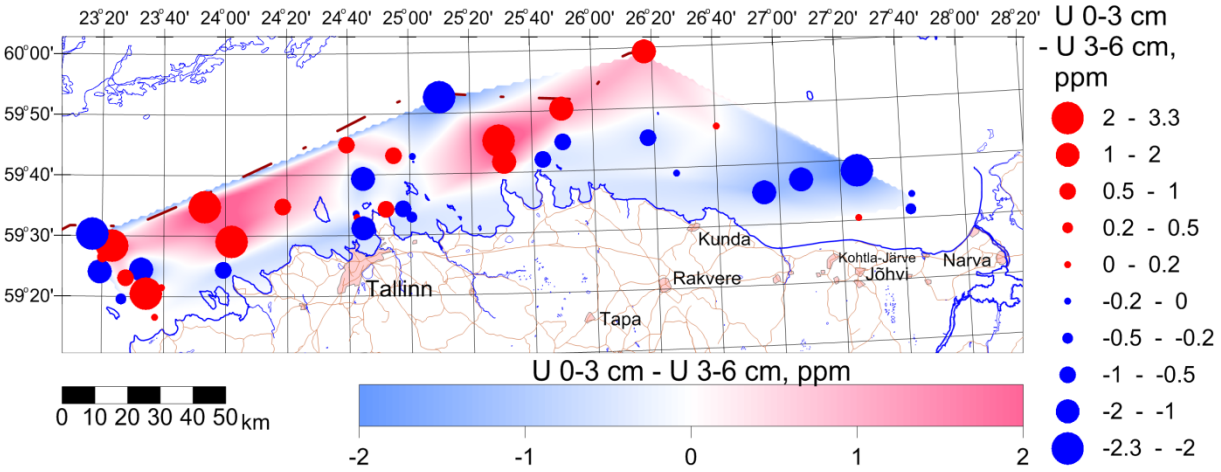
Joonis 4.2.2.12-a. U pindalaline levik Soome lahe savialeuriidi põhjasetete kahes ülemises, 0–3 cm ja 3–6 cm intervallis. Roheline värv tähistab SedGoF „hea“ piirväärtusest madalamaid sisaldusi, kollane – SedGoF „hea“ ja „rahuldav“ piirväärtuste vahepealseid sisaldusi, ning punane – SedGoF „rahuldav” piirväärtusest suuremaid sisaldusi



Joonis 4.2.2.12-b. U pindalaline levik Soome lahe liivaleuriidi põhjasetete ülemises, 0–5 cm intervallis (kopaproovid). Roheline värv tähistab SedGoF „hea“ piirväärtusest madalamaid sisaldusi, kollane – SedGoF „hea“ ja „rahuldav“ piirväärtuste vahepealseid sisaldusi, ning punane – SedGoF „rahuldav” piirväärtusest suuremaid sisaldusi



Joonis 4.2.2.12-c. U-sisalduse jaotusdiagrammid: savialeuriidis 0–3 ja 3–6 cm intervallides ning liivaleuriidi 0–5 cm intervallis (kopaproovid)



Joonis 4.2.2.12-d. U-sisalduste vahe põhjasette proovides sügavuselt 0–3 ja 3–6 cm merepõhjast

4.2.2.13. Mn (Mangaan)

Mn on litofiilne element, mille aatomnumber on 12 ja aatommass 24. Looduses esineb Mn isotoopidena Mn-24, Mn-25 ja Mn-26, millest viimane on valdav, moodustades 77,9% kogumassist. Kivimites esineb Mn erinevates ühendites, oksüdatsiooniastmega valdavalt +2 ja +4, harvem ka +3, +6 ja +7.

Mn-sisaldus on kivimtüüpides erinev ja moodustab maakoore keskmiseks 527 mg/kg. Tardkivimite kujunemisel kontsentreerub Mn eelistatavalt aluselistesse kivimitesse, kus Mn keskmine sisaldus on ligi 1500 mg/kg ja erimites ulatub kuni 7000 mg/kg. Graniitides on Mn keskmine sisaldus ainult 400 mg/kg. Settekivimitest kontsentreerub Mn savikivimeisse ja lubjakividesse. Ookeanide, merede ja suurte lahtede, sealhulgas Soome ja Riia lahe põhjas on levinud Fe-Mn konkretsioonid, kus Mn-sisaldus ulatub 20–34%. EL mulla künnikihi keskmine Mn-sisaldus on 650 mg/kg, Eesti mulla huumushorisondi Mn-sisadus 525 mg/kg (Petersell jt, 2015).

Magmatekkelised Mn-mineraalid on harvad. Magmakivimites asendab Mn silikaatide ruumvõres Fe, Mg ja Ca, sulfiidides asendab samuti katioone jne. Mn laialt levinud mineraalid, nagu hausmaniit (Mn_3O_4), brauniit (Mn_2O_3), rodokrosiit ($MnCO_3$), rodoniit ($MnSiO_3$) jt, on valdavalt settelise päritoluga ja kujunenud metamorfismil. Rida Mn-hüdroksiide settib veekogude põhjas.

Mn-rikkad kivimid alluvad happelises keskkonnas kergesti murenemisele. Tekkivad Mn-ühendid on migreeruvad. Ka orgaaniliste ühendite küllus soodustab Mn-ühendite liikuvust ja väljakannet pinnase ülemistest kihtidest illuviaalsesse horisonti (Vadkovskaja, Lukašev, 1981).

Mn on oluline maismaa taimede toitemikroelement, mis on vajalik fotosünteesil, lämmastiku omastamisel jne (Kalmet, 1979). Mn aitab kujundada mullas taimedele optimaalset elektrolüütilist vahekorda (Stiles, 1961). On selgunud, et Mn-ühendite kõrged sisaldused muutuvad happelises mullas (pH < 5,5) toksilisteks (Foy *et al*, 1988), need võivad põhjustada peaaju funktsioonide, hingamise jt haigusi. Madala Mn-sisaldusega kaasnevad südametegevuse häired ja arterioskleroos (De Vos, Tarvainen, 2006).

Soome lahe savialeuriidi lõimisega põhjasetete ülemises, 0–3 cm kihis on Mn keskmine sisaldus 777 mg/kg, mis on ligi 1,5 korda kõrgem Mk keskmisest (Joonis 4.2.2.13-a) ja Eesti mulla huumushorisondi Mn-sisaldusest (Tabel 4.2.2.13). Sisalduste leviku foonilisel taustal on jälgitavad Kunda ja Tallinna idapikkuse vahelisel alal üksikud kõrged (kuni 1,6%) sisaldused. Need paiknevad Fe-Mn konkretsioonide levilatel, kus settes esineb lisaks nähtavatele ka väga väikesi konkretsioone, mille eraldamine proovideks võetud setetest pole õnnestunud. See on ka sisalduste kõrge dispersiooni peamiseks põhjuseks (Joonis 4.2.2.13-c).

Mn-sisaldus alumises, 3–6 cm kihis jälgib ülemise kihi seaduspärasusi. Selle keskmine sisaldus on 628 mg/kg, mis on ligi 24% madalam sisaldusest ülemises kihis, kuid maksimaalsed sisaldused ulatuvad samuti 1,6%. Viimastel aastatel on toimunud Mn-sisalduse kasv kogu Eesti majandusvööndi piires.

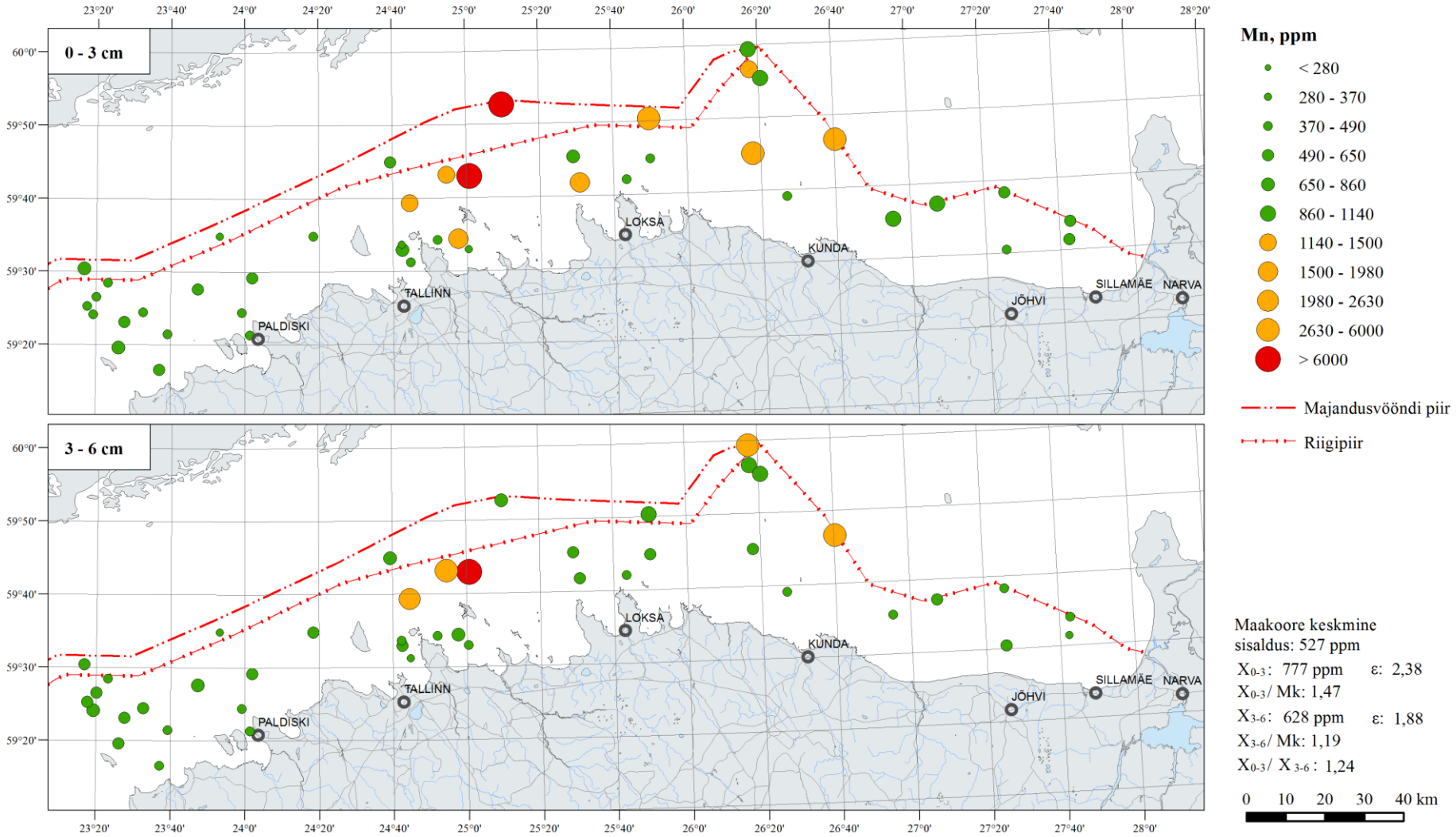
Mn jaotus savialeuriidi setete kahes vaadeldavas intervallis on erinev. Ülemises (0–3 cm) intervallis korreleerub ta P, Co ja As sisaldustega, alumises (3–6 cm) – P, N-tot ja orgaanilise aine sisaldustega. Teiste komponentidega ei ole ühemõtteline seos tuvastatud.

Liivaleuriidi setetes (0–5 cm, Joonis 4.2.2.13-b) on Mn-sisaldus enam kui 3 korda madalam sisaldusest savialeuriidis ja keskmisest mulla huumushorisondis (Tabel 4.2.2.13). Sisalduste dispersioon on eriti kõrge ja heitlik. Viimane on põhjustatud nii liivaleuriidi muutlikust lõimisest ja mineraalsest koostisest kui ka sarnastes setetes erinevast sisaldusest. Maksimaalsed sisaldused ulatuvad 0,37% ja jäävad Käsmu ja Maardu idapikkuse vahelisele alale. Iseloomulik on positiivne korrelatsioon lahe sügavuse, S, Fe, Mo, Cu, Ni, Cd, As ja Zn sisalduse vahel.

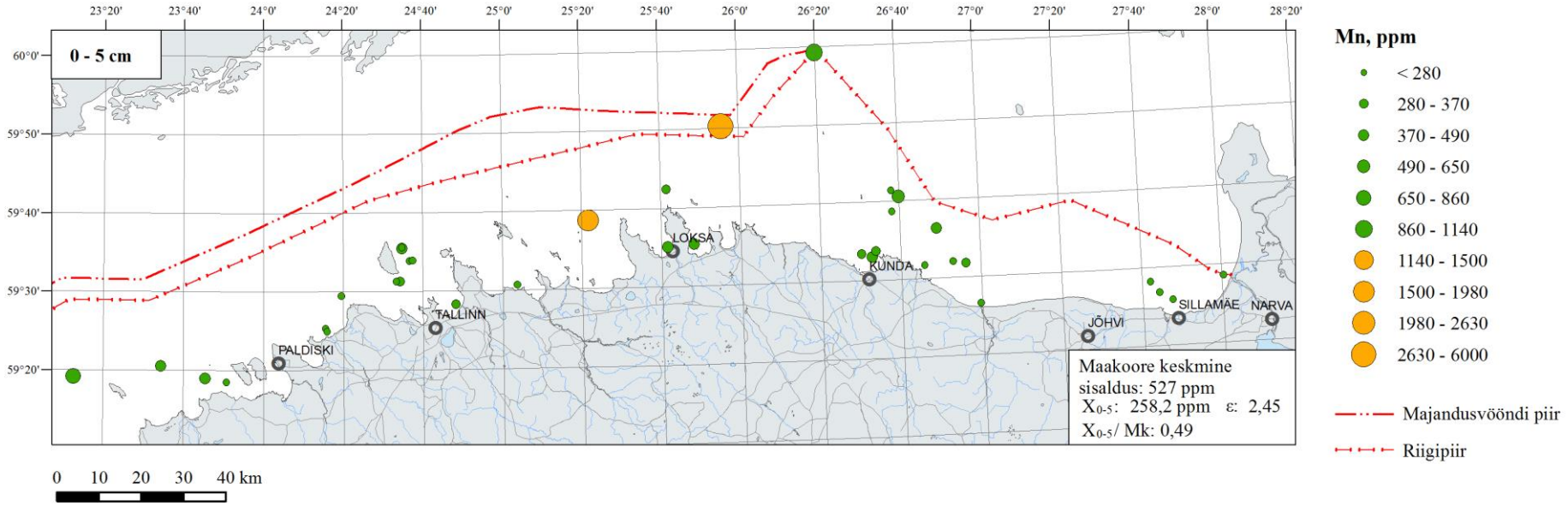
Tabel 4.2.2.13. Mn-sisaldus lahe põhjasetetes, mg/kg

Lahe põhjasetted		Proo-vide arv	Geokeemilised parameetrid							X_{max} /Mk
Litotüüp	Sügavus, cm		Sisaldused			ξ	Sisalduse piirid (kuni), mg/kg			
			x_{min}	x_{max}	x_g		valdav	kõrgend.	kõrge	
Savialeuriit	0–3	44	351	16480	777	2,38	1800	4400	10400	1,47
	3–6	44	305	16530	628	1,88	1200	2200	4200	1,19
Liivaleuriit	0–5	36	49	3666	258	245				0,49
Fe-Mn konkr.*	0–5	8	1,77	24,69	5,18	2,33				98,3
Konkr. ümbris	0–5	7	675	3666	1317	1,60				2,50
	> 5	6	881	1036	927	1,06				1,76

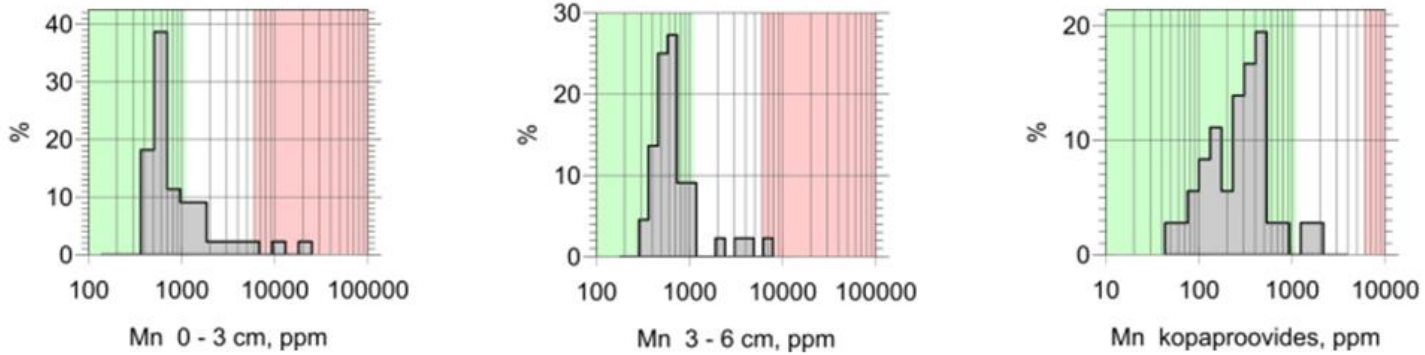
* %



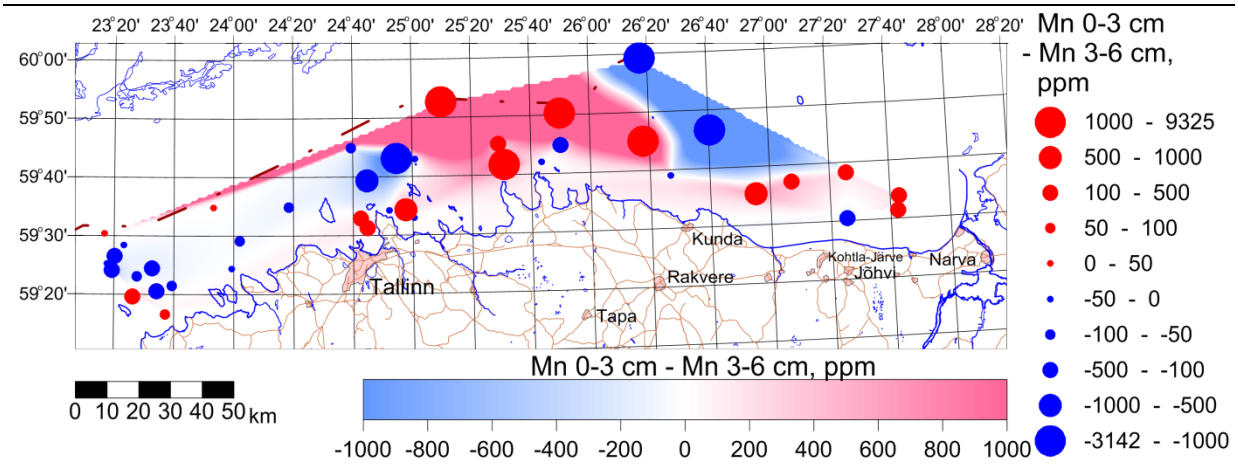
Joonis 4.2.2.13-a. Mn pindalaline levik Soome lahesavialeuriidi põhjasetete kahes ülemises, 0–3 cm ja 3–6 cm intervallis. Roheline värv tähistab SedGoF „hea“ piirväärtusest madalamaid sisaldusi, kollane – SedGoF „hea“ ja „rahuldav“ piirväärtuste vahepealseid sisaldusi, ning punane – SedGoF „rahuldav” piirväärtusest suuremaid sisaldusi



Joonis 4.2.2.13-b. Mn pindalaline levik Soome lahe liivaleuriidi põhjasetete ülemises, 0–5 cm intervallis (kopaproovid). Roheline värv tähistab SedGoF „hea“ piirväärtusest madalamaid sisaldusi, kollane – SedGoF „hea“ ja „rahuldav“ piirväärtuste vahepealseid sisaldusi, ning punane – SedGoF „rahuldav” piirväärtusest suuremaid sisaldusi



Joonis 4.2.2.13-c. Mn-sisalduse jaotusdiagrammid: savialeuriidis 0–3 ja 3–6 cm intervallides ning liivaleuriidi 0–5 cm intervallis (kopaproovid)



Joonis 4.2.2.13-d. Mn-sisalduste vahe põhjasette proovides sügavuselt 0–3 ja 3–6 cm merepõhjast

4.2.3. Keskkonnaseisundit kahjustavate elementide päritolust

Toksiliste raskmetallide, As ja eutrofeerumist soosivate elementide ning U-sisaldus on savialeuriidi lõimisega põhjasetete vertikaalses läbilõikes muutlik ja piirkonniti erinev (Joonis 4.2.3.1; Joonis 4.2.3.2; Joonis 4.2.3.3).

Tuginedes setete absoluutse vanuse andmetele ja läbilõikes analüüsitud raskmetallide, orgaanilise süsiniku ning P-sisaldusele, on jälgitav, et raskmetallide sisalduse tõus kujunevates põhjasetetes algas möödunud sajandi 30. aastatel. Selle sisalduse tõusu algus on globaalse iseloomuga ja on fikseeritud reas *Gemax-corner'i*-nimelise seadmega proovitud läbilõigetes kogu Soome lahe territooriumil (Vallius, Lehto, 1997; Vallius, Leivuori, 1999). Tšenobõli avarii käigus 1986. aastal õhku paiskunud ja Soome lahe piirkonda jõudnud kõrge C-137-sisaldusega pilv saastas ka lahte settivate setete pealispinna. Selle sündmuse aegse settepinna tasemest kujunes ajaline reeper, mida nüüd kasutatakse lihtsustatud korras settimiskiiruse hindamiseks.

Kolmekümnendatel aastatel algas piirkonniti põhjasetetes ja läbilõigetes sporaadiline toksiliste raskmetallide sisalduse tõus. See sporaadiliselt toimuv tõus kestis hinnanguliselt seitsmekümnendate aastateni ja seejärel algas settivates setetes sisalduse vähenemine (Joonis 4.2.3.4). See on põhjus, miks Eesti majandusvööndi varasema perioodi põhjasetetes erinevad keskkonnale kahjulike elementide maksimaalsed sisaldused 11–32% ulatuses kaasajal kujunevate (SedGoF 0–3 cm) setete sisaldustest.

Savialeuriidi lõimisega põhjasetete looduslikuks lähtematerjaliks on valdavalt toitepiirkonna mulla künnikiht ehk huumushorisont. Võrreldes põhjasetete toksiliste raskmetallide sisaldusi sisaldustega lahe toiteala künnikihis, on näha, et lahe põhjasetted on rikastunud teistest allikatest pärinevate toksiliste raskmetallide ja As-ga (Tabel 4.2.3.1). Nende elementide kõrgendatud või kõrge sisaldus põhjasetetes on kahtlemata inimtegevuse poolt põhjustatud. See on kandunud ja kandub lahte vooluvetega ja atmosfääri kaudu erinevates lahe toitepiirkondades (vesikonnas) paiknevatest tehnogeensetest saasteallikatest. Nendele

lisandub lahes toimuva majandustegevuse, rannalähedases piirkonnas transpordivahendite remondi ja hooldusega kaasnev saaste jne. Valdav enamus nendest saasteallikatest on tuvastatavad ja nende poolt põhjustatud saaste minimeeritav. Käesoleval ajal on toksiliste raskmetallide sisalduse tase kujunevates põhjasetetes stabiliseerunud või näitab isegi vähenemise tendentsi (Joonis 4.2.3.5).

Tabel 4.2.3.1. Elementide sisaldus lahe savialeuriidi lõimisega põhjasetetes ja maismaa künnikihis (huumushorisondis), mg/kg

Elementide sümbol	Sette päritolu				
	Soome lahe savialeuriit		Eesti mulla huumushorisont	EL mulla künnikiht	Soome künnikiht
	0–3 cm	3–6 cm			
As	8,83	8,78	3,04	7,03	5
Cd	0,57	0,61	0,15	0,15	0,3
Cr	69,1	75,1	23,8	60,0	80
Cu	32,2	37,0	8,52	10,9	25
Hg	0,042	0,044	0,034	0,037	0,05
Ni	37,4	39,8	10,02	18,0	20
Pb	29,6	33,7	21,64	22,6	17
Zn	126,4	144,1	45,36	52,0	70
P	1238	1002	1100	560	750
Mo	6,20	5,28	0,47	0,62	1,2
Se	0,72	0,65		0,38	0,30
U	5,68	5,72	2,36	2.00	2,7
Mn	777	628	525	650	530
Corg, %	4,22	3,63		2,25	
S, %	0,56	0,33	0,030	0,027	

Lahe eutrofeerumist soosivate elementide (P, Mo, Se, Mn) ja U käitumise hinnang põhjasetetes on tunduvalt komplitseeritum. Mudelile on iseloomulik sisalduse tõus (Joonis 4.2.3.6). Probleeme käsitlev faktiline info on liiga tagasihoidlik või isegi puudub.

Kuigi nende elementide sisalduse tase põhjasetetes on lahe elusorganismide elukeskkonna ja tervikliku ökosüsteemi arengut negatiivses suunas mõjutavaks oluliseks teguriks, pole pööratud piisavalt tähelepanu nende allikate selgitamisele. Ilma neid teadmata pole minimeerivate meetmete rakendamine võimalik. **Lahe ökosüsteemile pole niivõrd ohtlik toiteelementide kõrgendatud või kõrge sisaldus setetes, vaid nende sisalduste progresseeruv kasvutempo.**

On iseloomulik, et nende eutrofeerumist soosivate elementide (P, Mo, Se, Mn) ja U-sisaldus savi-aleuriidi lõimisega orgaanilise aine rikastes põhjasetetes on kõrgem sisaldusest nii Eesti, Soome mulla huumushorisondi kui ka Euroopa maade mulla künnikihis (Tabel 4.2.3.1).

Eutrofeerumist põhjustavatest elementidest on muidugi juhtival kohal P.

Trükistes informeeritakse, et Eestist kandus 1986. aastal Soome lahte 1300 tonni fosforit, sellest jõgede veega 900 tonni. Sellele lisandus atmosfääri kaudu kanduv fosfor (Alhonen *et*

al, 1992). 1980. aastate lõpust hakkas Eestist lahte kanduva P kogus vähenema ja moodustas 1995. aastal 680 tonni, millele lisandus atmosfääri kaudu kanduv (Lips jt, 1998). Sellest kogusest ligi 34% moodustas asulatest ja tööstusest pärinev fosfor, ligi 66% pärines põllumajandusest ja nn looduslikust foonist, mis on samuti seotud põllumajandusega. HELCOM andmetel oli 2006. a talveperioodi lahevee keskmine P-sisaldus 0,025 mg/l, mis on madalam või lähedane Eestist Soome lahte voolavate suuremate jõgede P-sisaldusega (0,018–0,063 mg/l; Hindrikson, 2015). Toodud andmetega on aga raske selgitada P-sisalduse suurenemist põhjasetetes ja põhjalähedases vees (vahetult Osmussaare piirkonnas kuni 0,63 mg/l; Joonis 4.2.3.7), samas kui N-sisaldused samade proovide vees seda ei kinnita (Joonis 4.2.3.8).

Uuringud (Vallius, 2015) näitavad, et Soome lahe Soome majandusvööndis varieerub aastas lahe põhja settinud sette kogus ruutmeetrile 0,5–8,8 kg piirides. Käesolevate uuringute käigus kogutud andmetel settib Eesti majandusvööndis savialeuriidi setete levilatel aastas keskmiselt ligi 0,64 kg kuiva setet. Kui lähtuda andmetest, mis näitavad, et savialeuriidi setete levilad moodustavad ligi 50% majandusvööndi pindalast ja viimase 2–4 aasta jooksul kujunenud 3 cm (0–3 cm) paksuse kihi P-sisaldus on ligi 236 mg/kg suurem alumise, 3–6 cm vahemiku, samuti 3 cm paksuse kihi P-sisaldusest, mis kujunes ligi 3 kuni 6 aastat varem, pole raske hinnata aastas lisandunud P kogust. 2010. a tasemega võrrelduna kandus viimaste aastate jooksul täiendavalt lahte, Eesti majandusvööndi piiridesse, orienteeruvalt ligi 62 tonni P aastas.

Pole tõepärane, et viimastel aastatel on Eestis fosforväetiste kasutamine põllumajanduses oluliselt tõusnud ja see kajastuks intensiivses P-sisalduse tõusus põhjasetetes. Ja kui selgub, et on tõesti tegemist põllumajandusest pärineva saastega, tuleb väetiste kasutamist oluliselt korrastada. On tõepärasem, et tegemist on täiendavate saastekolletega. Väärib tähelepanu P kõrge positiivne korrelatsioon Sr ning haruldaste muldmetallidega (REE) idapiirkonna uuringupunktides ja sellise korrelatsiooni puudumine läänepiirkonna uuringupunktides (Joonis 4.2.3.9). Analoogne positiivne korrelatsioon on iseloomulik Eesti fosforiidile. Pole välistatud P kandumine Soome lahte hoovustega ka läänest, Gdanski süviku piiridest, kus põhjasetete P-sisaldus ulatub 2,8% (Uscinowicz, 2011). Mainitud piirkonnast võib P kanduda hoovustega ida suunas piki Saaremaa ja Hiiumaa rannavööndit ning Soome lahe lõunapoolset ala kuni Loksa ja Sillamäe idapikkuseni, kus voolu takistab Neeva jõe vesi ja suunab selle läände, piki põhjapoolset laheala. See hüpotees aitab seletada kõrge P-sisalduse (kuni 0,64 mg/l) päritolu Osmussaare piirkonna põhjalähedases vees, samas kui lähimate, Nõva ja Riguldi jõe vees oli 2014. a P-sisaldus ainult 0,018 ja 0,026 mg/l.

Väärib tähelepanu kõrge P-sisaldus 2012. a Kirde-Eesti juunikuu sademevee filtreerimata proovides (0,310 kuni 2,382 mg/l), samal ajal kui piirkonna jõgede (ojade) vees jäi P-sisaldus alla 0,066 mg/l (Petersell jt, 2013).

Mo ja Se soosivad maismaal taimede ja elusorganismide kasvu. Tõenäoliselt täidavad need samu funktsioone ka veelises keskkonnas. Mo on taimedes oluline N-ühendite ringlust reguleerivate fermentide koostisesse kuuluv mikro-toiteelement, suurt rolli mängib see

atomaarse lämmastiku fikseerimisel mikroobide poolt. Mo on vajalik paljude organite elutegevuseks ja arenguks (Vos, Tarvainen, 2006; Glass *et al*, 2012).

U on kõrgtoksiline radioaktiivne element, mille mõju taimede kasvule pole üheselt selge. U tütarelement Ra ja selle radioaktiivsel lagunemisel tekkivad kõrgradioaktiivsed tütarelemendid on tervist kahjustavad ja võivad tõenäoliselt kontsentreeruda ka mere elusorganismides.

Mo ja Se ning lahe majandusvööndi läänepiirkonnas ka U kõrge ja piirkonniti suureneva sisalduse päritolu ning põhjuste kohta info puudub. Puuduvad ka nende elementide tõestatud allikad. Nende elementide sisaldus lahe valgala pinnases on kordades madalam sisaldusest lahe põhja savialeuriidi setetes, mis teeb väheusutavaks oletuse, et toimub nende valikuline väljakanne maismaa pinnasest.

Soome lahe lõunapoolses piirkonnas levivad aluspõhjakivimites graptoliitargilliit ja oobolusliivakivi. Esimesele kivimtüübile on ainukesena piirkonnas iseloomulik kõrge U-, Mo- ja Se- ning rea toksiliste raskmetallide (Cd, Pb, Ni jt) sisaldus, teisele kivimtüübile – P- ja U-sisaldus. Need kivimid paljanduvad või avanevad pinnakatte all lahe veepinnast kõrgemal Soome lahte lõunast piirava klindi astangutel Narvast kuni Pakri saarteni ja saartest lääne pool ning lahe nõlval allpool lahe veepinda. Läände liikudes paiknevad nende kivimite avamused lahe veepinnast järjest sügavamal ja Hiiumaa piirkonnas avanevad tõenäoliselt juba lahe lõunanõlva alumises osas ja põhjas. On reaalne, et Mo-, Se- ja U-sisalduse tõus on seotud mainitud aluspõhjakivimitega. Merepinna tõusu tulemusel intensiivistub ka Läänemere ja Soome lahe lõunavööndis läänest itta suunduvate põhjahoovustega kaasnev erosiooniline tegevus. Kulutusele allub üha enam „pehmet“ graptoliitargilliiti ja pudedat oobolusliivakivi. See metalliderikas väga peen materjal moodustab järjest suurema osa lahe põhja savialeuriidi lõimisega setetest.

Probleem on püstitatud hüpoteesi tasemel, mille aluseks on setete kõrge elementide (Mo, Se, U jt) sisaldus, nende elementide positiivne korrelatsioon C-org ning lahe sügavusega. Selline lähenemine võimaldab selgitada samuti ka väga kõrge Mo- ja kõrge Se-sisalduste dispersiooni põhjusi lahe põhja savialeuriidi setetes (Joonis 4.2.1.2).

Nende elementidega (Mo, Se, U jt), esmajärjekorras U ja selle tütarelemendi Ra-ga seotud probleemid vajavad selgitamist. Need võivad kontsentreeruda ka mere elusorganismides. Üheks võimalikuks allikaks võib näiteks olla lahe läänepiirkonna lõunanõlval ja põhjas avanev kõrge U- ja Mo-sisaldusega graptoliitargilliit (v.o ka oobolusliivakivi), mis allub läänest itta liikuvate põhjahoovuste kulutusele. Ka P võib juurde tulla põhjahoovustega läänest. Näiteks Gdanski lahe põhjasetetes ulatub P-sisaldus 0,7–2,8% (Uscinowicz, 2011).

Mn kontsentreerub maismaataimede mineraalaines ja selle sisaldus on mineraalosas ligi 10 korda kõrgem kui toitepinnases (Brooks, 1972). Merevetikate mineraalaines pole Mn-sisalduse olulist tõusu märgata (Voitkevtš jt, 1990). Sellest, kuidas Mn käitub teiste veetaimede kasvu tingimustes, korrektne info puudub.

Mn-sisaldus on lahe savialeuriidi põhjasetetes lähedane toitepiirkonna mulla huumushorisondi (künnikihi) sisaldusele. See viitab tema päritolule maismaa pinnase

koostisest. Samas on viimastel aastatel toimunud ülemises, 3 cm paksuses kihis Mn-sisalduse kasv ligi 23%.

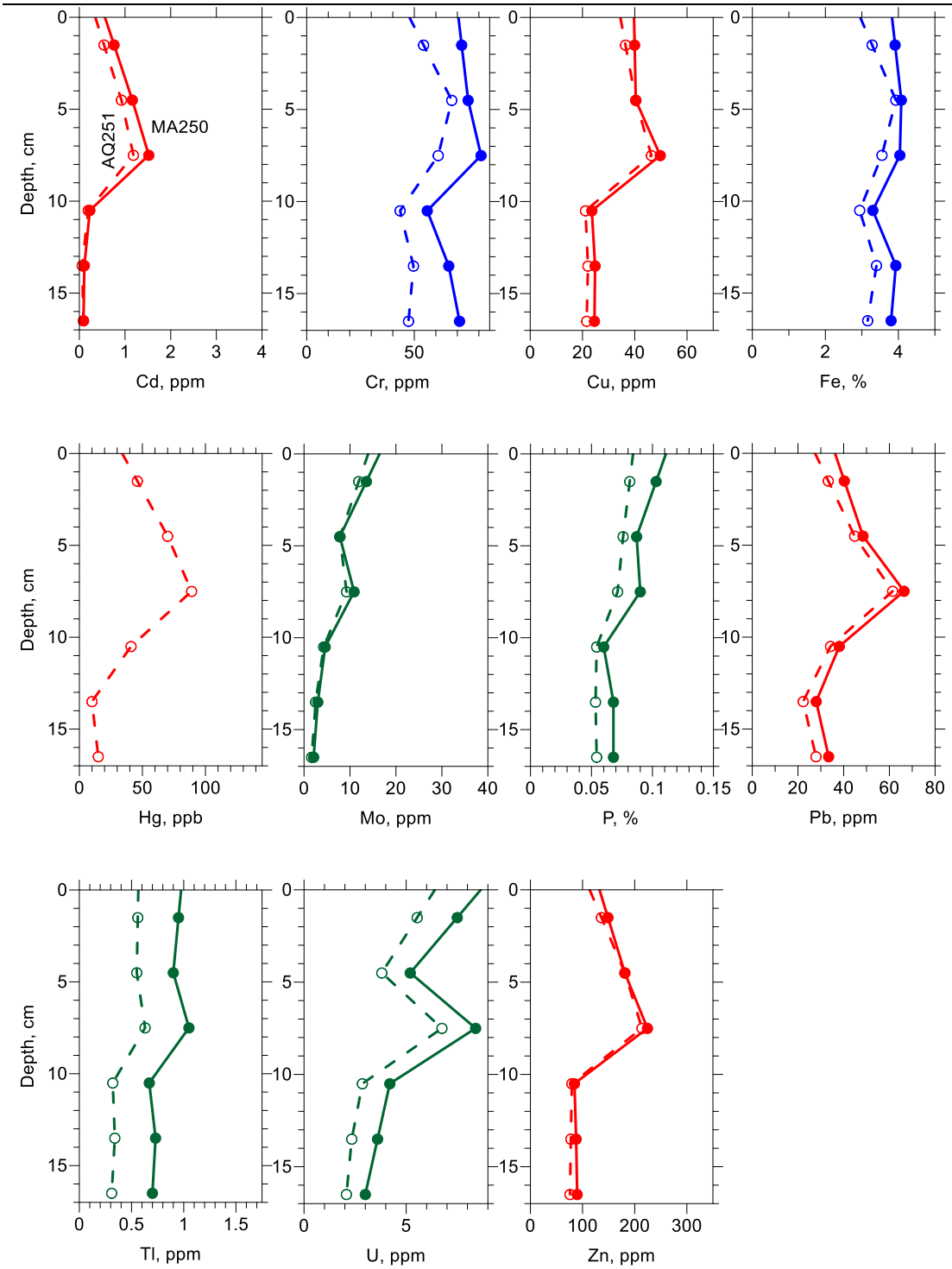
Mn levikut iseloomustavatel joonistel (Joonis 4.2.2.13-a ja Joonis 4.2.2.13-b) eralduvad kõrge Mn-sisaldusega uuringupunktid või alad. Need on Fe-Mn konkretsioonide levilad. Nende piires on kohati savialeuriidi setetes kõrge Mn-sisaldus. Lisaks on konkretsioone sisaldavad setted enam eriteralised. Nende lõimis sisaldab kõikjal ka jämeda liiva ja peene kruusa teri, mis sageli moodustavad konkretsiooni tuuma. See kajastub ka konkretsioone ümbritsevates setetes, mis samuti sisaldavad liivateri, on madalama Al- ja eriti Fe-sisaldusega (Tabel 4.2.3.2).

Tabel 4.2.3.2. Elementide geomeetriline keskmine sisaldus Fe-Mn konkretsioonides, neid ümbritsevates ja alt piiravates setetes, mg/kg

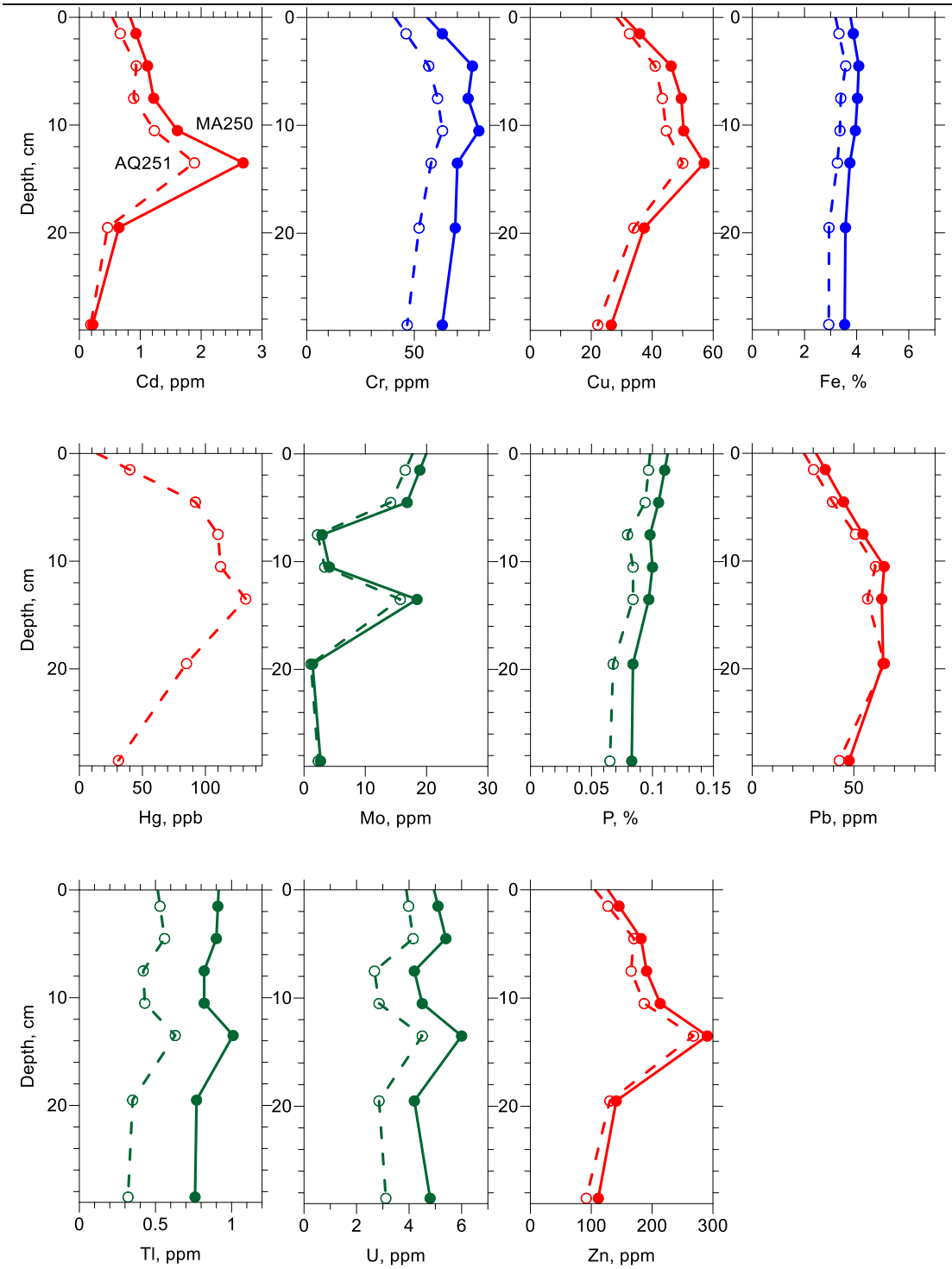
Elemendi sümbol	Fe-Mn kon-kretsioon	Konkretsioone ümbritsev sete		0–3 cm kihi keskmine
		vahetult ümbritsev	alumine sete	
As	158	10,9	8,54	8,83
Cd	1,33	0,52	0,19	0,57
Cr	36,9	34,4	90,1	69,1
Cu	29,1	19,0	44,4	32,2
Hg	0,011	0,022	0012	0,042
Ni	92,0	22,9	53,7	37,4
Pb	22,0	19,8	25,1	29,7
Zn	164	86,3	142	126
P	11500	1200	900	1238
Mo	69,8	2,63	1,81	6,20
Se	< 0,3	< 0,3	< 0,3	0,72
U	7,68	3,33	4,57	5,68
Mn	72132	1317	927	777
Al, %	3,51	5,03	7,85	6,58
Fe, %	13,4	2,79	5,52	4,03

Võrreldes Fe-Mn konkretsioonide mikroelementide sisaldust savialeuriidi lõimisega põhjasetete sisaldusega, on konkretsioonid rikastunud As, Cd, Ni, P ning Mo ja vaesustunud Cr, Hg ning Se poolest. Ka Pb-sisaldus on konkretsioonides madalam. Lisaks sellele on konkretsioonide Pb isotoopkoostis palju lähedasem Soome-Rootsi proterosoilistest kivimitest kujunenud mulla künnikihi Pb isotoopkoostisele, kui seda on konkretsioone kandvate setete isotoopkoostis (Joonis 4.2.3.6).

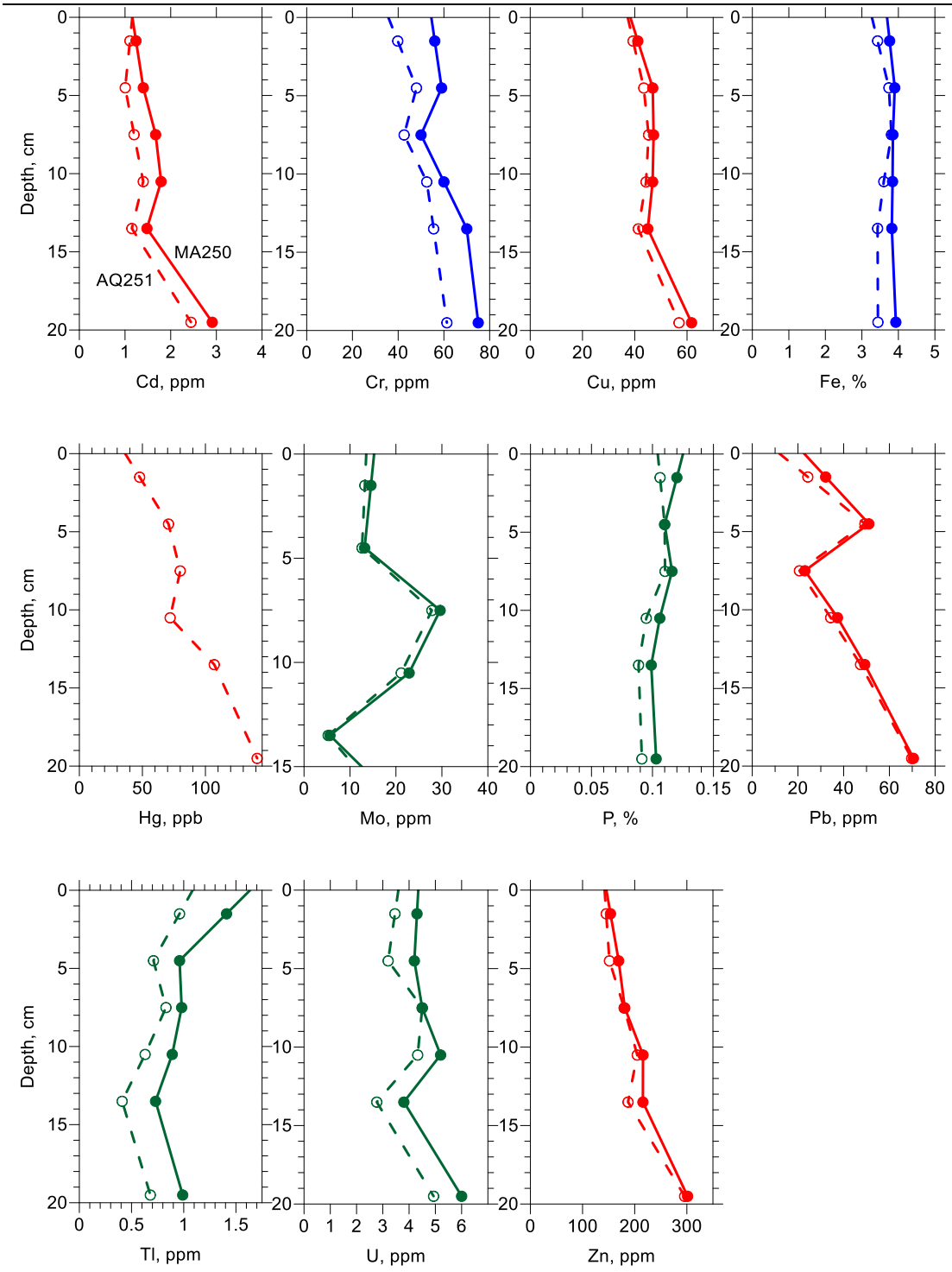
Sellest tulenevalt võib järeldada, et Mn pärineb lahe põhjas (Soome majandusvööndis) paljanduvatest Mn-rikastest raudkvartsiitidest.



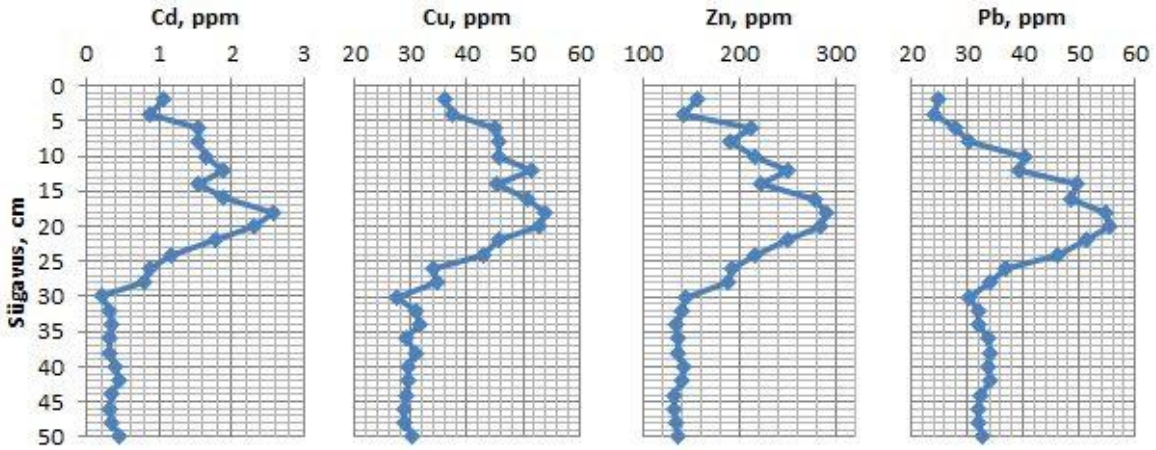
Joonis 4.2.3.1. Elementide sisaldus uuringupunkti 14SLM-005 savialeuriidi setete vertikaalläbilõikes (täisjoon – kogusisaldus, katkendjoon – kuningvees lahustuv sisaldus)



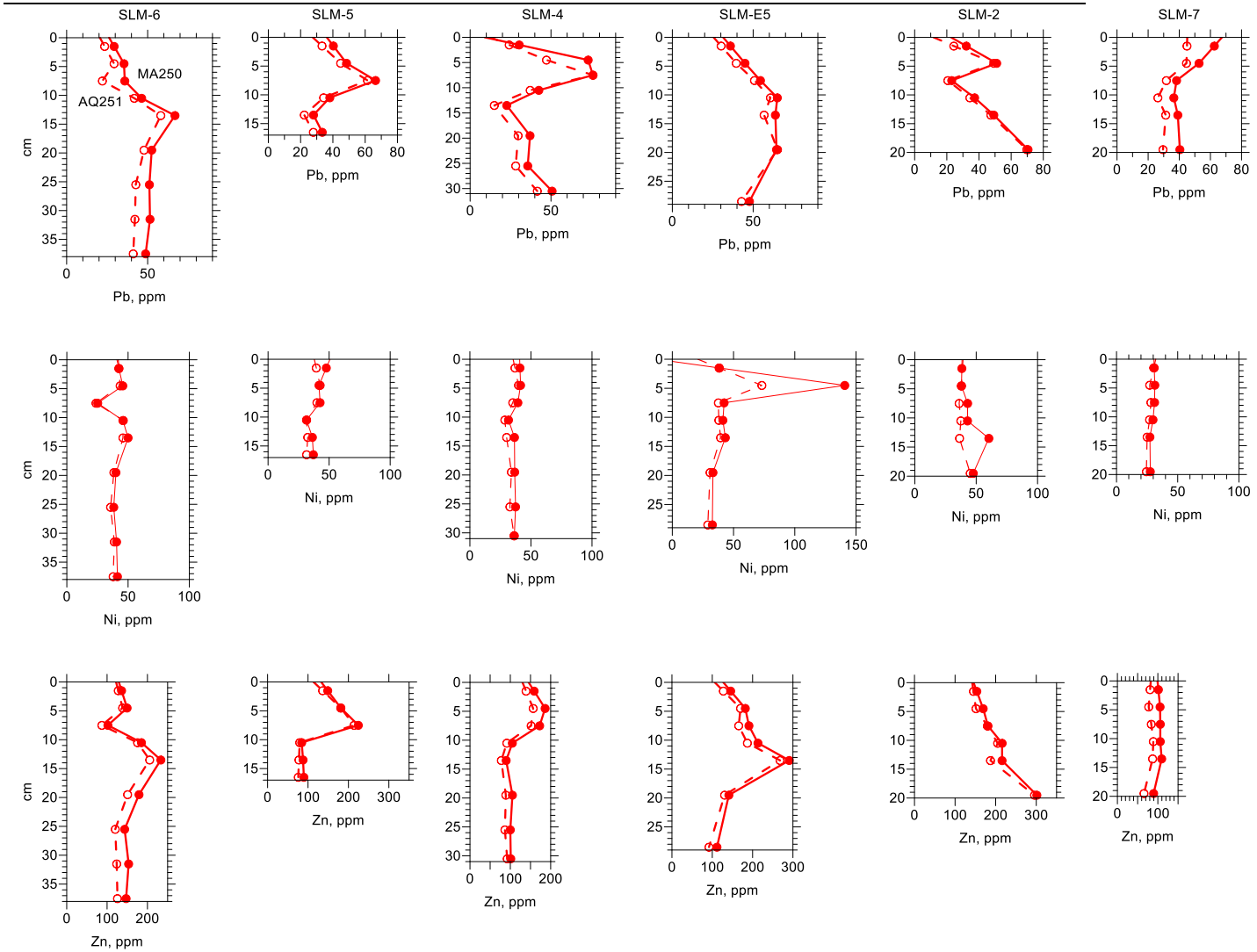
Joonis 4.2.3.2. Elementide sisaldus uuringupunkti 14SLM-E5 savialeuriidi setete vertikaalläbilõikes (täisjoon – kogusisaldus, katkendjoon – kuningvees lahustuv sisaldus)



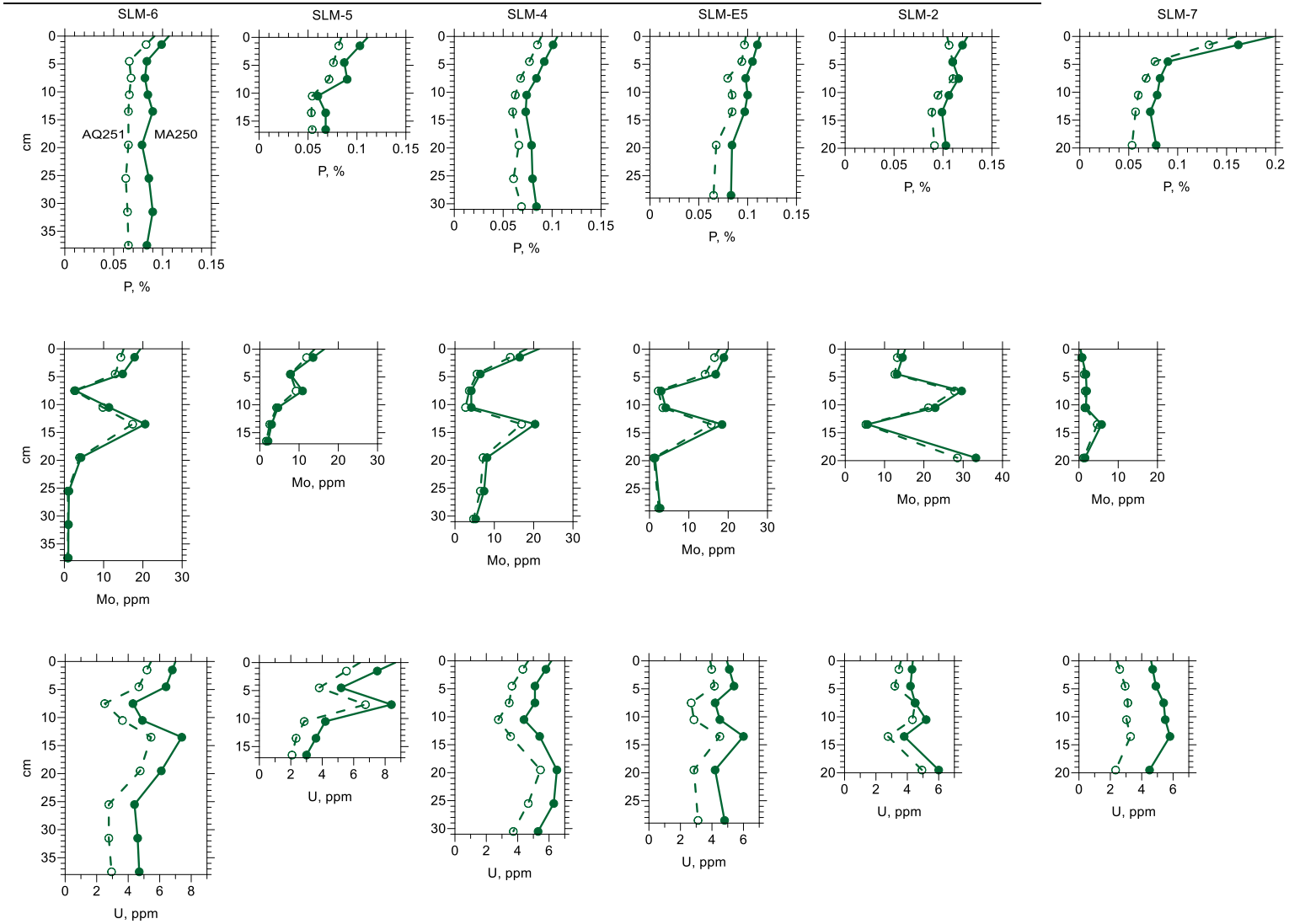
Joonis 4.2.3.3. Elementide sisaldus uuringupunkti 14SLM-002 savialeuriidi setete vertikaalläbilõikes (täisjoon – kogusisaldus, katkendjoon – kuningvees lahustuv sisaldus)



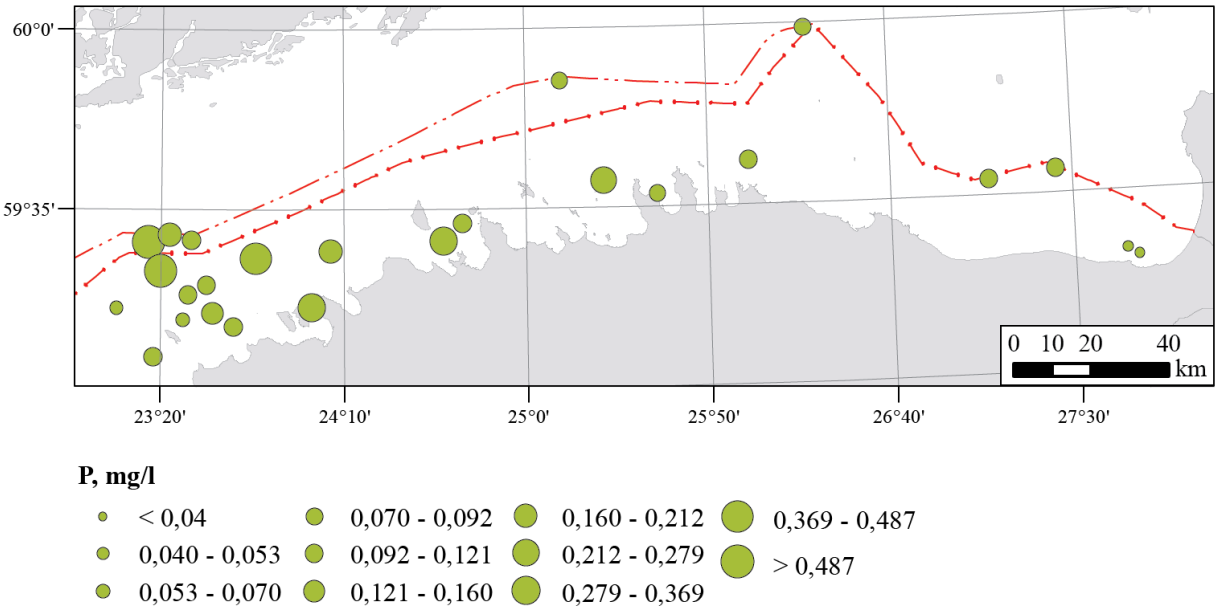
Joonis 4.2.3.4. Cd-, Cu-, Zn- ja Pb-sisalduse trend uuringupunkti 15SLM-E5 savialeuriidi setete vertikaalses läbilõikes



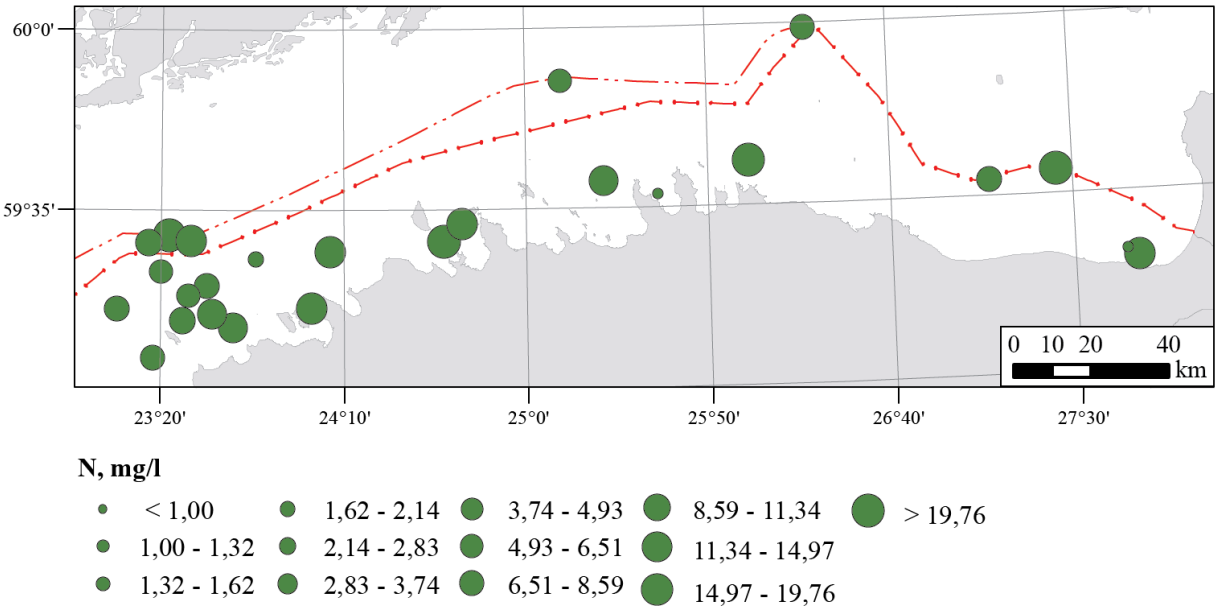
Joonis 4.2.3.5. Pb-, Ni- ja Zn-sisaldus savialeuriidi setete vertikaalses läbilõikes (täisjoon – kogusisaldus, katkendjoon – kuningvees lahustuv sisaldus)



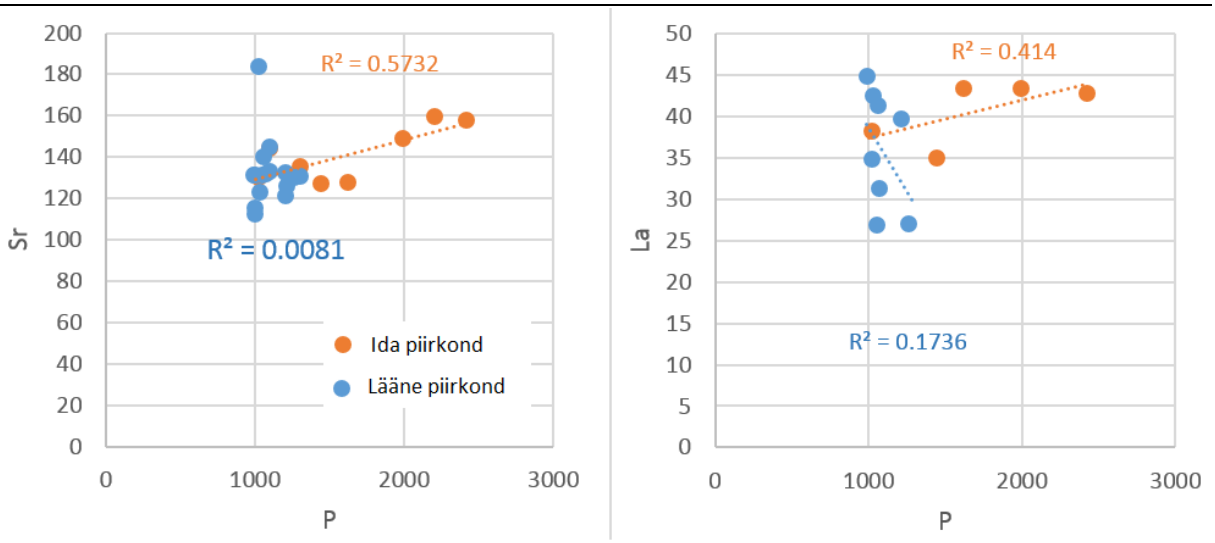
Joonis 4.2.3.6. P-, Mo- ja U-sisaldus savialeuriidi setete vertikaalses läbilõikes (täisjoon – kogusisaldus, katkendjoon – kuningvees lahustuv sisaldus)



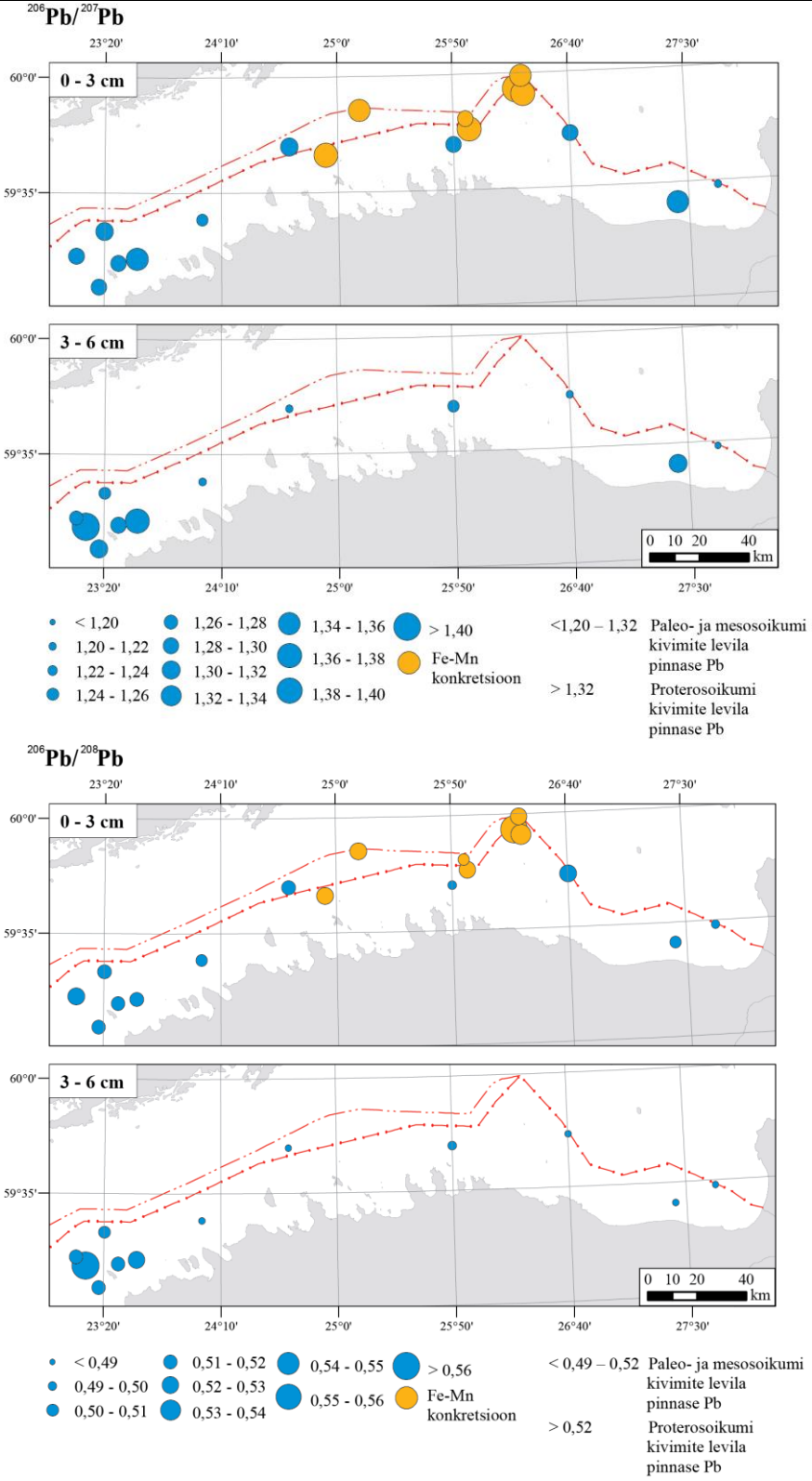
Joonis 4.2.3.7. P-sisaldus lahe põhjalähedases (≤ 15 cm põhjast) vees



Joonis 4.2.3.8. N-sisaldus lahe põhjalähedases (≤ 15 cm põhjast) vees



Joonis 4.2.3.9. P-La ja P-Sr vaheline korrelatsioon



Joonis 4.2.3.10. Lahe põhja savimudasetete ja Fe-Mn konkretsioonide Pb isotoopkoostise suhe

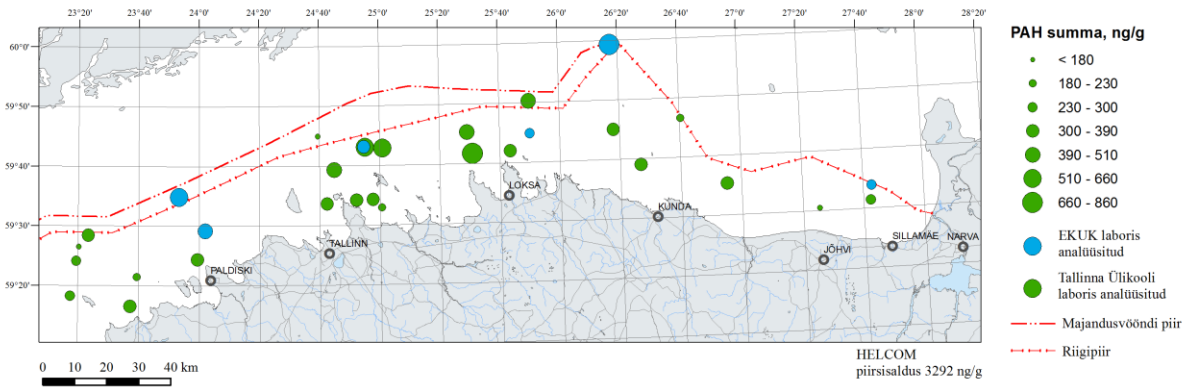
4.2.4. Orgaanilistest ühenditest lahe põhja savialeuriidi lõimisega setetes

Orgaanilistest ühenditest keskenduti polütsüklilistele aromaatsetele süsivesinikele (PAH-16) kui püsivate orgaaniliste saasteainete grupi (POP) esindajatele. Hiljuti, seoses *Nordstream* ja *Balticconnector* gaasijuhtmetega ning *EstLink 2* merekaabli projektidega teostatud detailsed uuringud (Hendrikson & Ko OÜ, 2010; TTÜ MSI, 2011 ja 2013) näitavad, et teiste orgaaniliste ühendite, nagu kloororgaanilised ja fosfororgaanilised pestitsiidid ning polüklooritud bifenüülid (PCB), sisaldused on üldjuhul kas alla määramispiiri, ei ületa HELCOM-i poolt soovitatud GES väärtusi või on nendele väga lähedased. Dioksiinide ja furaanide (PCDD/F) sisaldus avamere pindmistes (0–20 cm) setetes ületab küll HELCOM-i poolt soovitatud GES väärtusi, kuid jääb alla Kanada tõenäosusliku mõju taset (PEL – *probable effect level*) (TTÜ MSI, 2011).
Lisaks sellele määrati naftaproduktide (summaarselt) ja ühealuseliste fenoolide sisaldus põhjasetete ülemises kihis (0–3 cm).

PAH-ühendid

Soome lahe merepõhja keskkonnaseisundile hinnangu andmisel polüaromaatsete süsivesinike ühendite (PAH) põhjal lähtuti HELCOM ohtlike PAH-ühendite nimistust. See võimaldas keskkonnaseisundi hindamisel rakendada ka HELCOM-i metoodikat.

Analüüsitud ohtlike PAH-ühendite nimistu originaal baseerub Ameerika Ühendriikide Keskkonnakaitse Agentuuri [United Estates Environmental Protection Agency (US EPA)] soovitustel, millesse kuulub 16 ühendit (naftaleen, atsenafteen, atsenaftüleen, antratseen, fluoreen, fenantreen, benso(a)antratseen, benso(k)fluoranteen, benso(b)fluoranteen, krüseen, fluoranteen, püreen, benso(a)püreen, indeno(1,2,3-cd)püreen, dibenso(a,h)antratseen ja benso(g,h,i)perüleen).
PAH ühendite summaarne sisaldus selgitati 30 uuringupunkti ülemise 0–3 cm kihi proovides ja lisaks 6 projektse monitooringupunkti läbilõike ülemisest osast 4 proovis kuni 12 cm sügavuseni. Täiendavalt selgitati 6 proovis PAH-ühendite individuaalne sisaldus.
PAH-ühendite sisalduse uuringud näitavad, et nende summaarne sisaldus ei ületa HELCOM'i poolt soovitatavate GES piiride *(Good Environmental Status)* summaarset väärtust ja jääb sellest kordades madalamaks (Joonis 4.2.4.1).
Maksimaalsed sisaldused jäävad Paldiski–Aseri meridiaanide vahemikku ja rohkem rahvusvahelise laevatee vööndisse. Keskkonnauuringute Keskuse (KUK) laboris 6 proovi PAH üksikühendite analüüsi andmetel ületab 2 proovi benso(g,h,i)perüleeni sisaldus (14SL-004 ja 15SL-071 vastavalt 120 ja 150 ng/g) HELCOM piirnormi (80 ng/g dw) pea kaks korda.



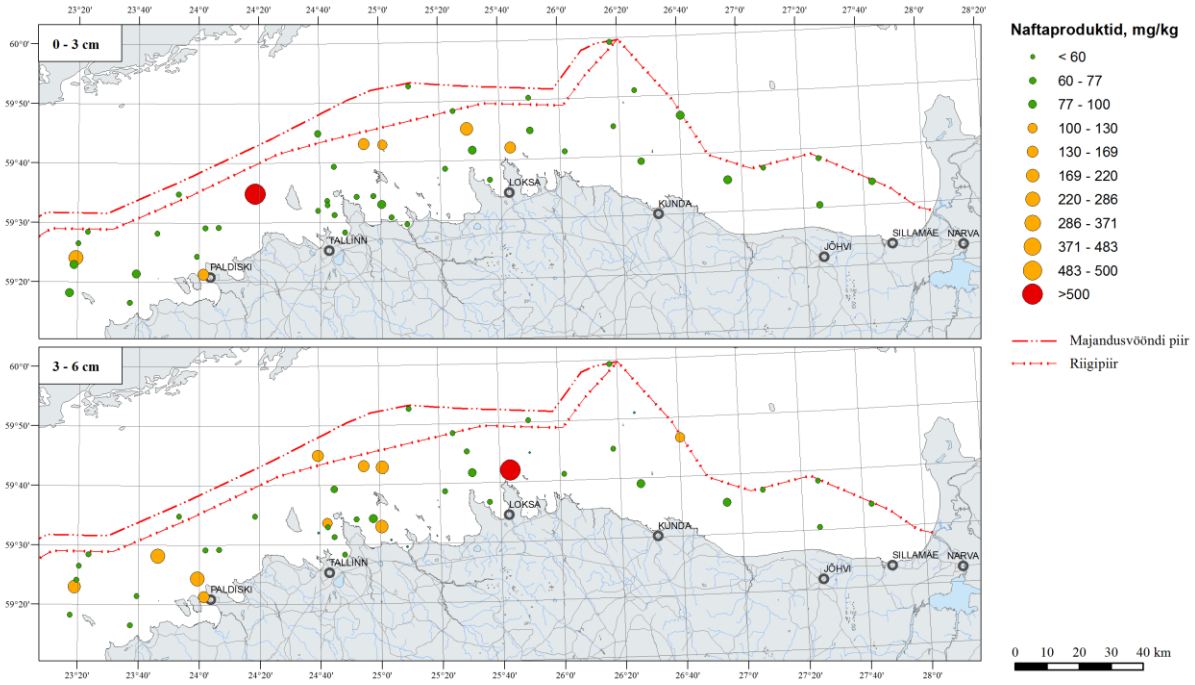
Joonis 4.2.4.1. PAH-ühendite sisalduse uuringud näitavad, et nende summaarne sisaldus ei ületa HELCOM soovitust ja jääb sellest kordades madalamaks

Naftaproduktid ja ühealuselised fenoolid

Naftaproduktide ja fenoolide sisaldus selgitati Soome lahe Eesti majandusvööndi piires 49 uuringupunkti ülemise (0–3 cm) ja alumise (3–6 cm) kihi proovides.

Nii naftaproduktide kui ka fenoolide sisalduse kohta mere põhjasetetes puuduvad keskkonnaseisundit iseloomustada lubavad piirsisaldused. Nendele orienteeruva hinnangu andmiseks tugineti maismaa pinnase jaoks kehtestatutele.

Naftaproduktide sisaldus on põhjasetete vaadeldavate uuringupunktide ülemises (0–3 cm) ja alumises (3–6 cm) kihis madalam sihtarvust (100 mg/kg) (Joonis 4.2.4.2) ehk valdava osa Eesti majandusvööndi põhjasetete seisukord on hea. Üksikud naftaproduktide kõrge sisaldusega uuringupunktid jäävad Loksa meridiaanist läände ja ka nende sisaldus põhjasetetes ei ületa üldjuhul elumaale kehtestatud piirarvu (500 mg/kg). Ainult ühes punktis (14SL-003) Naissaarest läänes, ületab naftaproduktide sisaldus piirarvu elumaal ja ulatub 527 mg/kg. Ka Loksa lähedal ületab alumises kihis naftaproduktide sisaldus uuringupunktis 14SL-014 piirsisalduse ja ulatub 626 mg/kg.

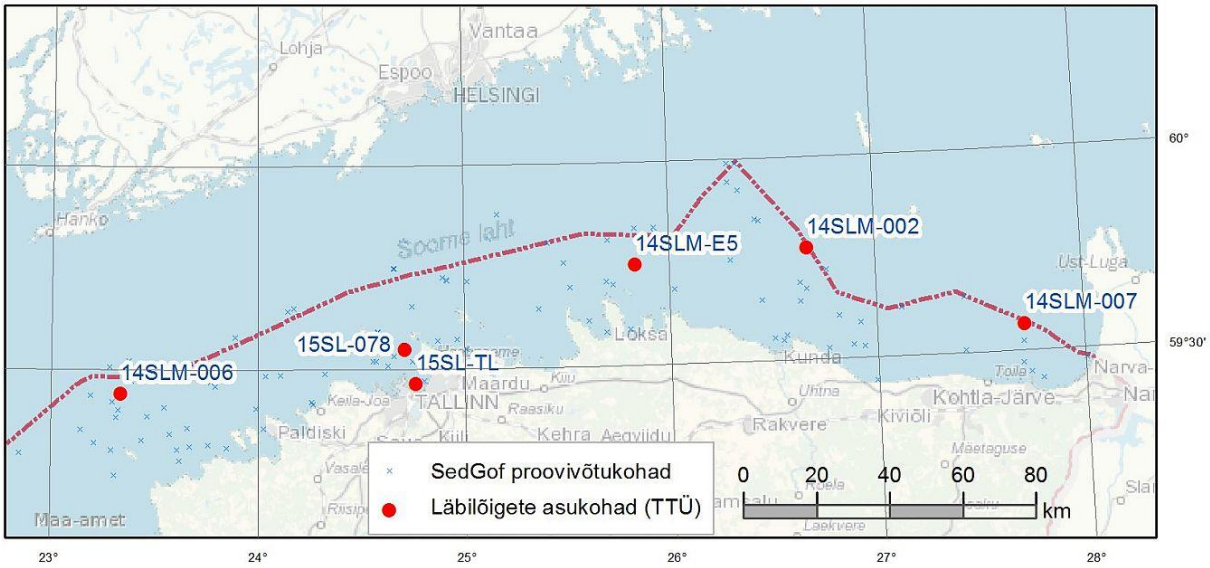


Joonis 4.2.4.2. Naftaproduktide sisaldus on põhjasetete vaadeldavate uuringupunktide ülemises (0–3 cm) ja alumises (3–6 cm) kihis madalam sihtarvust (100 mg/kg)

Võrreldes naftaproduktide sisaldust põhjasetete ülemises ja alumises kihis, on jälgitav sisalduse mõningane vähenemine. Selgemini on see jälgitav Paldiski piirkonnas.
Fenoolide sisaldus määrati samades põhjasetete proovides, kus määrati naftaproduktide sisaldus. Kõikides proovides on fenoolide sisaldus madal, oluliselt madalam elumaa sihtarvust (1 mg/kg) ja varieerub valdavalt piirides 0,01 kuni 0,1 mg/kg ning ulatub kuni 0,167 mg/kg. See on põhjuseks, miks fenoolidel edaspidi ei peatuta.

4.3. Elementide vertikaalne jaotus ja settimiskiirused

Välitööde käigus kogutud setteprofiilidest valiti välja osa setteläbilõikeid, mis tehtud fotode ja sette üldise kirjelduse põhjal tundusid olevat ilma katkestusteta, ühtlase settimisega aladelt ja mis tulevikus võiksid olla põhjasetete seirejaamadeks. Kõik algselt planeeritud seirejaamad ei osutunud potentsiaalselt sobilikeks. Valiti välja 5 seireala (Tallinna lahe piirkonnas hetkel sõelal 2 võimalikku jaama), mis kataksid ühtlaselt kogu uuritava Soome lahe akvatooriumi (Joonis 4.3.1, Tabel 4.3.1) ja teostati neilt aladelt kogutud setteläbilõigete detailne analüüs.



Joonis 4.3.1. Proovivõtujaamade asukohad, kust teostati setteläbilõigete detailne analüüs

Tabel 4.3.1. Detailseks analüüsiks valitud proovivõtujaamad ja nende parameetrid

Proovivõtujaam	Jaama koordinaadid	Vee sügavus, m	Setteläbilõike pikkus, cm
14SLM-002	59,77652°N 26,67252°E	84 m	50 cm
14SLM-006	59,440325°N 23,338065°E	101 m	57 cm
14SLM-007	59,56538°N 27,7157°E	35 m	35 cm
14SLM-E5	59,74783°N 25,8346°E	76 m	39 cm
15SL-078	59,54923°N 24,709923°E	61 m	33 cm
15SL-TL	59,465061°N 24,762051°E	24 m	34 cm



Foto 4.3.1. Fotod setteläbilõigetest proovivõtukohtades 14SLM-002, 14SLM-006 ja 14SLM-E5

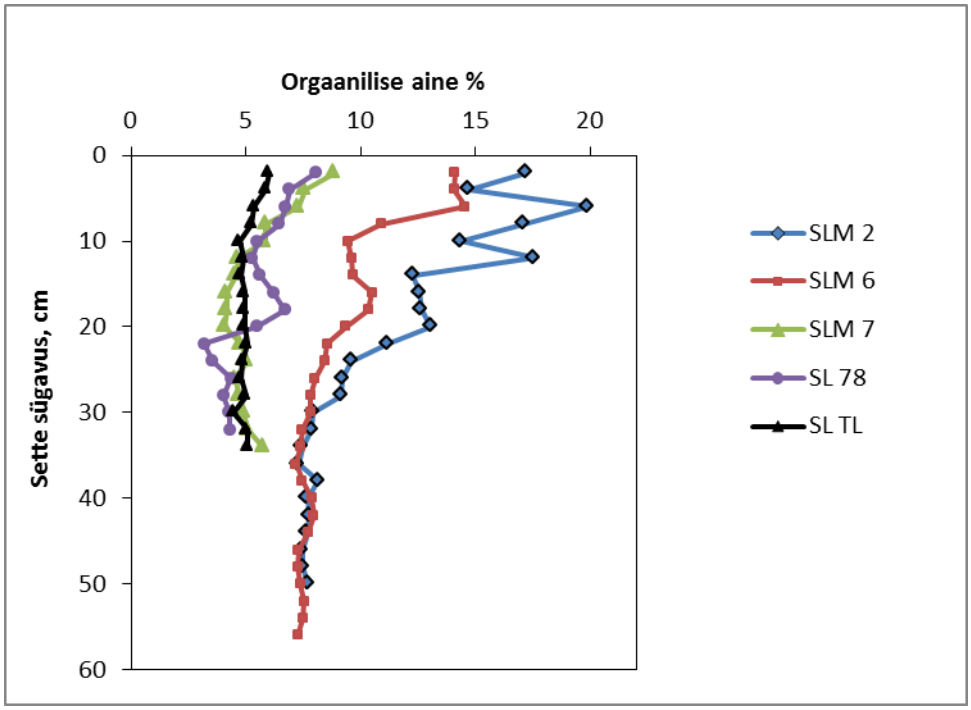
Kõik setteläbilõiked, mis detailseks analüüsiks valiti, koosnesid visuaalselt tumedast orgaanikarikkast meremudast (Foto 4.3.1), mis näitas nende selget päritolu settimisalalt ja suure tõenäosusega tänapäevaseid setteid.

Valitud setteprofiilid dateeriti. Hetkel pole seda veel tehtud Tallinna lahe akvatooriumi läbilõigetest, kuid teised 4 profiili on ühel või teisel moel dateeritud. Setteprofiilide 14SLM-002, -006 ja -007 vanuse määrangud telliti Kopenhaageni Ülikooli radiomeetria laboratooriumist, kus teostati Pb^{210}, Cs^{137} ja Am^{241} dateeringud. Proovivõtukohast 14SLM-E5 pärit setteläbilõikest sai rahvusvahelise koostöö objekt, sest varem, 1995. aastal, olid Soome kolleegid samast kohast setteid analüüsinud ja soovisid nüüd kordusuuringu läbi viia. Seega dateeriti 14SLM-E5 läbilõige Soome Geoloogiakeskuse laboratooriumis Cs^{137} meetodi alusel.

Läbilõigetest 14SLM-002, -007 ja -006 tehti makroelementide (Si, Al, Ca, Mg, Na, K, Fe, Ti, F, S), mikroelementide (Cd, As, Pb, Zn, Ni, Cr, Cu, Co, Mn, Mo, Sn, Ba, Se, V, Sb, Tl, Be, U, Th, Hf, Zr, Sr, Ag), setete granulomeetria ning setete mineraalse ja orgaanilise aine sisalduse analüüs. Lisaks analüüsiti läbilõikes 14SLM-002 orgaanilise aine koostis (C_{org}, $N_{üld}$) ja fosforifraktsioonid ($P_{üld}$, P_{org}, P_{anorg}). Tallinna lahe setteläbilõigetest 15SL-078 ja 15SL-TL on seni tehtud vaid setete mineraalse ja orgaanilise aine sisalduse analüüs. Läbilõikest 14SLM-E5 tehti setete granulomeetriline analüüs ja Soome Geoloogiakeskuse laboratooriumis analüüsiti setete keemiline koostis (As, Bi, Cd, Mo, Sb, Th, U, Yb, Al, Ba, Be, Ca, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, Rb, S, Sc, Sr, Ti, V, Y, Zn) ning orgaanilise aine elementkoostis (C_{org}, $N_{üld}$). Setete keemiliseks analüüsiks töödeldi Soome Geoloogiakeskuse laboratooriumis setteid fluorhappe (HF) ja perkloorhappega ($HClO_4$) ning analüüsid teostati sõltuvalt elemendist kas induktiivselt seotud plasma mass-spektromeetriga (ICP-MS) või induktiivselt seotud plasma aatomemissioon-

spektromeetriga (ICP-AES). Elavhõbe (Hg) määrati Soome Geoloogiakeskuse laboratooriumis pürolüüsil Hg-analüsaatoriga.

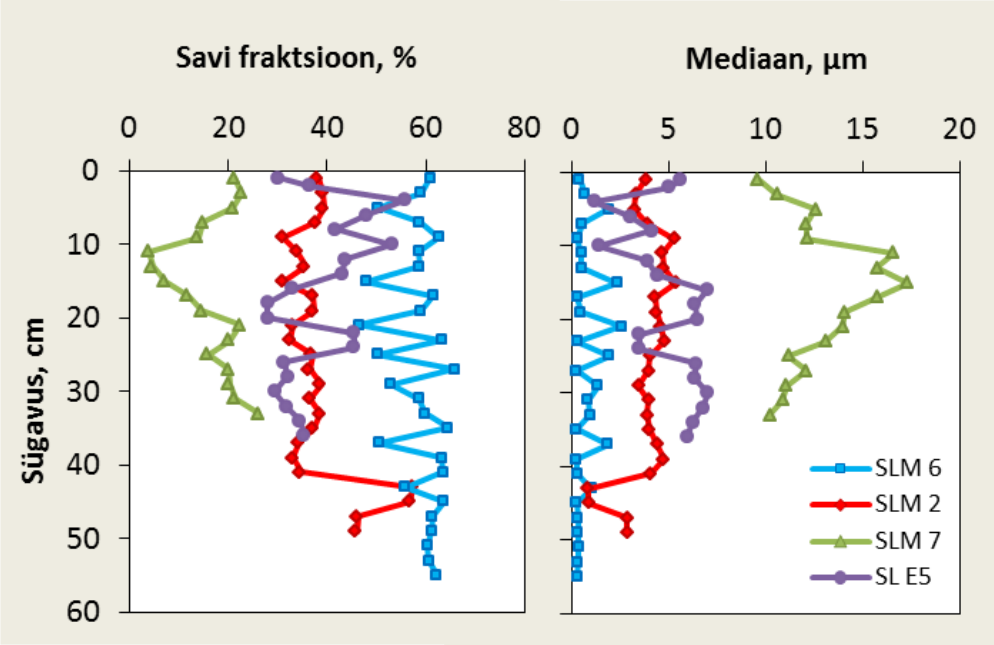
Orgaanilise aine sisaldus määrati setteläbilõigetes kuumutuskao meetodil, s.o 550 °C juures proove põletades. Kõrgema orgaanilise aine sisalduse poolest (isegi kuni 20%) paistavad silma setteläbilõiked 14SLM-002 ja -006, kus ka vee sügavus proovivõtukohal oli suurim (Joonis 4.3.2). Madalama sügavusega aladelt kogutud setteproovides oli orgaanilise aine sisaldus 5–10% vahemikus. Tähelepanuväärne on kõikides analüüsitud setteläbilõigetes orgaanilise aine sisalduse tõus sette pinnakihtides, läbilõikes 14SLM-002 juba alates 30 cm sügavusest ja läbilõikes 14SLM-006 alates u 20 cm sügavusest.



Joonis 4.3.2. Orgaanilise aine sisaldus setteläbilõigetes 14SLM-002, -006, -007, 14SL-078 ja -TL

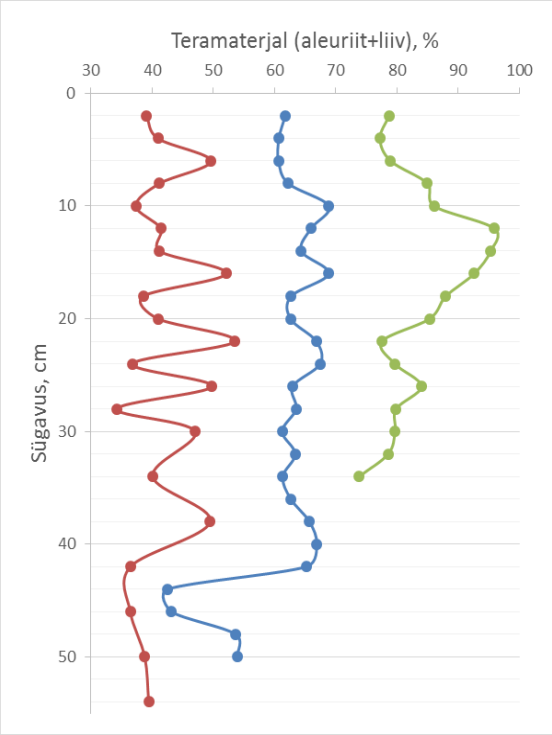
Sarnaselt orgaanilise aine sisaldusele sõltub ka sette granulomeetriline koostis oluliselt proovivõtukoha vee sügavusest. Mida suurem vee sügavus, seda peeneteralisemad setted on akumuleerunud. Esindatud olid sette granulomeerilises koostises savi-, aleuriidi- ja liivafraktsioon, viimane vaid peene- ja keskmiseteralise liiva näol, mida kokku oli setetes tavaliselt < 2%. Analüüsitud neljast setteläbilõikest oli setteosakeste mediaansuurus kõige suurem, 10 kuni 17 µm vahemikus, läbilõikes 14SLM-007, kus vee sügavus oli 35 m (Joonis 4.3.3). Mediaan on arv, millest suuremaid ja väiksemaid väärtusi on variatsioonireas ühepalju. Vee madala sügavuse tõttu on punktis 14SLM-007 akumuleerunud materjalist vaid kuni 20% saviosakesed. Et liivafraktsiooni suurus jääb alla 2%, moodustavad enamuse settest aleuriidiosakesed, mille sisaldus on isegi üle 95% settevahemikus 10–15 cm, kus savifraktsiooni

sisaldus oluliselt väheneb. Kõige väiksem mediaansuurus, üldiselt < 1 µm, on setteläbilõikes 14SLM-006, kus vee sügavus oli üle 100 m. Saviosakesed (osakesed < 2 µm) moodustavad seal sette granulomeetrilisest koostisest u 60% ja aleuriidiosakesed (2–60 µm) vastavalt 30–40%. Läbilõiked 14SLM-002 ja 14SLM-E5 (võetud vastavalt sügavustelt 84 m ja 76 m) olid sarnase granulomeetrilise koostisega – savifraktsioon moodustas neis keskmiselt u 40% materjalist, ülejäänud oli aleuriit ja paari %-i jagu liivafraktsiooni.

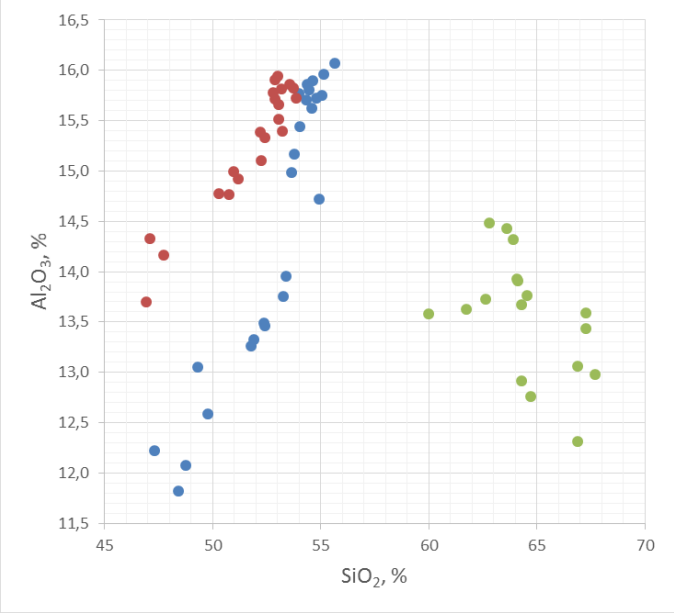


Joonis 4.3.3. Savifraktsiooni sisaldus ja setteosakeste mediaansuurus läbilõigetes 14SLM 002, 006, -007 ja -E5

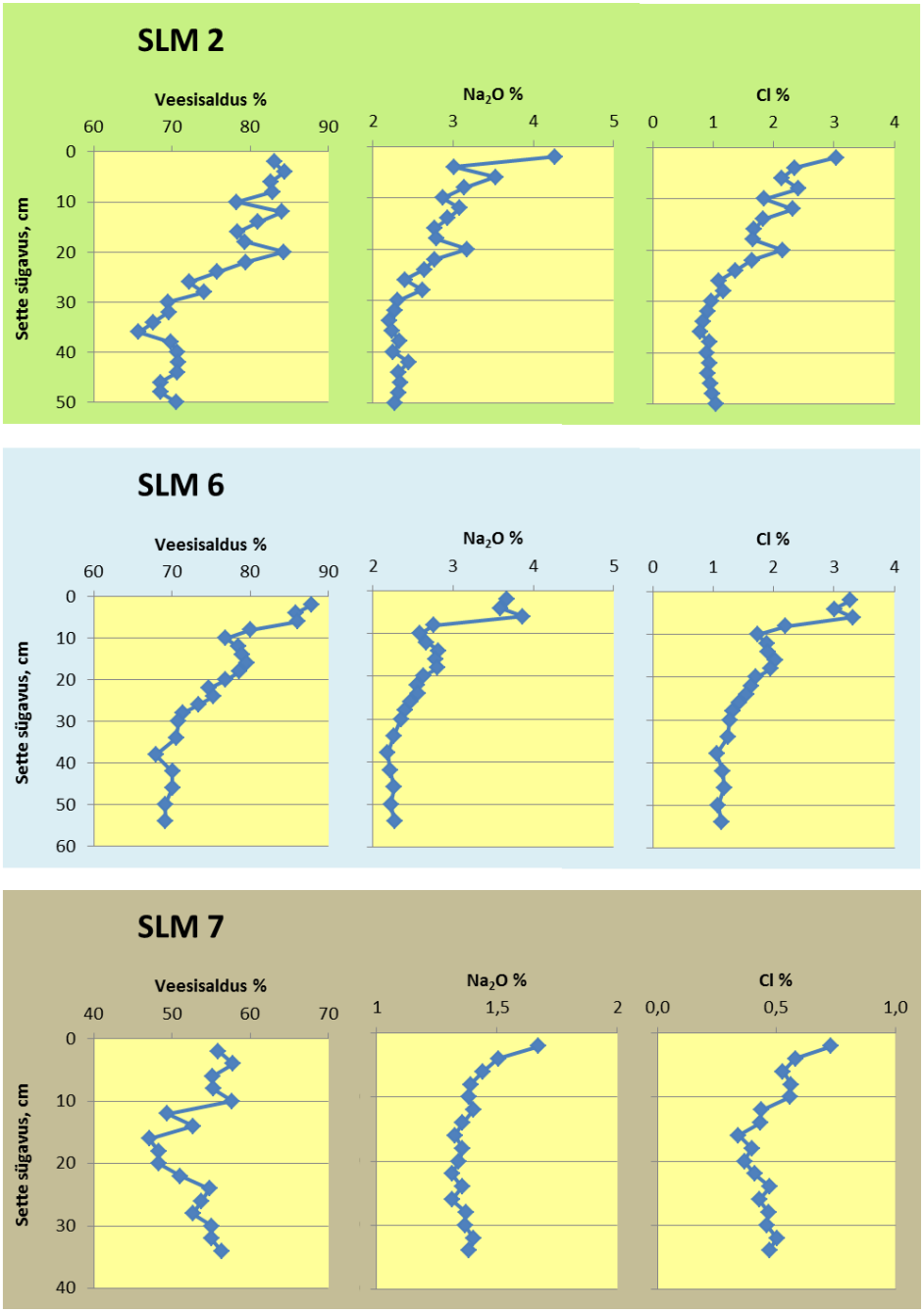
Puurimiskohtade sügavused määravad suuresti koos setete terasuurusega ka põhikomponentide e makroelementide sisaldused. Detailselt uuriti makroelemente kolmes setteläbilõikes: 14SLM-006 Osmussaarest 20 km põhja pool 101 m sügavusel, 14SLM-002 Kundast 30 km põhja pool 84 m sügavusel ja 14SLM-007 Narva lahes Sillamäest 20 km põhja pool 35 m sügavusel. Kõige läänepoolsemas sügavamaveelises läbilõikes 14SLM-006, kus teramaterjali (aleuriit + liiv) osatähtsus on kõige väiksem, on Al_2O_3 palju (Joonis 4.3.4 ja Joonis 4.3.5). Al_2O_3 on eelkõige savimineraalide komponent ja esineb suurimates sisaldustes kõige sügavamaveelistes läbilõigetes 14SLM-006 ja 14SLM-002. Kõige madalamaveelises Narva lahe läbilõikes 14SLM-007 domineerib teramaterjal selgelt savi üle, moodustades 74 kuni 96% settest (Joonis 4.3.4). Analoogselt käitub Narva lahes ka SiO_2, mis on eelkõige teramaterjali komponent ja ilmneb seetõttu suurimates sisaldustes, 60–70% (Joonis 4.3.5). SiO_2 sisaldused läbilõigetes 14SLM-002 ja -006 on vahemikus 45–55%. Al_2O_3 ongi põhikomponentidest olulisuselt teine, 12–16% sisaldusega. Positiivne korrelatsioon 14SLM-002-s ja 14SLM-006-s SiO_2 ja Al_2O_3 vahel tuleneb mittesilikaatsete komponentide, orgaanilise aine ja NaCl sisaldustest.



Joonis 4.3.4. Teramaterjali sisaldus kolmes uuritud setteläbilõikes. Punane – 14SLM-006 101 m sügavuselt, sinine – 14SLM-002 84 m sügavuselt, ja roheline – 14SLM-007 35 m sügavuselt



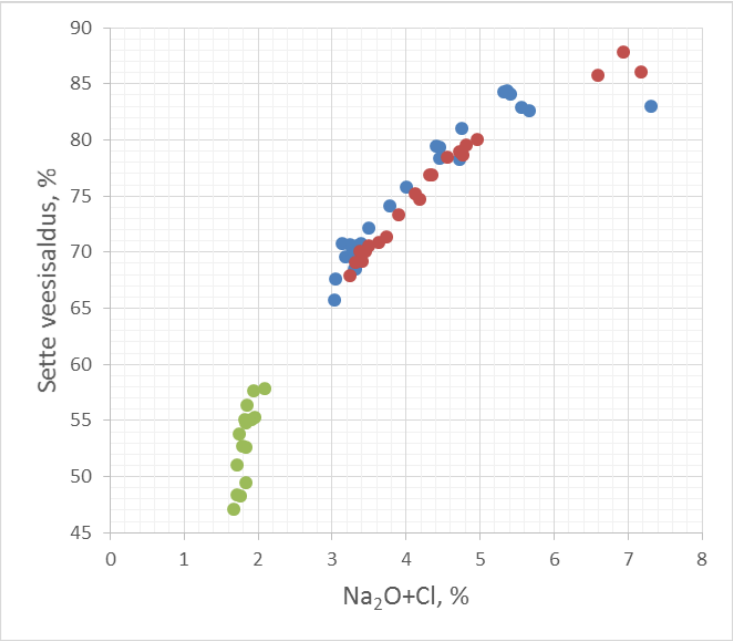
Joonis 4.3.5. SiO_2 ja Al_2O_3 sisaldused uuritud läbilõigetes. Punane – 14SLM-006 101 m sügavuselt, sinine – 14SLM-002 84 m sügavuselt, ja roheline – 14SLM-007 35 m sügavuselt



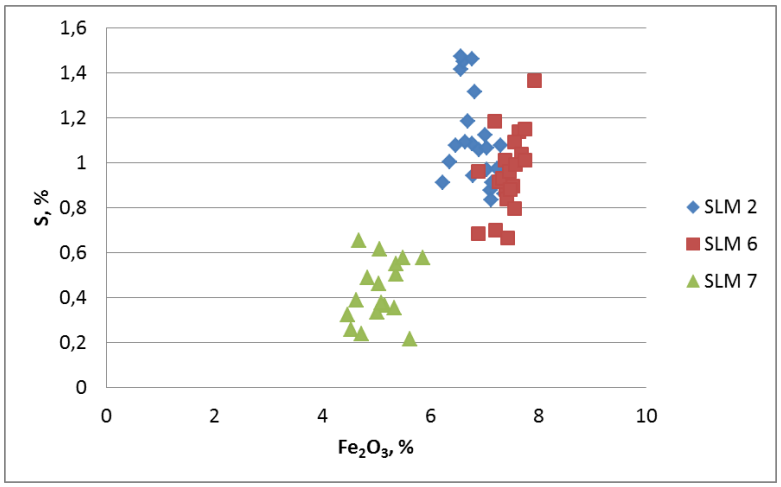
Joonis 4.3.6. Na_2O, Cl ja veesisaldus setteläbilõigetes 14SLM-002, -006 ja -007

Kõigis kolmes makroelementide poolest uuritud setteläbilõikes tõusis pinnakihtides Na_2O ja Cl protsentuaalne sisaldus (Joonis 4.3.6). Na- ja Cl-sisaldused on heas korrelatsioonis sette veesisaldustega (Joonis 4.3.7), mis kinnitab, et nende elementide põhiosa proovides pärineb setete pooriveest ja on peale proovide kuivatamist kristalliseerunud NaCl-na. Arvestades 80%-st niiskusest tulnud soolasisalduseks 5%, saame ümberarvutades poorivee soolsuseks 1,2%, mis vastab ka reaalsele Läänemere vee soolsusele. See, et Narva lahest pärineva, suhteliselt

väiksema niiskusesisaldusega setteläbilõikes ei ole summaarne Na-sisaldus proportsionaalselt vähenenud, tuleneb sealses aleuriitses settes olulisest Na-päevakivide sisaldusest, mis annab Na_2O sisaldusest ligikaudu 1%. Sügavamaveeliste setete ülemistes, suurema veesisaldustega proovides on Na_2O+Cl sisaldus suhteliselt suurem, mis osutab Läänemere vee suhteliselt suuremale soolsusele viimastel aastatel.



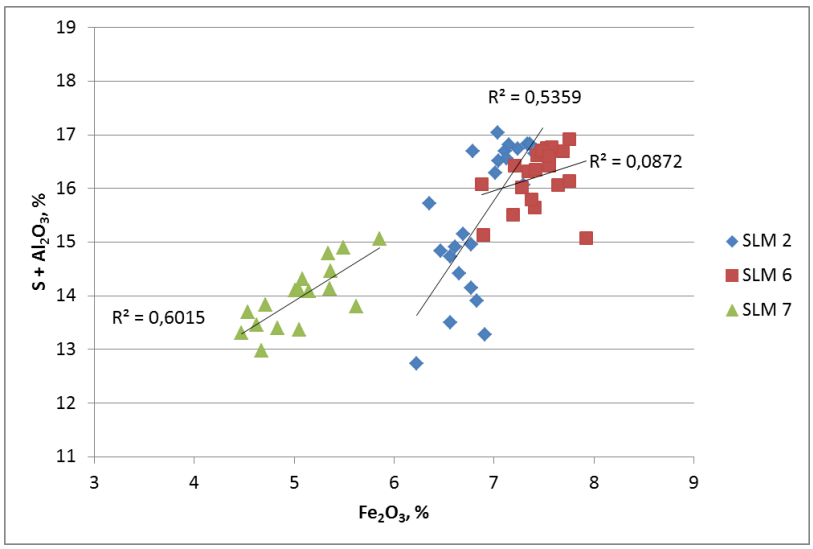
Joonis 4.3.7. Korrelatsioon Na_2O + Cl ja sette veesisalduse vahel. Punane – 14SLM-006 101 m sügavuselt, sinine – 14SLM-002 84 m sügavuselt, ja roheline – 14SLM-007 35 m sügavuselt



Joonis 4.3.8. S ja Fe_2O_3 sisaldus uuritud setteläbilõigetes

Fe_2O_3 võiks settes olla seotud väävli või silikaatse materjaliga. Väävli suhe rauda ei näita tugevat seost, pigem eristuvad erinevad setteläbilõiked setete granulomeetrilise koostise alusel (Joonis

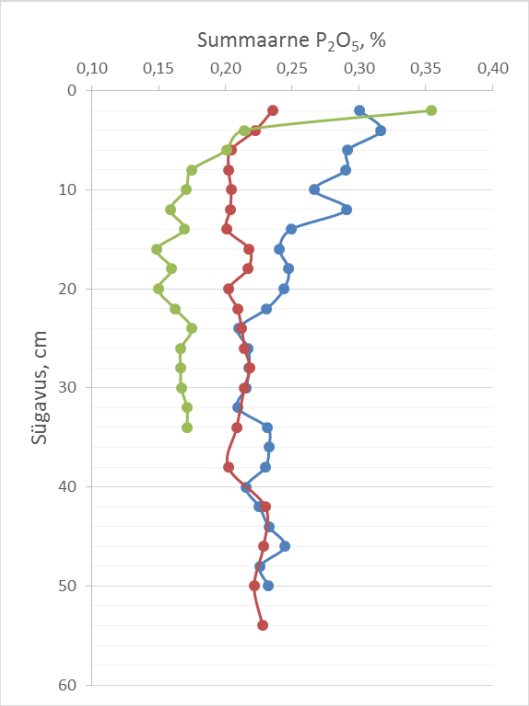
4.3.8). Fe_2O_3 korrelatsioon S + Al_2O_3-i on küllaltki hea setteläbilõigetes 14SLM-002 ja 14SLM-007 (Joonis 4.3.9), mis näitab, et suures osas on raud neis läbilõigetes seotud silikaatse komponendiga. Vaid kõige läänepoolsemas proovivõtupunktis 14SLM-006 see seos puudub.



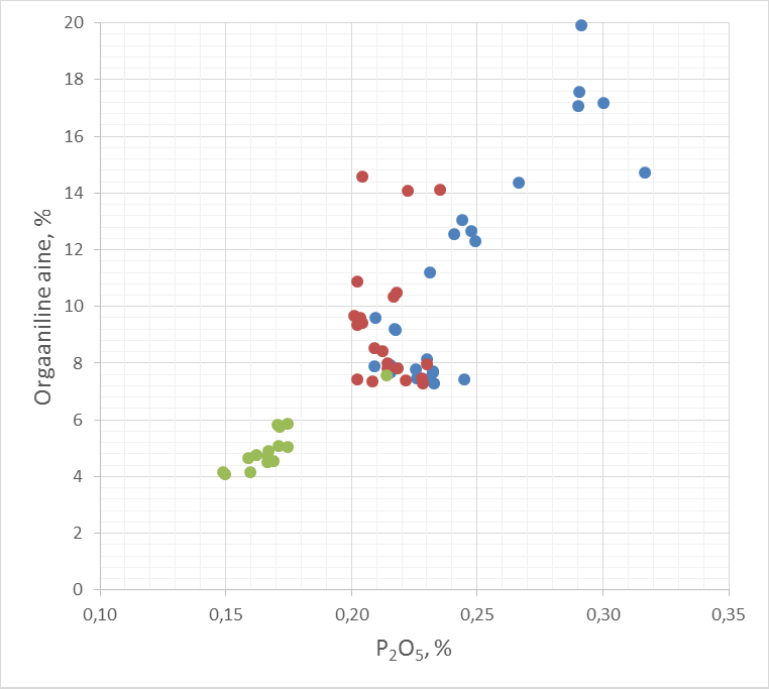
Joonis 4.3.9. Korrelatsioon S + Al_2O_3 ja sette Fe_2O_3 vahel uuritud setteläbilõigetes

XRF meetodil määratud üldfosfor ehk summaarne P_2O_5 sisaldab endas kogu fosforit, mis settes leidub, nii orgaanilises aines kui ka settes esinevate mineraalide koostises. Summaarse P_2O_5 sisaldused on suurimad Kundast põhja pool asuva läbilõike 14SLM-002 pindmises, paarikümne cm paksuses kihis (Joonis 4.3.10). Ka teistes uuritud läbilõigetes suureneb summaarne P_2O_5 sette pinnakihtides, eriti idapoolseimas läbilõikes 14SLM-007, kus suurenemine ülemises 6 cm-s kihis on üle kahe korra. Tähelepanu köidab summaarse P_2O_5 hea korrelatsioon orgaanilise aine sisaldusega läbilõigetes 14SLM-002 ja -007, läänepoolses sügavaveelises läbilõikes 14SLM-006 see seos jällegi puudub (Joonis 4.3.11).

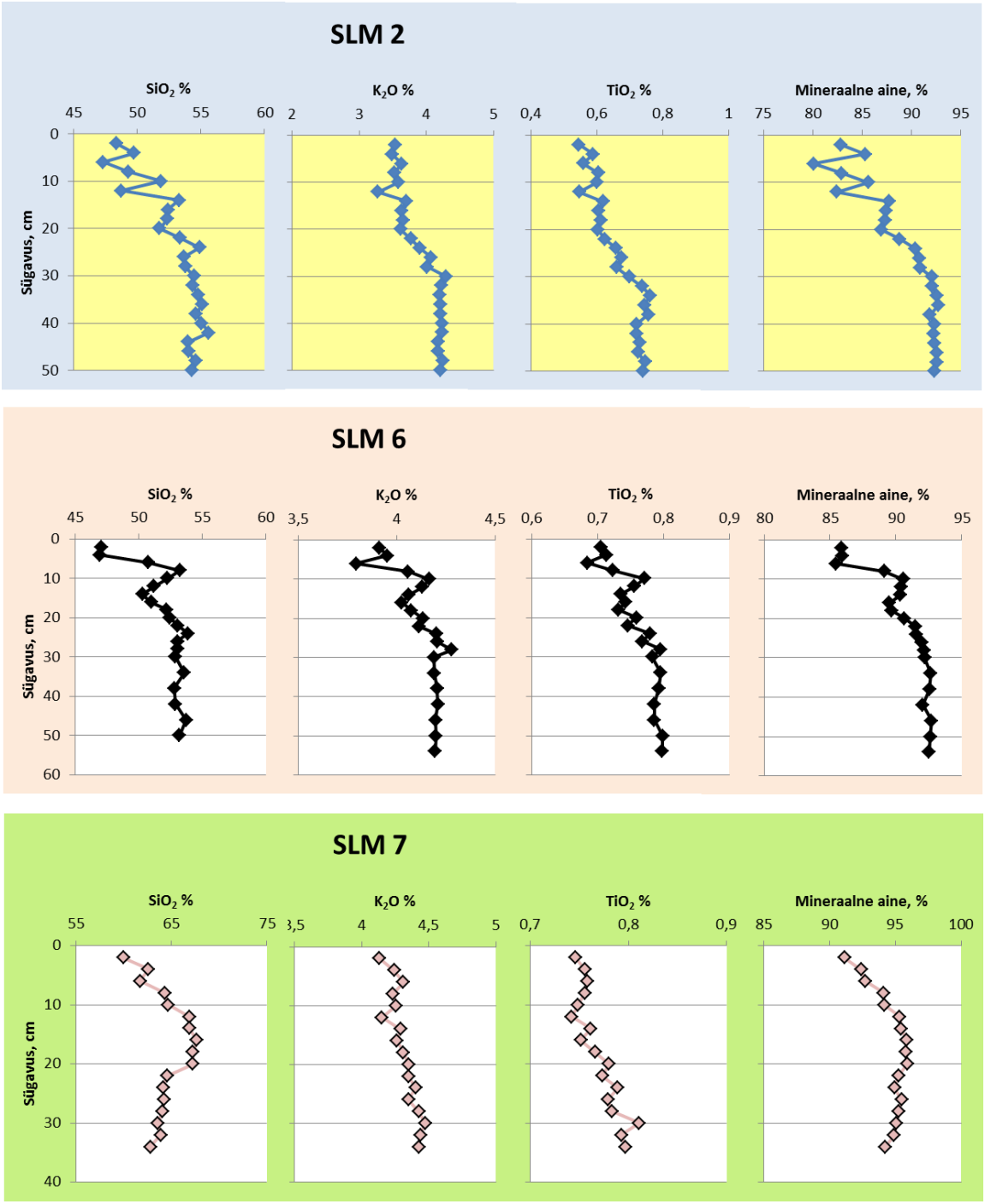
Karbonaatne aines uuritud setteläbilõigetes praktiliselt puudub. CaO sisaldus jääb proovides 1–2% vahele, MgO protsentuaalne sisaldus on 2% ja 3% ringis. Läbilõike 14SLM-002 pinnakihtides (ülemised 6 cm) paistab silma kõrgenenud MnO sisaldus, kuni u 1%, mis on 10 korda suurem kui alumistes settekihtides ja teistes uuritud setteläbilõigetes.



Joonis 4.3.10. Fosforisisaldus läbilõigetes XRF analüüsi andmetel. Punane – 14SLM-006 101 m sügavuselt, sinine – 14SLM-002 84 m sügavuselt, ja roheline – 14SLM-007 35 m sügavuselt



Joonis 4.3.11. Korrelatsioon fosforisisalduse ja orgaanilise aine vahel. P_2O_5 on määratud XRF meetodil ja orgaaniline aine kuumutuskaona 550 °C juures. Punane – 14SLM-006 101 m sügavuselt, sinine – 14SLM-002 84 m sügavuselt, ja roheline – 14SLM-007 35 m sügavuselt



Joonis 4.3.12. SiO_2, K_2O, TiO_2 ja mineraalaine sisaldus (kuumutuskao 550 °C jääk) setteläbilõigetes 14SLM-002, 14SLM-006 ja 14SLM-007

Silikaatse materjaliga seotud elementide (Si, Ti, K) jaotuskõverad (Joonis 4.3.12) korreleeruvad hästi sette mineraalse aine protsentuaalse sisaldusega ehk kuumutuskaol (550 °C) järgi jääva jäägi kogusega ja seda kõigis uuritud setteläbilõigetes.

Setteläbilõigete dateerimistulemuste alusel leiti settekihtide vanused ja hinnati settimiskiirusi proovivõtukohtadel. Pb-210-meetodi puhul jälgitakse summaarse Pb-210 jaotuskõvera käiku, mis peaks seoses Pb-210 radioaktiivse lagunemisega ühtlaselt setteprofiili sügavuse tõustes vähenema. Selline monotoonne Pb-210 aktiivsuse vähenemine setteprofiilis näitab ühesugust settimiskiirust kogu profiili ulatuses. Oluline on leida sügavusvahemik, kus Ra-226 (s.o “tasakaalulise” Pb-210) aktiivsus ning summaarne Pb-210 aktiivsus saavutavad tasakaalu, sest see sügavus setteläbilõikes tähistab Pb-210-meetodi alumist määramispiiri, mis on ligikaudu 150 aastat. Vanused settekihtidele saadakse Pb-210 aktiivsuse tulemuste järgi arvutuslikult. Lisaks sellele kasutati vanusemäärangute täpsustamiseks inimtekkelise radionukliidi Cs-137 jaotust settes, kus maksimumväärtused Cs-137 aktiivsuses markeerivad 1960-ndate alguse tuumakatsetuste kõrgaega ja 1986. a Tšernobõli tuumajaama õnnetuse toimumise aega.

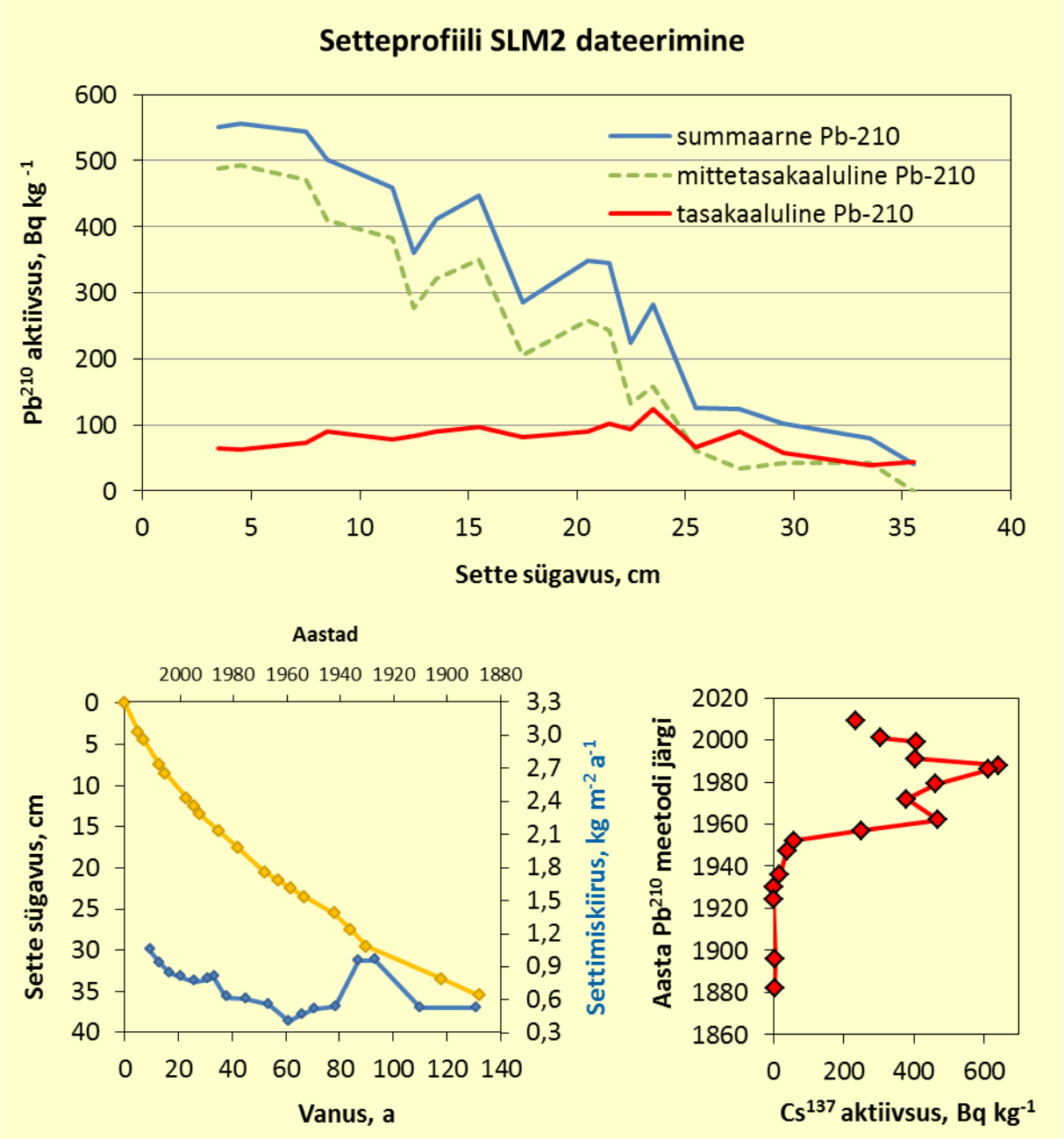
Tabel 4.3.2. Pb-210 dateeringutulemused läbilõikest 14SLM-002

Sette sügavus (cm)	Pb-210 summaarne Bq kg^{-1}	viga Pb-210 summaarne Bq kg^{-1}	Pb-210 tasakaaluline Bq kg^{-1}	viga Pb-210 tasakaaluline Bq kg^{-1}	Pb-210 mittetasa-kaaluline Bq kg^{-1}	viga Pb-210 mittetasa-kaaluline Bq kg^{-1}
0						
3,5	551	56	64	5	487	60
4,5	555	54	63	10	493	64
7,5	545	44	73	14	472	58
8,5	501	47	90	3	410	50
11,5	460	44	78	8	382	52
12,5	361	43	84	11	277	53
13,5	411	53	91	10	321	63
15,5	446	53	97	8	350	61
17,5	286	24	81	5	205	28
20,5	348	45	91	7	258	52
21,5	345	35	102	11	243	46
22,5	225	30	93	7	132	36
23,5	282	21	124	8	158	28
25,5	126	19	66	9	60	28
27,5	124	18	90	27	34	45
29,5	101	16	58	10	43	26
33,5	80	14	38	2	42	16
35,5	41	8	43	0	0	9

Setteläbilõike 14SLM-002 (Kundast põhja pool) Pb-210 dateerimise tulemused (Tabel 4.3.2) näitavad, et tasakaaluline ja summaarne Pb-210 aktiivsus saavutavad tasakaalu u 35 cm sügavusel settes (Joonis 4.3.13), mis peaks tähistama u 150 a tagust aega ehk u 1880-ndaid. Summaarse Pb^{210} aktiivsuse vähenemine setteprofiilis pole päris monotoonne ja näitab teatavaid väikseid muutusi settimiskiiruses. Cs-137 aktiivsuse jaotuskõver (Tabel 4.3.3, Joonis 4.3.13) on kahetipuline ja paigutatuna Pb-210-meetodi alusel saadud ajaskaalasse, markeerivad need tipud väga hästi 1960-ndate aastate algust (tuumakatsetuste kõrgaeg) ja u 1986. a (Tšernobõli tuumajaama õnnetus). Seega teine sõltumatu dateerimismeetod kinnitab Pb-210-meetodil saadud ajaskaala õigsust.

Tabel 4.3.3. Cs-137 ja Am-241 dateeringutulemused läbilõikest 14SLM-002

Sette sügavus (cm)	Cs-137 Bq kg^{-1}	viga Cs-137 Bq kg^{-1}	Am-241 Bq kg^{-1}	viga Am-241 Bq kg^{-1}
0				
3,5	235	11	27	16
4,5	0	0	0	0
7,5	306	11	0	0
8,5	407	15	12	15
11,5	404	15	5	13
12,5	642	23	3	16
13,5	613	24	0	0
15,5	463	19	0	0
17,5	380	12	5	8
20,5	470	19	25	20
21,5	252	10	0	0
22,5	60	5	0	0
23,5	39	3	0	0
25,5	19	4	0	0
27,5	0	0	0	0
29,5	0	0	0	0
33,5	5	3	0	0
35,5	4	3	0	0



Joonis 4.3.13. Kundast põhja pool asuva monitooringujaama 14SLM-002 dateeringutulemused. Läbilõige dateeriti Pb-210-meetodil arvestades tasakaalulise ja mittetasakaalulise Pb-210-komponendi osakaalu ning tulemus verifitseeriti teise sõltumatu dateerimismeetodiga – kunstliku radioisotoobi Cs-137 jaotuskõvera abil. Arvutati settimiskiirus (kg $m^{-2}a^{-1}$, sinine joon graafikul), joonisel on toodud ka läbilõike sügavus-vanuskõver (kollane joon)

Settimiskiirused läbilõikes 14SLM-002 on olnud keskmiselt 0,5 kg m^{-2} a^{-1}, kuid ligikaudu 2 korda suuremad 1920–30-ndatel ning nüüd alates 1960-ndatest pidevalt suurenenud kuni pinnakihtide väärtusteni > 1 kg m^{-2} a^{-1} (Tabel 4.3.4, Joonis 4.3.13). Sentimeetrites on pindmine,

0–3 cm kiht moodustunud 4 aasta jooksul (so keskmiselt 0,75 cm a^{-1}) ja kiht 3–6 cm 6 aasta jooksul (so keskmiselt 0,5 cm a^{-1}).

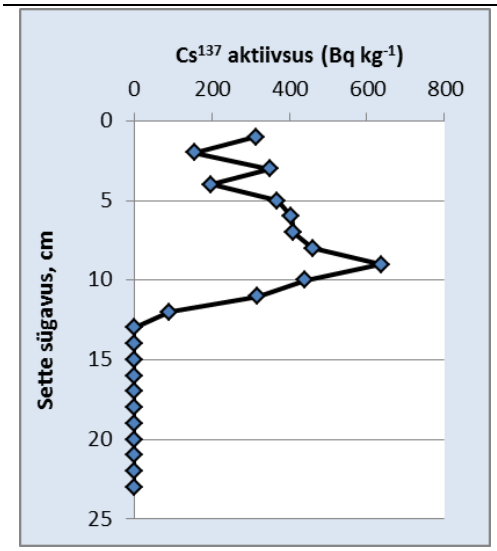
Tabel 4.3.4. Vanuse ja settimiskiiruse määrangud läbilõikest 14SLM-002

Sette sügavus (cm)	Aasta	Vanus (aastates)	Vanuse viga (aastates)	Akumulats. kiirus (kg m^{-2} a^{-1})	Akumulats. kiiruse viga (kg m^{-2} a^{-1})	Akumulats. kiiruse aasta
0	2014					
3,5	2009	5	2	1,05	0,14	2011
4,5	2007	7	2	0,94	0,12	2008
7,5	2001	13	2	0,84	0,12	2004
8,5	1999	15	2	0,81	0,10	2000
11,5	1991	23	3	0,77	0,12	1995
12,5	1988	26	3	0,79	0,16	1990
13,5	1986	28	3	0,81	0,16	1987
15,5	1979	35	3	0,63	0,12	1983
17,5	1972	42	4	0,61	0,10	1976
20,5	1962	52	5	0,55	0,14	1967
21,5	1957	57	5	0,40	0,09	1959
22,5	1952	62	6	0,46	0,14	1954
23,5	1947	67	6	0,51	0,13	1949,50
25,5	1936	78	9	0,54	0,27	1941,72
27,5	1930	84	10	0,95	1,18	1933,25
29,5	1924	90	9	0,96	0,47	1926,81
33,5	1896	118	18	0,53	0,34	1909,97
35,5	1882	132	15	0,53	3,30	1888,98

Läbilõike 14SLM-E5 vanuseskaala saadi, kasutades kunstliku radioisotoobi Cs-137 aktiivsuse jaotuskõverat (Tabel 4.3.5, Joonis 4.3.14). Sel meetodil saab vanusemäärangud vaid teatud markerkihtidele – s.o Cs-137 aktiivsuskõvera maksimumitasemele (1986. a Tšernobõli tuumajaama õnnetus) ja Cs-137 aktiivsuse eelsele settekihile (Cs-137 on inimtekkeline isotoop, tema emissioon atmosfääri algas 1940-ndate teisest poolest seoses tuumarelvade atmosfäärsete katsetega, mille tippaeg oli 1960-ndate alguses). Cs-137 aktiivuse järgi on 14SLM-E5 läbilõikes keskmine settimiskiirus 0–9 cm vahemikus 0,33 cm a^{-1}.

Tabel 4.3.5. Cs-137 dateeringutulemused ja vanusemäärangud läbilõikest 14SLM-E5. Soome Geoloogiakeskuse laboratooriumis kasutatakse Cs-137 aktiivsuse määranguteks EG&E Ortec ACE™-2K gamma-spektromeetrit, mis on varustatud 4” NaI/TI detektoriga.

Sette sügavus (cm)	Cs-137 Bq kg^{-1}	Aasta
0–1	313,3	2013
1–2	155,98	
2–3	349,79	
3–4	198,38	
4–5	369,92	
5–6	404,6	
6–7	411,52	
7–8	460,24	
8–9	636,08	1986
9–10	441,35	
10–11	318,14	
11–12	91,38	
12–13	0	~1960
13–14	0	
14–15	0	
15–16	0	
16–17	0	
17–18	0	
18–19	0	
19–20	0	
20–21	0	
21–22	0	
22–23	0	



Joonis 4.3.14. Loksalt põhjapool asuva monitooringujaama 14SLM-E5 setteläbilõike kunstliku radioisotoobi Cs-137 aktiivsuse jaotuskõver, mille alusel hinnati setteprofiili vanust ja settimiskiirust.

Setteläbilõike 14SLM-006, mis asub Osmussaare lähedal, Pb-210-dateerimistulemuste (Tabel 4.3.6) alusel saavutavad tasakaaluline ja summaarne Pb-210 aktiivsus tasakaalu u 35 cm sügavusel settes (Joonis 4.3.14). Summaarse Pb-210 aktiivsus pole setteprofiilis päris monotoonselt vähenenud. Sügavusvahemikus 5–8 cm on toimunud muutus settimiskiiruses. Cs-137 aktiivsuse jaotuskõver (Tabel 4.3.6, Joonis 4.3.15), paigutatuna Pb-210-meetodi alusel saadud ajaskaalasse, markeerib maksimumtasemega 1980-ndate aastate keskpaika (1986. a Tšernobõli tuumajaama õnnetus).

Tabel 4.3.6. Pb-210 dateeringutulemused läbilõikest 14SLM-006

Sette sügavus (cm)	Pb-210 summaarne Bq kg^{-1}	viga Pb-210 summaarne Bq kg^{-1}	Pb-210 tasakaaluline Bq kg^{-1}	viga Pb-210 tasakaaluline Bq kg^{-1}	Pb-210 mittetasa-kaaluline Bq kg^{-1}	viga Pb-210 mittetasa-kaaluline Bq kg^{-1}
0						
0,5	274	24	10	3	263	27
2,5	300	25	31	18	270	43
4,5	319	27	29	4	290	32
6,5	147	13	32	8	116	21
8,5	240	14	47	7	193	21
14,5	167	14	58	13	109	27
20,5	87	8	47	7	40	15
30,5	43	4	41	4	2	8
39,5	22	2	36	9	0	11

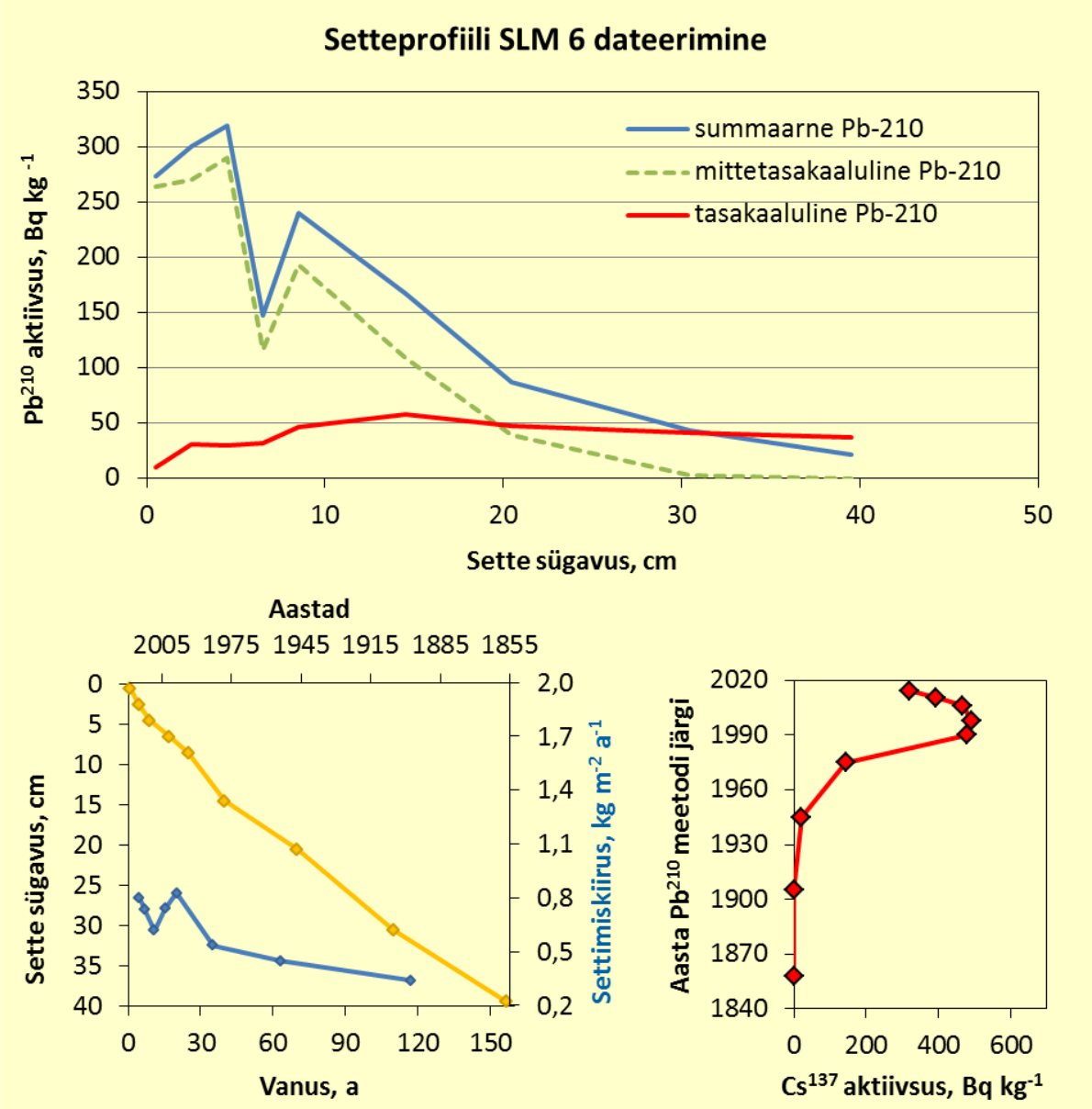
Tabel 4.3.7. Cs-137 dateeringutulemused läbilõikest 14SLM-006

Sette sügavus (cm)	Cs-137 Bq kg^{-1}	viga Cs-137 Bq kg^{-1}
0		
0,5	320	15
2,5	393	15
4,5	467	22
6,5	492	15
8,5	479	5
14,5	144	9
20,5	20	5
30,5	0	0
34,5	0	0
39,5	0	0

Tabel 4.3.8. Vanuse ja settimiskiiruse määrangud läbilõikest 14SLM-006

Sette sügavus (cm)	Aasta	Vanus (aastates)	Vanuse viga (aastates)	Akumulats. kiirus (kg m^{-2} a^{-1})	Akumulats. kiiruse viga (kg m^{-2} a^{-1})	Akumulats. kiiruse aasta
0	2015					
0,5	2014	1	3	0,80	0,10	2015
2,5	2011	4	3	0,74	0,13	2012
4,5	2006	9	3	0,62	0,09	2008
6,5	1998	17	3	0,74	0,15	2004
8,5	1990	25	4	0,83	0,13	1998
14,5	1975	40	9	0,53	0,18	1983
20,5	1945	70	16	0,45	0,23	1954
30,5	1905	110	120	0,34	1,46	1898
39,5	1858	157	138			

Settimiskiirused läbilõikes 14SLM-006 on olnud eelmise sajandi esimesel poolel 0,3–0,4 kg m^{-2} a^{-1}, kuid seejärel on settimiskiirused suurenenud. Viimasel paarikümnel aastal on settimiskiirus olnud 0,7–0,8 kg m^{-2} a^{-1} (Tabel 4.3.8, Joonis 4.3.15). Sentimeetrites on pindmine, 0–2 cm kiht moodustunud 3 aasta jooksul (s.o keskmiselt 0,67 cm a^{-1}) ja kiht 2–7 cm 14-ne aasta jooksul (s.o keskmiselt 0,42 cm a^{-1}).



Joonis 4.3.15. Osmussaare lähedal asuva monitooringujaama 14SLM-006 dateeringutulemused. Läbilõige dateeriti Pb-210-meetodil, arvestades tasakaalulise ja mittetasakaalulise Pb-210-komponendi osakaalu ning tulemus verifitseeriti teise sõltumatu dateerimismeetodiga – kunstliku radioisotoobi Cs-137 jaotuskõvera abil. Arvutati settekiirus (kg $m^{-2}a^{-1}$, sinine joon graafikul), joonisel on toodud läbilõike sügavus-vanuskõver (kollane joon).

Kõige idapoolsemas analüüsitud setteläbilõikes 14SLM-007, Sillamäe lähedal, saavutavad tasakaaluline ja summaarne Pb-210 aktiivsus tasakaalu u 25 cm sügavusel settes (Tabel 4.3.9, Joonis 4.3.16). Summaarse Pb-210 aktiivsus pole setteprofiilis päris monotoonselt vähenenud. Sügavusvahemikus 5–16 cm on summaarse Pb-210 aktiivsus koos tasakaalulise ja mittetasakaalulise Pb-210 aktiivsusega tõusnud ja eriti märkimisväärne tõus on toimunud

sügavusel 11–15 cm. Kui setteläbilõikes tõuseb mittetasakaalulise Pb-210 aktiivsus, siis see võiks tähendada settimiskiiruse langust juhul, kui sette litoloogias muutusi ei esine. Et aga läbilõikes 14SLM-007 toimub sügavusel 10–20 cm järsk muutus sette granulomeetrias (Joonis 4.3.15), siis on muutus summaarse Pb-210 aktiivsuses ning tasakaalulise ja mittetasakaalulise Pb-210 aktiivsuses seotud hoopis sette tekstuuri muutusega.

Tabel 4.3.9. Pb-210 dateeringutulemused läbilõikest 14SLM-007

Sette sügavus (cm)	Pb-210 summaarne Bq kg^{-1}	viga Pb-210 summaarne Bq kg^{-1}	Pb-210 tasakaaluline Bq kg^{-1}	viga Pb-210 tasakaaluline Bq kg^{-1}	Pb-210 mittetasa-kaaluline Bq kg^{-1}	viga Pb-210 mittetasa-kaaluline Bq kg^{-1}
0						
0,5	279	28	48	2	231	30
2,5	207	24	48	6	160	30
4,5	218	17	45	7	173	24
6,5	170	19	45	13	124	32
8,5	216	28	71	25	145	53
10,5	191	18	79	1	113	20
13,5	397	34	153	0	244	34
14,5	211	22	115	8	96	31
16,5	95	12	80	8	16	20
20,5	63	8	53	1	10	9
24,5	40	6	54	15	0	21
30,5	81	10	49	10	32	21
34,5	2	0	39	7	0	8

Tabel 4.3.10. Cs-137 dateeringutulemused läbilõikest 14SLM-007

Sette sügavus (cm)	Cs-137 Bq kg^{-1}	viga Cs-137 Bq kg^{-1}
0		
0,5	189	13
2,5	244	16
4,5	308	16
6,5	469	26
8,5	772	45
10,5	263	15
13,5	18	6
14,5	0	0
16,5	6	5
20,5	0	0

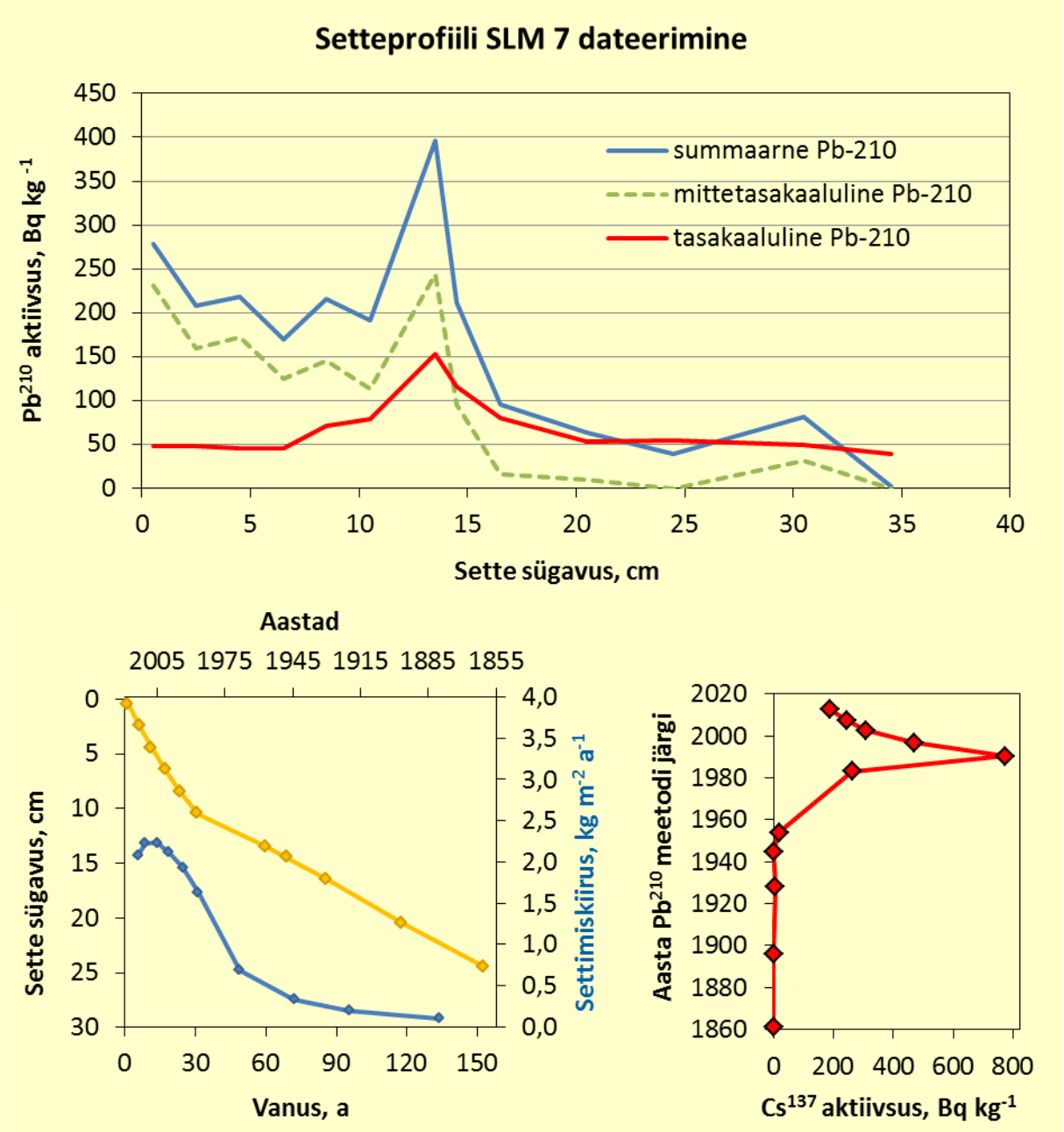
24,5	0	0
30,5	5	5
34,5	0	0

Tabel 4.3.11. Vanuse ja settimiskiiruse määrangud läbilõikest 14SLM-007

Sette sügavus (cm)	Aasta	Vanus (aastates)	Vanuse viga (aastates)	Akumulats. kiirus (kg m^{-2} a^{-1})	Akumulats. kiiruse viga (kg m^{-2} a^{-1})	Akumulats. kiiruse aasta
0	2015					
0,5	2013	1	3	2,1	0,3	2013
2,5	2008	6	3	2,2	0,4	2010
4,5	2003	11	3	2,2	0,4	2005
6,5	1997	17	4	2,1	0,6	2000
8,5	1990	24	4	1,9	0,7	1994
10,5	1983	31	5	1,6	0,3	1987
13,5	1954	60	11	0,7	0,3	1968
14,5	1945	69	9	0,3	0,1	1944
16,5	1928	86	18	0,2	0,1	1920
20,5	1896	118	130	0,1	0,05	1880
24,5	1861	153	150			

Cs-137 aktiivsuse jaotuskõver (Tabel 4.3.9, Joonis 4.3.16) paigutatuna Pb-210-meetodi alusel saadud ajaskaalasse (Tabel 4.3.10), markeerib maksimumtasemega 1980-ndate aastate keskpaika (1986.a Tšernobõli tuumajaama õnnetus). Võimalik, et Cs-137 aktiivsuskõveras ilmneks selgemini ka 1960-ndate alguse tuumakatsetuste kõrgaeg, kuid hetkel see settevahemik on analüüsimata. Seega setteläbilõike 14SLM-007 dateerimiskõver vajaks veel täpsustamist.

Settimiskiirused setteläbilõikes 14SLM-007 on pidevalt tõusnud. Olles eelmise sajandi esimesel poolel 0,2–0,3 kg m^{-2} a^{-1}, tõuseb settimiskiirus 1960-ndatel 0,7 kg m^{-2} a^{-1} ning seejärel järsult 1,9–2,2 kg m^{-2} a^{-1} 1990-ndatel ja 2000-ndatel aastatel (Tabel 4.3.10, Joonis 4.3.16). Järsu settimiskiiruse tõusu markeerib summaarse Pb-210 aktiivsuse ühtlane tase sügavusel 2–10 cm (Joonis 4.3.16). Suurem settimiskiirus, võrreldes teiste analüüsitud läbilõigetega on seotud mineraalainerikkama ja jämedateralisema settega läbilõikes 14SLM-007. Pindmine, 0–3 cm kiht on moodustunud viimase 7 aasta jooksul (s.o keskmiselt 0,43 cm a^{-1}) ja alumine, 3–7 cm kiht 11-ne aasta jooksul (s.o keskmiselt 0,36 cm a^{-1}).

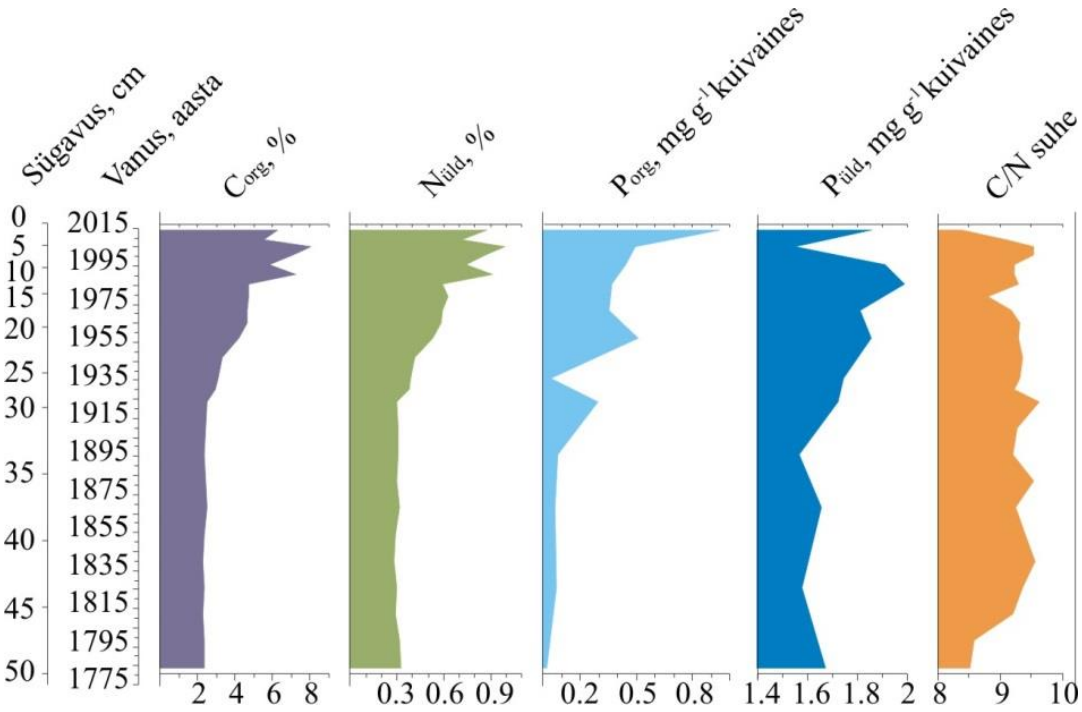


Joonis 4.3.16. Osmussaare lähedal asuva monitooringujaama 14SLM-007 dateeringutulemused. Läbilõige dateeriti Pb-210-meetodil, arvestades tasakaalulise ja mittetasakaalulise Pb-210-komponendi osakaalu ning tulemus verifitseeriti teise sõltumatu dateerimismeetodiga – kunstliku radioisotoobi Cs-137 jaotuskõvera abil. Arvutati settimiskiirus (kg $m^{-2}a^{-1}$, sinine joon graafikul), joonisel on toodud ka läbilõike sügavus-vanuskõver (kollane joon)

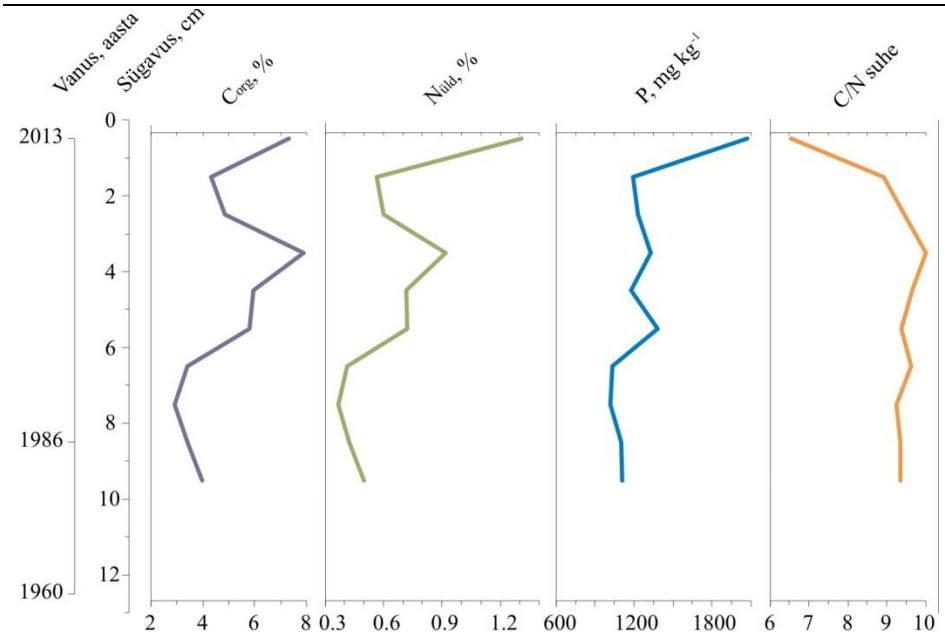
Kahest uurimise all olnud setteläbilõikest, 14SLM-002 ja 14SLM-E5, analüüsiti orgaanilise süsiniku (C_{org}) ja lämmastiku sisaldus ($N_{üld}$). Lisaks hapnikule ja vesinikule on need orgaanilise aine elementkoostises põhilised komponendid. Teistes läbilõigetes analüüsiti vaid orgaanilise

aine sisaldus kuumutuskao meetodil (550 °C juures), kuid üldjoontes on võimalik kuumutuskao alusel arvutada välja ka C_{org}, jagades orgaanilise aine hulga 2,13-ga (Dean, 1974).

Läbilõikes 14SLM-002 algab settes C_{org} suurenemine juba 1930-ndatel ja eriti tõuseb see 1980-ndatel (Joonis 4.3.17). Sama trendi järgib settes $N_{üld}$. Setteläbilõikes 14SLM-E5 on C_{org} ja $N_{üld}$ analüüsitud vaid ülemises 10-ne cm-s kihis, mis ei ulatu 1930-ndateni. Samas C_{org} ja $N_{üld}$ tõus 1980–90-ndatel on jälgitav ka selles setteläbilõikes (Joonis 4.3.18). Ei saa välistada, et C_{org} ja $N_{üld}$ küllaltki järsk protsentuaalne tõus (C_{org} puhul 2–3%-lt kuni 7–8%-ni; $N_{üld}$ puhul 0,3%-lt kuni 1,3%ni) sette pinnakihtides võib osaliselt olla seotud sellega, et pindmistes settekihtides pole sinna akumuleerunud orgaaniline aine jõudnud veel laguneda, kuid tõenäoliselt on siiski tegemist ka bioproduktsiooni tõusuga Läänemeres ja sellega seoses orgaanilise aine suurenenud sissekandega setetesse viimastel aastakümnenditel. $C_{org}/N_{üld}$ aatomsuhte, mis selgitab orgaanilise aine päritolu, väärtused jäävad vahemikku 8–10 (Joonis 4.3.17 ja Joonis 4.3.18), viidates seeläbi üheselt, et sette orgaaniline aine on autohtoonse päritoluga ehk tekkinud vetikate biomassi lagunemisest. Läbilõike 14SLM-E5 pinnakihis (0–2 cm) on $C_{org}/N_{üld}$ aatomsuhe eriti madal, ~6%, mis näitab vetikamassi veelgi olulisemat osatähtsust orgaanilise aine koostises.



Joonis 4.3.17. C_{org}, $N_{üld}$ ja fosfori ($P_{üld}$ ja P_{org}) sisaldus ning $C_{org}/N_{üld}$ aatomsuhe setteläbilõikes 14SLM-002

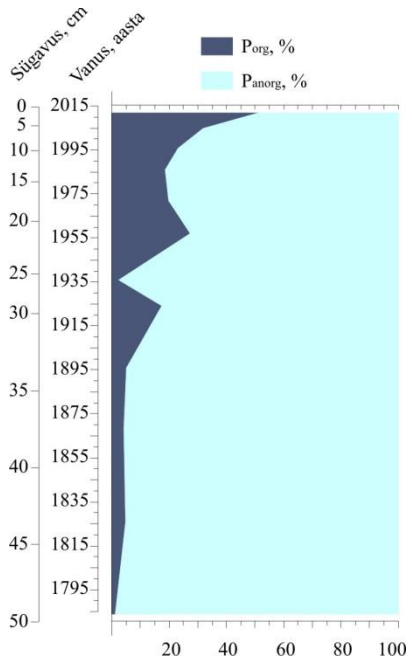


Joonis 4.3.18. C_{org}, $N_{üld}$ ja üldfosfori sisaldus ning $C_{org}/N_{üld}$ aatomsuhe setteläbilõikes 14SLM-E5

Orgaanilise aine suurenenud akumulatsioon Soome lahe setetesse võib viidata veekogu eutrofeerumisele e ülekoormamisele toiteainetega. Eutrofeerumise seisukohalt on eriti olulised lämmastiku- ja fosforiühendid, mis põhjustavad vetikate vohamist ning mille tulemusena halveneb vee kvaliteet. Veekogude põhjasetetesse akumuleerub nii valgalalt sissekantud kui ka veekogus endas produtseeritud orgaanilise ja mineraalse ainega seotud fosfor. Põhjasetete koostis määrab ära nende võime siduda endaga fosforit. Raua-, vähemal määral ka alumiiniumi- ja kaltsiumirikkad setted on head fosfori sidujad. Põhjasetted mängivad olulist rolli veekogu fosfori ainevahetuses, põhjasetetesse akumuleerunud fosfor võib teatud biogeokeemiliste protsesside tulemusena vabaneda uuesti tagasi vette ja põhjustada toitainete sisekoormuse näol (lisaks valglalt tulevale fosfori väliskoormusele) tõusu vetikate primaarproduktsioonis.

Setteläbilõikes 14SLM-002 on selgelt jälgitav üldfosfori ($P_{üld}$) sisalduse tõusutrend pinnakihtide suunas väärtustelt 1,6 mg g^{-1} kuivaines kuni 2 mg g^{-1} kuivaines (Joonis 4.3.17). $P_{üld}$ kontsentratsiooni olulisem tõus algab 1950-ndatel ja seda just orgaanilise fosfori P_{org} sisalduse tõusu arvelt. Mineraalse (anorgaanilise) fosfori P_{anorg} sisaldus setteläbilõikes on olnud ühetaoline (1,4 kuni 1,6 mg g^{-1} kuivaines), v.a päris pinnakiht alates 1990-ndatest, kus see oluliselt väheneb. Viimane on ilmselt seotud sellega, et värskelt põhjasetetesse kogunenud orgaaniline aine pole jõudnud veel mineraliseeruda. Teada on, et kergesti laguneva orgaanilise ainega seotud fosfor on võimeline transformeeruma mobiilseks fosfori fraktsiooniks. Kui P_{org} protsentuaalne sisaldus setteläilõikes 14SLM-002 on varem olnud alla 5%, siis alates 1950-ndatest on see pidevalt olnud üle 20%, pindmises 6 cm paksuses kihis lausa 30–50% (Joonis 4.3.19). Seega ülemisest, 22 cm paksusest settekihist on vähemalt 20%, pinnal lausa kuni 50% üldfosforist võimeline uuesti vette vabanema ja ringlusesse kanduma. See võib juhtuda eelkõige

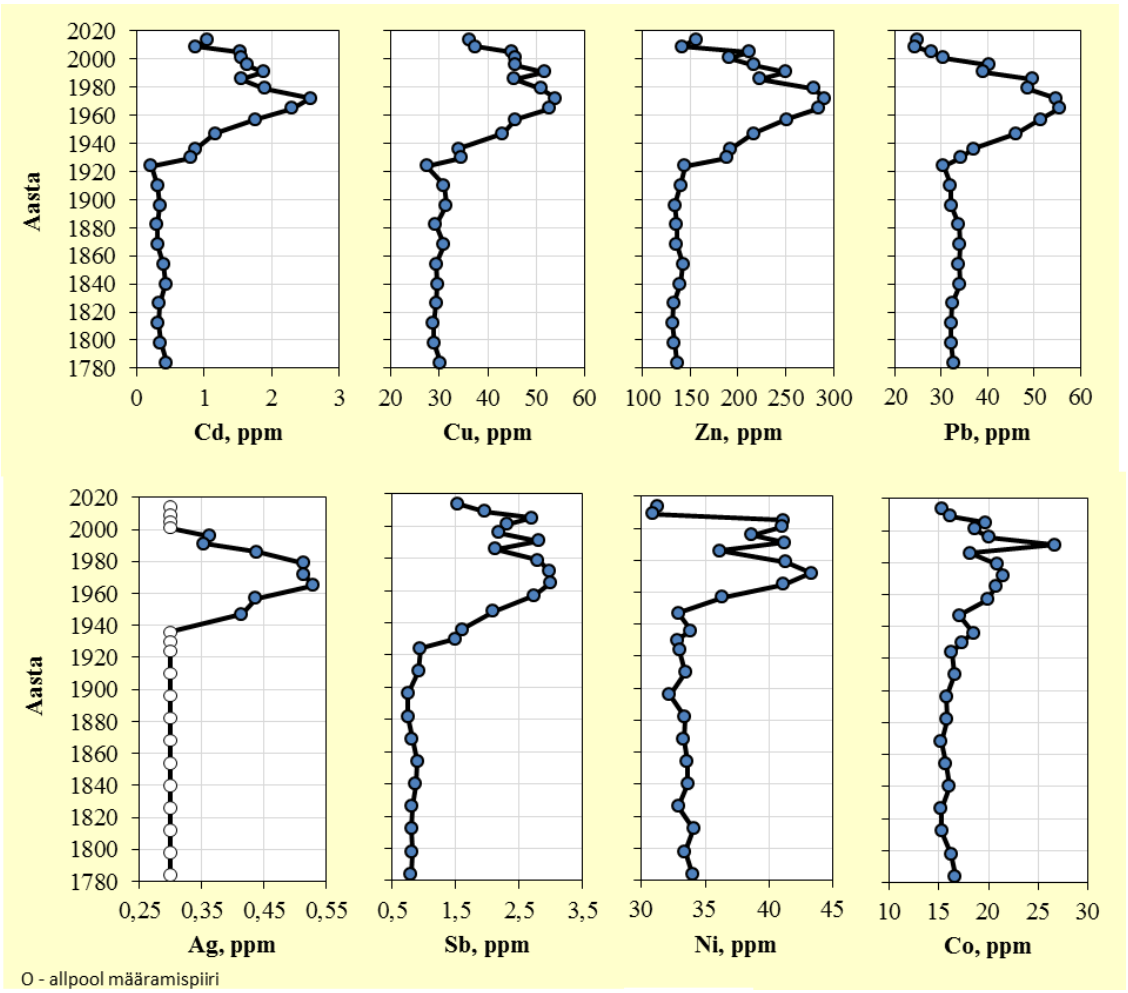
anoksiliste tingimuste korral, kui veekogu põhjas hapnik puudub, biogeokeemilised protsessid muutuvad ja fosfor võib vabaneda settest vette.



Joonis 4.3.19. Fosforifraktsioonide (P_{anorg} ja P_{org}) protsentuaalne vahekord setteläbilõikes

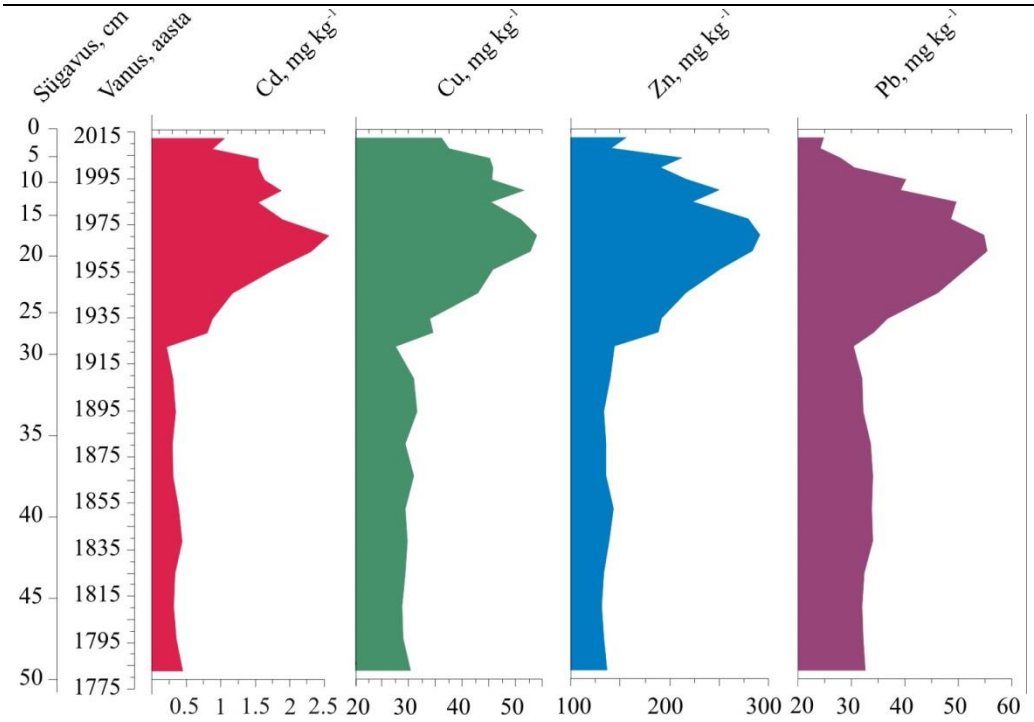
Setteläbilõigetest 14SLM-002, 14SLM-006, 14SLM-007 ja 14SLM-E5 analüüsiti terve rea raskmetallide ja teiste mikroelementide sisaldused. Tähelepanuväärne on paljude raskmetallide (nagu Cd, Cu, Pb, Zn, Ni, Ag, Co, Sn, Sb) sisalduse kuni mitmekordne tõus alates 1930-ndatest kuni 1950-ndateni sõltuvalt elemendist (Joonis 4.3.20). Nende elementide maksimumkontsentratsioonid Soome lahes on olnud 1970-ndatel aastatel, mõne elemendi puhul on sisaldused olnud jätkuvalt kõrged veel ka 1980–1990-ndatel. Sõltuvalt setteläbilõike settimiskiirusest on need kõrgenenud raskmetallide sisaldusega settekihid 5 kuni 25 cm sügavusel settes (Joonis 4.3.21, Joonis 4.3.22 ja Joonis 4.3.23). Kui mõne raskmetalli puhul on kontsentratsioonid 1930-ndate aastate eelse ajaga võrreldes tõusnud vaid u 2 korda (nt Pb, Cu, Ni, Ag), siis nt Zn ja Sb puhul on tõus olnud 3-kordne ja Cd puhul lausa kuni 6-kordne (Joonis 4.3.21, Joonis 4.3.22 ja Joonis 4.3.23). Cd puhul ulatuvad maksimaalsed kontsentratsioonid settes kuni 2,6 mg kg^{-1}, Zn puhul kuni 300 mg kg^{-1} (mõlemad nii 14SLM-002 kui 14SLM-006 setetes), Pb puhul kuni 75 mg kg^{-1} (14SLM-006), Cu puhul kuni 55 mg kg^{-1} (14SLM-002) ja As puhul kuni 17 mg kg^{-1} (14SLM-006). Hg, mis on mõõdetud vaid setteläbilõike 14SLM-E5 ülemisest 10-st cm-st, näitab maksimumväärtusi kõige alumises analüüsitud kihis (9–10 cm), mis on 0,12 mg kg^{-1} (Joonis 4.3.24). Kahjuks polnud projekti käigus ICP-MS meetodil Hg määramine võimalik ja seetõttu jäi meil täielike setteläbilõigete 14SLM-002, 14SLM-006 ja 14SLM-007 puhul see määramata. Küll aga on teada, et 1995. aastal soomlaste poolt võetud ja analüüsitud setteläbilõikes (puurimisjaamas 14SLM-E5) ulatus tol ajal 9–10 cm sügavusel (dateeringute järgi

enne 1986. a) Hg-sisaldus 0,25 mg kg^{-1} ja Cd-sisaldus 3,0 mg kg^{-1} (Vallius *et al*, esitatud).

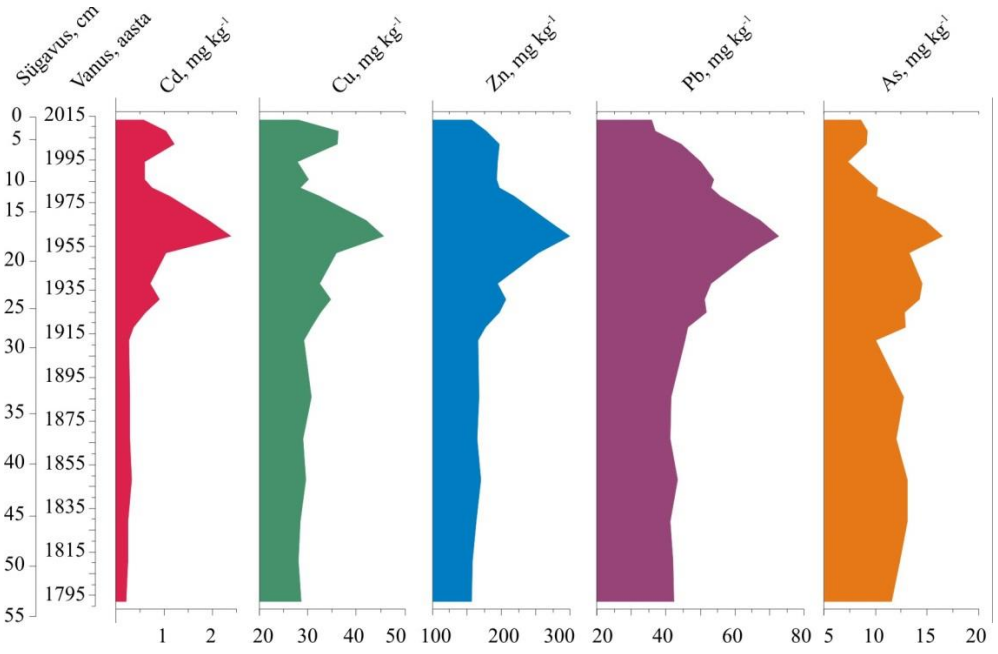


Joonis 4.3.20. Mitmete raskmetallide sisaldused dateeritud setteläbilõikes 14SLM-002

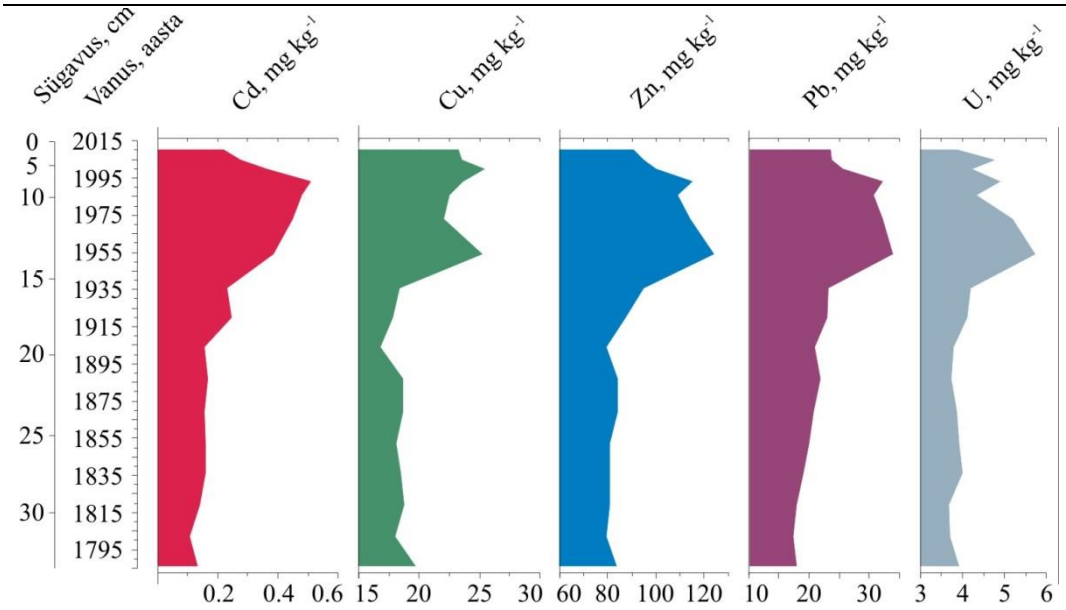
Setteläbilõigete pindmises, u 5 cm kihis on täheldatav raskmetallide kontsentratsiooni vähenemine umbes samale tasemele, mis oli enne 1930-ndaid (Joonis 4.3.21, Joonis 4.3.22 ja Joonis 4.3.23). Setteläbilõigete analüüs, mis võib sõltuvalt uuritava setteprofiili pikkusest katta sadu või tuhandeid aastaid, on väga hea meetod tööstuseelse seisundi või raskmetallide taseme fikseerimiseks. Meie uuritud setteläbilõiked katsid vanuseliselt mitu viimast sajandit (kuni alates 18. sajandi lõpust) ja nende alumine lõik kuni 20. sajandi esimese pooleni näitas väga ühtlasi raskmetallide sisaldusi u 150-ne aasta jooksul.



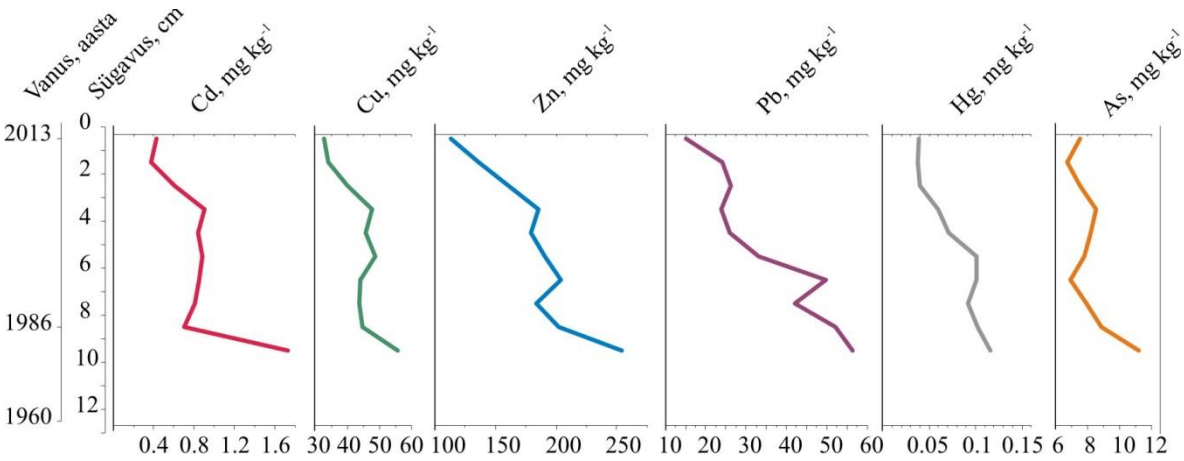
Joonis 4.3.21. Valitud raskmetallide sisaldused setteläbilõikes 14SLM-002 koos sügavus- ja vanuseskaalaga



Joonis 4.3.22. Valitud raskmetallide sisaldused setteläbilõikes 14SLM-006 koos sügavus- ja vanuseskaalaga



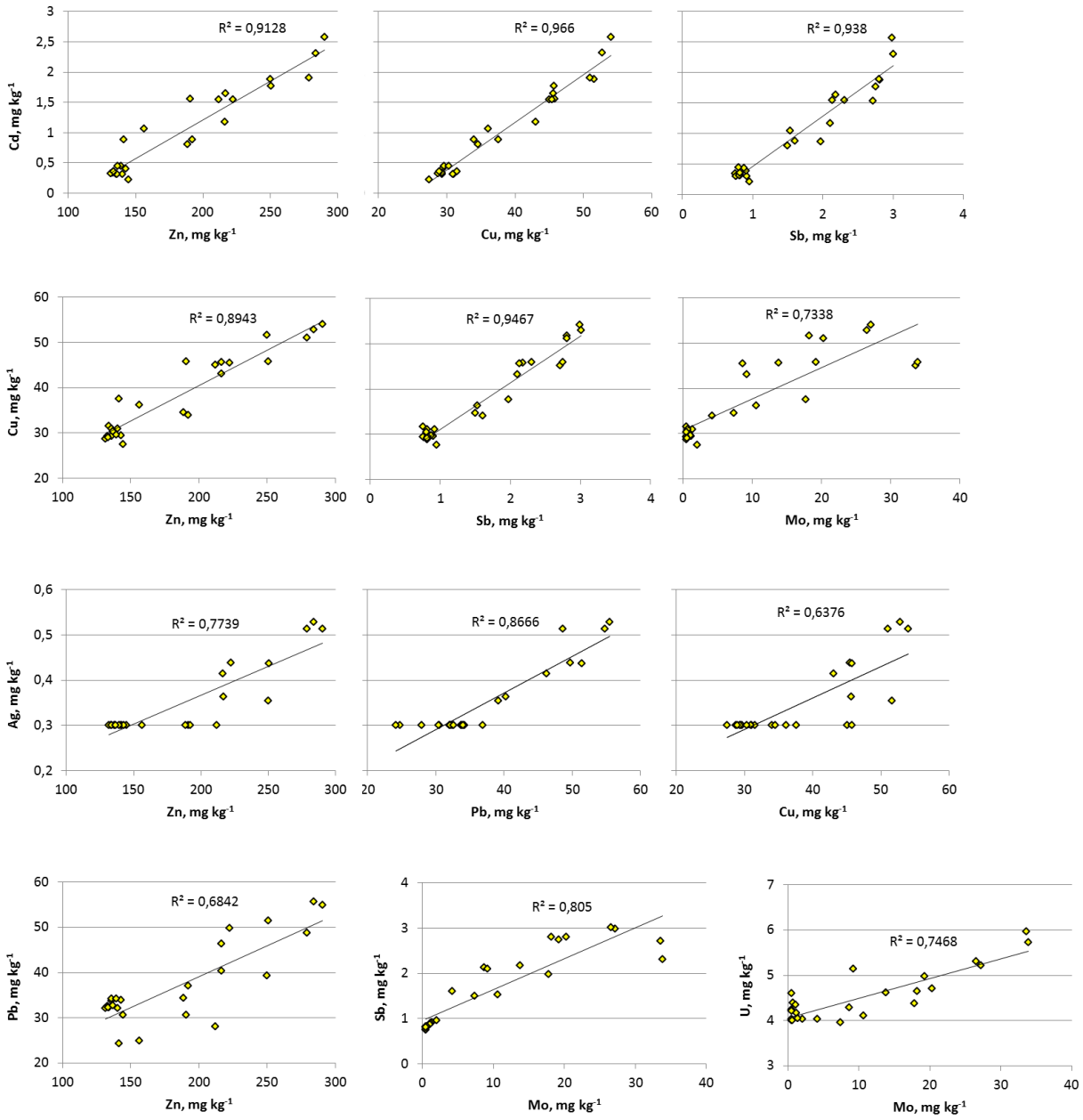
Joonis 4.3.23. Valitud raskmetallide sisaldused setteläbilõikes 14SLM-007 koos sügavus- ja vanuseskaalaga



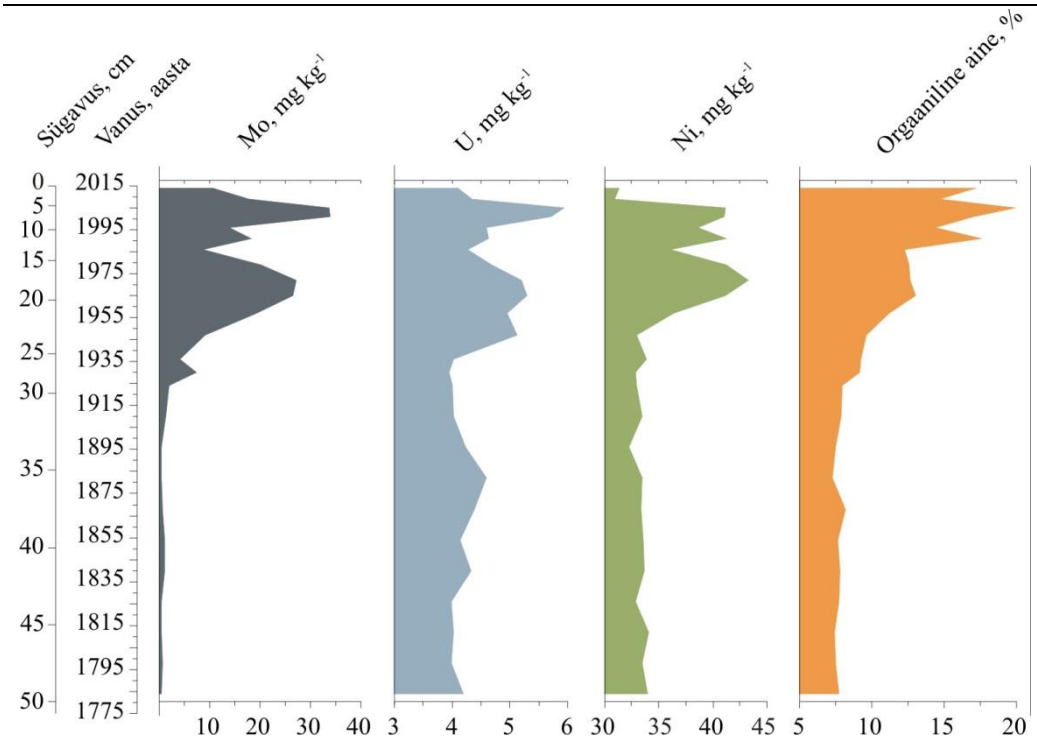
Joonis 4.3.24. Valitud raskmetallide ja As sisaldused setteläbilõikes 14SLM-E5 koos sügavus- ja vanuseskaalaga

Joonis 4.3.24-lt avaldub, et mitmete raskmetallide jaotuskõverad setteläbilõigetes on väga sarnase kujuga ja korrelatsioonid nende vahel on väga tugevad. Nt Cd, Zn, Cu ja Sb vahel setteläbilõikes 14SLM-002 (R^2 > 0,9) (Joonis 4.3.25). Tugevad seosed (R^2 = 0,7–0,8) on ka mitmete teiste mikroelementide vahel nagu Mo, U, Ni, Ag, Pb ja teised (Joonis 4.3.25 ja Joonis 4.3.26). Läbilõikes 14SLM-006 on väga tugevad seosed samuti Cd, Zn, Cu, Sb ja lisaks Ag vahel, samuti Mo ja U vahel (R^2 > 0,8) (Joonis 4.3.27 ja Joonis 4.3.28). Läbilõikes 14SLM-007 on ka väga hea korrelatsioon Cd, Zn, Pb ja Sb vahel (R^2 > 0,8), seosed teiste mikroelementide vahel nii tugevad pole (Joonis 4.3.29). Raskmetalle seostatakse sageli keskkonna saastumise ja toksilisusega. Tugev korrelatsioon mitmete mikroelementide vahel võib viidata nende sarnasele

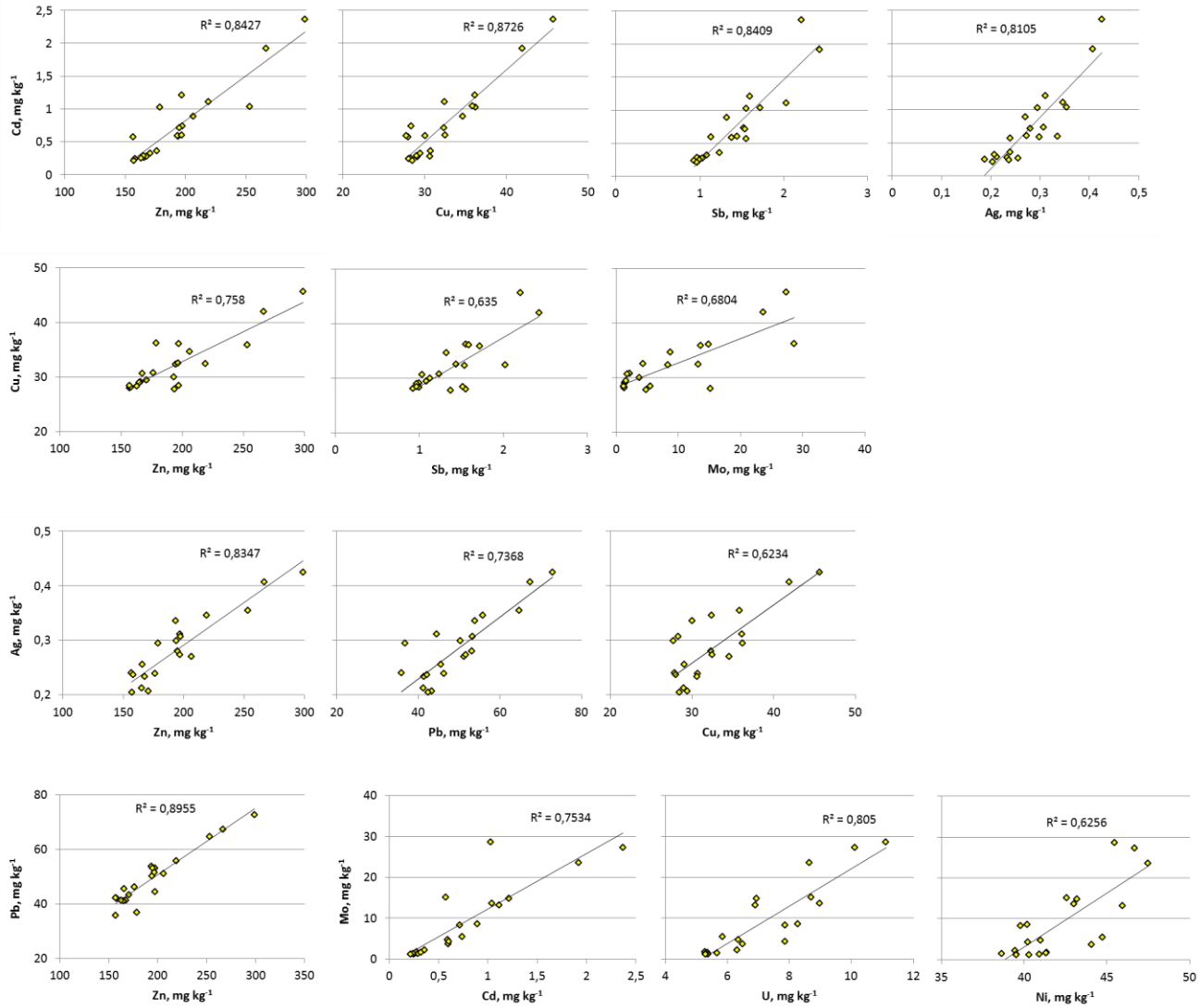
päritolule. Looduslikult esinevad Cd, Zn, Pb ja Cu sageli kivimis koos, inimese poolt tekitatud allikatest on olulisemad atmosfäärne päritolu fossiilkütuste põletamisest ja samuti hajureostusest põllumajanduses kasutatavatest väetistest. As kasutatakse putuka-kaitsevahendites ja pestitsiidides, Hg mitmesuguses aparatuuris.



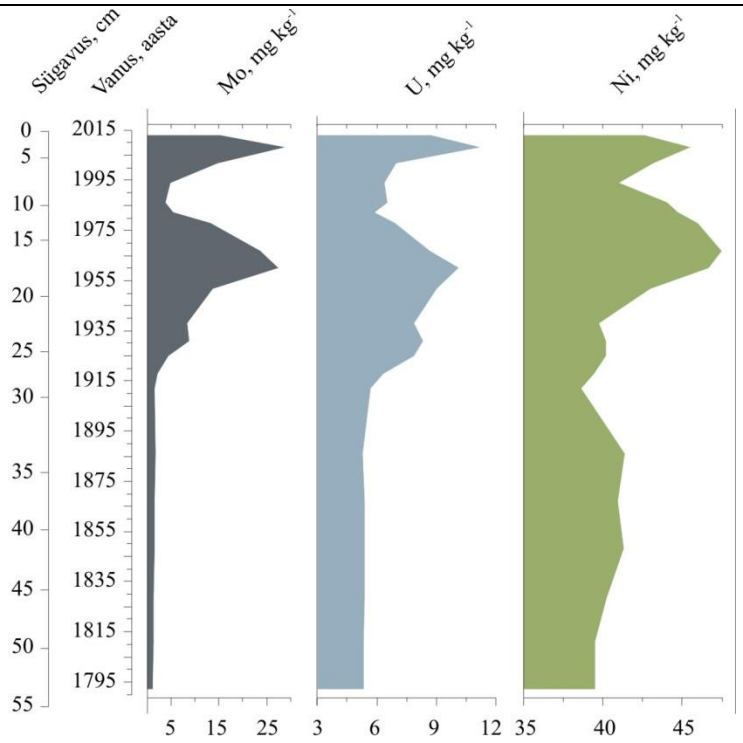
Joonis 4.3.25. Korrelatsioonid mitmete raskmetallide vahel setteläbilõikes 14SLM-002



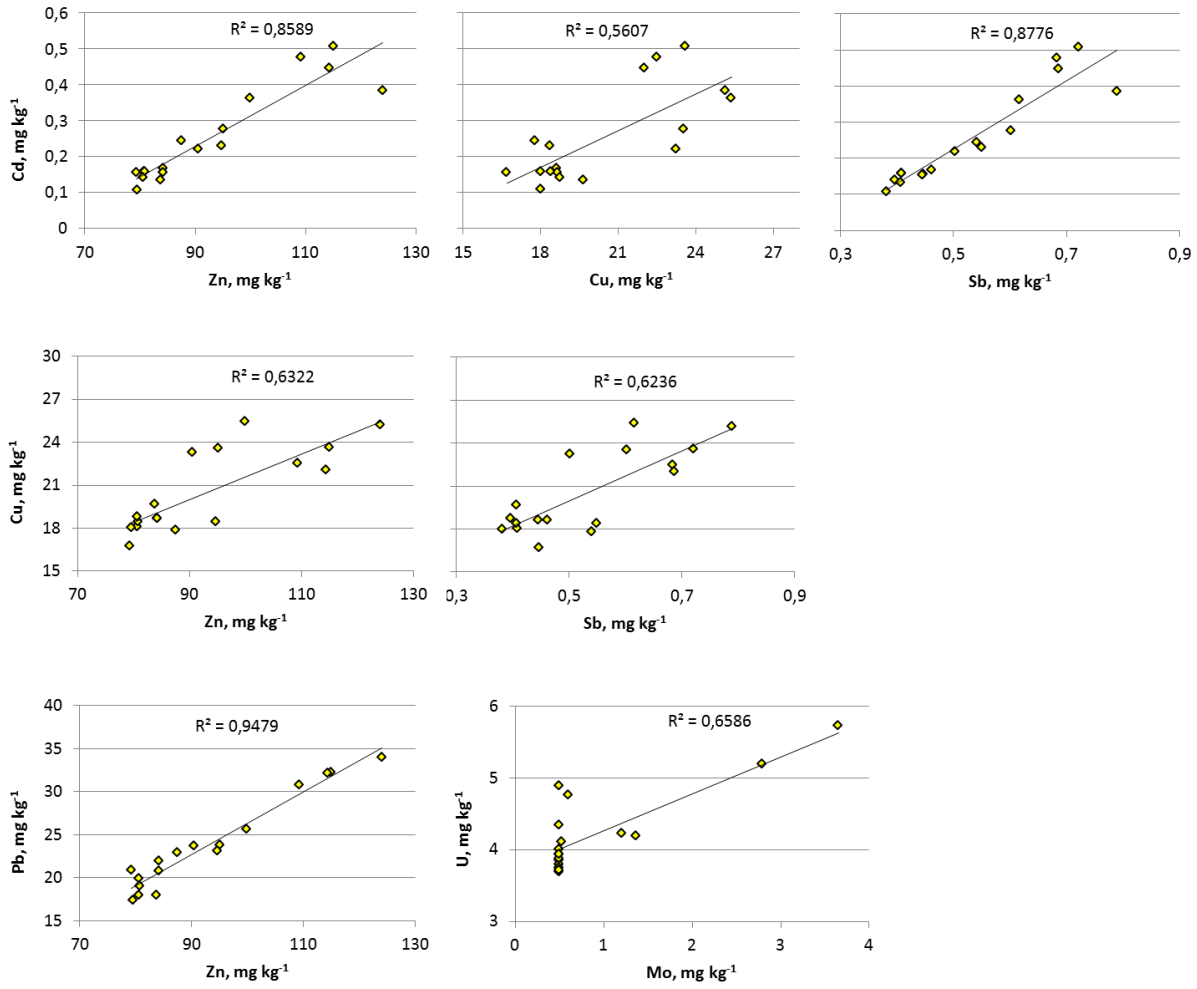
Joonis 4.3.26. Mo, U ja Ni kontsentratsioonid koos orgaanilise aine sisaldusega setteläbilõikes 14SLM-002



Joonis 4.3.27. Korrelatsioonid mitmete raskmetallide vahel setteläbilõikes 14SLM-006



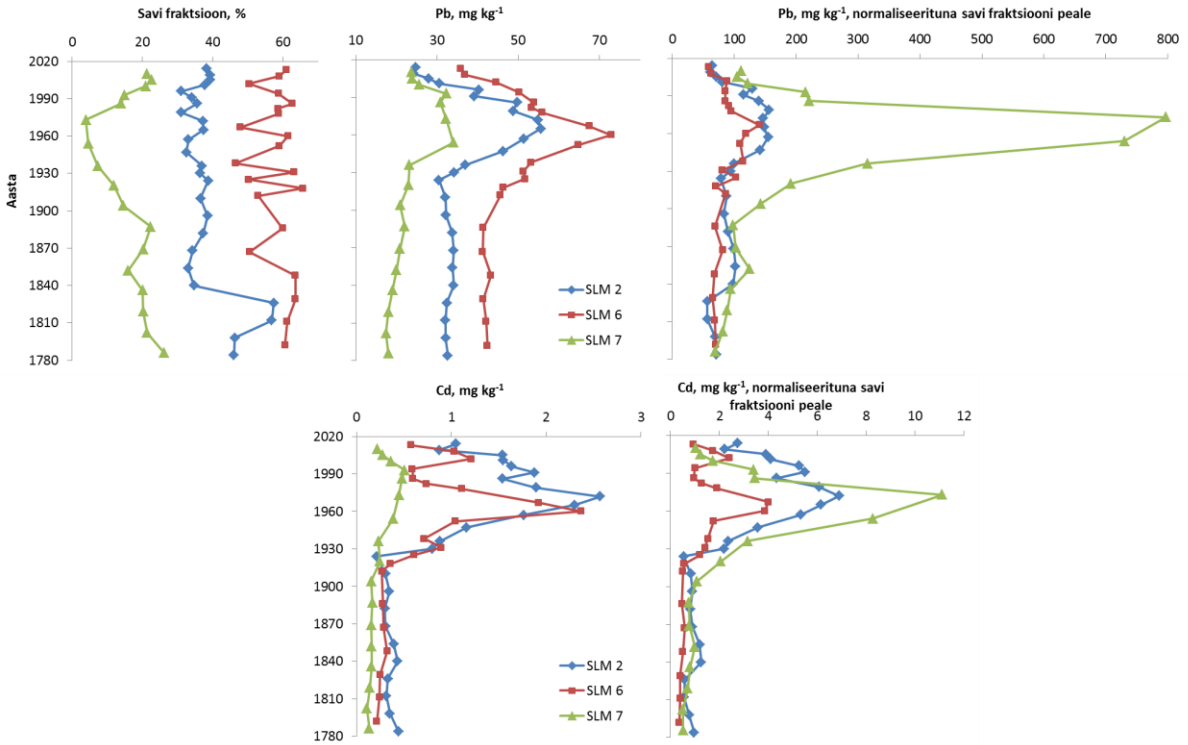
Joonis 4.3.28. Mo, U ja Ni kontsentratsioonid setteläbilõikes 14SLM-006



Joonis 4.3.29. Korrelatsioonid mitmete raskmetallide vahel setteläbilõikes 14SLM-007

Tähelepanuväärne on, et kõik need nimetatud raskmetallid on sarnase jaotusprofiiliga üle terve Soome lahe, nii idapoolseimates monitooringupunktides 14SLM-007 (Sillamäe lähedal) ja 14SLM-002 (Kunda lähedal) kui ka läänepoolseimas proovivõtupunktis 14SLM-006 (Osmussaare lähedal) (Joonis 4.3.21, Joonis 4.3.22 ja Joonis 4.3.23). Kõikides nendes setteprofiilides on täheldatav raskmetallide kontsentratsiooni tõus enne eelmise sajandi keskpaika, maksimumtase 1960–70-ndatel aastatel ja seejärel kontsentratsioonide vähenemine. Samas aga on raskmetallide kontsentratsioonide tase eri piirkondade setetes erinev. Selline erinevus on tingitud konkreetse koha setete koostisest ning on näha, et olulisim neist on setete granulomeetriline koostis, mis kontrollib suurel määral keskkonnaohtlike metallide sisaldusi setetes (Joonis 4.3.30). Eelkõige sõltub see peeneteralise materjali (savi, peenaleuriit) osakaalust setetes, sest sel materjalil on suurem sorptsioonivõime siduda endaga metalle. Samuti on ka orgaanilisel ainel setetes sarnane sorptsioonivõime, mistõttu ilmselt ka orgaanilise aine sisaldus määrab osaliselt raskmetallide kontsentratsioonid setetes.

Joonis 4.3.30-l oleme näitena toonud kahe elemendi, Pb ja Cd kontsentratsioonid sette erinevates läbilõigetes ja neile vastavad savifraktsiooni sisaldused. Läbilõikes 14SLM-007 on oluliselt madalamad raskmetallide, nii Pb kui Cd kontsentratsioonid, samuti madalam peeneteralise fraktsiooni osatähtsus. Cd kontsentratsioon läbilõigetes 14SLM-002 ja 14SLM-006 on sarnane, kuid Pb-sisaldus on erinev ja järgib üsna hästi savifraktsiooni osatähtsust neis kahes läbilõikes. Normaliseerisime kõigis läbilõigetes Pb ja Cd sisaldused savifraktsiooni peale. Raskmetallide kontsentratsioonide tase enne tõusu (enne 1930-ndaid) ühtlustub eri läbilõigete vahel küllaltki hästi. Samuti ühtlustub Pb-tase profiili ülemises osas setteläbilõigetes 14SLM-002 ja 14SLM-006. Teiste setteläbilõigetega võrreldes on oluliselt kõrgem nii Pb kui Cd sisaldus setteläbilõikes 14SLM-007, kui raskmetallide väärtused on normaliseeritud savifraktsiooni peale. Samuti näitab 14SLM-002 kõrgemat Cd-sisaldust kui 14SLM-006. Tuleb arvestada, et see on ainult üks katse ja ühe sette komponendiga ning kas see reaalselt tähendab seda, et idapoolsemates setteläbilõigetes ongi kõrgemad raskmetallide sissekanded kui lääne pool, pole hetkel selge ning vajab kindlasti edasist uurimist.



Joonis 4.3.30. Pb ja Cd erinevad kontsentratsioonid setteläbilõigetes 14SLM-002, 14SLM-006 ja 14SLM-007 võrrelduna sette savifraktsiooni sisaldusega

Projekti käigus teostatud keemilised analüüsid setteläbilõigetest ja dateerimistulemused näitavad, et mitmete keskkonnaohtlike raskmetallide sisaldused setetes on viimastel aastakümnetel olnud olulised või isegi kõrged. Kõrgeimad on Cd, Zn, Cu, Pb, Co sisaldused

5–25 cm sügavusel settes. Vaid kõige pindmistes kihtides (pindmine 5 cm) on täheldatav nende elementide kontsentratsioonide vähenemine. Raskmetallide kontsentratsioon setetes sõltub oluliselt sette granulomeetrilisest koostisest. Olulist tähelepanu tuleb pöörata asjaolule, et Soome lahe pehmete peeneteraliste mudasetete liigutamine ehitustegevuse käigus või mõnel muul moel, mis võib põhjustada 5–25 cm sügavusel settes paikneva kõrgenenud raskmetallide sisaldusega kihi segunemist ja vabanemist aineringesse, võib kujutada ohtu veekeskkonna ja seal elavate organismide seisundile.

4.4. Soome lahe setete mineraalne koostis

Järgnev ülevaade baseerub 2014. aastal kogutud Soome lahe setete pinnakihi (0–3 cm ja 3–6 cm) proovide röntgenfluorestsentsanalüüsil ja röntgendifraktomeetrial (edaspidi XRF ja XRD). XRF-meetodiga analüüsiti proove 30-st proovivõtujaamast (kokku 59 proovi), XRD-meetodiga analüüsiti 12 jaama proove (13 koguproovi pluss 4. proovi fraktsioonid). Analüüside tulemused on toodud Tabel 4.4.1.1 (koguproov) ja Tabel 4.4.1.2 (fraktsioonid).

4.4.1. Silikaatmineraalid

Soome lahe setted koosnevad valdavalt silikaatmineraalidest. Nende kooslus sõltub tugevasti proovi granulomeetrilisest koostisest (savi, aleuriit, liiv), aga selles võiks peegelduda ka sissekandeala mineraloogiline eripära (moreen, paas, sinisavi, graptoliitargilliit). Silikaatmineraalide granulomeetrilise koostise geokeemilise mõõdikuna kasutatakse traditsiooniliselt SiO_2/Al_2O_3 suhet. Peeneteralistes savikates setetes on vähem kvartsi ja rohkem Al-rikkaid savimineraale, sellest tuleneb madalam SiO_2/Al_2O_3 suhte väärtus, näiteks sinisavi tugiproovil ES1 on see 3,39. Samal tasemel (3,3-3,5) on SiO_2/Al_2O_3 suhe ka Soome lahe kõige savikamates setteproovides (jaamad SL5, SL6, SL7, SLM5, SLM6). Suuremad SiO_2/Al_2O_3 suhte väärtused (> 4,5) mõõdeti jaamades SL8, SL9, SL14, SLM1. Setteproovide SiO_2/Al_2O_3 suhe korreleerub hästi XRD-meetodil määratud kvartsisisaldusega, negatiivne korrelatsioon ilmneb XRD tulemustest arvutatud jäägiga (savi ja amorfne aine) (Joonis 4.4.1.1).

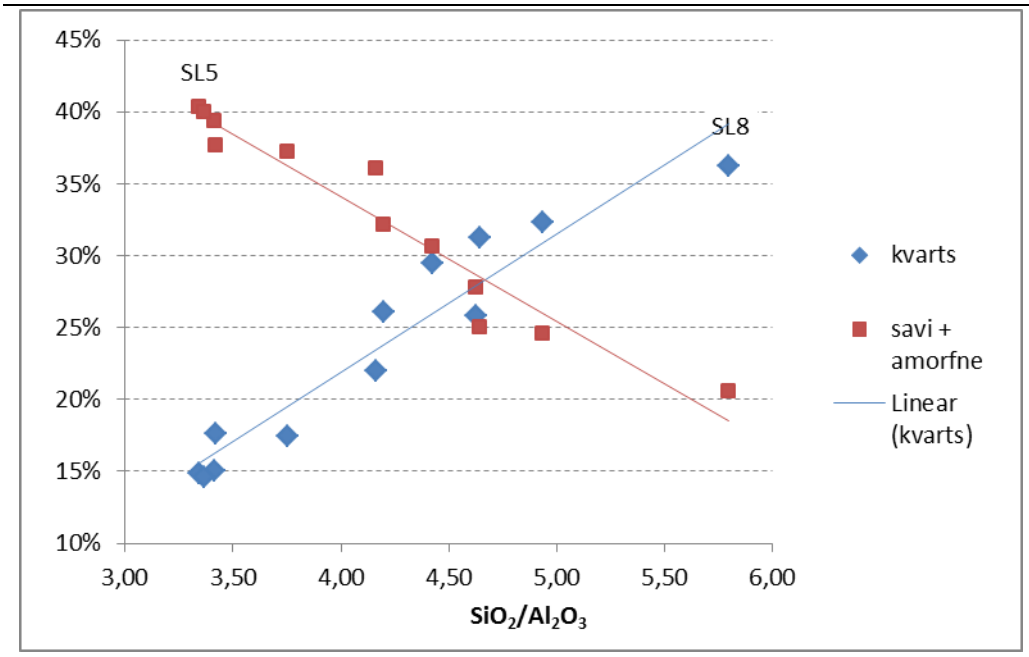
Tabel 4.4.1.1. Sette pinnakihi XRD- ja XRF-analüüside tulemused

	SL-01	SL-02	SL-04	SL-05	SL-05	SL-06	SL-08	SL-09	SL-14	SL-26	SLM-01	SLM-06	SL-17
	0-3cm	0-3cm	3-6cm	0-3cm	3-6cm	3-6cm	0-5cm	3-6cm	0-3cm	3-6cm	0-3cm	0-3cm	3-6cm
XRD, %													
Quartz	29.5	22.0	26.1	14.9	15.0	17.6	36.2	31.2	25.8	17.5	32.4	14.6	13.6
Calcite	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Dolomite	0.4	0.4	0.1	0.3	0.2	2.8	7.8	8.8	0.1	0.1	0.2	1.5	0.0
Ca-dolomite	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	1.0	2.2	2.0	0.2	0.0	0.0	1.5	0.0
Orthoclase_313	8.7	6.5	6.6	6.6	6.8	6.7	7.2	7.5	6.3	6.4	8.5	6.6	5.0
Microcline	4.3	4.7	5.2	4.3	4.5	4.3	5.9	5.8	7.5	5.4	6.5	4.0	3.9

Muscovite-2M1-Fe	7.8	5.5	5.7	7.1	8.1	5.9	4.1	3.4	3.5	5.5	5.9	5.7	4.0
	SL-01	SL-02	SL-04	SL-05	SL-05	SL-06	SL-08	SL-09	SL-14	SL-26	SLM-01	SLM-06	SL-17
	0-3cm	0-3cm	3-6cm	0-3cm	3-6cm	3-6cm	0-5cm	3-6cm	0-3cm	3-6cm	0-3cm	0-3cm	3-6cm
Albite	4.5	5.9	7.7	7.5	7.4	6.3	4.6	4.0	9.8	8.1	7.4	6.4	5.7
Oligoclase	4.3	7.1	5.7	5.1	5.5	4.4	4.4	4.0	9.9	7.2	6.9	4.9	6.1
Mg-hornblende	1.4	1.8	1.7	1.6	1.7	1.6	1.2	1.3	2.5	2.0	1.4	1.5	1.3
Kaolinite	2.6	1.9	2.1	2.6	3.1	2.7	1.3	1.6	1.0	1.9	1.6	2.5	1.5
Chlorite	2.3	2.2	3.1	3.7	3.5	3.5	1.5	1.6	1.9	3.1	1.5	3.8	2.6
Anatase	0.26	0.31	0.14	0.29	0.26	0.31	0.05	0.17	0.12	0.16	0.31	0.22	0.13
Pyrite	0.3	0.2	0.8	1.0	1.1	0.7	0.4	0.6	0.2	1.2	0.8	0.9	0.1
Halite	1.7	3.0	1.7	2.6	2.1	2.6	1.2	1.3	1.9	2.6	1.1	3.4	4.3
Halite_korrig	1.3	2.4	1.1	1.9	1.4	1.7	1.1	0.9	1.6	1.6	0.8	2.4	3.4
Kutnohorite													5.3
savi, orgaanika, amorfne (arvutatud)	30.6	36.0	32.1	40.3	39.4	37.7	20.5	25.0	27.8	37.2	24.6	40.0	43.0
plagioklass (summa)	8.82	12.99	13.42	12.59	12.89	10.69	9.03	8.09	19.68	15.36	14.27	11.34	11.87
püriit (võreparam Å)			5.4207	5.4227	5.4227	5.4264		5.4185		5.4233	5.4211	5.4244	
püriidi S (%)	0.18	0.10	0.41	0.53	0.57	0.35	0.24	0.33	0.09	0.64	0.43	0.46	0.04
mittepüriitne S	0.22	0.83	0.15	0.27	0.16	0.54	0.17	0.22	0.41	0.23	0.13	0.40	1.39
püriidi S/kogu S	45.2	10.7	73.4	66.5	77.6	39.4	58.7	60.0	18.0	73.5	77.4	53.9	2.5
XRF													
kk 920°C (%)	9.74	13.42	9.84	13.09	11.48	13.40	11.47	12.80	9.75	12.19	7.45	14.74	20.98
kk 550°C (%)	8.5	11.8	7.9	11.1	9.8	11.1	8.1	9.8	6.3	9.4			17.1
SiO2 (%)	60.73	55.53	59.52	51.90	53.77	50.62	60.03	54.51	60.70	54.50	64.88	50.12	46.59
TiO2 (%)	0.755	0.667	0.713	0.769	0.799	0.774	0.542	0.596	0.633	0.736	0.700	0.743	0.509
Al2O3 (%)	13.72	13.34	14.17	15.53	15.76	14.80	10.36	11.73	13.11	14.53	13.14	14.89	11.46
Fe2O3 (%)	5.18	6.28	5.83	7.02	6.99	7.33	4.21	4.91	5.07	6.63	5.09	7.25	6.93
MnO (%)	0.064	0.202	0.054	0.073	0.079	0.090	0.071	0.084	0.062	0.113	0.058	0.075	2.928
MgO (%)	2.08	2.22	2.32	2.82	2.72	3.44	3.40	3.91	1.85	2.31	1.69	3.01	2.02
CaO (%)	1.14	1.27	1.08	1.29	1.09	2.54	4.60	5.37	1.56	1.49	1.25	1.63	1.92
Na2O (%)	1.73	2.59	1.86	2.42	2.19	2.19	1.33	1.35	2.70	2.46	1.70	2.69	3.08
K2O (%)	4.23	3.80	3.81	4.19	4.25	4.09	3.18	3.51	3.61	3.89	4.00	4.01	3.13
P2O5 (%)	0.25	0.25	0.20	0.23	0.22	0.21	0.17	0.18	0.21	0.25	0.25	0.22	0.33
Cl (%)	0.81	1.47	0.66	1.17	0.84	1.01	0.68	0.55	0.97	0.95	0.48	1.48	2.08
S (%)	0.40	0.93	0.55	0.80	0.73	0.89	0.40	0.55	0.50	0.88	0.56	0.86	1.43
Al2O3/SiO2	4.43	4.16	4.20	3.34	3.41	3.42	5.80	4.65	4.63	3.75	4.94	3.37	4.07
Na2O (silikaatne)	1.02	1.31	1.29	1.41	1.46	1.31	0.73	0.88	1.85	1.63	1.28	1.39	1.27

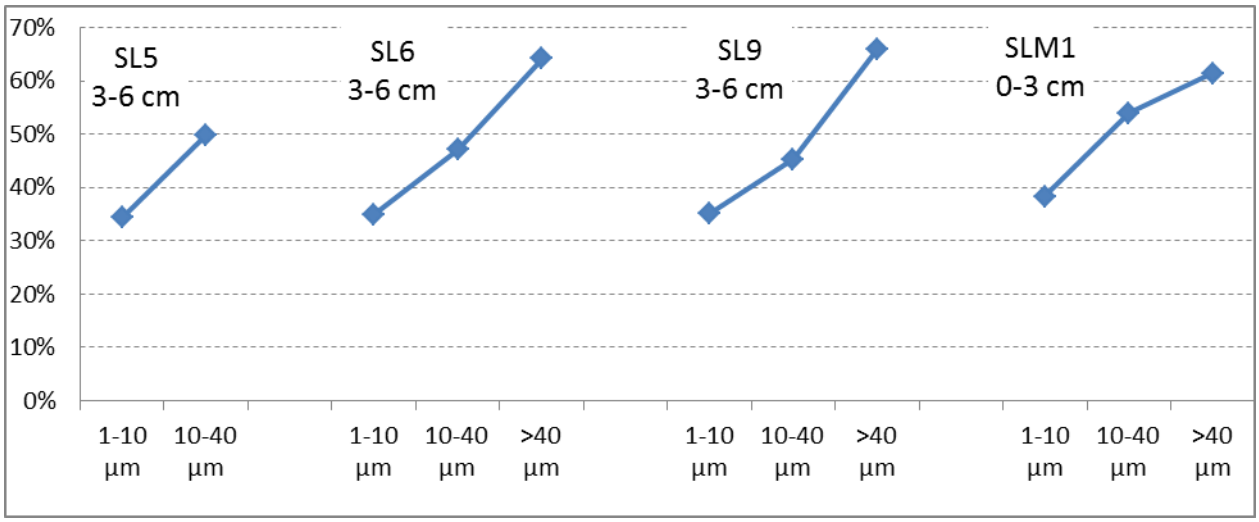
Tabel 4.4.1.2. Soome lahe settefraktsioonide XRD-analüüsi tulemused (4 proovi 2–3 fraktsiooni)

	14SL5(3-6cm)		**14SL6(3-6cm)**			**14SL9(3-6cm)**			**14SLM1(0-3cm)**		
	1-10 µm	**10-40 µm**	**1-10 µm**	**10-40 µm**	**>40 µm**	**1-10 µm**	**10-40 µm**	**>40 µm**	**1-10 µm**	**10-40 µm**	**>40 µm**
Quartz	34.4%	49.8%	34.9%	47.1%	64.2%	35.1%	45.3%	65.8%	38.3%	54.0%	61.5%
Calcite	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.2%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%
Dolomite	0.1%	0.1%	1.7%	7.9%	2.1%	5.8%	15.2%	3.8%	0.1%	0.3%	0.1%
Ca-dolomite	0.0%	0.0%	0.7%	3.4%	0.9%	1.3%	5.1%	1.2%	0.0%	0.0%	0.0%
Orthoclase	12.6%	13.5%	12.0%	12.0%	11.3%	13.0%	10.0%	9.2%	11.1%	11.4%	9.8%
Microcline	7.1%	8.2%	6.2%	7.6%	7.7%	6.0%	7.4%	8.3%	5.9%	9.2%	9.9%
Albite	12.4%	9.0%	11.0%	6.9%	5.1%	9.0%	4.9%	4.9%	9.4%	9.1%	8.4%
Oligoclase	10.2%	8.6%	8.5%	5.8%	4.9%	8.2%	6.3%	4.3%	7.3%	8.1%	7.4%
Pyrite	0.8%	3.4%	0.9%	0.8%	0.2%	0.5%	0.2%	0.0%	0.8%	0.4%	0.0%
Pyrite, a(Å)	5.4224	5.4232	5.4252	5.4241		5.4220			5.4206		
Muscovite	11.7%	3.3%	12.6%	4.2%	2.3%	10.3%	2.6%	1.0%	15.3%	3.7%	1.8%
Kaolinite	3.4%	0.4%	4.3%	0.6%	0.2%	3.6%	0.2%	0.2%	4.4%	0.6%	0.3%
Hornblende	2.6%	2.8%	2.4%	2.2%	0.9%	2.6%	1.9%	0.9%	2.0%	2.5%	0.8%
Chlorite	4.4%	0.7%	4.5%	1.1%	0.2%	4.0%	0.5%	0.2%	4.6%	0.6%	0.0%
Anatase	0.3%	0.1%	0.3%	0.2%	0.0%	0.6%	0.1%	0.0%	0.7%	0.2%	0.0%



Joonis 4.4.1.1. XRD-meetodil määratud kvartsisisalduse ja jäägi (savi + amorfne) seosed SiO_2/Al_2O_3 suhtega

Kvartsil on oluline roll setteproovide granulomeetrilise ja keemilise koostise seoste kujundamisel, ta on domineeriv mineraal jämedamates terafraktsioonides (Joonis 4.4.1.2). Kvartsi tõttu on jämedamateralised setted rannalähedastes jaamades suure SiO_2 sisaldusega.

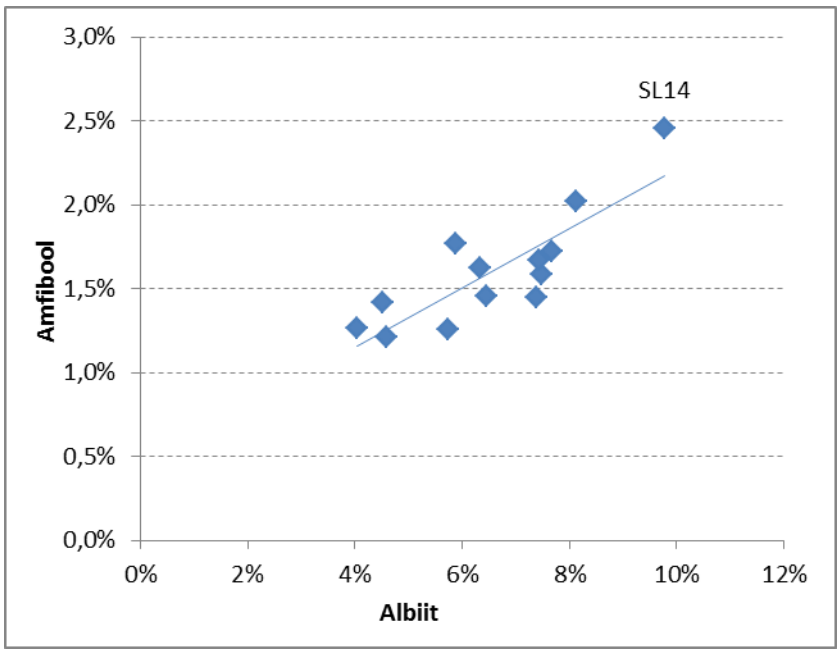


Joonis 4.4.1.2. Kvartsisisaldus 4 proovi erinevates fraktsioonides. SL5 (3-6 cm) proovis ei olnud fraktsiooni > 40 µm hulk analüüsimiseks piisav, separeerimiseks võetud 2 grammist saadi seda fraktsiooni 5,7 mg (0,3%)

Teiste silikaatmineraalide terasuuruste jaotused on erinevad, infot saame fraktsioonide analüüsitulemustest ja mineraalide sisalduste seostest SiO_2/Al_2O_3 suhtega (proovi savikuse või

aleuriitsuse mõõdik). Fraktsioonide analüüsid toovad trendid nähtavale selgemini, koguproovide analüüsitulemused kinnitavad neid trende, kuigi hajuvus on suurem. Kloriit ja kaoliniit on peeneteralised (praktiliselt puuduvad üle 0,01 mm fraktsioonides), samuti on põhiosa muskoviidist ja anataasist alla 0,01 mm fraktsioonis. Albiit, oligoklass, amfibool ja ortoklass jaotuvad erinevate fraktsioonide vahel enam-vähem ühtlaselt, mikrokliin näitab kerget kasvutrendi jämedamates fraktsioonides.

Need mineraalid on tulnud Soome lahe setetesse ilmelt erinevatest allikatest, kuid arvestades jaamade lähedust Eesti rannikule, võiks põhiosa settest, eriti suuremad terad, pärineda Eesti kivimitest, sealhulgas moreenilasundites asuvatest kristalse aluskorra kivimitest. Kristalse aluskorra kivimite indikaatormineraalideks on plagioklass ja amfibool, mis Eesti Paleosoikumi settekivimites puuduvad. Nende mineraalide kuulumist ühte gruppi kinnitab ka sisalduste korreleerumine (Joonis 4.4.1.3). Kristalse aluskorra kivimitest tuleb ilmselt ka põhiosa mikrokliinist (maksimaalne sisaldus jaamas SL14).



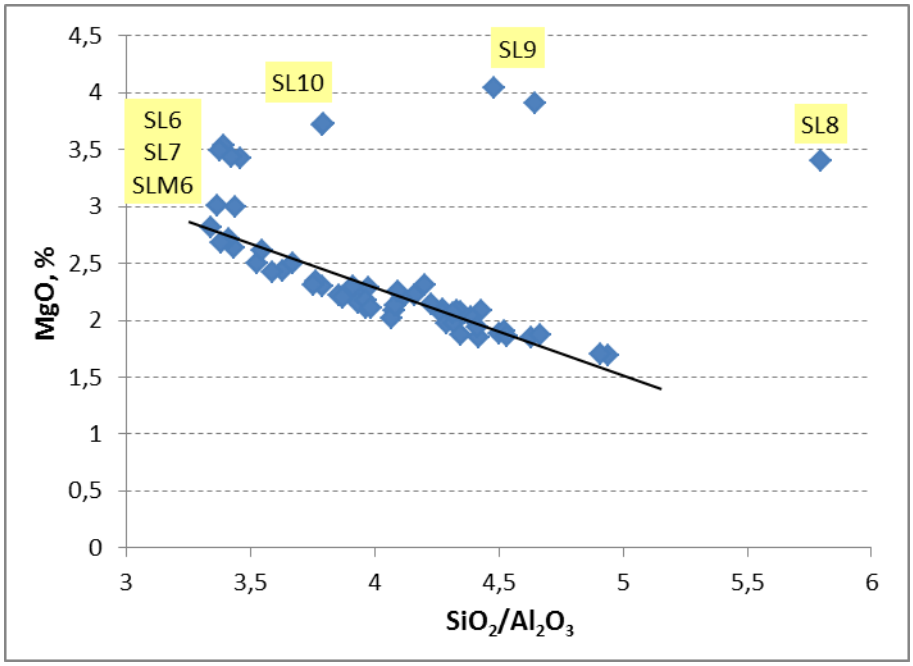
Joonis 4.4.1.3. Kristalse aluskorra indikaatormineraalide albiidi ja amfibooli sisaldused korreleeruvad. Kõige suuremad on sisaldused jaamas SL14.

Elementanalüüsi andmestikust saab mõõdikuna kasutada silikaatse Na_2O sisaldust, mis tuleb peamiselt plagioklassist. Selle saame, kui Na_2O analüüsitulemusest lahutame haliidi osa (Tabel 4.4.1.1, silikaatne Na_2O), täpsema tulemuse annaks muidugi pestud proovide analüüs, sest sageli on haliidiga seotud suurem osa naatriumist. Silikaatse Na_2O suurimad väärtused jaamas SL14 on kooskõlas XRD-meetodiga mõõdetud maksimaalse plagioklassiga. Kasutades silikaatse Na_2O mõõdikut, saame eristada piirkonna, kus kristalse aluskorra kivimite panus Soome lahe setetesse on suurim (SL14, SL20, SL26, SLE4, SLE5, SLE6, SLM2).

Eesti karbonaatkivimitest ja graptoliitargilliidist tuleb Soome lahe setetesse kvartsi, ortoklassi (siin monokliinse K-päevakivi üldnimetus), muskoviiti, kloriiti ja illiitset savi. Kaoliniiti karbonaatkivimites ja graptoliitargilliidis ei ole, ta võib tulla sinisavist, nagu näitab käesolevas töös tehtud ES1 tugiproovi analüüs (1,6%) või Vendi savidest. Kaoliniidi praegusaegse tekke kohta pole andmeid, võib olla, et teda tekib vähesel määral ka porsumisprotsessides meie kliimas. Ortoklassi ja muskoviidi osas panustavad Eesti Paleosoikumi settekivimid Soome lahe setetesse kindlasti olulisel määral, arvatavasti rohkem peenemates (< 0,01 mm) fraktsioonides, jämedamad terad (> 0,05 mm) võib-olla tulevad pigem kristalse aluskorra kivimitest. Biotiiti XRD-analüüs ei näidanud, ilmselt sisaldused ei ületa määramispiiri.

4.4.2. Karbonaatmineraalid

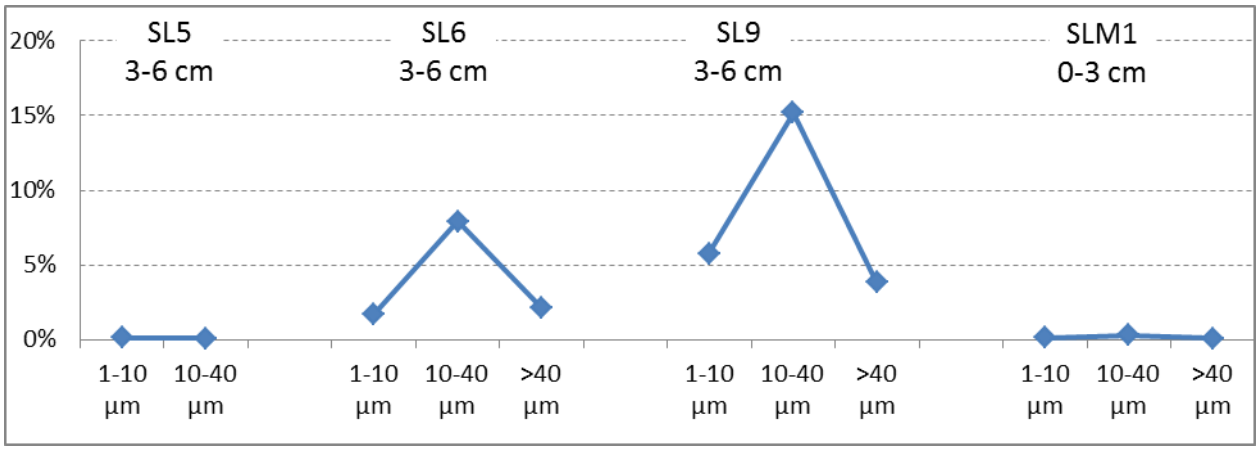
Uuritud Soome lahe setted on enamuses karbonaatmineraalideta. Kaltsiit puudub praktiliselt täielikult, dolomiidilisand registreeriti mõnes jaamas. XRD-analüüsidega tuvastati dolomiidilisand neljas proovis, kuid ka XRF andmestik võimaldab dolomiidilisandiga proove eristada Mg-sisalduse alusel (Joonis 4.4.2.1).



Joonis 4.4.2.1. Dolomiidilisandiga proovid eristuvad Mg baastrendist, mis tuleneb proovide erinevast savisisaldusest. Kõigis proovides on oluline osa magneesiumist seotud savimineraalidega.

Dolomiidilisand tuleb välja uuringuala läänepoolsemates jaamades, erandiks on rannast kõige kaugem SL5. Dolomiit on ilmselt pärit lähima murrutusala karbonaatkivimitest. Paistab, et karbonaatkivimitest merre sattunud peen kaltsiit on lahustunud, aga dolomiit on (osaliselt) säilinud.

Dolomiiditeradel on Soome lahe setetes spetsiifiline granulomeetriline jaotus maksimumiga fraktsioonis 0,01–0,04 mm (Joonis 4.4.2.2), võib-olla peeneteraline osa on lahustunud, võib-olla on juba algkivimis selline jaotus.



Joonis 4.4.2.2. Dolomiidisisaldus 4 proovi erinevates fraktsioonides

Dolomiidilisandiga kaasneb ka setteproovi suurem Ca-sisaldus (Tabel 4.4.1.1). Dolomiidita setteproovides on CaO sisaldus 1–2%, millest väiksem osa on seotud plagioklassi ja amfibooliga, ülejääv ~1% võiks seostuda savikomponendi ja pooriveega.

Lisaks tekib uuringuala setetes karbonaatmineraale, proovis SL17 (3–6 cm) tuvastati Mn-karbonaat. Koguproovi XRD-analüüs näitas karbonaatmineraali, mille võreparameetrid (a = 4,82 Å ja c = 15,98 Å) on lähedased dolomiidi omadele, kuid proovi madal Mg-sisaldus ja suur Mn-sisaldus (2,9% MnO) viitavad Mn-karbonaadile. Arvestades võreparameetrite väärtusi ja proovi keemilist koostist, saame esialgse hinnangu mineraali koostisele: $Mn_{0.77}Ca_{0.23}CO_2$. Raualisand kristallvõres on tõenäoliselt ka olemas. Täpsema tulemuse annaks separeeritud mineraali analüüs.

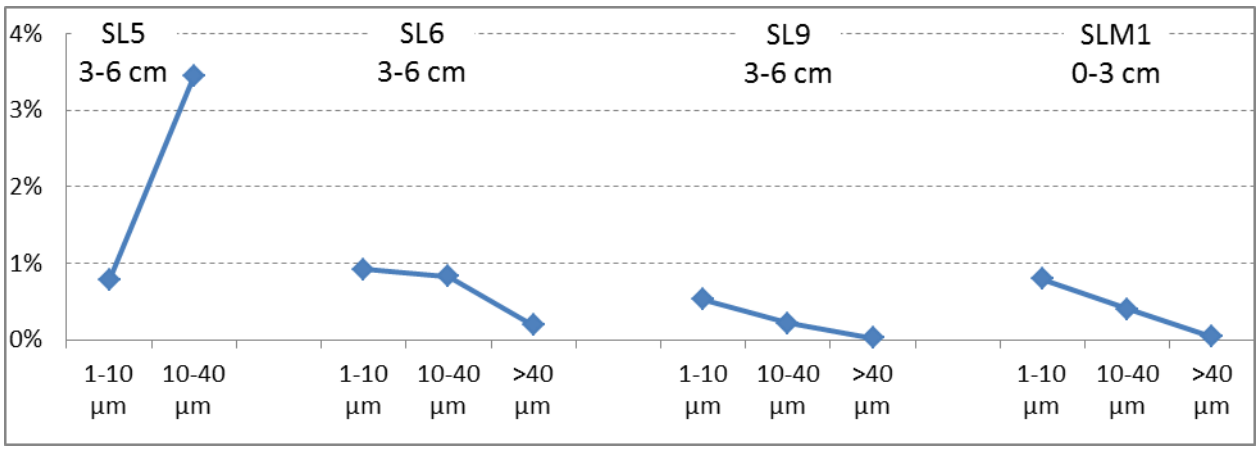
Mangaani kontsentreerumine setteproovides ei ole uuringualas laialdane, 19-s jaamas 30-st jäävad MnO sisaldused alla 0,1%, nelja jaama setteproovides registreeriti MnO sisaldusi üle 0,5% (SL16, SL17, SLE5, SLM2). Mangaani geokeemiast annvad hea ülevaate Calvert ja Pedersen (1996).

4.4.3. Püriit

Püriidi avastamispiir XRD-meetodiga on umbes 0,5%, sellest suuremate sisalduste korral (7-s jaamas 12-st) saab mõõta ka püriidi kristallvõre parameetrit. Praktiliselt kõik mõõtmistulemused tulid üle 5,42 Å, mis osutab püriidi autigeensusele Soome lahe setetes, sest Eesti Paleosoikumi

settekivimite püriidi võreparameeter on reeglina väiksem, alla 5,42 Å (normaalsel püriidil 5,417–5,418 Å). Võreparameetri suurenemise kristallokeemilised põhjused pole teada, see väärib uurimist. Ka Eesti järvesetete püriidi võreparameeter on sageli (või enamasti) suurenenud. Püriidi võreparameeter on arvatavasti settekujunemise geokeemilise situatsiooni mingi aspekti indikaator, variatsioonid erinevate jaamade vahel ületavad mõõtmisviga ja tulevad esile, kui võrdleme mõõtmistulemusi koguproovis ja fraktsioonides (SL5: 5,4227-5,4224-5,4232; SL6: 5,426-5,425-5,424; SLM1: 5,4211-5,4206).

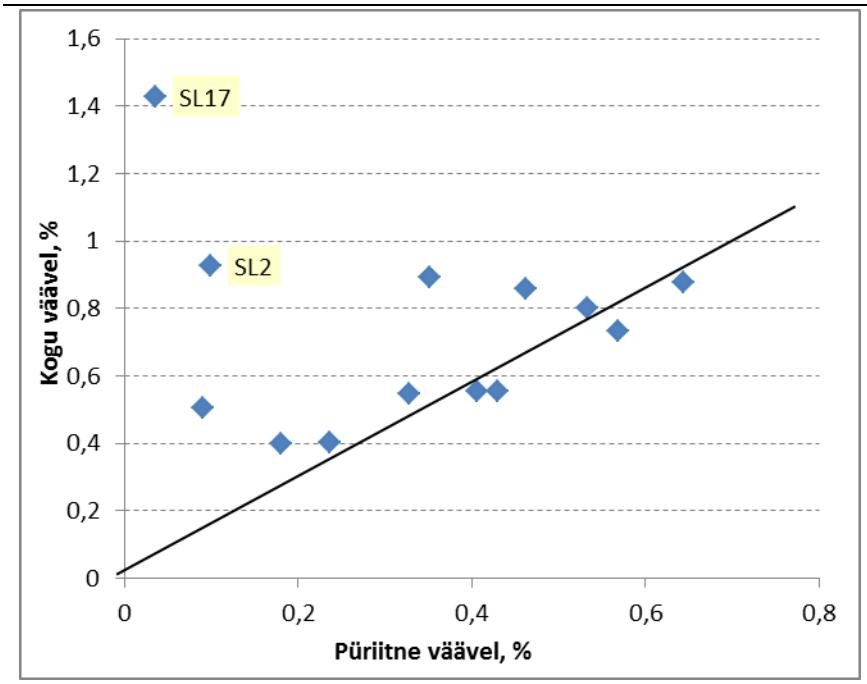
Nelja proovi fraktsioonide analüüs näitab, et nendes proovides on püriit peeneteraline, praktiliselt puuduvad terad/mikrokonkretsioonid, diameetriga üle 0,04 mm (Joonis 4.4.3.1). Selline situatsioon raskendab oluliselt püriidi separeerimist/rikastamist, mis oleks vajalik selle detailsemaks uurimiseks.



Joonis 4.4.3.1. Püriidi sisaldus 4 proovi erinevates fraktsioonides

Püriitse väävli ja kogu väävli võrdlemist komplitseerib väikeste püriidisisalduste mõõtmisviga, kuid mõningad seaduspärasused siiski ilmnevad (Joonis 4.4.3.2). Umbes 70% väävlist paistab olevat seotud püriidiga enamuses analüüsitud proovides (punktid graafikul 70% joone lähedal), selgelt eristuvad ka erandid. Kõige kaugemal põhitrendist on mangaanirikka SL17 punkt, selles proovis on kogu uuringuala lõikes maksimaalne väävlisisaldus (1,43%), kuid püriit praktiliselt puudub. Kui vaatleme mangaani ja väävli seoseid uuringuala 59 proovis, siis selget korrelatsiooni ei ole, aga (1) mitte mingit mangaani kontsentreerumist (MnO < 0,1%) ei ole toimunud nendesse proovidesse, mille väävlisisaldus jääb alla 0,7% ja (2) üle 1% väävlisisaldusega proovides on MnO protsent nimetatud baasnivoost suurem (7-s proovis 8-st).

Küsimused, millega on seotud mittepüriitne väävel (korreleerub klooriga), kas orgaanilise ainega ja kas geokeemiline situatsioon, mis põhjustab Mn sadenemist, on püriidi tekkeks ebasoodne, vajavad veel edasist uurimist.



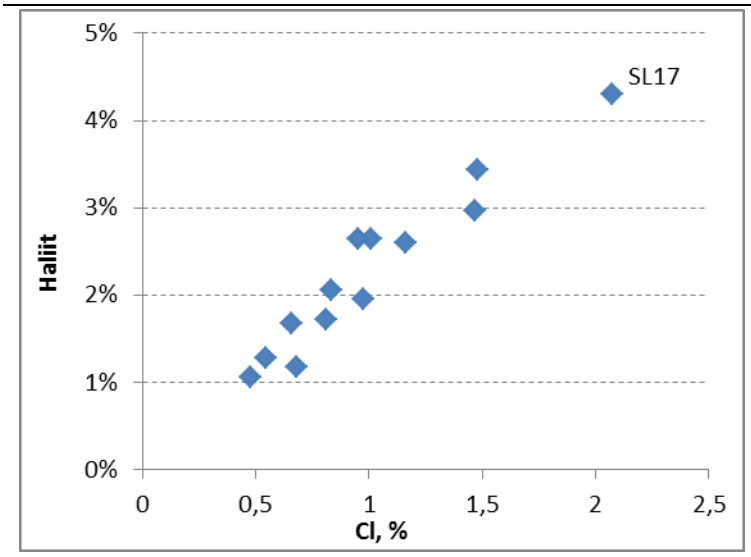
Joonis 4.4.3.2. Püriitse väävli osakaal kogu väävlist on enamuses analüüsitud proovides umbes 70% (joon graafikul)

4.4.4. Haliit

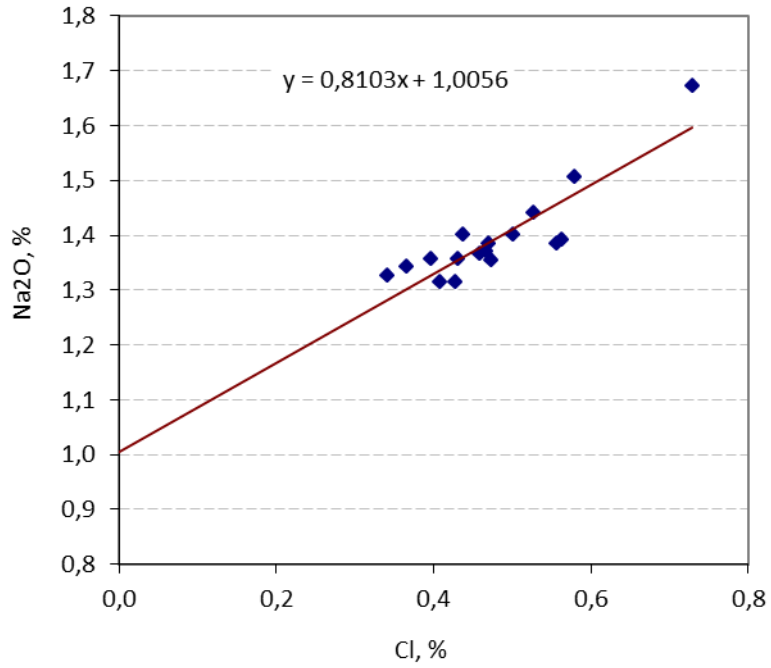
Haliit Soome lahe setteproovides on nn laborimineraal, mis kristalliseerub proovi kuivatamisel ja mille sisaldus kuivatatud proovis näitab tegelikult märgade proovide poorivees lahustunud NaCl hulka. XRF-meetodiga määratud kloorisisaldus ja XRD-meetodiga määratud haliidisisaldus korreleeruvad hästi (Joonis 4.4.4.1), aga et XRD tulemus on ~20% ülehinnatud, siis arvutame NaCl sisaldused Cl analüüsist.

Kloori-naatriumi graafik (Joonis 4.4.4.2) näitab, et naatrium on lisaks haliidile seotud silikaatmineraalidega (peamiselt plagioklass), valitud on ühe jaama andmestik (SLM7 profiil), et silikaatse naatriumi variatsioonid oleksid väiksemad.

Eeldatavasti on NaCl kontsentratsioon sette poorivees sama, mis vees sette kohal, aga käesolevas töös neid näitajaid ei analüüsitud. Edaspidi tasuks määrata proovide veesisaldus, siis saaks Cl analüüsitulemusest arvutada NaCl kontsentratsiooni poorivees. Kloori analüüsi tulemused uuringuala setete pinnakihi kuivatatud proovides varieeruvad vahemikus 0,5–3%, kusjuures enamasti on sisaldus suurem ülemises proovis (0–3 cm, sette pinnakiht) võrreldes alumise prooviga (3–6 cm). Mõlemad proovid tsentrifuugiti enne kuivatamist, seega ei saa eeldada suuri erinevusi veesisalduses.



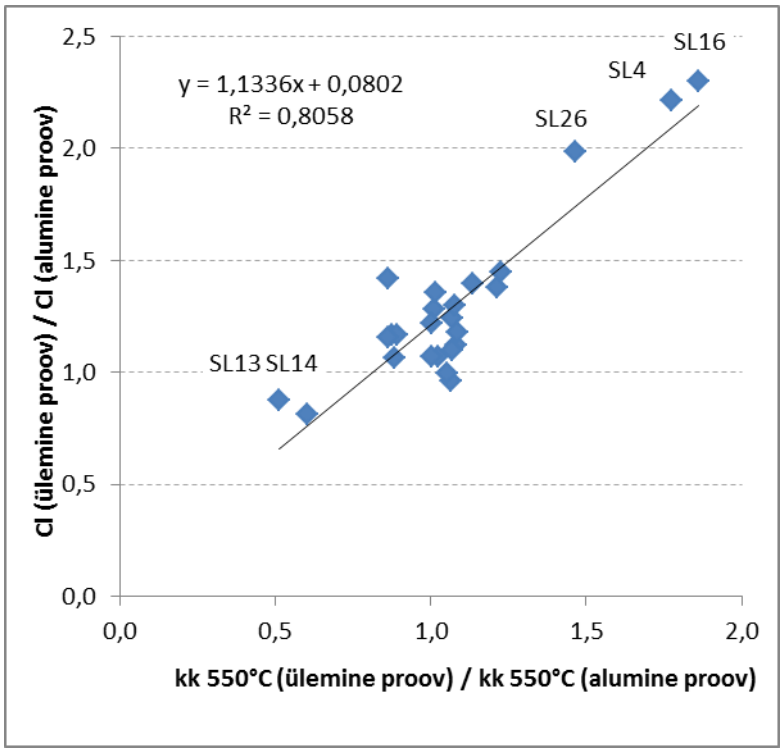
Joonis 4.4.4.1. XRF-meetodiga määratud kloorisisaldus ja XRD-meetodiga määratud haliidisisaldus korreleeruvad hästi (haliit ülehinnatud)



Joonis 4.4.4.2. Kloori ja naatriumi seos jaama SLM7 profiili proovides (0–34 cm). Trendijoone lõikepunkt Na_2O teljega annab silikaatidega seotud Na_2O sisalduse (1,0%), trendijoone tõus on lähedane NaCl arvutuslikule väärtusele (0,87)

Elementanalüüsi tulemused näitavad, et kloorisisaldus praktiliselt ei seostu savikusega (SiO_2/Al_2O_3 suhtega), seos ilmneb aga 550 °C kuumutuskaoga, mis põhiosas vastab orgaanilise aine sisaldusele. Eriti selgelt joonistub kloori ja kuumutuskao seos välja Joonis 4.4.4.3-l, kus on

vastamisi seatud iga jaama ülemise (0–3 cm) ja alumise (3–6 cm) proovi kuumutuskadude ja kloorisisalduste suhted.



Joonis 4.4.4.3. 550 °C kuumutuskadu ja kloorisisaldus. Iga jaama ülemise (0–3 cm) ja alumise (3–6 cm) proovi väärtuste suhe

Tähelepanu tuleks pöörata jaamadele SL26, SL4 ja SL16, kus sette orgaanikasisaldus on pinnakihis (viimasel ajal) kasvanud alumise prooviga võrreldes kaks ja enam korda, kloorisisaldus on siin kaasnev nähtus. Orgaaniline aine seob vett (mere puhul soolast vett) paremini kui mineraalne aine.

4.4.5. Savi

Üks kõige olulisemaid settekomponente on käesolevas töös detailsemast analüüsimisest kõrvale jäänud. Selleks on sette kõige peenem osa, mis koosneb peamiselt savimineraalidest. Nelja proovi fraktsioonide separeerimine andis savifraktsiooni (~< 1 µm) osakaalud vahemikus 34–58%, koguproovi XRD-analüüsist arvutatud jääk (100% miinus määratud mineraalid) tuli samadel proovidel väiksem (peabki tulema, sest osa savifraktsiooni mineraale on arvestatud, kuid XRD tulemus on ka üsnagi ligikaudne). Ka setete granulomeetriline analüüs kinnitab savifraktsiooni olulist osakaalu setteproovides.

Edaspidi oleks vajalik separeerida ja eraldi analüüsida setteproovide peent (< 1 µm) fraktsiooni. Käeoleva andmestiku baasil on arvutatud esmane ligikaudne hinnang sette savikomponendi koostisele (Tabel 4.4.5.1). Üldjoontes on see illiidi koostis.
Lahendamist vajavad veel küsimused, kas osa rauda on amorfsena (illiidi jaoks on 15–20% liiga palju) ja kas Ca ja P on seotud peene fraktsiooni mineraalidega või on nad osaliselt lahuses.

Tabel 4.4.5.1. Ligikaudne hinnang Soome lahe setteproovide savikomponendi koostisele

SiO_2 (%)	~50
TiO_2 (%)	1…2
Al_2O_3 (%)	~20
Fe_2O_3 (%)	15…20
MnO (%)	0,2…0,3
MgO (%)	5…6
CaO (%)	~2
Na_2O (%)	0
K_2O (%)	~5
P_2O_5 (%)	~1

4.5. Hinnang põhjasetete keskkonnaseisundile

Projekti otseseks eesmärgiks oli hinnangu andmine merevee ökosüsteemipõhise korraldamise kohta Soome lahe merepõhja kasutamise ja põhjasetete moodustumise näitel. Põhjasetted on mereökosüsteemi üks oluline osa, mille füüsikalised ja keemilised omadused määravad ökosüsteemide struktuuri ja funktsioneerimise. Ökosüsteemipõhine korraldamine peab vastama Euroopa Parlamendi ja Nõukogu merestrateegia raamdirektiivis (MSRD) kirjeldatud põhimõtetele. MSRD-ga kehtestatakse Euroopa Liidu merekeskkonnapoliitika-alane tegevusraamistik ning selle piires peavad liikmesriigid kasutusele võtma vajalikud meetmed, et saavutada või säilitada mereakvatooriumis hea keskkonnaseisund hiljemalt aastaks 2020. Selle käigus tuleb igal riigil välja töötada ja rakendada oma merealas merestrateegia, et edendada merede säästvat kasutamist ja säilitada mereökosüsteeme. MSRD eesmärkidest lähtudes on vaja täiendada riiklikku mereseire programmi, et jälgida Eesti mereala keskkonnaseisundit. Seisundist lähtudes on vaja välja töötada meetmed, mis aitavad saavutada mereala head keskkonnaseisundit.
Kuidas me aga oskame öelda, milline on hea keskkonnaseisund? Käesolevast projektist saadav andmestik merepõhja setete kohta peaks olema aluseks Soome lahe hea keskkonnaseisundi saavutamise sihtide seadmiseks.
Põhjasetete keskkonnaseisund sõltub toksiliste raskmetallide (Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn jt), As ja U ning eutrofeerumist soosivate elementide (P, Mo, Se, Cu, Zn) sisaldusest, leviku

seaduspärasustest, kontsentratsiooni võimalustest ja hajuvuse tingimustest. Toksilised raskmetallid, As ja U võivad kontsentreeruda mereloomadesse ja taimestikku ning nende kaudu mõjutada negatiivselt inimeste tervist.
Eutrofeerumist soosivad elemendid kontsentreeruvad elusorganismides ja -taimedes (Voitkevitš jt, 1990). Intensiivne taimede kasv ja areng koos taimestiku „surnud“ jäänustega põhjustavad veekogude roiskumist. Neid elemente vaadeldakse maismaal sageli kui taimede toiteelemente.
Eutrofeerumist soosivate elementide (P, Mo, Se, Mn) ja U käitumine põhjasetetes on keerukas. Probleeme käsitlev faktiline info on liiga tagasihoidlik või isegi puudub. Nende elementide sisalduse kõrgendatud tase põhjasetetes on lahe elusorganismide elukeskkonna ja tervikliku ökosüsteemi arengut negatiivses suunas mõjutavaks oluliseks põhjuseks.
Põhjasetete keskkonnaseisundi esialgseks hindamiseks vajalike setteproovide, proovipunktide asukoha valiku, proovide võtmise, töötluse ja analüüsi metoodika on toodud peatükis 2.

4.5.1. Merekeskkonna seisundi hindamise metoodika

Info, mis käsitleb toksiliste raskmetallide (Cd, Hg, Cr, Cu, Pb, Zn, Ni) ja As-sisaldust lahe põhjasetetes, on küllalt mitmekesine. Sellist infot on kasutanud Soome teadlased, kes on Eestiga põhjast piirneva lahe majandusvööndi keskkonnaseisundit iseloomustava andmestiku interpreteerimisel tuginenud, lisaks oma arusaamadele, ka Kanadas ning Norras teaduslikult väljatöötatud piirsisaldustele.
Soome lahe keskkonnaseisundi halvenemise olulisimaks nähtavaks ilminguks on progresseeruv eutrofeerumine, mille põhjuste ja intensiivsuse ning hindamise metoodika kohta on andmed väga tagasihoidlikud või puuduvad.
Eestile kuuluv Soome lahe majandusvööndi osa moodustab vaevalt 1/3 lahe pindalast ja see ala paikneb keskkonnaseisundist lähtudes väga komplitseeritud geoloogilise ehitusega vööndi piirides. Kogu Soome lahe kohta tuleks koostada ühised põhjasetete keskkonnaseisundi hindamise kriteeriumid. Veel parem, kui need oleks ühised kogu Läänemere piirkonnale ja nende väljatöötamise eest vatutavaks organisatsiooniks oleks HELCOM.
Viimasel paaril aastal on soomlased kasutanud oma majandusvööndi põhjasetete keskkonnaseisundi hinnangutes Kanada setete kvaliteediklasse (Vallius, 2015). Ka Eesti majandusvööndi põhjasetete keskkonnaseisundi hindamine ja rajoneerimine raskmetallide ning As-sisalduse alusel tugineb Kanada, Norra ja Soome kogemustele ning piirsisaldustele. Lähtutud on ka Eestis maismaale kehtestatud nõuetest (KKM määrus nr 38, 11. august 2010).
Analoogselt maismaale eristatakse meresetete seisundi hindamisel ohtlike elementide (ainete) sisalduse järgi **hea, rahuldava** ja **halva** keskkonnaseisundiga alad.

4.5.1.1. Hindamiskriteeriumid

Eesti-sisesed ametlikud kriteeriumid põhjasetete keskkonnaseisundi hindamiseks puuduvad.

Käesoleva projekti käigus on väljapakutud esialgsed soovituslikud hindamiskriteeriumid.
Keskkonnaseisundi hinnang antakse lähtudes Norra, Kanada ja HELCOM-i põhjasetete seisundi hindamise kriteeriumidest, Eesti piirnormidest ohtlike ainete sisaldusele maismaa pinnases ning maakoore keskmise geokeemilise koostise andmetest.
Kanada Keskkonnaministrite Nõukogu poolt väljatöötatud kriteeriumide TEL ja PEL ning artiklis Long *et al,* 1995 esitatud kriteeriumide ERL ja ERM definitsioonid on üldjoontes järgmised:
TEL[2] ja ERL (*threshold effect level* ja *effects range-low*) on kontsentratsioonid, alla mille esineb harva tõsist bioloogilist mõju. PEL ja ERM (*probable effect level* ja *effects range-medium*) on kontsentratsioonid, üle mille esinevad sageli tõsised mõjud. Alumise (TEL või ERL) ja ülemise (PEL või ERM) taseme vahele jäävad kontsentratsioonid, mille juures kahjulik mõju esineb juhuslikult.
Eesti maismaa piirnormides kasutatakse mõisteid sihtarv ja piirarv. Sihtarv näitab aine sellist sisaldust pinnases, millega võrdse või väiksema väärtuse korral loetakse pinnase seisund heaks. Piirarv näitab aine sellist sisaldust pinnases, millest suurema väärtuse korral loetakse pinnas reostunuks.
Hinnangu andmiseks on nimetatud kriteeriumidest osa otse üle võetud ja osa eksperthinnangule tuginedes tuletatud. Kriteeriumidele tuginedes jaotatakse setete seisund kolme klassi: hea, rahuldav ja halb.
Sarnaselt maismaale, kus **hea**, **rahuldava** ja **halva** keskkonnaseisundi määramiseks kasutatakse siht- ja piirarvu, kasutatakse SedGoF-is ohtlike elementide (ainete) sisalduse saastetasemete hindamiseks „hea kuni“ ja „rahuldav kuni“ piire. Esimene eristab alad, mille piires sellega võrdsete ja madalamate ohtlike elementide sisalduse korral on põhjasetted elukeskkonnana ohutud (head). Teine („rahuldav kuni“) seevastu eristab alad, millest kõrgemate ohtlike elementide sisalduse korral on põhjasetted elukeskkonnana saastunud (halvad). Saastunud piirkondadest võivad ohtlikud elemendid jõuda taimestiku ja mereelustiku kaudu inimeste toidulauale. Elukeskkonnana ohutute (heade) ja ohtlike (halbade) piirkondade vahelisi alasid vaadeldakse üleminekulistena ja elukeskkonnana üldjuhul rahuldavatena. Soome lahe lõunapoolse ala rajoneerimise projektsed piirid keskkonnaseisundi järgi on toodud tabelites (Tabel 4.5.1, Tabel 4.5.3 ja Tabel 4.5.4.).

4.5.1.2. Hindamine paleomeetodil

Eestil puuduvad kriteeriumid Soome lahe keskkonnaseisundi hindamiseks. Merepõhja seisundi hindamise osas on meil välja töötatud terve rida bioloogilisi indikaatoreid, kuid põhjasetete koostist (sh raskmetallid, toiteelemendid) iseloomustavaid indikaatoreid pole seni välja pakutud. Samuti pole välja töötatud setete koostise kvaliteediklasse, et hinnata selle põhjal merepõhja kui sealse ökosüsteemi ühe osa ja merepõhja elustiku substraadi keskkonnaseisundit.

[2] Sama, mis *ISQG* ehk *Interim Sediment Quality Guideline*

Kui vaadata, mida on teinud meie lähimad naabrid, siis Rootsi Keskkonnaamet on kehtestanud setete kvaliteediklassid ja neile piirnormid (WGMS 2003). Rootsi kvaliteediklassid baseeruvad tööstuseelse ehk loodusliku ehk ka nn foonitaseme kindlaksmääramisel setetes ja selleks analüüsiti paljudest setteläbilõigetest 55 cm sügavusel asuv kiht, mida peeti tööstuseelsel ajal akumuleerunuks (Vallius, Leivuori, 2003). Kvaliteediklasse on nende jaotuses 5 ja need markeerivad: 1) puuduvat, 2) nõrka, 3) olulist, 4) tugevat, ja 5) väga tugevat reostust (Tabel 4.5.1.1).

Tabel 4.5.1.1. Rootsi Keskkonnaameti kehtestatud setete kvaliteediklassid ja nende piirnormid (WGMS 2003)

Table 3. Ranges used for classification of sediment heavy metal contamination according to the Swedish Environmental Protection Agency (mg kg^{-1} dry weight, total analysis, WGMS 2003).

Metal	Class 1	Class 2	Class 3	Class 4	Class 5
(mg kg^{-1})	Little or none	Slight	Significant	Large	Very large
Pb	< 31	31–47	47–68	68–102	> 102
Hg	< 0.04	0.04–0.10	0.10–0.27	0.27–0.72	> 0.72
Cu	< 15	15–30	30–60	60–120	> 120
Cd	< 0.2	0.2–0.5	0.5–1.2	1.2–3	> 3
Zn	< 85	85–125	125–196	196–298	> 298

Soome on aastaid kasutanud Rootsi Keskkonnaameti setete kvaliteediklasse (Vallius, Leivuori 2003; Vallius, 2007; Helsinki Commission, 2010). Viimasel paaril aastal on soomlased hakanud kasutama Ameerika Ühendriikide (Long *et al*, 1995) ja Kanada (Canadian Council of Ministers of the Environment, 2002) settekvaliteedi juhendite piirnorme (Vallius, 2015a ja 2015b). Mõlemal puhul on kvaliteediklasse vaid 2 ja need põhinevad setete toksilisuse katsetel. Ameerika Ühendriikide settekvaliteedi juhend (Long *et al*, 1995) kasutab settekvaliteediklasside tähistusena lühendeid ERL (*effects range-low*) ja ERM (*effects range-medium*). Tabel 4.5.1.2 on toodud mitmete raskmetallide ja arseeni kohta kvaliteediklasside piirnormid ja toksilise mõju protsentuaalne esinemissagedus nende piirnormide ületamisel. Tabel 4.5.1.2-st on näha, et ERL-st madalamatel tasemetel esineb toksilisust alla 10%-l juhtumitest, ERL ja ERM vahemikus keskmiselt 20–30%-l juhtumitest ja üle ERM taseme > 60 ja isegi > 90%-l juhtumitest. Kanada settekvaliteedi juhendi (Canadian Council of Ministers of the Environment, 2002) piirnorme tähistatakse lühenditega ISQG ehk ka TEL (*threshold effect level*) ja PEL (*probable effect level*). TEL on selline kontsentratsioon, alla mille esineb harva tõsist bioloogilist mõju (alla 10% juhtudest, Tabel 4.5.1.3), PEL on kontsentratsioon, üle mille esinevad sageli tõsised mõjud, enamuse liikide jaoks avaldub toksilisus enam kui 50% juhtudest, vahemikus TEL kuni PEL on toksilisuse tõenäosus 10 kuni 50%. Seega on nii Ameerika Ühendriikide kui ka Kanada settekvaliteedi juhendite piirsisaldused küllaltki kõrge toksilisuse efektiga. Arvestama peab, et nii Ameerika Ühendriikide kui ka Kanada piirnormid on kehtestatud sealse merekeskkonna

tingimustele, mis erineb oluliselt Läänemere keskkonnast. Näiteks on Läänemeres väga madal vee soolsus (mere keskosas 6–7‰, Soome lahe soppides vaid 1–2‰). Sama kehtib Norra settekvaliteedi klasside kohta (Bakke *et al*, 2010). Tuleb arvestada, et eri piirkondades, kus looduslik setete koostise kujunemine on erinev ja ka inimmõju on erinev, võivad setete kvaliteediklassid olla väga erinevad.

Tabel 4.5.1.2. Ameerika Ühendriikide setete kvaliteedijuhendi (Long *et al*, 1995) piirnormid ja toksilisuse esinemissagedus

Table 3. ERL and ERM guideline values for trace metals (ppm, dry wt.) and percent incidence of biological effects in concentration ranges defined by the two values.

	Guidelines		Percent (ratios) incidence of effects*		
Chemical	ERL	ERM	≤ERL	ERL - ERM	≥ERM
Arsenic	8.2	70	5.0 (2/40)	11.1 (8/73)	63.0 (17/27)
Cadmium	1.2	9.6	6.6 (7/106)	36.6 (32/87)	65.7 (44/67)
Chromium	81	370	2.9 (3/102)	21.1 (15/71)	95.0 (19/20)
Copper	34	270	9.4 (6/64)	29.1 (32/110)	83.7 (36/43)
Lead	46.7	218	8.0 (7/87)	35.8 (29/81)	90.2 (37/41)
Mercury	0.15	0.71	8.3 (4/48)	23.5 (16/68)	42.3 (22/52)
Nickel	20.9	51.6	1.9 (1/54)	16.7 (8/48)	16.9 (10/59)
Silver	1.0	3.7	2.6 (1/39)	32.3 (11/34)	92.8 (13/14)
Zinc	150	410	6.1 (6/99)	47.0 (31/66)	69.8 (37/53)

*Number of data entries within each concentration range in which biological effects were observed divided by the total number of entries within each range.

Tabel 4.5.1.3. Kanada setete kvaliteedijuhendi (Canadian Council of Ministers of the Environment, 2002) piirnormid ja toksilisuse esinemissagedus mõne raskmetalli kohta. (Kogu tabeli leiab juhendist.)

Table 2. Interim marine sediment quality guidelines (ISQGs; dry weight), probable effect levels (PELs; dry weight), and incidence (%) of adverse biological effects in concentration ranges defined by these values.*

Substance	ISQG	PEL	% = ISQG	ISQG < % < PEL	% = PEL
Cadmium	0.7 $mg \cdot kg^{-1}$	4.2 $mg \cdot kg^{-1}$	6	20	71
Chlordane	2.26 $\mu g \cdot kg^{-1}$	4.79 $\mu g \cdot kg^{-1}$	9	12	17
Chromium	52.3 $mg \cdot kg^{-1}$	160 $mg \cdot kg^{-1}$	4	15	53
Chrysene [See Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)]					
Copper	18.7 $mg \cdot kg^{-1}$	108 $mg \cdot kg^{-1}$	9	22	56

Läänemere kohta on HELCOM kehtestanud vaid kaadmiumi, elavhõbeda ja plii jaoks sette kvaliteedi piirnormid (Nyberg *et al*, 2013). Elementidele Cd, Pb ja Hg on sellepärast rohkem tähelepanu pööratud, et need raskmetallid on väga toksilised ja neil ei ole teadaolevat kindlat bioloogilist funktsiooni organismides. HELCOM-il on kaks kvaliteediklassi (Tabel 4.5.1.4), mida tähistatakse vastavalt GES (*good environmental status*) ja ERL (*effects range-low*). GES all mõistetakse piiri „hea“ ja „mõõduka“ taseme vahel ja see on võrdsustatud nn foonitasemega (BAC – *background assessment concentration*, Tabel 4.5.1.4); ERL on Ameerika Ühendriikide setete kvaliteedijuhendi alumine piirnorm, mis HELCOM-i jaoks tähistab „halva“ taseme piirväärtust (Nyberg *et al*, 2013). Teiste raskmetallide kohta pole HELCOM piirväärtusi kehtestanud. Oluline on leida toksilistele elementidele ja ühenditele nn foonitasemed ehk looduslikud tasemed, mis on “hea” ning “halva” seisundi piiriks. Ameerika Ühendriikide setete kvaliteedijuhendi alumine piirnorm ERL tähistab piiri millest kõrgematel kontsentratsioonidel esineb organismidele toksiline mõju keskmiselt > 20%-il juhtumitest (Tabel 4.5.1.2).

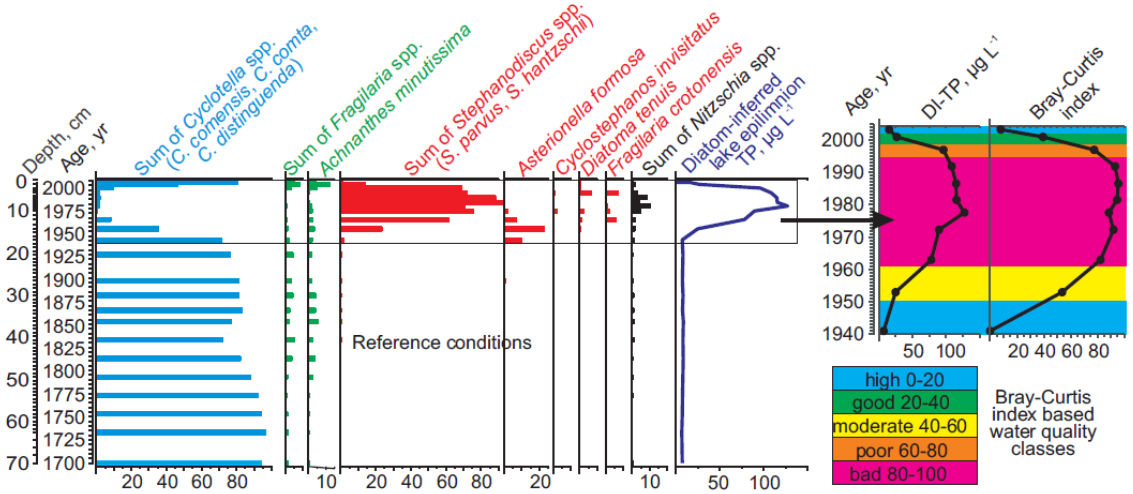
Tabel 4.5.1.4. HELCOM-i kehtestatud piirnormid Cd, Hg ja Pb jaoks (Nyberg *et al*, 2013)

Table 1. Assessment criteria of this core indicator for cadmium, mercury and lead.

	Sediment (µg/kg dry weight)		*Mussels (µg/kg dry weight)*		*Fish (µg/kg wet weight)*	
	GES boundary	*ERL*	*GES boundary*	*EU food*	*GES boundary*	*EU food*
Cd	*310* [5]	*1200*	*960*	*5000* [1]	*26*	*Muscle: 50 (100* [3]*)* *Liver: 1000* [2]
Hg	*70* [5]	*150*	*90*	*2500* [1]	*35*	*Muscle: 500 (1000* [4]*)*
Pb	*38000* [5]	*47000*	*1300*	*7500* [1]	*26*	*Muscle: 300* *Liver: 1500* [2]

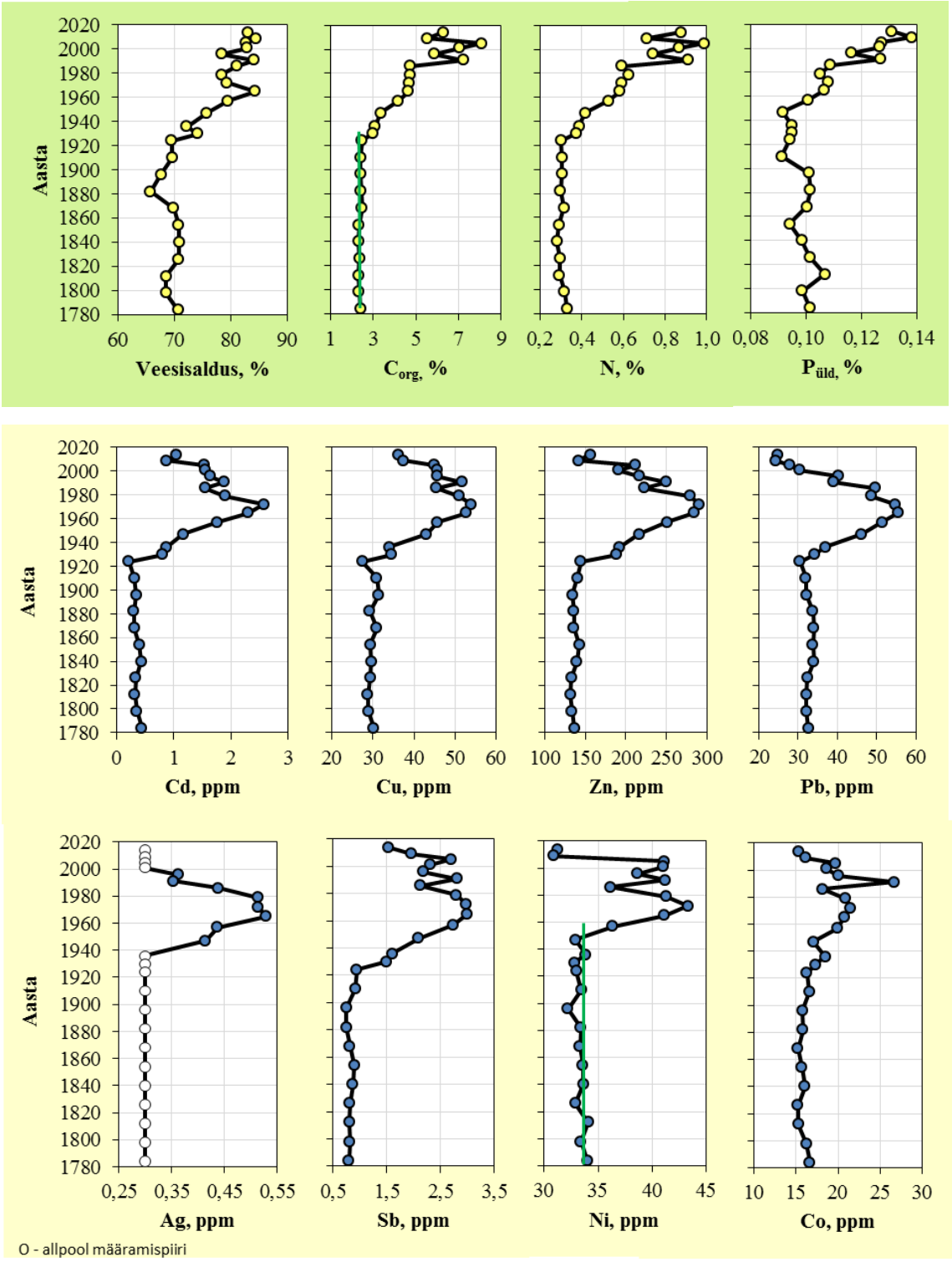
[1)] converted from 1881/2006/EU by the factor 5 (see OSPAR 2009, Law et al. 2010), [2)] bivalve value, see Law et al. 2010 for discussion, [3)] eel, [4)] pike and eel, [5)]BACs are normalized to 5% Aluminium.

Veekogude seisundi määratlemiseks foonitasemete ehk looduslähedase, intensiivsest inimmõjust veel puutumata seisundi määramisega puutusime kokku Euroopa Parlamendi ja Nõukogu veepoliitika raamdirektiivi (VRD) rakendamise käigus. Nimelt sätestas VRD (Directive…, 2000) eesmärgi saavutada veekogude “hea seisund” hiljemalt aastaks 2015 ja järvede seisundi määratlemise aluseks oligi nüüdisolukorra võrdlemine foonitingimustega. VRD kohaselt oli üheks foonitingimuste määratlemise viisiks välja pakutud just paleouuringud. Kasutades veekogude setteläbilõigete analüüsi (dateeringud, setetes säilinud füüsikaliste, keemiliste ja bioloogiliste näitajate määrangud), rekonstrueeritakse veekogude kunagised keskkonnatingimused, mida võrreldakse tänapäevaste tingimustega ja hinnatakse, kui olulised muutused on toimunud. Järvede puhul kasutasime setetes säilinud ränivetikate kestade analüüsi (Joonis 4.5.1.1), määrasime ränivetikakoosluses toimunud muutuste alusel foonitingimused (*reference conditions*) ja kasutades Euroopa Diatomee Andmebaasi ning statistilisi meetodeid taastuletasime ränivetikate põhjal muutused järvevee üldfosfori tasemes (Heinsalu, Alliksaar, 2005; 2009). Veekogu ökoloogilise kvaliteedi hindamiseks võrdlesime, mil määral tänapäevane seisund erineb foonitingimustest ja kui suured on muutused, st kui palju erineb looduslähedastes foonitingimustes kujunenud ränivetikakooslus inimtegevusest mõjutatud järve ränivetikakooslusest. Selleks võtsime kasutusele ökoloogias rakendust leidnud Bray-Curtise indeksi (Michelutti *et al*, 2001), mille väärtused esitatakse vahemikus 0−100, kusjuures väärtus 0 tähendab, et võrreldavad kooslused on täielikult identsed, ja väärtus 100, et võrreldavad kooslused on täiesti erinevad. Arvutatud indeksi väärtused sidusime järve keskkonnaseisundi kvaliteediklassidega (Joonis 4.5.1.1).



Joonis 4.5.1.1. Pappjärve setete ränivetikadiagramm, mille põhjal on määratud foonitingimused (*reference conditions*) ja rekonstrueeritud üldfosforisisaldus järvevees. Arvutatud on Bray-Curtise indeksi väärtused, mis on esitatud koos järve keskkonnaseisundi kvaliteediklassidega (Heinsalu, Alliksaar, 2009).

Sarnast foonitasemete määramise metoodikat kasutasime ka uuritud meresette läbilõikeid analüüsides. Dateeringute alusel oli setteprofiilidest võimalik meres toimunud keskkonnaseisundi muutusi hinnata viimase paarisaja aasta lõikes. Mitmed läbilõigetest analüüsitud mikro- ja toiteelemendid näitasid kontsentratsiooni tõusu 5–30 cm sügavuses või kuni sette pinnakihini (alates u 1930-ndatest). Elementide ühtlane madal kontsentratsioon kuni u 1930-ndateni (sügavus 30–60 cm) registreeriti foonitasemena ja selle taustal hinnati tänapäevast keskkonnaseisundit (Joonis 4.5.1.2). Projekti käigus teostatud keemilised analüüsid setteläbilõigetest näitavad, et mitmete raskmetallide sisaldused setetes on viimastel aastakümnetel olnud olulised või isegi kõrged. Märkimist väärivad sellised kõrgenenud sisaldusega elemendid nagu Cd, Zn, Cu, Pb, Co, Cr, Ni, Ag, Sb. Vaid kõige pindmistes settekihtides on täheldatav nende elementide kontsentratsioonide vähenemine. C_{org}, $N_{üld}$ ja $P_{üld}$ sisalduste tõus algas samuti u 1930-ndatest ja jätkub kuni setete pinnakihini.



Joonis 4.5.1.2. Mitmete raskmetallide ja toiteelementide sisaldused setteläbilõikes 14SLM-002. Elementide ühtlane madal kontsentratsioon kuni u 1930-ndateni registreeriti foonitasemena (näitena C_{org} ja Ni kohta tähistatud rohelise joonega).

Jätkuna eelnevale, olles määranud foonitasemed, kasutab HELCOM Läänemere eutrofeerumist näitavate indikaatorite taseme hindamiseks VRD-s ettenähtud nn ökoloogilise kvaliteedi suhet EQR (*ecological quality ratio*), mis on foonitaseme suhe mõõdetava ökoloogilise parameetri hetkeväärtusesse (Pawlak *et al*, 2009). EQR väärtused on vahemikus 0–1, millest 1 on parim ja 0 halvim seisund, ning väärtuse alusel jagatakse seisundi hinnang 5-e kvaliteediklassi (Joonis 4.5.1.3). Sellist keskkonnaseisundi hindamise skeemi oleks võimalik kasutada ka Soome lahe põhjasetete toiteelementide taseme ja miks mitte ka raskmetallide puhul.

Joonis 4.5.1.3. Ökoloogilise kvaliteedi suhe EQR (*ecological quality ratio*) ja selle 5 klassi eutrofeerumist näitavate indikaatorite taseme hindamiseks (Pawlak *et al*, 2009)

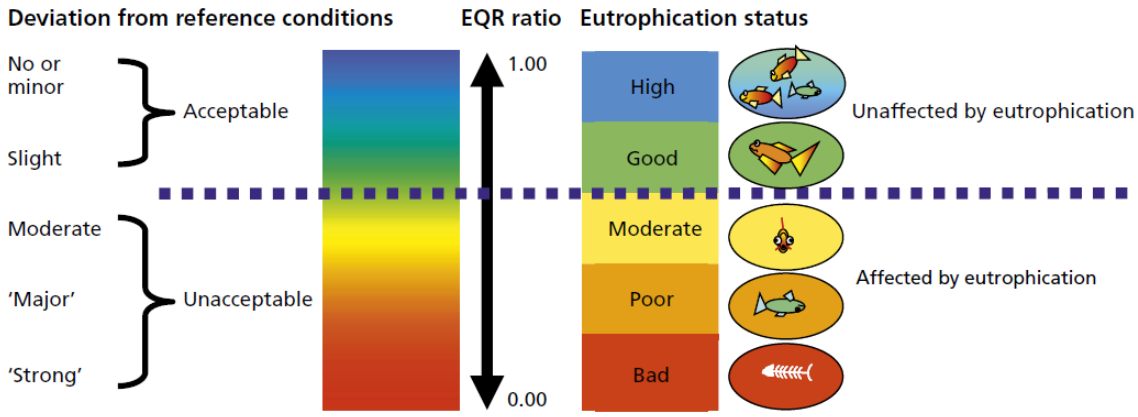
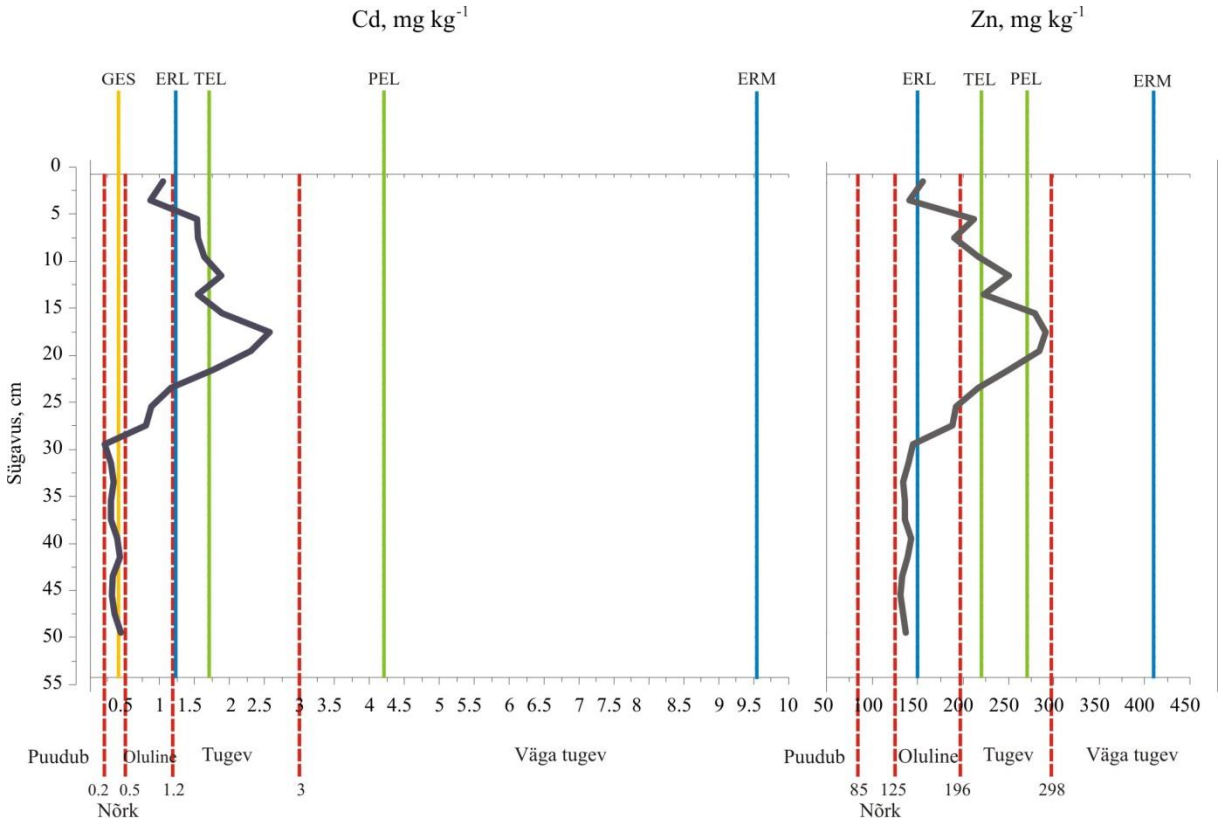


Figure A1. Overview of the EQR concept and its use for classifying water bodies affected by eutrophication. Based on Anon. (2000, 2005). Fish by courtesy of P. Pollard, SEPA.

Näitena kandsime setteläbilõike 14SLM-002 Cd ja Zn kontsentratsioonide jaotuskõveratele Läänemere setete kohta enimkasutatavad piirnormid (Joonis 4.5.1.4). HELCOM-i “hea” keskkonnaseisundi (GES) ehk foonitase (Nyberg *et al*, 2013) kaadmiumi puhul kattub hästi setteläbilõikest määratava foonitasemega ehk u 0,3 mg/kg. Ameerika Ühendriikide setete kvaliteedijuhendi alumine piirnorm ERL (Long *et al*, 1995) tähistab Cd puhul HELCOM-i jaoks „halva“ taseme piirväärtust (Nyberg *et al*, 2013). Selle alusel on Cd kontsentratsioonid setteläbilõikes 14SLM-002 (5–25 cm sügavusel) üle „halva“ taseme piirväärtuse. Rootsi Keskkonnaameti setete kvaliteediklasside alusel (WGMS, 2003) klassifitseerub samal sügavusel olev sete nii Cd kui Zn puhul tugevalt reostunud setteks. Zn kontsentratsioonid setteläbilõikes 14SLM-002 on 15–22 cm sügavusel nii kõrged, et ületavad Kanada setete kvaliteedijuhendi

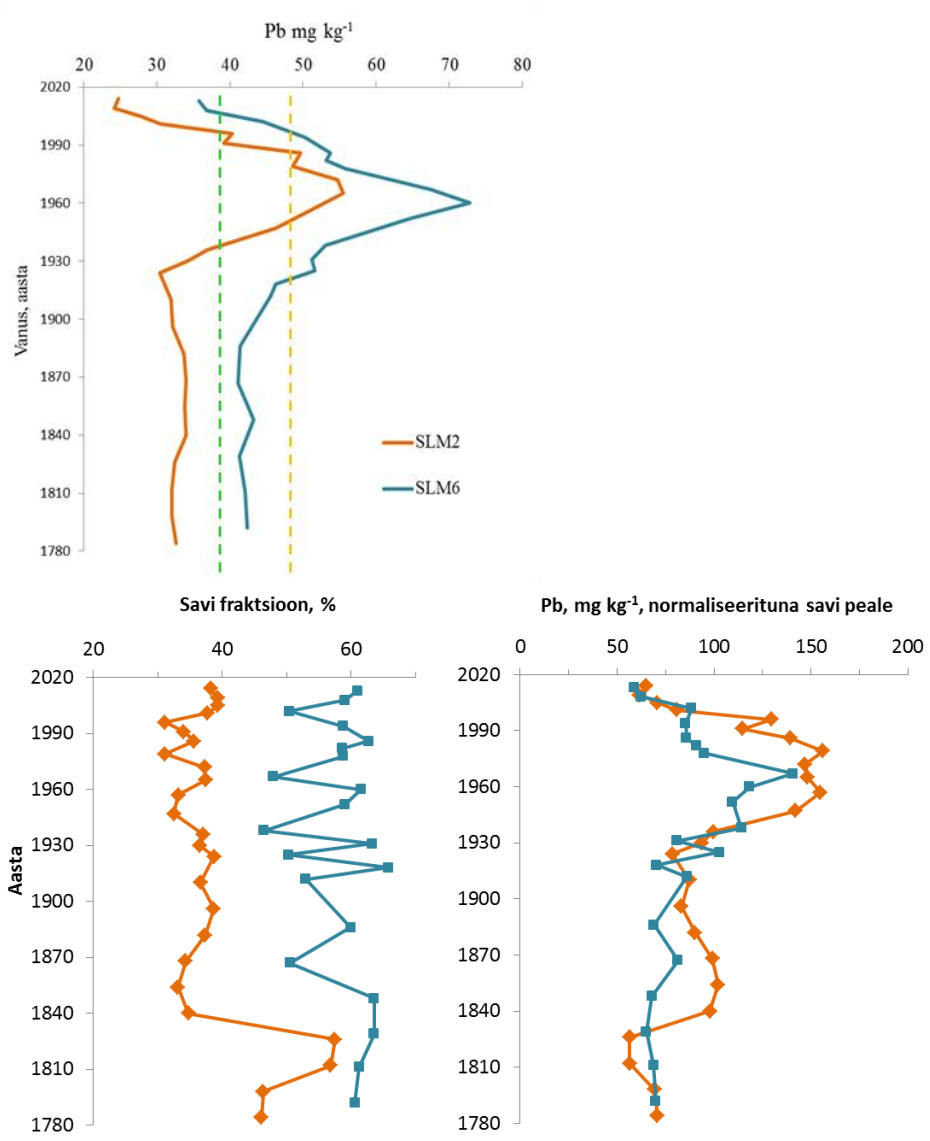
ülemist piirnormi PEL (Canadian Council of Ministers of the Environment, 2002), s.o kontsentratsioon, üle mille esinevad sageli tõsised mõjud, toksilisus avaldub enamuse liikide jaoks enam kui 50% juhtudest.



Joonis 4.5.1.4. Näitena on setteläbilõike 14SLM-002 Cd ja Zn kontsentratsioonikõveratel esitatud Läänemere setete enimkasutatavad piirnormid. Punased punktiirjooned tähistavad Rootsi Keskkonnaameti setete kvaliteediklasse (WGMS, 2003), klasside nimetused ja piirnormid on graafikute all. Roheliste ja siniste joontega on tähistatud vastavalt Kanada – TEL ja PEL (Canadian Council of Ministers of the Environment, 2002) ning Ameerika Ühendriikide – ERL ja ERM (Long *et al*, 1995) kvaliteediklassid, klasside nimetused ja piirnormid on graafikute kohal. Lisaks on Cd puhul tähistatud kollase joonega HELCOM-i „hea” keskkonnaseisundi GES tase (Nyberg *et al*, 2013).

Üks kolmest elemendist, mille kohta HELCOM on kehtestanud Läänemeres setete kvaliteedi piirnormid (Nyberg *et al*, 2013), on plii. Joonis 4.5.1.5-l on toodud setteläbilõigetes 14SLM-002 ja 14SLM-006 mõõdetud Pb-sisaldused ja HELCOM-i kehtestatud setete kvaliteedi piirnormid Pb-le. On näha, et kahe erineva setteläbilõike foonitasemed ei lange kokku ja rohelise joonega tähistatud HELCOM-i foonitase ehk GES tase asub nende vahel. Siit selgub, millest ka varem juba juttu oli, et elementide kontsentratsioonid setetes ja seega ka foonitasemed sõltuvad sellest, milline on setete koostis ja raskmetalle adsorbeerivate komponentide (nt savifraktsioon, orgaanilise aine sisaldus) osatähtsus. Setteläbilõikes 14SLM-006 moodustab savifraktsioon

keskmiselt 50–60%, läbilõikes 14SLM-002 keskmiselt 40% setete granulomeetrilisest koostisest. Orgaanilise aine sisaldus on 14SLM-002 puhul kõrgem (kuni 20%) kui 14SLM-006 puhul (kuni 15%).



Joonis 4.5.1.5. Ülemisel joonisel on Pb kontsentratsioonikõverad setteläbilõigetes 14SLM-002 ja 14SLM-006 ning HELCOM-i kehtestatud setete kvaliteedi piirnormid Pb-le Läänemeres (Nyberg *et al*, 2013). Roheline joon on GES tase (good environmental status) e foonitase, so piir „hea” ja „mõõduka” taseme vahel, oranž joon on Ameerika Ühendriikide settekvaliteedi juhendi alumine piirnorm ERL (Long *et al*, 1995), mis tähistab HELCOM-i jaoks „halva” taseme piirväärtust (Nyberg *et al*, 2013). Alumistel joonistel on samade läbilõigete savifraktsiooni sisaldus ning Pb kontsentratsiooni normaliseerituna savifraktsiooni peale. Sinine joon – 14SLM–006, oranž joon – 14SLM–002.

Tingituna erinevast savifraktsiooni osatähtsusest on Pb sisaldused tõenäoliselt setteläbilõikes 14SLM-006 kõrgemad kui läbilõikes 14SLM-002. Normaliseerides saadud tulemused savifraktsiooni peale, langevad foonitasemed eri setteläbilõigete puhul enam-vähem kokku. Mõlemas setteläbilõikes 1950–1970-ndatel moodustunud setetes (sügavus sõltuvalt läbilõikest 15–25 cm) ületavad Pb kontsentratsioonid Ameerika Ühendriikide setete kvaliteedijuhendi alumise piirnormi ERL taset (Long *et al*, 1995), mis HELCOM-i jaoks tähistab „halva“ taseme piirväärtust (Nyberg *et al*, 2013).

4.5.1.3. Geokeemiliste parameetrite ja piirsisalduste valimine

4.5.1.3.1. Toksilised raskmetallid

Soome lahe lõunaosa põhjasetete keskkonnaseisundi hindamisel keskenduti kahele elementide grupile. Esimese moodustavad standardsed[3] keskkonnaohtlikud toksilised raskmetallid: Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni, Zn, ja mittemetall As, teise – eutrofeerumist põhjustavad (soodustavad) elemendid: P, N, Mo, Se ja Mn (Morgan, Stumm, 1991). Nendele lisandub radioaktiivne element U.

Soome lahe keskkonnaseisundi halvenemise nähtavaks olulisimaks ilminguks on selle progresseeruv eutrofeerumine, mille põhjuste ja intensiivsuse kohta on andmed väga tagasihoidlikud või puuduvad.

Küllalt mitmekesine on aga info, mis käsitleb toksiliste raskmetallide (Cd, Hg, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) ja As-sisaldust lahe põhjasetetes. Soome lahe keskkonnaseisundi rajoneerimine (mainitud elementide sisalduse järgi) tugineb Kanada, Norra ja Soome kogemustele ning piirväärtusele, samuti Eesti KKM poolt maismaa pinnasele kehtestatud nõuetele (KKM määrus nr 38, 11. august 2010).

Soome lahe lõunapoolse ala põhjasetete saastekoormuse taset iseloomustavate elementide (**As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg ja Zn**) sisalduste soovitatavate piirsisalduste arvnäitajad baseeruvad valdavalt Kanadas kasutatavatele. Samuti kasutavad neid Soome meregeoloogid territoriaalmere keskkonnaseisundi hindamisel (Vallius, 2015). Need Kanadas väljatöötatud keskkonnaseisundit iseloomustavad piirsisaldused (Tabel 4.5.1) baseeruvad sellel eesmärgil teostatud toksilisuse uuringute tulemustel ja arvestavad võimalikku üldist bioloogilist mõju, sh mõju elusorganismidele (Long *et al*, 1995).

Erandi moodustavad **Ni ja Cu**. Nikli osas Kanadas uuemad uuringud puuduvad ja varasemad on liialt ranged, võrreldes Ni keskmise sisaldusega maakoores (Tabel 4.5.1) ja Euroopa pinnases (24,2 mg/kg; Geochemical Atlas of Europe, 2005). Soome lahe lõunapoolsele alale peaksid sobima Norras kasutusel olevad Ni piirsisaldused (Tabel 4.5.1). Need on maakoore keskmisest

[3] st elemendid, mille kohta on olemas piirväärtused paljudel riikidel nagu Kanada, Norra, Rootsi jt (ICES, 2003), ning mida käsitletakse ohtlike ainetena Eesti seadusandluses (KeM määrus nr 38, 2010).

ligi 1,6 korda suuremad ja nendest lähtutigi hinnangu andmisel. Cu-sisalduse sihtarvuks võeti Norras kasutuses olev, kuna Kanada oma on sisuliselt võrdne maakoore keskmise väärtusega ehk fooniga.

4.5.1.3.2. Toiteelemendid ja U

Probleemiks kujuneb kahtlemata lahe **eutrofeerumist põhjustavatele või taimekasvu soodustavatele elementidele (P, Mo, Se, Mn) ja U** maksimaalselt lubatava piirsisalduse kehtestamine. Varasem info Soome lahe olulisemate, eutrofeerumisega ühel või teisel moel seotud elementide (P, Mo, Se, Mn jt) ja U-sisalduse ning leviku kohta põhjasetetes on tagasihoidlik või puudub. Ka pole varasemalt teostatud nende sisalduse järgi keskkonnaseisundi hindamist.

Kuna need on kasvu stimuleerivad ja kõrgete sisalduste korral ka osaliselt toksilised, kasutame orienteeruva sihtarvuna nende elementide maakoore keskmisest sisaldusest 1,5 kuni 2 korda kõrgemat sisaldust ja piirarvuna 2 kuni 4 korda kõrgemat sisaldust (Tabel 4.5.1). Need piirarvud vajavad tulevikus kindlasti täpsustamist.

Tabel 4.5.1. Kriteeriumid (piirväärtused) Soome lahe setete kvaliteedinäitajate väljatöötamiseks

Element	Kanada ERL[4]	Kanada TEL[5]	Norra [6]	Eesti maismaa[7]	Kanada ERM[4]	Kanada PEL[5]	Norra [6]	Eesti maismaa[7]	Maakoor[1]	Maakoore savikivimite keskmine[2]	SedGof[3] „hea“ piir	SedGoF[3] „rahuldav“ piir
mg/kg	Piirväärtused „hea kuni“				Piirväärtused „rahuldav kuni“							
As	8,2	7,24	20	20	70	41,6	76	30	2,0		7,2	42
Cd	1,2	0,7	0,25	1	9,6	4,2	15	5	0,25		0,7	4,2
Cr	81	52,3	70	100	370	160	5900	300	35		52	160
Cu	34	18,7	35	100	270	108	55	150	14,3		35	108
Pb	46,7	30,2	30	50	218	112	100	300	17		30	110
Hg	0,15	0,13	0,15	0,5	0,71	0,7	0,86	2	0,056		0,13	0,7
Ni	20,9		30	50	51,6		120	150	18,6		30	120
Zn	150	124	150	200	410	271	590	500	52		124	270
P									665	700	1050	1400
Mo				10				20	1,4	2,6	5,2	10,4
Se				1				5	0,083	0,3	1,2	2,4
Mn									527	800	1140	6000
U				1				5	2,5	3,2	4,8	6,4

[1] Wedepohl, K. H., 1995.The Composition of the Continental Crust. Geochim Cosmochim Acta 59 (7), pp 217–1232.

[2] Turekian, K. K. and Wedepohl, K. H., 1961. Distribution of the Elements in some major units of the Earth's crust. Geological Society of America, Bulletin 72: pp 175–192

[3] SedGoF projekti andmed

[4] Edvard R. Long, Donald D. Macdonald, Sherri L. Smith, Fred D. Calder, 1995. Incidence of Adverse Biological Effects Within Ranges of Chemical Concentrations in Marine and Estuarine Sediments. In: Environmental Management. Vol. 19, No 1, pp 81–97.

[5] Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life (ISQGs (CCME, 2001))

[6] Bakke, Torgeir Heggelund; Källqvist, Torsten; Ruus, Anders; Breedveld, Gijs D. & Hylland, Ketil, 2010. Development of sediment quality criteria in Norway. Journal of Soils and Sediments. ISSN 1439-0108. 10(2), s 172- 178. doi: 10.1007/s11368-009-0173-y

[7] KKM määrus nr 38, 11.08.2010.

Tabel 4.5.2. Setete seisundi klassifitseerimise elementide piiride allikad SedGoF projekti raames

Element või ühend	Kriteeriumi allikas	Suhe Mk* -ga	SedGoF kriteerium „hea kuni“	Kriteeriumi allikas	Suhe Mk-ga	SedGoF kriteerium „rahuldav kuni“
As	Kanada TEL		7,2	Kanada PEL		42
Cd	Kanada TEL		0,7	Kanada PEL		4,2
Cr	Kanada TEL		52	Kanada PEL		160
Cu	Norra tausta ja hea piir		35	Kanada PEL		108
Pb	Kanada TEL		30	Kanada PEL		110
Hg	Kanada TEL		0,13	Kanada PEL		0,7
Ni	Norra tausta ja hea piir		30	Norra rahuldava ja halva piir		120
Zn	Kanada TEL		124	Kanada PEL		270
Mo	Sk* × 2	3,2	5,2	Sk × 4	7,4	10,4
Se	Sk × 2	14	1,2	Sk × 4	29	2,4
Mn	Sk × 1,3	2,2	1140	Sk × 7,1	11	6000
U	Sk × 1,3	1,9	4,8	Sk × 1,7	2,6	6,4
P	Sk × 1,5	1,5	1050	Sk × 2	2,1	1400

* Sk – maakoore savikivimite keskmine; Mk – maakoore keskmine

Tabel 4.5.3. Setete seisundi klassifitseerimise PAH piiride allikad SedGoF projekti raames

PAH-id	Kriteeriumi allikas	GES boundary for sediment, ppb (dw)	Kriteeriumi allikas	GES × 3
Dibenz[ah] anthracene	(GES*)	63.4	GES × 3	190.2
Fluoranthene	(GES)	600	GES × 3	1800
Anthracene	(GES)	85	GES × 3	255
Naphthalene	(GES)	160	GES × 3	480
Benzo[ghi] perylene	(GES)	85	GES × 3	255
Benzo[a] pyrene	(GES)	430	GES × 3	1290
Benzo[k] fluoranthene	—	—	—	—
Benzo[b] fluoranthene	—	—	—	—
Pyrene	(GES)	665	GES × 3	1995

Fluorene	(GES)	19	GES × 3	57
Benz[a] anthracene	(GES)	261	GES × 3	783
Indeno [1,2,3-cd]pyrene	(GES)	240	GES × 3	720
chrysene	(GES)	384	GES × 3	1152
phenanthrene	(GES)	240	GES × 3	720
acenapthylene	(GES)	44	GES × 3	132
acenapthene	(GES)	16	GES × 3	48

* GES – HELCOM *good environmental status* = hea keskkonnaseisundi piir põhjasetetele

Tabel 4.5.4. Elementide keskmised sisaldused

Element	Ühik	PINNAKIHT (0–3 cm)			ALUMINE KIHT (3–6 cm)			Geom. keskmiste suhe**	Hea kuni	Rahuldav kuni
		x-max*	x-g*	ϛ*	x-max	x-g	ϛ			
As	mg/kg	13,4	8,73	1,27	17,7	8,62	1,34	1,013	7,2	42
Cd	mg/kg	1,53	0,61	1,69	2,64	0,74	1,82	0,824	0,7	4,2
Cr	mg/kg	89,2	71,0	1,15	95,0	73,7	1,17	0,964	52	160
Cu	mg/kg	45,3	32,3	1,22	54,4	34,4	1,28	0,934	35	108
Pb	mg/kg	40,1	29,0	1,17	67,2	34,1	1,34	0,850	30	110
Hg	mg/kg								0,13	0,7
Ni	mg/kg	48,1	37,3	1,18	46,6	37,3	1,18	1,000	30	120
Zn	mg/kg	206,8	132,3	1,25	303,1	142,1	1,34	0,931	124	270
Mo	mg/kg	31,4	7,83	3,15	28,6	6,56	2,27	1,194	5,2	10,4
Mn	%	1,65	0,079	2,57	1,65	0,074	2,78	1,068		
P	mg/kg								1050	1400
Se	mg/kg	2,71	0,95	1,49	1,49	0,91	1,45	1,044	1,2	2,4
U	mg/kg	13,7	6,94	1,34	11,1	6,34	1,20	1,095	4,8	6,4

* *x-max* – maksimaalne sisaldus; *x-g* – geomeetriline keskmine; ϛ – geomeetriline standardhälve.

** Ülemise ja alumise kihi geomeetriliste keskmiste suhe näitab sisalduste suurenemise (> 1) või vähenemise (< 1) üldist tendentsi.

4.5.1.3.3. Orgaanilised ühendid

Orgaanilistest ühenditest keskenduti polütsüklilistele aromaatsetele süsivesinikele (PAH-16) kui püsivate orgaaniliste saasteainete grupi (POP) esindajatele. Hiljuti, seoses *Nordstream* ja *Balticconnector* gaasijuhtmetega ning *EstLink 2* merekaabli projektidega teostatud detailsed uuringud (Hendrikson & Ko OÜ, 2010; TTÜ MSI, 2011 ja 2013) näitavad, et teiste orgaaniliste ühendite, nagu kloororgaanilised ja fosfororgaanilised pestitsiidid ning polüklooritud bifenüülid (PCB), sisaldused on üldjuhul kas alla määramispiiri, ei ületa HELCOM-i poolt soovitatud GES väärtusi või on nendele väga lähedased. Dioksiinide ja furaanide (PCDD/F) sisaldus avamere

pindmistes (0–20 cm) setetes ületab küll HELCOM-i poolt soovitatud GES väärtusi, kuid jääb alla Kanada tõenäosusliku mõju taset (PEL – *probable effect level*) (TTÜ MSI 2011).
Lisaks sellele määrati naftaproduktide (summaarselt) ja ühealuseliste fenoolide sisaldus põhjasetete ülemises kihis (0–3 cm).

PAH

Soome lahe merepõhja keskkonnaseisundile hinnangu andmisel polüaromaatsete süsivesinike ühendite (PAH) põhjal lähtuti HELCOM ohtlike PAH-ühendite nimistust. See võimaldas keskkonnaseisundile hinnangu andmisel rakendada ka HELCOM-i metoodikat.
Analüüsitud ohtlike PAH-ühendite nimistu originaal baseerub Ameerika Ühendriikide Keskkonnakaitse Agentuuri [United Estates Environmental Protection Agency (US EPA)] soovitustel, millesse kuulub 16 ühendit [naftaleen, atsenafteen, atsenaftüleen, antratseen, fluoreen, fenantreen, benso(a)antratseen, benso(k)fluoranteen, benso(b)fluoranteen, krüseen, fluoranteen, püreen, benso(a)püreen, indeno(1,2,3-cd)püreen, dibenso(a,h)antratseen ja benso(g,h,i)perüleen].
Põhjasetete keskkonnaseisundi iseloomustamiseks kasutatakse HELCOM-i metoodikast lähtuvalt kolme värvi: roheline, kollane ja punane, mis on leitavad HELCOM-i (2013) aruandest. Roheline värv tähistab head keskkonnaseisundit, kus PAH-ühendite väärtused settes on väiksemad kui toodud piirväärtused. Kollane värv tähistab mõõdukat keskkonnaseisundit, kus PAH väärtused settes ületavad piirväärtusi, ning punase värviga tähistatakse seisundit, kus piirväärtused ületatakse kolmekordselt.
PAH-ühendite sisalduse uuringud näitavad, et nende summaarne sisaldus ei ületa HELCOM-i soovitust ja jääb sellest kordases madalamaks (Joonis 4.2.4.1). Maksimaalsed sisaldused jäävad Paldiski ja Aseri meridiaani vahemikku ja rohkem rahvusvahelise laevatee vööndisse. Keskkonnauuringute Keskuse (KUK) laboris 6 proovi PAH-i üksikühendite analüüsi andmetel ületab 2 proovi benso(g,h,i)perüleeni sisaldus (14SL-004 ja 15SL-071 vastavalt 120 ja 150 ng/g) kuni 187% HELCOM piirnormi (80 ng/g dw).

Naftaproduktid ja ühealuselised fenoolid

Nii naftaproduktide kui ka fenoolide sisalduse kohta mere põhjasetetes puuduvad keskkonnaseisundit iseloomustada lubavad piirsisaldused. Nendele orienteeruva hinnangu andmiseks tugineme maismaa pinnase jaoks kehtestatutele.
Naftaproduktide sisaldus on vaadeldavate uuringupunktide põhjasetete ülemises (0–3 cm) ja alumises (3–6 cm) kihis madalam sihtarvust (100 mg/kg) (Joonis 4.2.4.2) ehk valdavava osa Eesti majandusvööndi põhjasetete seisukord on hea. Üksikud naftaproduktide kõrgendatud sisaldusega uuringupunktid jäävad Loksa meridiaanist läände ja ka nende põhjasetetes ei ületa sisaldus üldjuhul elumaale kehtestatud piirarvu (500 mg/kg). Ainult ühes punktis (14SL-003) Naissaarest läänes ületab naftaproduktide sidaldus piirarvu elumaal ja ulatub 527 mg/kg. Ka

alumises kihis ületab Loksa lähedal naftaproduktide sisaldus uuringupunktis 14SL-014 piirsisalduse ja ulatub 626 mg/kg.

Võrreldes naftaproduktide sisaldust põhjasetete ülemises ja alumises kihis, on jälgitav sisalduse mõningane vähenemine. Selgemini on see jälgitav Paldiski piirkonnas.

Fenoolide sisaldus määrati samades põhjasetete proovides, kus määrati naftaproduktide sisaldus. Kõikides proovides on fenoolide sisaldus madal, oluliselt madalam elumaa sihtarvust (1 mg/kg) ja varieerub valdavalt piirides 0,01 kuni 0,1 mg/kg ning ulatub 0,167 mg/kg. See on põhjuseks, miks fenoolidel edaspidi ei peatuta.

4.5.2. Soome lahe põhjasetete keskkonnaseisundi hinnang

Soome lahe Eesti majandusvööndi põhjasetete analüüsi tulemustest järeldub:

1. Keskkonnaohtlike raskmetallide (Cd, Cr, Cu, Pb, Hg ja Zn) ning As maksimaalsed sisaldused ei ületa põhjasetetes soovituslikku piirarvu (SedGoF „rahuldav piir“) ja, sõltuvalt elemendist, 25% kuni 60% proovide sisaldused jäävad madalamaks ka SedGoF „hea kuni“ kriteeriumist.

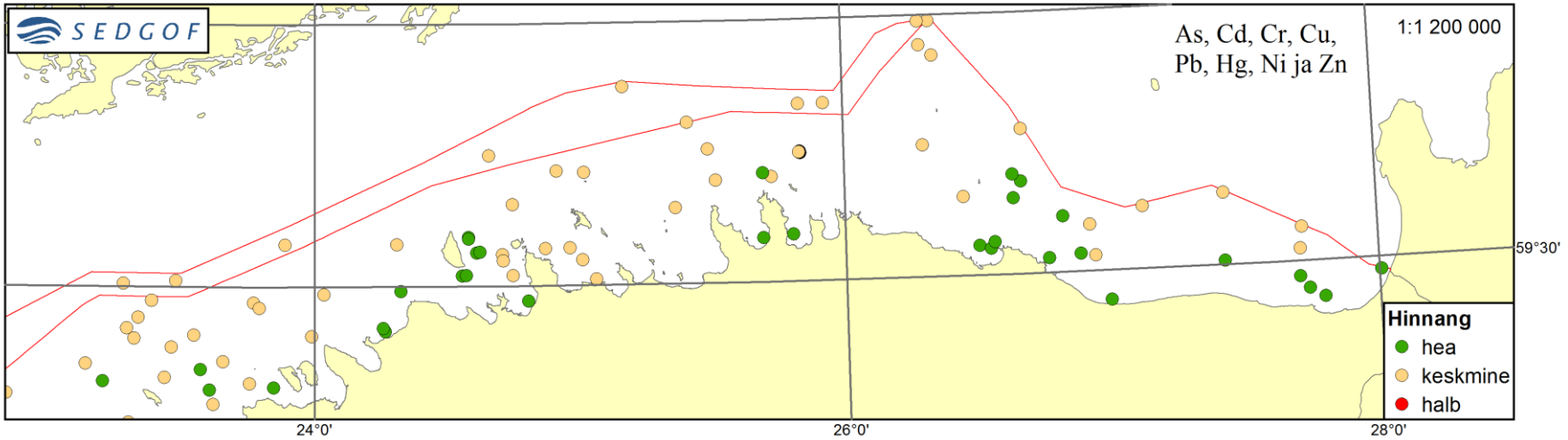
   Viimaste aastate jooksul toimus setetes Cd-, Hg-, Pb-, Zn-, Cu- ja Zn- sisalduse vähenemine (Tabel 4.5.4; Joonis 4.2.2.1-d kuni Joonis 4.2.2.8-d; Joonis 4.5.4 ja Joonis 4.5.7). Nende elementide sisaldus on ülemises, 3 cm paksuses kihis kuni 18% madalam kui selle all lasuvas 3 cm paksuses kihis. Nende elementide poolest vastavad põhjasetted **hea** või **rahuldava** seisundi kriteeriumidele. Vaadeldavate raskmetallide ja As-sisaldus setteläbilõike 6 kuni 25 cm sügavusel on kõrgendatud, kuid ei ületa SedGoF-i „rahuldav kuni“ piiri taset.
2. **Mitmes lahe punktis ületab savialeuriidi lõimisega põhjasetetes Mo-, P- ja U-sisaldus ülemises (0–3 cm), ja harvem alumises (3–6 cm) kihis SedGoF-i tingliku halva seisundi piiri, setted on nende elementide poolest halvas seisundis. Ülemise ja alumise settekihi Mo-, P-, Se-, U-sisalduste võrdlus näitas, et viimastel aastatel on toimunud sisalduste suurenemine** (Joonis 4.2.2.9-d kuni Joonis 4.2.2.12-d ja Joonis 4.5.6). Lahe lääneosas, Osmussaare piirkonnas, ulatub põhjalähedases veekihis hiliskevadisel perioodil P-sisaldus 0,8 mg/l-ni.

   Fe-Mn konkretsioonid esinesid 8 uuringupunktis. Nende maksimaalne õhkkuiv kogus jäi 12–15 kg/m^3 piiridesse. Fe-Mn konkretsioonides on kõrge P-, Mo-, As- ja Cd- sisaldus.
3. Uuringut käigus tuvastati uuringupunkti 15SL-077 0–3 cm kihis kõrge As (41,4 mg/kg) ja uuringupunkti 15SLM-005 3–6 cm kihis kõrge Ni- sisaldus (140,8 mg/kg). Need vihjavad tehnogeensele saastele, mille ulatus pole teada, kuid vajab selgitamist.
4. PAH-sisalduse analüüside tulemused näitavad, et summaarne sisaldus ei ületa HELCOM-i soovitusi. Komponentide summaarne sisaldus jääb kordades madalamaks summa piirist.

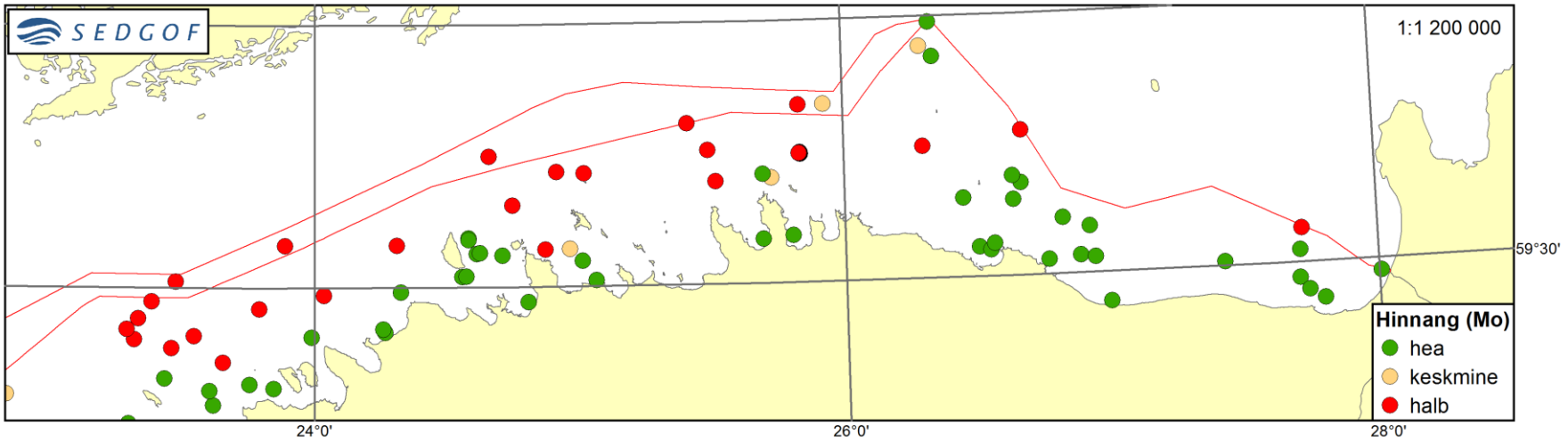
KUK-i laboris 6 proovi komponentanalüüsi andmetel ületab 2 proovi benso(g,h,i)perüleeni sisaldus 187% HELCOM-i piirnormi (80 ng/g dw).

SedGoF andmestiku baasil on võimalik anda üldine hinnang Soome lahe põhjasetete seisundile, mille aluseks on ülaltoodud (projektsed) piirväärtused. Nende baasil antakse hinnang igale eraldi võetud proovile. Näiteks, kui proovis satub olema vähemalt üks toksiliste raskmetallide (As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni või Zn) sisaldustest kõrgem kui SedGoF „rahuldava piir“, siis terve proov saab hinnangu „halb“. Põhjasetete ülemise kihi (0–3 cm) keskonnaseisundi toksiliste raskmetallide sisaldusest lähtuva hinnangu näide on toodud joonisel 4.5.1.

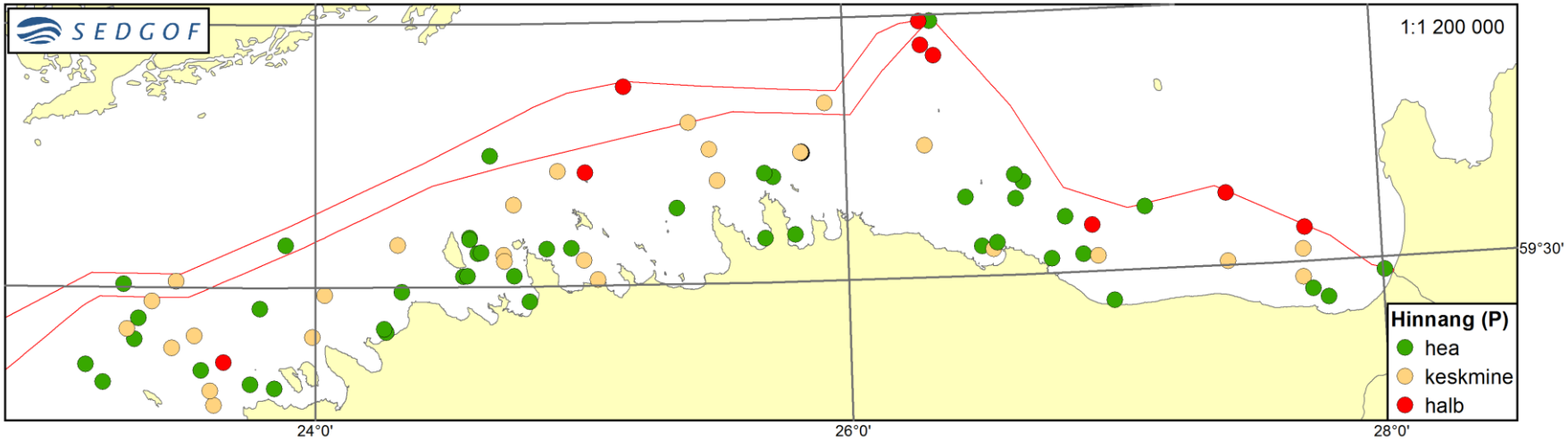
Analoogselt, kuid eraldi, käsitletakse P ja Mo käitumist ja proovid saavad iseseisva hinnangu, lähtudes nendest parameetritest (Joonis 4.5.2 ja Joonis 4.5.3).



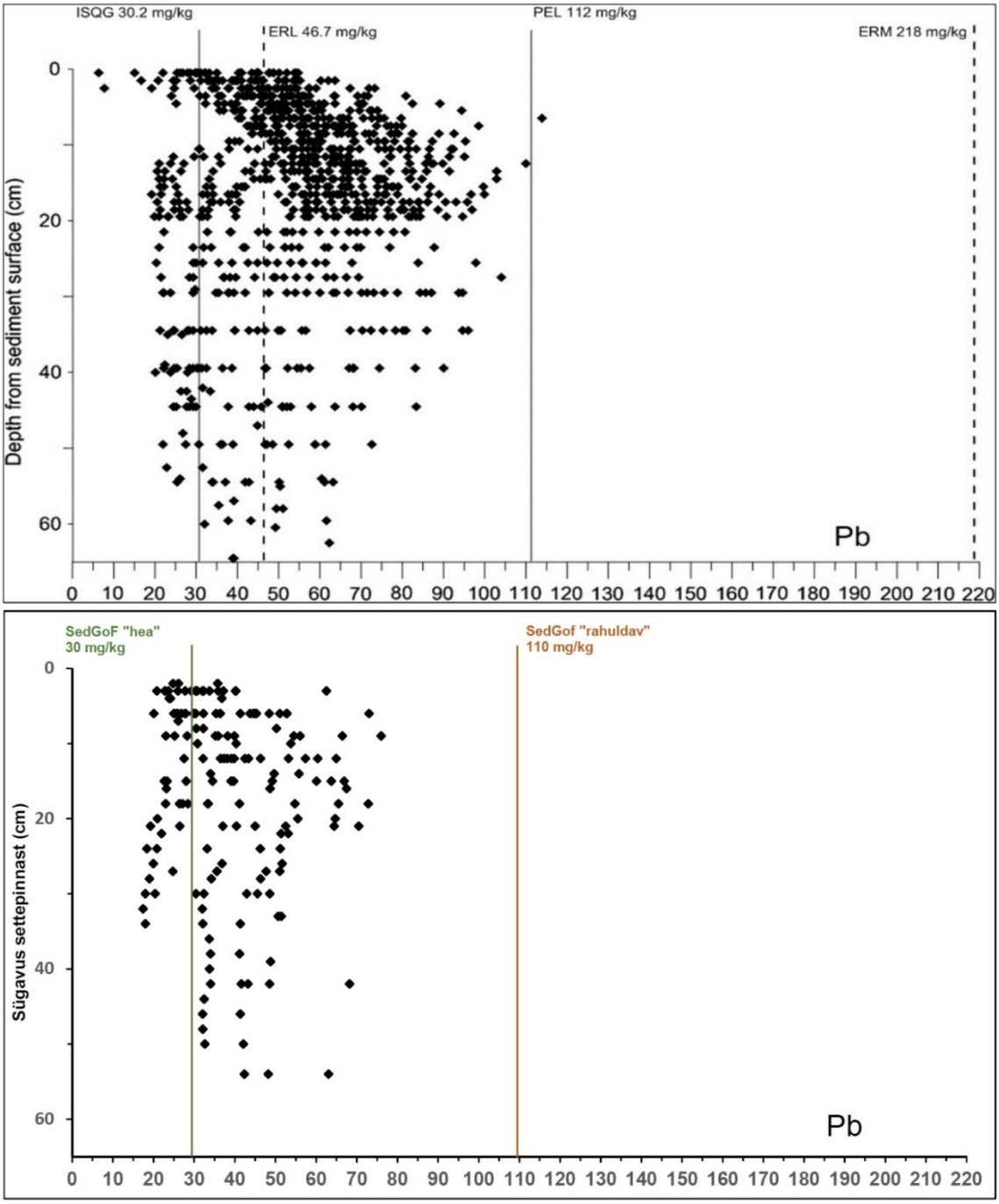
Joonis 4.5.1. Soome lahe setete pindmise, 0–6 cm kihi keskkonnaseisundi hindamise näide, lähtudes toksiliste raskmetallide (As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni ja Zn) sisalduse koondhindest



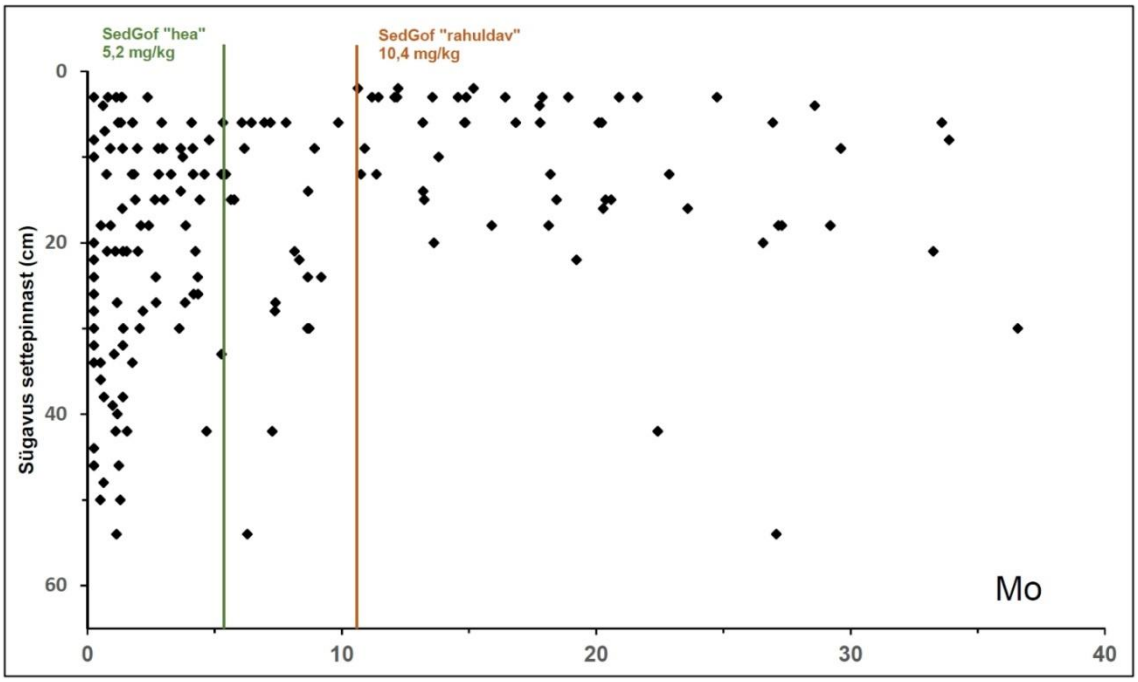
Joonis 4.5.2. Soome lahe setete pindmise, 0–6 cm kihi keskkonnaseisundi hindamise näide, lähtudes Mo-sisalduse tasemest



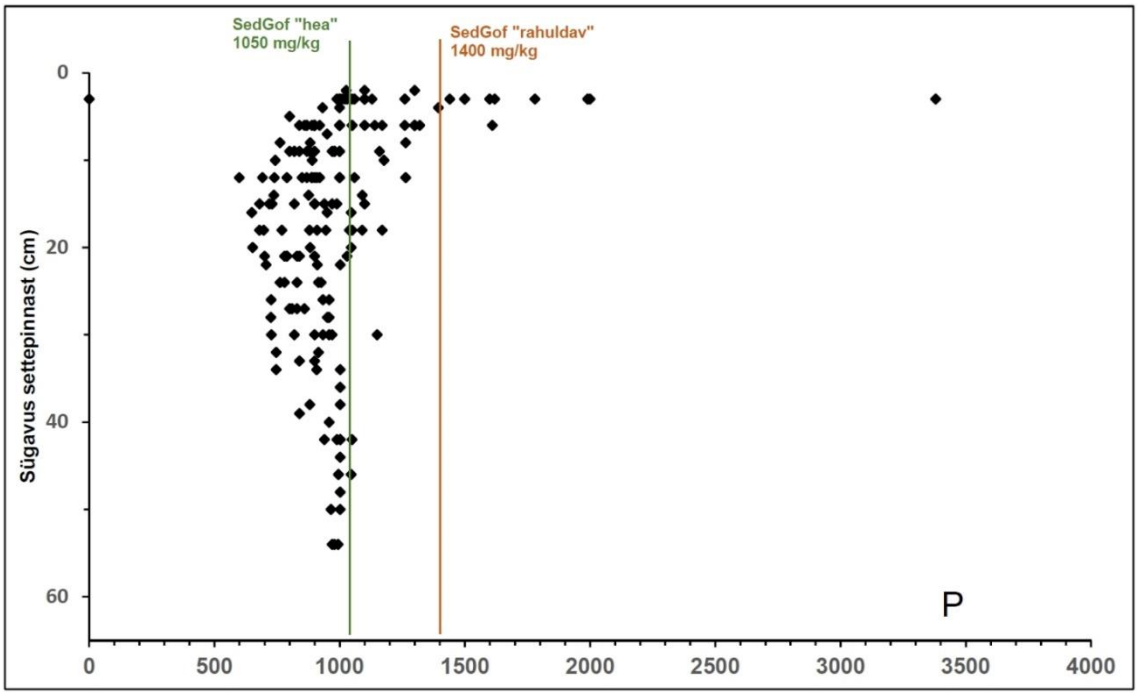
Joonis 4.5.3. Soome lahe setete pindmise, 0–6 cm kihi keskkonnaseisundi hindamise näide, lähtudes P-sisalduse tasemest



Joonis 4.5.4. Pb-sisaldused (ppm) Soome lahe põhjasetete läbilõigetes (mitme läbilõike koondgraafik) ning SedGoF projektsete piirarvude väljatöötamise näide. Ülemine graafik näitab Soome lahe keskosa olukorda (Vallius, 2015) ja alumine – SedGoF raames uuritud Eesti territoriaalmere olukorda. ISQG – *interim marine sediment quality guidelines* (=*threshold effect levels* (TEL)); ERL – *effects range low*; PEL – *probable effect level*; ERM = *effects range-medium*.

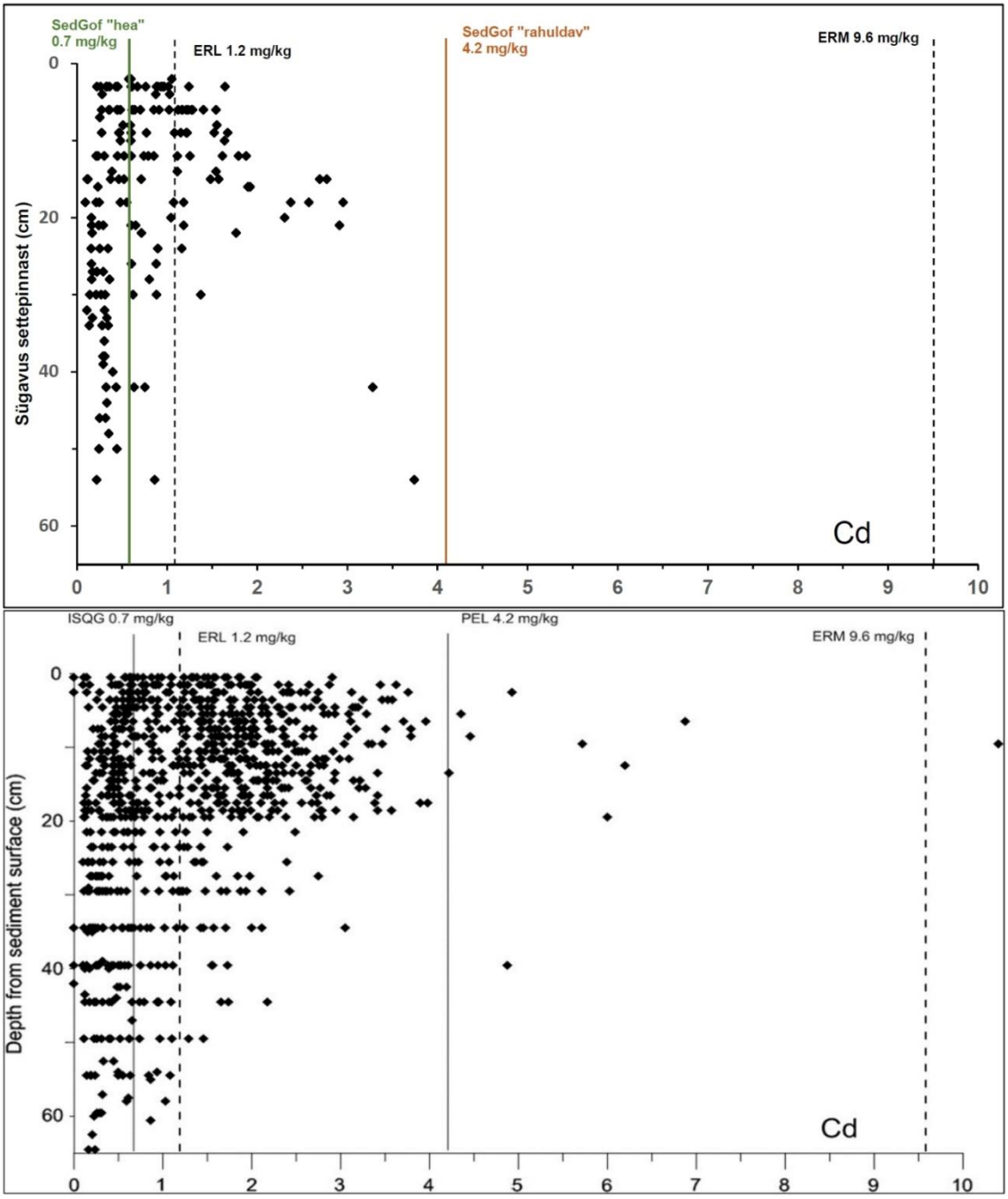


Joonis 4.5.5. Mo-sisaldused (ppm) Soome lahe põhjasetete läbilõikes (mitme läbilõike koondgraafik) SedGoF raames saadud andmete baasil[4]. Näide piirarvude kujunemise metoodikast.



Joonis 4.5.6. P-sisaldused (ppm) Soome lahe põhjasetete läbilõikes (mitme läbilõike koondgraafik) SedGoF raames saadud andmete baasil[5]. Näide piirarvude kujunemise metoodikast.

[4] Vallius, 2015 artiklis Mo ei käsitleta.
[5] Vallius, 2015 artiklis eutrofeerumist soodustavaid elemente ei käsitleta.

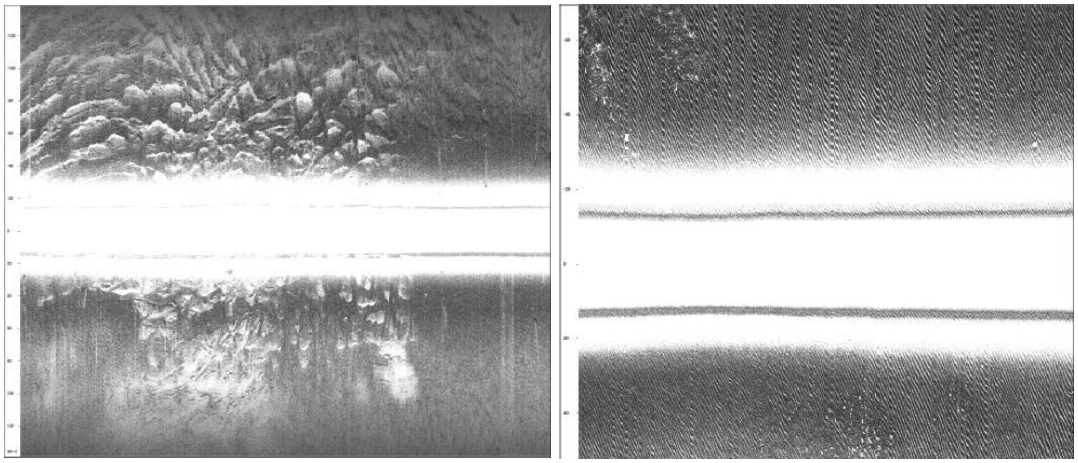


Joonis 4.5.7. Cd-sisaldused (ppm) Soome lahe põhjasetete läbilõikes (mitme läbilõike koondgraafik) ning SedGoF projektsete piirarvude väljatöötamise näide. Ülemine graafik näitab Soome lahe keskosa olukorda (Vallius 2015) ja alumine – SedGoF raames uuritud Eesti territoriaalmere olukorda. ISQG – *interim marine sediment quality guidelines* (=*threshold effect levels* (TEL)); ERL – *effects range low*; PEL – *probable effect level*; ERM = *effects range-medium*.

4.6. Hinnang kaevandatud alade seisundile

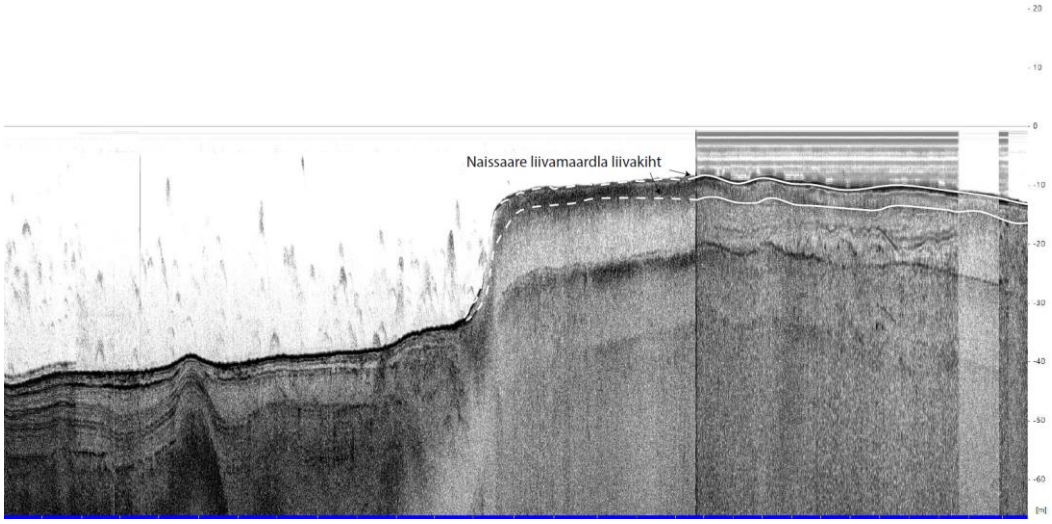
Kaevandatud alade seisundit hinnati Naissaare liivamaardla kahes piirkonnas (Naissaarest idas ja lõunas). Hindamiseks teostati seismoakustiline sondeerimine, külgvaatesonariga

profileerimine ja sukeldumine kahes piirkonnas. Külgvaatesonari pildil (Joonis 4.6.1) on eristatavad kaevandamisest mõjutatud liivalasundi piirkond ja taastumisel olev piirkond.



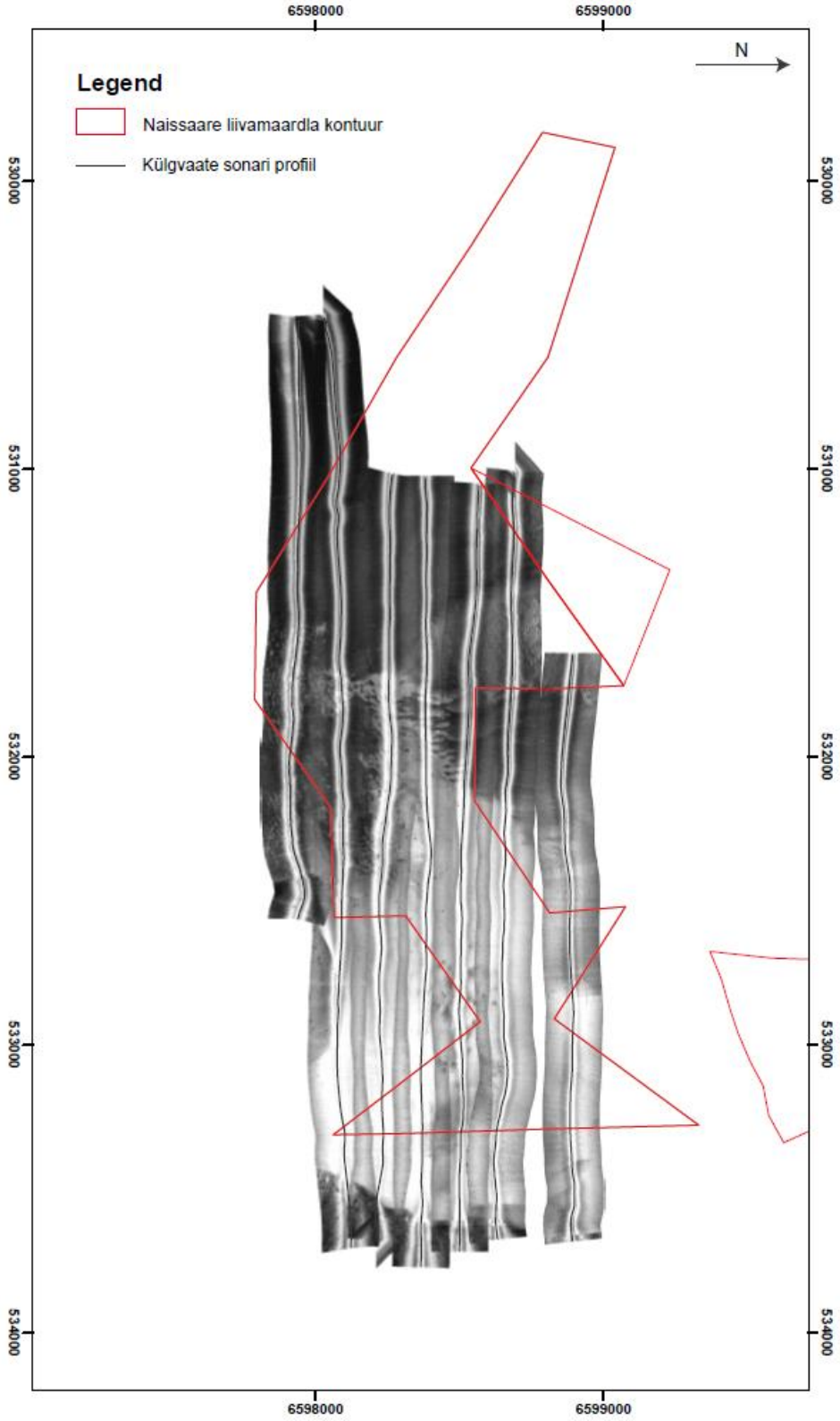
Joonis 4.6.1. Kaevandamisest mõjutatud taastumata ja taastumisel olev liivalasundi piirkond

Seismoakustiline uuring võimaldab jälgida ka liivakihi paksust ja selle muutust. Joonis 4.6.2-l on tegemist kaevandamata liivalasundi piirkonnaga.



Joonis 4.6.2. Fragment seismoakustilisest läbilõikest

Vaatlused näitasid, et valdav osa kaevandatud aladest on taastumas ning heas seisundis. Sukeldumisel teostatud vaatlustel kinnitasid samuti, et kaevandatud alad taastuvad. Merepõhja katvad lainevired tõestavad, et intensiivne vee liikumine on merepõhja reljeefi mõjutamas ning setted on lainetuse ja hoovuste korral liikumises. Kaevandamise jälgi katab ümbersettinud liiv, reljeef on tasandunud ja moodustunud on lainevired (Joonis 4.6.3).



Joonis 4.6.3. Naissaarest lõunas asuv Naissaare liivamaardla osa

5. Ettepanekud seireks

5.1. Ettepanekud seirejaamade valikuks

Ettepanekud seirejaamade valikuks:

- Seirejaamad tuleb planeerida lahe sügavamatele aladele, kus toimub pidev settimine ja erosiooni võimalus on minimaalne.
- Seirejaamad peavad iseloomustama erineva saastekoormuse intensiivsuse ja erinevate saasteallikatega piirnevaid Soome lahe piirkondi.
- Seirejaamad peavad kajastama mandrilt lahte kanduvate saasteelementide (komponentide) koostist ja mõõdetavaid sisaldusi.
- Seirejaamad tuleb planeerida aladele, kus üle 20% settest moodustavad aleuriidi- või savifraktsiooni kuuluvad osakesed (fraktsioon < 0,63 µm), mis on kooskõlas Rahvusvahelise Mereuuringute Nõukogu merepõhja setete seire soovitustega (ICES 2013).
- Eelnevaga arvestades ning projekti SedGoF senistest tulemustest lähtudes, tuleks seiret teostada vähemalt kuues Soome lahes paiknevas seirejaamas (Tabel 3.1):

Tabel 3.1. Seirejaamade keskpunktide koordinaadid

	WGS84		L-EST97	
Seirejaam	B (°)	L (°)	X (m)	Y (m)
Sillamäe	59.56538	27.71569	6608915.60	709953.59
Kunda	59.77652	26.67251	6629613.84	650109.50
Pärispea	59.74783	25.83460	6624836.51	603147.57
Prangli	59.74947	24.65727	6623790.20	536956.15
Paldiski	59.48607	24.03341	6594263.23	501893.18
Osmussaare	59.44226	23.33598	6589568.52	462325.51

5.2. Ettepanekud proovivõtuks

Elementide loodusliku sisalduse variatsiooni minimeerimine on reaalne ainult juhul, kui proove võetakse ühes jaamas mitmest punktist. Projekti SedGoF tulemustele tuginedes võib öelda, et põhjasette proov on esinduslik, kui see koosneb vähemalt ühest jaamast maksimaalselt 2 hektari suuruselt alalt 8-st juhuslikult valitud punktist paarisläbilõikest võetud proovist. Seire peab kajastama elementide sisalduse muutust ajas. Selleks peab olema erineval ajal võetud proovides elimineeritud looduslikust dispersioonist tingitud sisalduste variatsioon ja eriaegsete laboratoorsete analüüside võimalikud süstemaatilised erinevused. Igast paarisläbilõikest on soovitav võtta vahetult sette peal asuvast

põhjalähedasest veekihist proov vee analüüsiks, milles määratakse mikroelementide sisaldus, et täpsustada põhjasetete saastekoormuse kujunemist ja merepõhja ökoloogilisi tingimusi.
Ettepanekud proovivõtuks:

- põhjasette proov tuleb võtta iga jaama 2 hektari suuruselt alalt 8-st juhuslikult valitud punktist paarisläbilõikest võetud proovist;
- põhjasette läbilõike peal olevast põhjalähedasest veekihist tuleks võtta proov vee analüüsiks.

5.3. Ettepanekud seiratavate näitajate valikuks

Seire käigus määratakse setetes Pb, Cd, Cu, As, Hg, Ni, Co, Cr, Sn, Zn. Need on elemendid, mis on Läänemere piirkondades standardsed, valdavalt seotud meretranspordi, transpordivahendite remondi ja sadamate tegevusega. Nende sisaldus lahe mudastes põhjasetetes on kuni 4 korda kõrgem (näiteks Pb) loodusliku savi keskmisest sisaldusest (Koljonen 1992). Nende kontsentratsioon on kujunevates setetes viimastel aastatel stabiliseerunud või näitab vähenemise tendentsi. Määratakse ka Soome lahele omased mandrilt kanduvad saasteelemendid (P, U, Ra, Tl, As, Se, Mo, Na, Cl) ja samuti Pb, Zn, Cu, Hg. Enamus nendest elementidest soodustab taimede kasvu ja enamuse sisaldus mudastes setetes näitab kasvutendentsi.

Seire käigus tuleks määrata setetes:
Setete füüsikalised näitajad

- Lõimis, sh savifraktsiooni (d < 0,002 mm) sisaldus.

Geokeemilised elemendid (ühendid)

- Pb, Cd, Cu, As, Hg, Ni, Co, Cr, Sn, Zn, P, U, Ra, Tl, As, Se, Mo, Na, Cl, $N_{üld}$ ja $C_{org;}$
- Orgaaniline aine;
- Naftaproduktid;
- Fenoolid.

Sisalduste põhjal arvutatakse lisaks järgmised näitajad:

- elementide (ühendite) sisaldus jagatud foonilise sisaldusega (kontsentratsiooni koefitsiendid);
- elementide (ühendite) sisaldus jagatud piirväärtusega.

5.4. Ettepanekud seire sageduseks

Seire sagedus lähtub MSRD-st ja Euroopa Parlamendi ja Nõukogu direktiivi 2008/105/EÜ artikkel 3 punktist 3, mille kohaselt peab seire toimuma vähemalt iga kolme aasta järel, kui tehniliste teadmiste ja ekspertarvamuse põhjal ei ole õigustatud muu ajavahemik.

- Projekti tulemustele tuginedes teeme ettepaneku viia läbi merepõhja seiret esialgu vähemalt iga 3 aasta järel. Kui seiret on kaks korda teostatud, tuleks tulemustest lähtuvalt anda edasised soovitused ja eksperthinnang, millise perioodilisusega seiret jätkata.

6. Ettepanekud meetmete väljatöötamiseks

Vastavalt Euroopa Majanduspiirkonna Finantsmehhanismi 2009–2014 programmi „Integreeritud sise- ja mereveekogude majandamine" projekti „Hinnangu andmine merekeskkonna ökosüsteemipõhiseks korraldamiseks Soome lahe merepõhja ja setete näitel“ (edaspidi SedGoF) lepingu lisa IV punkti 5 alapunktile 5.1.k. tuleb 2015. aasta lõpuks esitada ettepanekud meetmekavasse kaitsemeetmete väljatöötamiseks.

Projekti käigus teostatud keemilised analüüsid setete läbilõigetest ja esialgsed dateerimistulemused näitavad, et mitmete raskmetallide sisaldused setetes on viimastel aastakümnetel olnud olulised või isegi kõrged. Märkimist väärivad sellised kõrgenenud sisaldusega elemendid nagu Cd, Zn, Cu, Pb, Co, Cr Ag, Sb, Mo, U, Ni ja As. Vaid kõige pindmistes kihtides on täheldatav nende elementide kontsentratsioonide vähenemine. Kõrgemad elementide sisaldused 5–25 cm sügavusel settes ületavad kõigi nimetatud metallide ja As puhul sette toksilisuse piirväärtusi (Vallius, 2015a; 2015b). Samuti on tegemist kõrgete sisaldustega Cd puhul, teiste puhul oluliste sisaldustega (Vallius, Leivuori 2003). Zn osas ületavad kontsentratsioonid isegi tõenäoliselt toksilise mõjuga taseme (*probable effect level*) väärtusi (Vallius 2015a; 2015b). Sellega seoses tuleb olulist tähelepanu pöörata asjaolule, et Soome lahe pehmete mudasetete liigutamine ehitustegevuse käigus või mõnel muul moel, mis võib põhjustada 5–25 cm sügavusel settes paikneva kõrgenenud raskmetallide sisaldusega kihi segunemist ja vabanemist aineringesse, võib kujutada ohtu veekeskkonna ja seal elavate organismide seisundile. Oluline on uuringute puhul ja edaspidisel setete monitooringul teostada komplekssed analüüsid, mis hõlmaksid mitte ainult setete keemilist koostist, vaid lisaks veel selliseid näitajaid nagu setete granulomeetria, vee- ja orgaanikasisaldus, sest kõik need näitajad on olulised settekeemia ja kontsentratsioonide kujunemisel.

Põhjasetetes on kasvanud P, U, Ra, Tl, Sb, As, Se, Mn, Mo ja Na sisaldused. Need elemendid soodustavad enamuses taimede kasvu ja põhjustavad eutrofeerumist. Peab arvestama, et paljude eelpool nimetatud elementide kõrgenenud sisaldused pinnasetetes ei ole põhjustatud muust kui näiteks sette enda koostisest või seal valitsevatest redokstingimustest. Nt Cl- ja Na- sisalduste suurenemine pinnakihtides on seotud veesisalduse tõusuga neis setetes (need on merevees tavalised elemendid, seega ka sette poorivees ning setet kuivatades jäävad kuivainesse). Paljud elemendid on otseselt seotud orgaanilise aine esinemisega ja selle rohkusega, nt N- ja P- sisaldus. Mitmed elemendid sadenevad põhja koos orgaanikaga. Veel tuleks märkida sette piirpinnal valitsevaid hapnikutingimusi (kas hapnikku on või kui sügaval settes muutuvad taandavaks), mis võivad põhjustada mitmete elementide väljasadenemise või liikumise (nt Mn).

Projekti käigus teostatud esmastest analüüsidest selgus, et PAH-komponentide summaarne kontsentratsioon on kõikjal madal. Nende summaarne sisaldus varieerub piirides 0,01 kuni 0,91 mg/kg, mis on enam kui 5 korda madalam pinnase foonilise taseme ülemisest piirist (sihtarvust). HELCOM-i poolt on 2013. aastal koostatud soovituslikud piirid PAH-ide

kontsentratsioonile settes, mis väljendavad hea keskkonnaseisundi piiri (*GES boundary for sediment*) (Nyber *et al*, 2013). PAH-ide kontsentratsioon on suurel määral sõltuv laevaliikluse käigus toimuvatest leketest ja õnnetusjuhtumitest. Teadaolevalt on Soome lahel laevaliikluse intensiivsus viimasel kümnendil aina kasvanud, eelkõige naftatoodete transpordiga seotud laevaliiklus (Brunila, Storgård, 2012). Selle taustal tuleks pöörata jätkuvalt suurt tähelepanu laevaliikluse ohutusele. Tagada, et võimalikult kiirelt ja efektiivselt rakendatakse süsteemid (*Smart Response Web* jne.), mis tegelevad õnnetusjuhtumitest põhjustatud reostuse võimalikult efektiivse haldamisega (Aps jt, 2016; NOAA, 2012). Seega soovitame seiratavate ühendite hulka ka PAH-ühendid.

Projekti käigus kogutud ja kogutav geokeemiline info võimaldab välja tuua vaid elementide sisalduse üldise ajalise ja ruumilise trendi ning vähemal määral prognoosida elementide allikaid ning migratsiooniteid. Seetõttu teeme ettepaneku lisada meetmekavasse meetmena tervikliku merepõhja, sh põhjasetete seirekava koostamise. Täiendada ja tõhustada tuleks merepõhja setete seiret. Põhjasetetes seiratavate elementide nimistusse tuleks lisaks kaadmiumile, pliile, tsingile, vasele ja elavhõbedale lisada fosfor, uraan, raadium, tallium, arseen, seleen, molübdeen, mangaan, naatrium, lämmastik ja orgaanilise aine koostis. Seire käigus tuleks kindlasti selgitada elementide allikad ja migratsiooniteed ning põhjasetetele välja töötada saasteainete kontsentratsiooni piirmäärad, mis lähtuksid konkreetse piirkonna iseärasustest. Piirmäärade väljatöötamisel tuleks kaaluda ka biotestimist.

Projekti SedGoF tegevused tuleks ellu viia kogu Eesti merealal. Praegu on projektiga hõlmatud vaid Soome laht (Osmussaare–Hanko jooneni). Soome lahe varasem uuritus on võimaldanud olemasoleva materjali ja suhteliselt väheste välitööde põhjal koostada esialgsed väiksemõõtkavalised geoloogilised kaardid. Projekti tulemuste vastu on olnud suur huvi, mistõttu tuleks jätkata ja laiendada kaardistamisala ka lääne poole Osmussaare–Hanko joont. Samuti on vähe infot rannavööndi ja madalmere kohta. See piirkond on aga olulise tähtsusega, kuna selle vööndi kaudu jõuab merre suur osa reostusest. Rannavöönd ja madalmeri on elukeskkonnaks mitmetele taimedele ja loomadele. Kuna aga setted pakuvad nendele sobivaid toitumis- ja elutingimusi, on merealade geoloogilise ehituse mõistmine võtmetähtsusega looduskeskkonna kaitsmisel ja säilitamisel. Omades infot merepõhja geoloogilisest ehitusest ning teades erinevate setete levikupiire, on võimalik suhteliselt suure tõenäosusega prognoosida ka siin elutsevate taime- ja loomakoosluste levikut.

Lähtudes hinnangu tulemustest ja probleemidest:

- **PROBLEEM 1: Mitmes lahe punktis on Mo-, P-, U-, Se- sisaldus üle halva seisundi kriteeriumi ja setted on nende elementide poolest halvas seisundis. Ülemise settekihi ja alumise settekihi Mo-, P-, Se-, U- sisalduse võrdlus näitas, et viimastel aastatel on toimunud sisalduse tõus.**
- **PROBLEEM 2: Kõrgemad Cd, Zn, Cu, Pb, Co, Cr jt elementide sisaldused 5–25 cm sügavusel settes ületavad sette toksilisuse piirväärtusi: Kanada TEL-ga võrreldes kuni 4 korda.**

- **PROBLEEM 3: Puudub piisava detailsusega lähteandmestik merepõhja seisundi ökosüsteemipõhiseks hindamiseks ja majandamiseks Soome lahest väljaspool.**
- **PROBLEEM 4: Puudub andmestik kogu Eesti rannavööndi ja madala mereosa (sügavus alla 10 m) kohta.**
- **PROBLEEM 5: Eesti suurimate sadamate (Maardu, Tallinn, Paldiski, Kunda) mõjuala põhjasetete keskkonnaseisundi uuringud on piirdunud põhiliselt arendajate tellimustega. Varasemate uuringute käigus on leitud kõrgeid toksiliste raskmetallide (Pb, Cd, Zn, Co jt) sisaldusi. Põhjalikumad uuringud puuduvad.**
- **PROBLEEM 6: Puudub perioodiliselt uuendatav georefereeritud andmebaas inimtegevusest põhjustatud otseste merepõhja füüsikaliste häiringute kohta.**

Esitame meetmekavasse kaheksa ettepanekut:

- ETTEPANEK 1: Tuleb koostada ja rakendada terviklik, kogu Eesti mereala hõlmav merepõhja seirekava. SedGoF projekti käigus saadud tulemused ja seireettepanekud hõlmavad vaid Eesti mereala Soome lahe osa Osmussaare–Hanko jooneni. Sarnased ettepanekud tuleks koostada ka sellest läände jääva mereala kohta.
- ETTEPANEK 2: Tuleb planeerida kogu Eesti mereala hõlmava geoloogilise kaardi lähteandmestiku hankimine (välitööd) ja kaardi koostamine. Kaardistamine peaks hõlmama ka rannavööndit ja madalat mereosa. Kogutakse olemasolev andmestik, teostatakse uued välitööd ja koostatakse aluspõhja geoloogiline kaart, Kvaternaari setete kaart, geomorfoloogiline kaart, merepõhja maavarade kaart, põhjasetete litoloogiline kaart, geokeemiline kaart ja merepõhja setete saastekoormuse kaart.
- ETTEPANEK 3: Merepõhja geokeemilise kaardistamise andmetele tuginedes tuleb välja töötada ja kehtestada piirmäärad saasteainetele setetes ning samuti leida väärtused, millest lähtuda hea keskkonnaseisundi määratlemisel.
- ETTEPANEK 4: Eesti suurimate sadamate (Maardu, Tallinn, Paldiski, Kunda) mõju väljaselgitamine Soome lahe keskkonnaseisundile ja vajadusel vastavate meetmete rakendamine eeldab sadamate mõjupiirkonna põhjasetete keskkonnaseisundi geokeemilist kaardistamist nii lateraalses kui ka vertikaalses suunas. Mainitud sadamate kaardistamine teostatakse eelpool kirjeldatud metoodika põhialuseid järgides, ainult SedGoF projektist kordades detailsema uuringuvõrguga.
- ETTEPANEK 5: Soovitame luua perioodiliselt uuendatava georefereeritud andmebaasi inimtegevusest põhjustatud otseste merepõhja füüsikaliste häiringute kohta, mis sisaldaks lisaks tegevuse iseloomustusele ka mõju ulatuse parameetreid (arendustööde keskkonnaseire andmete põhjal); kaardistatavad tegevused (süvendused, kaadamisalad, kaablid, torujuhtmed jm tehisrajatised jne).
- ETTEPANEK 6: Teostada uuring eutrofeerumist soodustavate ainete sisalduse suurenemise väljaselgitamiseks Soome lahe põhjasetetes.
- ETTEPANEK 7: Olulist tähelepanu tuleb pöörata asjaolule, et Soome lahe pehmete

mudasetete liigutamine ehitustegevuse käigus või mõnel muul moel, mis võib põhjustada 5–25 cm sügavusel settes paikneva kõrgenenud raskmetallide sisaldusega kihi segunemist ja vabanemist aineringesse, võib kujutada ohtu veekeskkonna ja seal elavate organismide seisundile.

- ETTEPANEK 8: Töötada välja üheselt mõistetavad, Eesti olukorda arvestavad ja toksikoloogilistele uuringutele tuginevad merepõhja setete keskkonnaseisundi kriteeriumid.

6.1. Lisauuringute vajadus vastavalt meetmekavasse esitatud ettepanekutele

Projekti tulemusel selgus täiendavate uuringute vajadus perioodiks 2016–2020, et määratleda ja täpsustada survetegurite mõju mereala keskkonnaseisundile erinevate tunnuste lõikes. Täiendavate uuringute tulemused võimaldavad hinnata uute meetmete vajadust järgneval meremeetmekava perioodil 2021–2026. Uuringute vajadus on esitatud tunnuste kaupa.

ETTEPANEK UURINGUTEKS 1: Tuleb koostada kogu Eesti mereala hõlmava merepõhja setete seirekava. Alates 2017. aastast rajada merepõhja setete seirevõrk ja teha esimesed seiretööd Soome lahes.

Põhjasetete settimiskiirust ja settimisega akumuleeruvate saasteinete hulka pole Eesti merealal seni süsteemselt hinnatud. SedGoF projekti raames tehtud uuringud näitasid, et viimastel aastatel on põhjasetetes toimunud toksiliste raskmetallide (Cd, Pb, Hg, Zn, Cu) sisalduse vähenemine, seevastu P- ja Mo- ning läänepiirkonnas ka U-sisaldused suurenevad. Seire eesmärk on jälgida mainitud ja teiste oluliste keskkonnaohtlike elementide sisalduste trende, selgitada saaste päritolu ja anda soovitused saaste minimeerimiseks. Seire raames kogutud andmestik on vajalik MSRD-s kehtestatud HKS tunnuste (D5, D6, D8) saavutamiseks.

Ilma kaasaja seisundi ja trendide hinnanguta on seisundi muutuse hindamine (indikaatorid 5.1.1.1 kuni 5.1.1.4, 6.1.2.1. ja 8.1.1.2 ning seni Eesti indikaatorite nimekirjast puuduvad elemendid) võimatu.

ETTEPANEK UURINGUTEKS 2: Lähtuvalt SedGoF projekti tulemustest on vajalik jätkata uuringutega Osmussaarest lääne pool kuni Eesti majandusvööndi piirini. Projekti tulemused näitavad, et P-, Mo- ja U-sisaldused (eutrofeerumist ühel või teisel moel soodustavad elemendid) põhjasetetes kasvavad Soome lahe piires lääne poole, mistõttu on vajalik selgitada nende elementide sisaldused ja võimalik lähteallikas Soome lahe suudmest lääne pool.

Selgitada tuleb nimetatud elementide võimalikku seost aluspõhjakivimite avamusaladega merepõhjas (graptoliitargilliit, oobolusliivakivi). Uuringute käigus kogutakse olemasolev andmestik, teostatakse välitööd ja koostatakse erinevad geoloogilised kaardid, et hinnata mereala keskkonnaseisundit. Lisaks tuleb uuringute käigus selgitada eutrofeerumist ja

põhiliste radioaktiivsete elementide kontsentratsioonide suurenemise põhjuseid põhjasetetes.

Ilma nimetatud uuringuteta ei saa hinnata eutrofeerumise intensiivistumise põhjuseid ja täpsemat trendi (indikaatorid 5.1.1.1 kuni 5.1.1.4, 6.2.1. ja 8.1.1.2 ning seni Eesti indikaatorite nimekirjast puuduvad elemendid).

ETTEPANEK UURINGUTEKS 3: Vastavalt MSRD-s kirjeldatud põhimõtetele antakse SedGoF projekti raames esialgne hinnang Soome lahe põhjasetete keskkonnaseisundile veealade ökosüsteemipõhiseks korraldamiseks. Hinnangu koostamise aluseks on Soome lahe merepõhja ja selle keskkonnaseisundit kirjeldavad geoloogilise ja geokeemilise kaardistamise tulemused. Merepõhja geokeemilise kaardistamise andmetele tuginedes tuleb koostöös Soome ja Baltimaadega täpsustada ja kehtestada piirmäärad saasteainetele setetes ning samuti leida väärtused (*GES boundary*), millest lähtuda hea keskkonnaseisundi määratlemisel. Piirmäärad peavad tuginema planeeritavatele toksikoloogilistele uuringutele. Oluline on biotestimise metoodika väljatöötamine koostöös Läänemere piirkonna riikidega.

Ilma nimetatud uuringuteta ei saa hinnata merepõhja seisundit ja võrrelda seda teiste Läänemere piirkondadega. Samuti ei saa kehtestada konkreetseid meetmeid merepõhja keskkonnaseisundi parendamiseks (indikaatorid 5.1.1.1 kuni 5.1.1.4, 6.2.1. ja 8.1.1.2).

ETTEPANEK UURINGUTEKS 4: Senini puudub ühtne, tervet Eesti mereosa iseloomustav, ruumiline andmekogum keskkonnaseisundi iseloomustamiseks. SedGoF projekti raames hinnatakse keskkonnaseisundit avamere osas, s.o sügavamal kui -10 m samasügavusjoon. Arvestamata on Soome lahe äärsete suurimate sadamate (Maardu, Tallinn, Paldiski, Kunda) kui võimalike suurimate saasteallikate keskkonnaseisundi andmestik. Lisauuringute käigus tuleb koondada ja määrata sadamate põhjasetete keskkonnaseisund nii lateraalses kui ka vertikaalses suunas.

Ilma nimetatud uuringuteta ei saa hinnata kogu merepõhja seisundit ja kehtestada konkreetseid meetmeid saastekoormuse minimeerimiseks (indikaatorid 5.1.1.1 kuni 5.1.1.4, 6.2.1. ja 8.1.1.2).

ETTEPANEK UURINGUTEKS 5: Merepõhja planeeritavate ehitiste ja rajatiste projekteerimiseks tuleb välja töötada normid, mis arvestavad kõrgendatud raskmetallide sisalduse võimaliku esinemisega merepõhjast sügavamal (5–50 cm sügavusel) asuvates setetes. Reostunud setete kihi segunemine ja reostuse vabanemine aineringesse võib kujutada ohtu veekeskkonnale ja halvendada mere ökoloogilist seisundit.

Ilma nimetatud uuringuteta ei saa hinnata võimaliku ehitustegevuse (merepõhja häiringud) mõju mereala seisundile ja kehtestada konkreetseid meetmeid saastekoormuse minimeerimiseks (indikaatorid 5.1.1.1 kuni 5.1.1.4, 6.2.1. ja 8.1.1.2).

Kokkuvõte

OÜ Eesti Geoloogiakeskus koostöös TTÜ Geoloogia Instituudi, TLÜ Ökoloogia Keskuse, Norra Geoloogiateenistuse ja TTÜ Meresüsteemide Instituudiga viis aastatel 2014 kuni 2016 ellu projekti „Hinnangu andmine merekeskkonna ökosüsteemipõhiseks korraldamiseks Soome lahe merepõhja ja setete näitel“ (edaspidi ka SedGoF projekt).
SedGoF projekti käigus koostati aluspõhja, kvaternaari, geomorfoloogia, põhjasetete litoloogia ja maavarade digitaalsed geoloogilised kaardid. Välitöödel täpsustati geoloogilist infot täiendavate geofüüsikaliste uuringutega ja valiti proovivõtujaamadeks sobilikud kuhjealad. Proovivõtujaamadest võeti läbilõiked proovivõtuseadmega „GEMAX“ (võimaldab võtta kaks paralleelset läbilõiget korraga). Läbilõigetest võeti intervalliti proovid. Proovides määrati granulomeetriline koostis, makroelementide Al, Ca, Mg, Fe, K, Na, Ti, S ning mikroelementide Ag, As, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Hf, Mn, Mo, Ni, P, Pb, Sb, Se, Sn, Th, Ti, Tl, U, V, Zn sisaldus. Samuti määrati C_{org}, $N_{üld}$, P_{org}, fenoolide, naftaproduktide ja polütsükliliste aromaatsete süsivesinike (naftaleen, atsenaftüleen, atsenafteen, fluoreen, fenantreen, antratseen, fluorantseen, püreen, benso(a)antratseen, krüseen, benso(b)fluoranteen, benso(k)fluoranteen, benso(a)püreen, dibenso(a,h)antratseen, benso(g,h,i)perüleen, indeno(1,2,3-cd)püreen) sisaldus. Vahetult setete peal olevas vees määrati ka P- ja N-sisaldus. Dateeriti setteläbilõiked, et hinnata settimiskiirust ja määrata konkreetsest intervallist proovitud sette vanus. Hinnangu andmiseks võrreldi erineva vanusega setetes määratud elementide sisaldust foonilise sisaldusega (paleomeetod), erinevate riikide kriteeriumitega ja projekti käigus välja pakutud kriteeriumitega. Osa kriteeriumitest on otse üle võetud ja osa eksperthinnangule tuginedes tuletatud. Kriteeriumitele tuginedes jaotub setete seisund kolme klassi: hea, rahuldav ja halb.

Hinnangu põhijäreldused olid:

- Raskmetallide (Cd, Cr, Cu, Pb, Hg ja Zn) ning As sisalduste poolest on lahe setted heas või rahuldavas seisundis. Viimaste aastate jooksul toimus setetes Cd, Hg, Pb, Zn, Cu ja Zn sisalduse vähenemine. Nende elementide sisaldus on ülemises 3 cm kihis kuni 18% madalam, kui selle all lasuvas 3 cm paksuses kihis. Mattunud setted intervallis 6 kuni 25 cm sügavusel on mõõdukalt reostunud raskmetallide ja As-ga. Alates 5 cm sügavamal Soome lahe setetes on mitmete elementide kontsentratsioonid väga kõrged. Näiteks Cd sisaldus on üle kahe korra kõrgem foonitasemest. 15–20 cm sügavusel on Cd sisaldus 3–4 korda kõrgem kui foonitase.
- Lahe lääneosas on setted Mo-, P- ja U-sisalduse poolest ülemises 0–3 cm ja harvem alumises 3–6 cm kihis halvas seisundis. Ülemise ja alumise settekihi Mo-, P-, Se-, U-sisalduste võrdlus näitas, et viimastel aastatel toimus sisalduste suurenemine. Lahe

lääneosas, Osmussaare piirkonnas, ulatub põhjalähedases veekihis hiliskevadisel perioodil P-sisaldus 0,8 mg/l-ni.

- Fe-Mn konkretsioonid esinesid 8 uuringupunktis. Maksimaalne konkretsioonide kogus ühest ruutmeetrist jäi 12–15 kg (õhkkuiv kaal) piiridesse. Fe-Mn konkretsioonides on kõrge P, Mo, As ja Cd sisaldus.
- Rammu saarest põhjas territoriaalmere piiri läheduses oli 0–3 cm sügavusel setetes kõrge As (41,4 mg/kg) sisaldus. Pakri poolsaarest põhjas oli 3–6 cm sügavusel setetes kõrge Ni (140,8 mg/kg) sisaldus. Kõrged sisaldused viitavad elementide tehnogeensele päritolule. Kõrgete sisaldustega ala ulatus vajab edaspidist selgitamist.
- Polütsükliliste aromaatsete süsivesinike summaarne sisaldus ei ületa HELCOM-i poolt väljapakutud sihttasemete summaarset väärtust, olles sellest kordades madalam. Kahes proovis ületab benzo(g,h,i)perüleeni sisaldus HELCOM-i GES piiri (87 ng/g dw) pea kahekordselt.
- Sukeldumistel teostatud vaatlused ja geofüüsikalised uuringud kahel näidisalal Naissaarest lõunas ja läänes näitasid, et kaevandatud alad on taastumas ja heas seisundis.
- Enne setteid mõjutavaid hüdrotehnilisi või ehitustöid tuleb selgitada põhjasetete keskkonnaseisund mõjualal vältimaks võimaliku reostuse levimist. Soovitame eelnevalt detailsemalt uurida kogu mõjutatavat setteläbilõiget, mitte vaid pindmist kihti nagu seda Eestis on seni tehtud.

Summary

The project „Assessment for ecosystem-based management of marine environment on the basis of sea bottom and sediments of the Gulf of Finland” (SedGoF) was carried out during 2014–2016 by the Geological Survey of Estonia in co-operation with the Institute of Geology and Marine Systems Institute, Tallinn University of Technology, the Institute of Ecology, Tallinn University, and the Geological Survey of Norway.

SedGoF project activities included compilation of digital maps on geological basement, Quaternary sediments, geomorphology, bottom sediment lithology and geological resources. Geological information was complemented with geophysical field work, by selecting appropriate accumulation areas as sampling sites. Cross-sections were made at sampling sites by a GEMAX-corer, which allows simultaneous making of two parallel sections. The cross-sections were sampled at certain intervals. Granulometric composition was determined, as well as the content of macroelements Al, Ca, Mg, Fe, K, Na, Ti, S and microelements Ag, As, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Hf, Mn, Mo, Ni, P, Pb, Sb, Se, Sn, Th, Ti, Tl, U, V, Zn. The content of C_{org}, N_{total}, P_{org}, phenols, petroleum products and polycyclic aromatic hydrocarbons (naphthalene, acenaphthylene, acenaphthene, fluorene, phenanthrene, anthracene, fluoranthene, pyrene, benzo(a)anthracene, chrysene, benzo(b)fluoranthene, benzo(k)fluoranthene, benzo(a)pyrene, dibenzo(a,h)anthracene, benzo(g,h,i)perylene, indeno(1,2,3-cd)pyrene) was also determined. The content of P and N was determined in the water layer overlying the sediments. Sedimentary cross-sections were dated for assessing deposition rate and for defining age of sediment within a certain interval. For an assessment, element content in sediments of different ages were compared with background content (paleomethod), with criteria in different countries and with criteria provided in the project. Some of these criteria were taken as such and some of them derived on the basis of expert opinions. Accordingly, the state of sediments can be divided into three categories: good, moderate and bad.

Principal conclusions of the assessment are:

- Environmental state of the Gulf of Finland is good or moderate in regard with content of heavy metals (Cd, Cr, Cu, Pb, Hg and Zn) and As. The content of Cd, Hg, Pb, Zn, Cu and Zn has decreased in sediments during recent years. The content of these elements within the uppermost 3 cm layer is up to 18% smaller than within the underlying 3 cm thick layer. The buried sediments within 6–25 cm depth are moderately contaminated in regard with heavy metals and As. Concentrations of many elements are very high in sediments of the Gulf of Finland downwards from the depth of 5 cm. For instance, Cd content is twofold compared to the background

level. At the depth 15–20 cm, the content of Cd is 3–4 times higher than the background.

- The state of uppermost 0–3 cm layer, and less often of the underlying 3–6 cm, is poor in the west part of the Gulf of Finland in regard with Mo, P and U content. Comparison between the Mo, P and U content in the uppermost and underlying sediment layers showed that the contents have been increasing in recent years. Late spring P content reaches 0.8 mg/l in the water layer next to the sea bottom in the Osmussaar island region in the west part of the gulf.
- Fe-Mn concretions were found at eight sites. The maximum amount of concretions (dry weight) was 12–15 kg/m². P, Mo, As ja Cd contents are high in Fe-Mn concretions.
- The arsenic (As) content was high (41.4 mg/kg) in sediments at 0–3 cm depth to the north of the Rammu island close to the border of territorial waters. Ni content was high (140.8 mg/kg) in sediments at 3–6 cm depth to the north of the Pakri peninsula. High contents indicate a man-made origin of the elements. In order to define the extent of the area of high contents, additional research is required.
- The total content of polycyclic aromatic hydrocarbons does not exceed the sum of the limit values given by HELCOM, being several orders lower than this sum. In two samples the content of benzo(g,h,i)perylene is almost two times higher than the HELCOM limit (80 ng/g dw).
- Observations by diving and geophysical studies in two case study areas to the south and to the west of the Naissaar island showed that mined areas are recovering and in a good environmental state.
- The environmental state of sediments has to be defined within the affected area before any hydrotechnical operations or construction work, in order to avoid potential dispersal of contamination. It is recommended to study beforehand the sedimentary sequence as a whole, not only the uppermost layer, as it has been done in Estonia until now.

Viited

Alhonen, P., Suursaar, J., Tamsalu, R., 1992. Anthropogenic pollution and its prediction – Geology of the Gulf of Finland, Tallinn, pp. 355–366.

Amsinck, S., Johansson, L., Bjerring, R., Jeppesen, E., Søndergaard, M., Jensen, J., Jensen, K., Bradshaw, E., Anderson, J., Bennike, O., Nielsen, A., Rasmussen, P., Ryves, D., Stavngaard, B., Brodersen, K., McGovan, S., Ofgaard, B., Wolin, J., 2003. Vandrammedirektivet og danske søer, Del 2: Palaeoøkologiske undersøgelser, Faglig rapport fra DMU nr. 476, 120. Danmarks Miljøundersøgelser, Miljøministeriet.

Appleby, P. G., Oldfield, F., 1978. The calculation of 210Pb dates assuming a constant rate of supply of unsupported 210Pb to the sediment. Catena 5, pp. 1–8.

Appleby, P. G., 2001. Chronostratigraphic techniques in recent sediments. In: Last, W. M., Smol, J. P. (Eds.), Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Volume 1: Basin Analysis, Coring and Chronological Techniques. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 171−203.

Asch, K., 2007. The 1 : 5 Million International Geological Map of Europe and adjacent areas – IGME 5000. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover.

Bakke, T., Källqvist, T., Ruus, A., Breedveld, G.D., Hylland, K., 2010. Development of sediment quality criteria in Norway. Journal of Soils and Sediments 10, pp. 172–178.

Bartels, W., 1937. Die Erdgas vorkommen Estlands. Petroleum, 1, 1–7.

Bennion, H., Simpson, G., Hughes, M., Phillips, G. & Fozzard, I., 2003. The role of paleolimnology in identifying reference conditions and assessing ecological status of lakes. In: Ruoppa, M., Heinonen, P., Pilke, A., Rekolainen, S., Toivonen, H., Vuoristo, H. (Eds), How to Assess and Monitor Ecological Quality in Freshwaters? TemaNord, Helsinki, pp. 57−63.

Bennion, H., Fluin, J., Simpson, G.L., 2004. Assessing eutrophication and reference conditions for Scottish freshwater lochs using subfossil diatoms. Journal of Applied Ecology 41, pp. 124−138.

Bennion, H., Johnes, P., Ferrier, R., Phillips, G., Haworth, E., 2005. A comparison of diatom phosphorus transfer functions and export coefficient models as tools for reconstructing lake nutrient histories. Freshwater Biology 50, pp. 1651–1670.

Bowen, H. J., 1979. Environmental Chemistry of the Elements. Academic Press, New York, 333 p.

Bradshaw, E.G., Anderson, N.J., 2001. Validation of a diatom-phosphorus calibration set for Sweden. Freshwater Biology 46, pp. 1035−1048.

Bradshaw, E.G., Anderson, N.J., Jensen, J.J., Jeppesen, E., 2002. Phosphorus dynamics in Danish lakes and the implications for diatom ecology and palaeoecology. Freshwater Biology 47, pp. 1963−1975.

Bradshaw, E.G., Anderson, N.J., Nielsen, A., Odgaard, B.V., Rasmussen, P., 2003. Defining reference conditions for Danish lakes: paleoecological evidence for human impacts over decadal to millennial timescales. In: Sorvari, S., Salonen, V.-P., Korhola, A. & Ojala, A. (eds). 9th International Paleolimnology Symposium, August 24–28, 2003, Espoo, Finland, Abstract Volume. Yliopistopaino, Helsinki.

Braun, M., 1894. Physikalische und biologische Untersuchungen im westliche Teile des finnischen Meerbusens. Arch. Naturk. Liv-, Est- u. Kurl. Ser. II/X. 1 –130.

Brooks, R. R., 1972. Geobotany and biogeochemistry in mineral exploration. New York – Evanston – San Francisco – London, 290 p.

Calvert, S.E., Pedersen, T.F., 1996. Sedimentary geochemistry of Manganese: Implications for the environment of formation of manganiferous black shales. Economic Geology 91, pp. 36–47.

Canadian Council of Ministers of the Environment. 2002. Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life: Summary tables, 1–7. Updated. In: Canadian environmental quality guidelines, 1999, Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg.

CCME, 2001, Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life, http://www.ccme.ca/en/resources/canadian_environmental_quality_guidelines/.

Dean, W. E. Jr., 1974. Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition: Comparison with other methods. Journal of Sedimentary Petrology 44, pp. 242–248.

De Vos, W., Tarvainen, T., 2006. Geochemical Atlas of Europe. Part 2. Geological Survey of Finland. Espoo, 690 p.

Directive 2000/60/EC, 2000. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. Official Journal L 327, pp. 1–72.

Effendejeva, M. A., 1967. The relief of the crystalline basement on Baltic Sea aquatory in magnetometrical regords. Sovetskaya Geologia 4. (in Russian).

Fersman, A. E., 1954. Zanimatel'naja geohimija. Leningrad, 113 c.

Folk, R.L., 1974. „The petrology of sedimentary rocks“. Austin, Texas, Hemphill Publishing Co., 182 p. https://www.lib.utexas.edu/geo/folkready/entirefolkpdf.pdf

Foy, C. D., Scott, B. J, Fisher, J. A., 1988. Genetic differences in plant tolerance to manganese toxicity. – In: Manganese in Soils and Plants. Academic Publ., Dordrecht, 293 p.

Glass Jennifer B., Axler Richard P., Chandra Sudeep, Goldman Charles R., 2012. Molybdenum limitation of microbial nitrogen assimilation in aquastic ecosystems and pure cultures. MICROBIOLOGY Volume 3, Article 331, pp. 1–11.

Gondi, F., Panto, G., Feher, J., Bogue, G., Alfthan, G., 1992. Selenium in Hungary – The Rock-Soil Human System. Biological Trace Element Research, 33(3), pp. 299–306.

Grigelis, A., 1990. Geological map of the Baltic Sea bottom and adjacent land areas (scale 1:500 000). Vilnius.

Grigelis, A., 1990. Geological map of the Quaternary deposits of the Baltic Sea bottom and adjacent land areas (scale 1:500 000). Vilnius.

Heinsalu, A., Alliksaar, T., 2005. Järvetüüpide interkalibreerimiseks vajalike foonitingimuste väljaselgitamine paleolimnoloogiliste uuringute abil [Assessing reference conditions for lakes using paleolimnological methods]. TTÜ Geoloogia Instituudi Aruanne 29, 98 + lisad 51 lk. (tellija EV Keskkonnaministeerium).

Heinsalu, A., Alliksaar, T., 2009. Palaeolimnological assessment of the reference conditions and ecological status of lakes in Estonia – implications for the European Union Water Framework Directive. Estonian Journal of Earth Sciences 58(4), pp. 334–341.

Heiri O., Lotter A.F., Lemcke G., 2001. Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. Journal of Paleolimnology 25, pp. 101–110.

HELCOM Baltic Sea Environment Fact Sheets. Online. http://www.helcom.fi/baltic-sea-trends/environment-fact-sheets/.

HELCOM, 2009. Hazardous substances of specific concern to the Baltic Sea – Final report of the HAZARDOUS project. Balt. Sea Environ. Proc. No. 119.

HELCOM, 2014. HELCOM Monitoring of radioactive substances expert group (HELCOM MORS EG). Cesium-137 in Baltic Sea sediments. HELCOM Baltic Sea Environment Fact Sheets. Online. Vaadatud 27.04.2016. http://www.helcom.fi/baltic-sea-trends/environment-fact-sheets/.

Helsinki Commission. 2010. Hazardous substances in the Baltic Sea. An integrated thematic assessment of hazardous substances in the Baltic Sea. Baltic Sea Environment Proceedings no. 120 B, Baltic Marine Environment Protection Commisssion, Helsinki, Finland.

Hendrikson & Ko OÜ, 2010. “EstLink 2 meretrassi keskkonnamõju eksperthinnang”. Lõpparuanne.

Hindrikson, M., 2015. Jõgede ülevaateseire hüdrokeemilised uuringud. OÜ EKK, Kesklabor, Tartu, Aruanne nr 3-8/58.

ICES, 2003. „Report of the Working Group on Marine Sediments in Relation to Pollution.“ International Council for the Exploration of the Sea. Tromsø, Norway, 24–28 March 2003.

Ivanov, V. V., 1996. Èkologičeskaja geohimija èlementov. Spravočnik, kniga 4, glavnye d-èlementy, Moskva, Èkologija, 409 c.

Ivanov, V. V., 1997. Èkologičeskaja geohimija èlementov. Spravočnik, kniga 5, redkie d-èlementy, Moskva, Èkologija, 575 c.

Kabata-Pendias, A., Pendias, H., 1989. Mikroelementy v pocvah. M., Mir, 332 s.

Kabata-Pendias, A., Pendias, H., 1992. Trace Elements in Soils and Plants. CRC PressBoca Raton Ann Arbor London, 365 p.

Kalmet, R., 1979. Mikroelemendid Eesti NSV maaviljeluses. Tallinn, Valgus, 176 lk.

Kask, A., Ocuntsov, E., Korneev, V., 2007. Üldgeoloogiline uurimistöö Diomidi madala uuringuruumis. EGF 7925.

Kauppila, T., 2002. Lake eutrophication studies in southern Finland employing diatom-based total phosphorus inference models and sedimentary phosphorus fractionations. Annales Universitatis Turkuensis, Ser. A II 156: pp. 1−29.

KeM määrus nr 38, 2010. Ohtlike ainete sisalduse piirväärtused pinnases. Keskkonnaministri määrus nr 38, 11.08.2010.

Kirs, J., Puura, V., Soesoo, A., Klein, V., Konsa, M., Koppelmaa, H., Niin, M., Urtson, K., 2009. The crystalline basement of Estonia: rocks complexes of the Paleoproterozoic Orosirian and Statherian and Mesoproterozoic Calymmian perods, and regional correlations. Estonian Journal of Earth Sciences 58, 4, pp. 219–228.

Koistinen, T. J. (ed.), 1996. Explanation to the map of Precambrian basement of the Gulf of Finland and surrounding area 1 : 1 million. Geological Survey of Finland, Espoo. 141 p.

Koljonen, T., 1992. Suomen geokemian atlas, osa 2: moreeni. Geologian Tutkimuskeskus, Espoo, 218 s.

Koppelmaa, H., Kivisilla, J., 1998. Põhja-Eesti kristalse aluskorra geoloogiline kaart mõõtkavas 1:200 000. Kaart ja seletuskiri. Eesti Geoloogiakeskus. Tallinn.

Korpinen, S. & Zweifel U.L., 2012. Development of a set of core indicators: Interim report of the HELCOM CORESET project. PART B: Descriptions of the indicators. Baltic Sea Environment Proceedings No. 129B.

Krõlov, V., 1948. Geoloogiline aruanne loodusliku gaasi uuringutest Prangli saarel 1947. a (vene keeles).

Kulikov, K., Tšeussova, J., 1962. Aruanne loodusliku gaasi uuringutöödest Eesti NSV Suur-Prangli saarel (vene keeles). EGF 1776.

Larsen, B., Jensen, A., 1989. Evalution of the Sensitivity of Sediments Stations in Pollution Monitoring. Marin Pollution Bulletin. Volume 20, No. 11, pp. 556–560.

Lips, U., Loigu, E., Lääne, A., Martin, G., Pachel, K., Raia, T., 1998. Soome lahe seisund ja tulevik, Keskkonnaministeeriumi Keskkonnafond, Tallinn, 38 lk.

Long, E.R., Macdonald, D.D., Smith, S.L., Calder, F.D., 1995. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. Environmental Management. Vol. 19, No 1, pp. 81–97.

Loog, A., Petersell, V., 1994. The distribution of microelements in Tremadoc graptolitic argillite of Estonia. Tartu Ülikooli Toim., 972, Töid geol. alalt XIV. Tartu, lk. 57–66.

Luha, A., 1946. Eesti NSV maavarad. Tallinn, 192.

Lutt, J., Raukas, A. (toim.), 1993. Eesti šelfi geoloogia. Eesti Geoloogia Selts: 1–192.

Malkov, B., Dulin, J., Kiipli, T., Talpas, A., 1983. Aruanne kaardistamisest Balti mere šelfi-alast Eestiga piirneval territooriumil (katse-tootmistööd 1981.–1983. a), (vene keeles). EGF 4014.

Mey, J., 1927. Eesti Loots. Meresõidu ja lootsiasjanduse käsiraamat. Tallinn.

Meyers P.A., Teranes J.L., 2001. Sediment organic matter. In: Last W.M. and Smol J.P. (eds), Tracking Environmental Change Using Lake Sediments Vol. 2: Physical and Geochemical Methods. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 239–269.

Michelutti, N., Laing, T., Smol, J. 2001. Diatom assessment of past environmental changes in lakes located near the Noril’sk (Siberia) smelters. Water, Air and Soil Pollution, 125, 231–241.

Miettinen, J.O., Kukkonen, M. & Simola, H., 2005. Hindcasting baseline values for water colour and total phosphorus concentration in lakes using sedimentary diatoms – implications for lake typology in Finland. Boreal Environment Research 10, pp. 31−43.

Morgan J.J. & Stumm W., 1991. Metals and their compounds in the environment. E. Merian (Ur.), VCH Publ.Co., Cambridge.

Moskalenko, P. E., 1990. Experimental marine geological survey work in the central part of the Gulf of Finland in 1987–1990 (in the scale of 1 : 200 000). VSEGEI, St. Petersburg.

Nerucev, S. G., 1982. Uran i žizn' v istorii zemli. Nedra, 208 c.

Nyberg E., Kammann U., Garnaga G., Bignert A., Schneider R. & Danielsson S., 2013. HELCOM Core Indicator of Hazardous Substances. Polyaromatic hydrocarbons (PAH) and their metabolites. HELCOM Core Indicator Report. Online (viewed 2.02.2015)

http://helcom.fi/Core%20Indicators/HELCOM_CoreIndicator_Polyaromatic_hydrocarbons_and_their_metabolites.pdf

Nyberg, E., Larsen, M.M., Bignert, A. , Boalt. E., Danielson, S., and the CORESET expert group for hazardous substances indicators. 2013. HELCOM Core Indicator of Hazardous Substances Metals (lead, cadmium and mercury). HELCOM Core Indicator Report: http://helcom.fi/Core%20Indicators/HELCOM-CoreIndicator-Metals.pdf

Oja, J., 1933. Maagaasist Eestis. Loodusvaatleja, nr. 1, 44–48 ja nr. 3, lk. 79–82.

Pawlak, J.F., Laamanen, M., Anders, J.H., 2009. Eutrophication in the Baltic Sea. An integrated thematic assessment of the effects of nutrient enrichment in the Baltic Sea region.An executive summary. Baltic Sea Environment Proceedings No. 115A. Helsinki Commission, Baltic Marine Environment Protection Commission.

Petersell, V., 1991. Geochemistry of F, Sr, REE and U in phosphorites of the East Baltic phosphorite basin. Exploration Geochemistry 1990, Prague, pp. 278–290.

Petersell, V., Mõttus, V., Täht, K., Unt, L., 1996. Mulla geokeemilise seire bülletään, Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn, 84 lk.

Petersell, V., Shtokalenko, M., Täht-Kok, K., Talpas, A., 2013. Kirde-Eesti tööstuspiirkonna pinnase keskkonnaseisundi uuringute aruanne, Tallinn, EGF 8520.

Petersell, V., Karimov, M., Shtokalenko, M., Täht-Kok, K., 2015. Eesti mulla geokeemiline atlas. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn, 138 lk.

Puura, V., Floden, T., 1997. The Baltic Sea drainage basin – a model of a Cenozoic morhostructure reflecting the early Precambrian crustal pattern. Sveriges Geologiska Undersköning 86.

Radojevic, M., Bashkin, V.N., 2006. Practical environmental analysis, 2nd Edition, The Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK, pp. 225–234.

Raukas, A., 1965. „Purdkivimite terasuuruse klassifikatsioon“. «Литология и стратиграфия четвертичных отложений Эстонии.». К VII международному конгрессу ИНКВА в США. Институт геологии Академии наук Эстонской ССР, с. 133–148. Таллин.

Raukas, A., Hyvärinen, H. (editors), 1992. Geology of the Gulf of Finland (in russian). Tallinn, pp. 422.

Reimann, C., Birke, M., Demetriades, A., Filzmoser, P. & O’Connor, P. (eds), 2014. Chemistry of Europe’s agricultural soils. Part A: Methodology and interpretation of the GEMAS data set. Geologisches Jahrbuch (Reihe B 102), Schweizerbarth, Hannover, 528 pp. + DVD. Valter Petersell in GEMAS Project Team: coordinator, sampling and interpretation [http://gemas.geolba.ac.at/Group_GEMAS.htm]

Räsänen, J., Kauppila, T., Salonen, V.-P., 2006. Sediment-based investigation of naturally or historically eutrophic lakes — implications for lake management. Journal of Environmental Management, 79, pp. 253–265.

Salminen, R., Batista, M.J., Bidovec, M., Demetriades, A., De Vivo, B., De Vos, W., Duris, M., Gilucis, A., Gregorauskiene, V., Halamic, J., Heitzmann, P., Lima, A., Jordan, G., Klaver, G., Klein, P., Lis, J., Locutura, J., Marsina, K., Mazreku, A., O'Connor, P.J., Olsson, S.Å., Ottesen, R.T., Petersell, V., Plant, J.A., Reeder, S., Salpeteur, I., Sandström, H., Siewers, U., Steenfelt, A. & Tarvainen, T., 2005. FOREGS Geochemical Atlas of Europe, Part 1: Background Information, Methodology and Maps. Geological Survey of Finland, Espoo, pp. 526.

Samoilov, I. V. & Titov, A. G., 1922. Iron- and manganese concretions on bottom of Black Sea, Baltic Sea and Barents Sea. Trudy Geol. Min. AN 19/2. (in Russian).

Schönfelder, I., Gelbrecht, J. Schönfelder, J., Steinberg, C.E.W., 2002. Relationships between littoral diatoms and their chemical environment in northeastern German lakes and rivers. Journal of Phycology 38, pp. 66−82.

SEPA, 2000. Environmental quality criteria. Coasts and Seas. Swedish Environmental Protection Agency. Report 5052, pp. 51–75.

Sigmond, Ellen, M.O., 2002. Geological Map, Land and Sea Areas of Northern Europe scale 1 : 4 million. Geological Survey of Norway.

Sinisalu, R., Kleesment, A., 2002. Purdsetendite granulomeetrilisest klassifikatsioonist. Eesti Geoloogiakeskuse Toimetised 10/1, Tallinn, 20–26.

Stiles, W., 1961. Trace element in plant. New York, 249 p.

Suuroja, K., Saadre, T., 1995. Loode-Eesti gneissbretšad senitundmatu impakt-struktuuri tunnistajaina. Eesti Geoloogiakeskuse toimetised 5/1, 26–28.

Suuroja, K., Suuroja, S., Talpas, A., 1999. Pakri ja Osmussaare vahelise merepõhja geoloogilise struktuuri uurimine. EGF 6119.

Suuroja, K., 2002. Põhja-Eesti pank. Geoloogilis-hüdrogeoloogiline kaardistamine mõõtkavas 1:50 000 (1:25 000). Tallinn, EGF 7476.

Suuroja, K., All, T., Kõiv, M., Mardim, T., Morgen, E., Ploom, K., Vahtra, T., 2002. Eesti geoloogiline baaskaart (mõõtkavas 1:50 000). 7321 Prangli. Seletuskiri. EGF 7473.

Suuroja, K., All, T., Kõiv, M., Mardim, T., Morgen, E., Ploom, K., Kaljuläte, K., Otsmaa, M., Vahtra, T., 2010. Eesti geoloogiline baaskaart (mõõtkavas 1:50 000). 6333 Paldiski. Seletuskiri. EGF 8071.

Suuroja, K., Kaljuläte, K., Ploom, K., 2012. Eesti geoloogiline baaskaart (mõõtkavas 1:50 000). 6244 Pakri. Kaardid. EGF 8436.

Suuroja, K., Kaljuläte, K., Mardim, T., Morgen, E., Ploom, K., Shtokalenko, M., Suuroja, S., 2013. Eesti geoloogilise baaskaardi Pakri (6244) leht. Seletuskiri. Tallinn. EGF 8488.

Šufertov, A., 1960. Looduslikud gaasid (vene keeles). – Geologija SSSR, XXVIII, 286–294.

Talpas, A., Kask, J., Väling, P., Mardla, A., Sakson, M., 1994. Balti mere šelfiala geoloogiline kaardistamine mõõtkavas 1:200 000, lehtedel O-34-VI, O-34-XII, O-35-I,II. EGF 4860.

Talpas, A., Kivisilla, J., Kõrvel, V., Mardla, A., 1989. Soome lahe regionaalne geoloogilis-geofüüsikaline uuring aastail 1986–1989 mõõtkavas 1:200 000, kaardileht O-35 II (idaosa), O-35-III, (vene keeles). Tallinn, EGF 4339.

TTÜ MSI, 2011. “Nord Streami gaasijuhtme rajamise mõju-uuring Soome lahe merekeskkonnale”. Lõpparuanne. Vastutav täitja: Urmas Lips, TTÜ Meresüsteemide Instituut. Tellija: Keskkonnaministeerium.

TTÜ MSI, 2013. Balticconnector gaasijuhtme rajamisega seotud merekeskkonna uuring. Vastutav täitja: Inga Lips, TTÜ Meresüsteemide Instituut. Tellija: Ramboll Eesti AS.

Tugolesov, D.A., 1968. The problems of prospecting oil and gas on Baltic Sea area. Sov. Geologia 3 (in Russian).

Turekian, K.K., Wedepohl, K.H., 1961. Distribution of the elements in some major units of the earth’s crust. Bulletin of Geological Society of America1961; 72: pp. 175–92.

Twenhofel, W., 1938. The Silurian and high Ordovician Strata of Estonia, Russia and their Faunas. Bulletin Museum of Zoology 56/4, pp. 289–354. Harvard.

Uscinowicz, S. (Scientific editor), 2011. Geochemistry of Balic Sea surface sediments, Warsaw, 355 p.

Vallius, H., Lehto, O., 1997. The distribution of some heavy metals and arsenic in recent sediments from the eastern Gulf of Finland, Applied Geochemistry. Vol. 13, pp. 369–377.

Vallius, H., Leivouri, M., 1999. The distribution of heavy metals and arsenic in recent sediments in the Gulf of Finland. Boreal environment research 4, pp. 19 –29.

Vallius, H., Leivuori, M., 2003. Classification of heavy metal contaminated sediments in the Gulf of Finland. Baltica 16, pp. 3–12.

Vallius, H., 2007. Background concentrations of trace metals in modern muddy clays of Eastern Gulf of Finland, Baltic Sea Geological Survey of Finland, Special Paper 45, pp. 63–70.

Vallius, H., 2015a. Applying sediment quality guidelines on soft sediments of the Gulf of Finland, Baltic Sea. Geological Survey of Finland. Elsevier, Marine Pollution Bulletin, volume 98, issues 1–2, 15. September 2015, pp. 314–319.

Vallius, H., 2015b. Quality of the surface sediments of the northern coast of the Gulf of Finland, Baltic Sea. Marine Pollution Bulletin 99, pp. 250–255.

Vallius, H., 2015. Sediment and carbon accumulation rates of the southern coast of Finland. BALTICA Volume 28 Number 2 December 2015, pp. 81–88.

Vallius, H., Ryabchuck, D., Zhamoida, V., Grigoriev, A., Alliksaar, T., Suuroja, S., 2016. Changes in heavy metal chemistry of the sediments of the Gulf of Finland during the last two decades. Journal of Marine Systems: Gulf of Finland Year 2014, esitatud.

Wedepohl, H.K., 1995. The composition of the continental crust. – Geochimica et Cosmochimica Acta, Vol. 59, No. 7, pp. 1217–1232.

WGMS 2003. Report of the Working Group on Marine Sediments in Relation to Pollution. ICES CM 2003/E:04.

WHO, 1996. Trace elements in human nutrition and health. World Health Organisation, Geneva, 343 pp.

Вадковская, И.Н., Лукашев, К.И., 1981. Химические элементы и жизнь в биосфере. Москва, Высшаяшкола, 175 с.

Войткевич, Г.В., Кокин, А.Е., Мирошников, А.Е., Прохоров, В.Г., 1990. Справочник по геохимии. Москва, Недра, 479 с.

Lisa 1. Soome lahe põhjasetete proovivõtupunktid (üldandmed)

Jaama nr	Lat_WGS	Long_WGS	Kuupäev	Veesügavus	Proovimismeetod
14SL-001	59,560570	24,706480	22.07.2014	64,5	Gemax
14SL-002	59,655730	24,745170	22.07.2014	83,5	Gemax
14SL-003	59,581060	24,308460	22.07.2014	79,8	Gemax
14SL-004	59,580560	23,887730	22.07.2014	70,6	Gemax
14SL-005	59,474290	23,386900	23.07.2014	91,4	Gemax
14SL-006	59,402090	23,322710	23.07.2014	114,1	Gemax
14SL-007	59,358050	23,654950	23.07.2014	75,7	Gemax
14SL-008	59,316210	23,755470	23.07.2014	33,6	Haardkopp
14SL-009	59,276400	23,619250	23.07.2014	33,6	Gemax
14SL-010	59,406350	23,988090	23.07.2014	58,6	Gemax
14SL-011	59,549250	25,007450	24.07.2014	70,0	Gemax
14SL-012	59,719380	24,912600	24.07.2014	92,0	Gemax
14SL-013	59,571100	24,868807	2.09.2014	79,6	Gemax
14SL-014	59,700943	25,724843	4.09.2014	72,1	Gemax
14SL-016	59,838750	25,831983	2.09.2014	79,8	Gemax
14SL-020	59,651062	26,446958	4.09.2014	62,6	Gemax
14SL-021	59,644927	26,635492	4.09.2014	45,0	Haardkopp
14SL-022	59,534170	26,883593	3.09.2014	30,0	Haardkopp
14SL-023	59,589443	26,920013	3.09.2014	51,5	Gemax
14SL-024	59,470537	27,702592	3.09.2014	19,3	Haardkopp
14SL-025	59,523987	27,706885	3.09.2014	33,8	Gemax
14SL-026	59,755777	25,485325	2.09.2014	84,3	Gemax
14SL-027	59,529955	26,937893	3.09.2014	33,5	Haardkopp
14SL-028	59,606655	26,819277	4.09.2014	25,1	Haardkopp
14SL-029	59,676735	26,665522	4.09.2014	51,3	Haardkopp
14SL-030	59,690562	26,635273	4.09.2014	54,3	Haardkopp
14SL-031	59,707962	25,692225	4.09.2014	53,8	Haardkopp
14SL-E2	59,572592	24,961143	2.09.2014	86,8	Gemax
14SL-E4	59,696370	25,514678	2.09.2014	83,1	Gemax
14SL-E6	59,752195	26,299240	3.09.2014	81,3	Gemax
14SL-jaam-017	59,715900	25,015500	24.07.2014	105,0	Gemax
14SLM-001	59,507750	27,423513	3.09.2014	33,7	Gemax
14SLM-002	59,776520	26,672517	3.09.2014	84,3	Gemax
14SLM-004	59,749470	24,657270	22.07.2014	81,3	Gemax
14SLM-005	59,486070	24,033410	22.07.2014	81,4	Gemax
14SLM-006	59,442260	23,335980	23.07.2014	99,1	Gemax
14SLM-007	59,565383	27,715697	3.09.2014	34,7	Gemax
14SLM-E5-b	59,747012	25,834667	2.09.2014	75,5	Gemax
15SL-033	59,491560	24,323310	2.06.2015	55,8	Haardkopp
15SL-038	59,308210	23,845230	2.06.2015	8,0	Haardkopp
15SL-039	59,355470	24,023670	2.06.2015	28,5	Gemax
15SL-040	59,415390	24,264790	2.06.2015	8,4	Haardkopp
15SL-041	59,421780	24,257320	2.06.2015	20,8	Haardkopp
15SL-043	59,506903	23,279702	11.06.2015	88,5	Gemax
15SL-049	59,645663	25,360568	12.06.2015	92,3	Haardkopp
15SL-051	59,512075	25,059383	12.06.2015	20,3	Haardkopp
15SL-053	59,471553	24,802887	12.06.2015	20,4	Haardkopp
15SL-055	59,584908	25,690893	8.07.2015	4,6	Haardkopp
15SL-056	59,590147	25,804155	8.07.2015	5,4	Haardkopp

Jaama nr	Lat_WGS	Long_WGS	Kuupäev	Veesügavus	Proovimismeetod
15SL-058	59,557157	26,503610	8.07.2015	11,6	Haardkopp
15SL-059	59,550578	26,546592	8.07.2015	8,9	Haardkopp
15SL-060	59,562580	26,561357	8.07.2015	10,2	Haardkopp
15SL-061	59,528242	26,764598	8.07.2015	9,2	Haardkopp
15SL-062	59,444213	26,992255	8.07.2015	6,0	Haardkopp
15SL-063	59,476795	28,008498	8.07.2015	11,1	Haardkopp
15SL-064	59,430765	27,793403	8.07.2015	11,8	Haardkopp
15SL-065	59,447443	27,737760	9.07.2015	14,3	Haardkopp
15SL-066	59,638218	27,426943	9.07.2015	39,8	Gemax
15SL-067	59,619788	27,120525	9.07.2015	52,5	Gemax
15SL-068	59,922847	26,344005	9.07.2015	79,3	Haardkopp
15SL-069	59,943810	26,295000	9.07.2015	64,3	Haardkopp
15SL-070	59,989253	26,333508	9.07.2015	59,6	Haardkopp
15SL-071	59,989068	26,292312	9.07.2015	68,2	Gemax
15SL-075	59,838867	25,926175	10.07.2015	88,2	Haardkopp
15SL-077	59,878288	25,165433	10.07.2015	63,2	Gemax
15SL-078	59,549227	24,709923	10.07.2015	60,9	Gemax
15SL-079	59,520922	24,746128	10.07.2015	42,1	Gemax
15SL-080	59,520808	24,554453	18.08.2015	14,0	Haardkopp
15SL-081	59,521125	24,570183	18.08.2015	14,6	Haardkopp
15SL-082	59,564533	24,610050	18.08.2015	13,3	Haardkopp
15SL-083	59,565878	24,622005	18.08.2015	14,0	Haardkopp
15SL-084	59,593937	24,578783	18.08.2015	18,5	Haardkopp
15SL-085	59,591375	24,578928	18.08.2015	15,0	Haardkopp
15SL-086	59,460132	23,790585	18.08.2015	70,0	Haardkopp
15SL-087	59,408162	23,545550	18.08.2015	102,0	Gemax
15SL-088	59,385443	23,461538	18.08.2015	113,0	Gemax
15SL-089	59,421327	23,294490	18.08.2015	114,0	Gemax
15SL-092	59,320292	23,206292	18.08.2015	61,0	Haardkopp
15SL-095	59,327158	23,436617	19.08.2015	62,0	Gemax
15SL-096	59,342697	23,571072	19.08.2015	56,0	Haardkopp

Lisa 2. Soome lahe põhjasetete analüüsitulemused (0–3 cm kiht)

Jaam	Veesügavus	Al	As	Ba	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hf	Hg	K	Mg	Mn
	m	%	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	%	%	ppm
14SL-001	64,5	7,26	6,61	478	0,82	0,28	12,6	75,7	29,6	3,6	9,2	b.d.l.	3,51	1,26	361
14SL-002	83,5	7,06	6,63	469	0,91	0,61	17,1	69,3	31,3	4,4	7,0	b.d.l.	3,15	1,34	1488
14SL-003	79,8	7,79	10,36	474	0,82	0,69	18,4	85,3	37,0	4,6	7,0	b.d.l.	3,34	1,51	448
14SL-004	70,6	7,91	8,79	479	0,85	0,55	16,3	87,1	34,9	4,4	6,4	b.d.l.	3,30	1,59	357
14SL-005	91,4	8,22	11,02	434	0,92	0,65	18,8	89,2	34,6	4,9	6,5	b.d.l.	3,48	1,70	430
14SL-006	114,1	7,64	7,12	428	2,05	0,42	17,9	85,3	31,2	4,9	7,0	0,13	3,32	2,06	432
14SL-007	75,7	7,77	6,45	379	1,74	0,35	16,6	84,1	27,2	4,7	6,7	b.d.l.	3,35	2,13	375
14SL-009	33,6	6,34	5,86	465	3,23	0,28	13,6	63,8	22,0	3,6	6,5	b.d.l.	2,93	2,44	521
14SL-010	58,6	7,23	7,89	398	2,28	0,24	15,6	82,1	25,1	4,4	7,4	0,14	3,17	2,24	372
14SL-011	70	7,13	7,63	549	0,77	0,41	12,9	66,5	32,8	4,0	9,2	b.d.l.	3,45	1,22	351
14SL-012	92	7,19	11,04	478	0,99	0,81	20,1	69,9	35,7	4,8	7,5	b.d.l.	3,16	1,39	1356
14SL-013	79,6	7,14	8,66	420	0,71	0,57	19,1	82,4	38,0	4,2	6,8	0,28	3,34	1,19	412
14SL-014	72,1	6,94	6,92	493	1,11	0,48	15,6	69,0	29,4	3,6	7,0	0,18	3,00	1,12	422
14SL-016	79,8	6,66	13,20	449	0,97	1,53	21,0	68,7	43,5	4,3	5,4	0,34	2,87	1,27	4687
14SL-020	62,6	7,17	7,09	565	1,03	0,43	13,3	62,9	26,6	3,8	7,6	b.d.l.	3,14	1,15	454
14SL-023	51,5	7,51	8,96	490	0,93	0,54	15,3	75,5	32,7	4,5	7,2	b.d.l.	3,25	1,32	965
14SL-025	33,8	7,24	5,96	517	1,14	0,27	12,8	64,5	24,3	3,9	9,3	b.d.l.	3,47	1,12	518
14SL-026	84,3	6,92	10,41	554	0,95	1,34	19,0	68,4	38,5	4,3	6,1	b.d.l.	2,96	1,31	753
14SL-E2	86,8	7,06	8,19	467	0,92	0,52	15,9	67,5	33,6	4,1	7,7	b.d.l.	3,33	1,25	1535
14SL-E4	83,1	6,73	8,54	470	1,04	0,98	18,7	64,4	37,7	4,1	6,8	b.d.l.	2,93	1,24	1724
14SL-E6	81,3	7,11	8,52	459	0,99	0,81	18,9	66,5	32,3	4,3	6,6	b.d.l.	3,08	1,28	3112
14SL-jaam-017	105	5,86	12,82	471	1,47	1,26	20,0	62,5	41,7	3,9	5,2	b.d.l.	2,60	1,13	16480
14SLM-001	33,7	5,53	6,80	449	0,77	0,26	11,3	47,0	22,3	3,1	5,3	0,03	3,06	0,86	411
14SLM-002	84,3	5,64	9,00	384	1,89	1,24	17,7	56,0	41,2	3,8	3,0	0,04	2,50	1,10	2765
14SLM-004	81,3	6,08	11,30	386	0,71	0,95	17,6	66,0	45,2	3,8	3,5	0,05	2,93	1,32	602
14SLM-005	81,4	6,63	10,10	450	0,93	0,76	16,8	72,0	40,0	3,9	3,5	0,05	3,16	1,50	499
14SLM-006	99,1	6,70	9,00	436	1,13	0,60	16,5	68,0	32,6	4,1	3,3	0,03	3,18	1,72	468
14SLM-007	34,7	6,14	7,50	490	0,79	0,33	12,8	65,0	29,8	3,7	5,0	0,05	3,33	1,12	568
14SLM-E5-b	75,5	6,37	9,50	494	1,01	0,84	16,8	68,0	36,4	3,9	3,9		2,98	1,11	487
15SL-039	28,5	5,23	8,59	419	2,58	0,35	9,5	56,6	20,7	3,0	6,6	4,40	2,77	1,67	469
15SL-043	88,5	5,75	12,90	443	0,91	0,67	17,3	75,0	34,9	4,2	3,1	0,04	3,01	1,69	656
15SL-066	39,8	6,33	7,50	478	0,87	0,43	13,5	72,0	30,4	4,0	4,4	0,05	3,38	1,17	538
15SL-067	52,5	6,01	10,30	482	0,70	0,57	15,0	76,0	35,8	4,1	3,9	0,06	3,16	1,30	914
15SL-068	79,3	5,24	16,70	2620	0,78	0,63	11,8	41,0	18,4	3,2	2,8	0,02	2,51	0,80	1078
15SL-069	64,3	6,85	19,50	1037	0,94	0,94	18,0	71,0	35,0	4,7	4,2	0,03	3,16	1,32	1255
15SL-071	68,2	6,04	11,40	383	0,89	1,64	17,5	67,0	45,5	3,9	3,8	0,11	2,68	1,18	1123
15SL-077	63,2	6,65	41,40	2049	1,17	1,01	44,0	68,0	34,4	5,7	4,0	0,03	2,79	1,23	>10000
15SL-078	60,9	6,17	7,80	456	1,03	0,31	11,2	66,0	29,5	3,2	5,3	0,09	3,42	1,15	713
15SL-079	42,1	4,80	4,90	418	0,63	0,25	8,8	52,0	25,3	2,3	5,2	0,10	3,13	0,78	466
15SL-086	70	6,39	13,10	118	0,64	0,79	18,8	89,0	40,3	4,6	3,9	0,04	3,39	1,70	545
15SL-087	102	6,03	7,10	399	1,35	0,50	15,5	70,0	33,9	4,3	3,3	0,04	2,94	1,93	448
15SL-088	113	6,72	8,00	453	1,57	0,45	16,4	72,0	31,7	4,6	3,8	0,03	3,18	2,07	524
15SL-089	114	5,85	8,60	425	1,14	0,88	15,3	75,0	41,1	4,2	3,3	0,04	2,93	1,82	456
15SL-095	62	6,46	7,20	413	1,87	0,23	14,0	72,0	25,0	4,0	3,9	0,04	3,10	2,01	722

Jaam	Mo	Na	Ni	P	Pb	S	Sb	Se	Sn	Zn	Zr	Th	Tl	U	Corg	Ntot	Clay
	ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm		%	%	%
14SL-001	1,9	1,29	29,9	0,11	32,38	0,40	0,85	0,98	3,48	96	266	15,81	1,23	5,29	3,12	0,45	27,3
14SL-002	12,7	1,92	35,1	0,11	29,02	0,93	1,58	0,54	3,22	125	197	10,11	1,12	5,98	4,50	0,53	38,1
14SL-003	15,7	1,92	43,4	0,11	32,78	0,78	1,72	0,83	3,67	145	196	14,17	1,59	9,14	4,78	0,59	59,3
14SL-004	5,4	2,06	44,3	0,12	40,12	0,53	1,47	1,26	3,90	151	175	14,89	1,38	9,42	5,10	0,63	63,8
14SL-005	10,5	1,80	48,1	0,10	38,58	0,80	1,92	1,02	3,95	163	180	14,37	2,24	9,67	4,03	0,48	64,2
14SL-006	7,8	1,67	45,8	0,10	31,21	0,74	1,02	0,92	3,53	152	195	16,54	2,69	6,74	3,81	0,52	47,8
14SL-007	3,8	1,70	44,0	0,10	29,06	0,56	0,73	0,60	3,52	130	193	14,47	1,46	5,99	4,16	0,55	66,6
14SL-009	0,5	1,01	33,2	0,11	21,81	0,26	0,38	0,61	2,58	95	202	12,12	0,89	3,84	2,98	0,44	54,7
14SL-010	2,4	1,30	42,0	0,13	27,92	0,32	0,53	1,22	3,19	112	208	15,13	1,74	5,17	3,63	0,50	46,2
14SL-011	4,6	1,41	30,0	0,12	28,83	0,59	1,33	1,01	2,97	111	263	14,12	1,13	5,84	3,64	0,49	36,8
14SL-012	22,2	2,08	38,6	0,11	30,35	1,03	3,41	1,22	3,24	145	210	14,50	1,08	7,76	4,83	0,58	47,9
14SL-013	14,4	1,53	41,0	0,10	30,99	0,72	1,75	0,75	3,44	137	197	12,79	2,08	6,78	3,58	0,47	35,8
14SL-014	7,9	2,00	35,1	0,09	23,42	0,50	0,85	1,01	2,86	119	203	13,29	2,06	6,02	3,10	0,41	21,7
14SL-016	29,1	2,46	43,1	0,14	27,08	0,93	3,58	1,22	2,98	185	163	12,89	2,53	7,64	7,07	0,81	41,9
14SL-020	3,8	1,79	29,9	0,10	24,57	0,49	0,77	1,04	2,84	98	213	10,59	1,02	5,21	3,34	0,49	28,2
14SL-023	1,4	1,80	35,8	0,22	29,99	0,41	1,16	0,97	3,32	119	217	13,22	0,93	5,31	4,17	0,56	49,2
14SL-025	1,2	1,06	28,8	0,13	24,58	0,27	0,59	0,66	3,12	91	266	14,59	1,06	6,38	2,71	0,34	25,1
14SL-026	27,7	2,42	39,8	0,12	32,15	0,92	3,02	1,08	3,24	179	169	11,51	1,36	8,96	6,15	0,72	40,3
14SL-E2	9,4	1,70	33,4	0,10	25,10	0,72	1,64	0,64	2,81	115	241	11,30	0,94	5,29	3,63	0,45	33,5
14SL-E4	30,9	2,49	38,7	0,12	26,76	0,82	2,82	1,11	3,03	149	191	13,06	1,42	9,19	5,23	0,61	45,3
14SL-E6	16,3	2,30	38,0	0,11	24,83	0,71	1,86	0,87	2,99	133	190	13,34	1,33	6,48	4,71	0,53	33,6
14SL-jaam-017	23,6	2,35	36,7	0,18	26,63	1,04	2,99	1,15	2,83	155	148	12,00	1,16	6,21	5,32	0,69	40,8
14SLM-001	1,3	1,23	24,5	0,10	20,80	0,51	0,49	<0.3	2,40	73	171	11,80	0,67	4,10	2,40	0,32	18,9
14SLM-002	14,6	1,37	38,3	0,14	32,11	0,63	5,24	<0.3	17,20	154	104	11,00	1,41	4,30	6,28	0,88	
14SLM-004	16,4	2,70	41,0	0,10	30,35	1,04	2,17	0,80	2,90	159	118	12,40	0,93	5,80	5,49	0,73	46,6
14SLM-005	13,6	2,27	47,7	0,10	40,29	0,88	6,67	1,10	24,50	149	124	14,30	0,95	7,50	4,95	0,63	62,2
14SLM-006	17,9	3,21	42,5	0,10	29,29	0,92	1,23	0,80	3,20	136	117	14,20	0,84	6,80	5,54	0,73	62,8
14SLM-007	0,8	1,35	30,8	0,16	62,51	0,25	9,35	0,50	14,80	101	165	13,90	0,79	4,70	3,59	0,46	21,3
14SLM-E5-b	17,7	1,60	38,0	0,12	39,90	0,57	6,07	0,90	11,60	143	135	13,20	0,93	5,80			
15SL-039	2,0	0,97	27,6	0,12	27,05	0,51	0,57	0,97	2,26	92		12,50	0,66	6,10			42,1
15SL-043	11,2	3,67	40,9	0,11	32,29	1,11	1,44	0,60	3,10	146	110	10,10	0,89	4,10			63,6
15SL-066	1,4	1,52	33,7	0,20	30,44	0,34	0,86	0,60	3,10	114	151	13,10	0,75	4,40			
15SL-067	3,3	2,39	37,6	0,24	31,59	0,56	1,30	0,80	3,40	126	141	12,20	0,82	5,00			32,5
15SL-068	2,1	1,29	25,2	0,19	19,84	0,13	0,64	<0.3	1,90	97	104	9,30	0,71	4,50			
15SL-069	7,4	1,91	41,8	0,16	25,61	0,36	1,36	0,50	3,20	150	153	14,90	1,03	5,40			
15SL-071	12,2	2,60	40,3	0,11	40,16	1,07	2,64	0,90	3,50	187	134	11,80	0,82	4,60			35,8
15SL-077	21,6	1,91	54,2	0,34	26,02	0,23	1,29	<0.3	2,80	133	147	13,00	0,92	5,40			43,8
15SL-078	1,1	1,33	29,0	0,12	31,31	0,26	0,68	0,60	3,60	89	186	12,70	0,65	3,70			31,9
15SL-079	0,6	0,87	20,5	0,09	32,57	0,19	0,51	0,50	2,60	66	179	10,30	0,54	2,70			11,1
15SL-086	11,4	2,26	50,5	0,10	31,99	0,99	1,27	1,00	3,50	155	134	11,60	1,06	6,50			
15SL-087	17,4	3,97	46,3	0,11	27,12	1,07	0,99	1,10	3,20	129	114	11,00	0,80	4,60			
15SL-088	12,1	3,35	47,7	0,11	30,75	1,02	1,06	0,60	3,30	136	130	13,90	0,89	5,40			
15SL-089	24,7	3,99	47,0	0,13	27,76	1,11	1,48	1,00	3,00	153	112	10,40	0,94	6,60			
15SL-095	0,9	1,65	39,2	0,12	27,52	0,23	0,46	0,80	3,00	115	138	11,90	0,73	3,40			

Lisa 3. Soome lahe põhjasetete analüüsitulemused (3–6 cm kiht)

Jaam	Veesügavus	Al	As	Ba	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hf	Hg	K	Mg	Mn
	m	%	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	%	%	ppm
14SL-001	64,5	7,42	6,70	478	1,00	0,28	12,9	79,2	31,3	3,8	9,3	0,24	3,57	1,26	408
14SL-002	83,5	7,12	7,71	443	0,94	0,83	17,4	71,1	35,8	4,7	6,9	b.d.l.	3,15	1,38	2092
14SL-003	79,8	7,84	9,66	482	0,80	0,83	17,2	89,0	40,0	4,6	7,7	b.d.l.	3,39	1,47	547
14SL-004	70,6	7,50	10,85	493	0,77	0,74	16,4	84,8	35,4	4,1	7,7	b.d.l.	3,16	1,40	347
14SL-005	91,4	8,34	11,04	452	0,78	0,78	18,3	95,0	35,0	4,9	6,4	0,15	3,53	1,64	473
14SL-006	114,1	7,83	8,75	601	1,82	1,41	20,6	72,3	39,9	5,1	6,6	0,28	3,39	2,07	849
14SL-007	75,7	7,92	6,32	402	1,73	0,33	16,7	86,4	28,3	4,7	6,8	b.d.l.	3,41	2,10	430
14SL-009	33,6	6,21	5,11	508	3,84	0,27	11,2	54,4	18,8	3,4	6,9	b.d.l.	2,91	2,36	463
14SL-010	58,6	7,25	7,98	457	2,56	0,25	13,9	73,5	22,8	4,5	7,2	b.d.l.	3,20	2,25	382
14SL-011	70	7,31	8,06	544	0,73	0,43	13,1	68,4	36,1	4,1	9,0	b.d.l.	3,57	1,24	388
14SL-012	92	7,15	10,03	460	0,99	1,43	22,8	76,7	45,9	5,5	6,4	0,19	3,13	1,38	3065
14SL-013	79,6	7,27	5,80	461	0,71	0,55	16,6	74,1	33,8	4,5	7,8	0,21	3,39	1,26	439
14SL-014	72,1	6,79	6,64	489	1,14	0,84	15,0	64,8	34,5	3,6	7,0	0,29	2,87	1,13	439
14SL-016	79,8	7,72	12,07	525	1,63	1,84	19,7	82,1	46,8	4,5	7,2	0,15	3,28	1,42	1028
14SL-020	62,6	7,40	5,12	501	0,97	0,52	14,1	64,9	28,9	4,0	8,0	b.d.l.	3,24	1,19	459
14SL-023	51,5	7,62	9,18	459	0,89	0,70	16,1	75,9	35,4	4,3	7,5	b.d.l.	3,30	1,30	374
14SL-025	33,8	7,34	6,31	487	1,26	0,42	13,4	66,6	27,0	3,8	9,3	b.d.l.	3,55	1,13	305
14SL-026	84,3	7,69	13,00	515	1,07	2,15	19,9	86,0	49,3	4,6	6,6	b.d.l.	3,23	1,39	635
14SL-E2	86,8	7,08	7,94	545	0,91	0,67	17,2	70,3	54,4	4,7	8,9	b.d.l.	3,38	1,25	654
14SL-E4	83,1	7,02	9,02	513	1,01	1,34	20,4	73,5	40,3	4,7	7,1	b.d.l.	3,04	1,32	601
14SL-E6	81,3	7,09	7,29	444	0,97	0,52	17,6	84,2	33,5	4,4	7,0	b.d.l.	3,04	1,27	532
14SL-jaam-017	105	6,06	12,27	476	1,37	1,30	19,9	62,2	41,6	4,8	5,2	b.d.l.	2,60	1,22	16530
14SLM-001	33,7	5,89	8,40	231	0,77	0,35	12,0	55,0	25,9	3,9	4,3	0,04	3,03	1,03	533
14SLM-002	84,3	5,70	9,90	385	1,09	1,40	18,7	59,0	46,9	3,9	3,0	0,04	2,51	1,05	5907
14SLM-004	81,3	6,73	12,60	462	0,88	1,02	17,9	80,0	44,4	3,9	3,9	0,11	3,13	1,32	688
14SLM-005	81,4	6,31	13,20	384	0,63	1,16	17,8	75,0	40,4	4,1	4,2	0,07	3,13	1,33	568
14SLM-006	99,1	6,69	10,80	385	0,94	0,61	18,2	73,0	37,0	4,4	3,7	0,05	3,18	1,58	602
14SLM-007	34,7	6,07	7,00	487	0,91	0,44	13,2	60,0	30,8	3,3	4,6	0,06	3,40	1,04	391
14SLM-E5-b	75,5	6,08	9,90	497	0,76	1,45	19,7	63,0	45,7	4,2	3,7		2,81	1,12	598
15SL-039	28,5	5,24	8,61	426	2,53	0,41	9,7	56,0	20,5	3,2	7,4	7,56	2,80	1,66	415
15SL-043	88,5	6,68	10,50	497	0,70	0,64	17,7	90,0	60,9	4,3	3,8	0,05	3,56	1,63	612
15SL-066	39,8	5,89	12,50	510	0,68	0,85	15,7	78,0	37,1	3,9	4,9	0,06	3,41	1,17	399
15SL-067	52,5	5,60	11,20	460	0,59	1,13	15,7	77,0	40,2	4,0	3,8	0,07	3,19	1,25	494
15SL-068	79,3	8,37	7,70	634	0,75	0,17	23,7	100,0	46,5	6,0	4,1	0,01	4,01	1,94	908
15SL-069	64,3	8,36	8,50	751	0,96	0,17	23,4	107,0	57,1	6,2	3,3	<0.01	3,80	2,22	976
15SL-071	68,2	4,42	15,00	321	0,82	1,28	19,9	59,0	41,1	4,1	3,0	0,06	2,36	1,27	4201
15SL-077	63,2	8,37	8,60	925	0,90	0,27	22,8	90,0	40,7	5,3	4,6	0,02	3,87	1,80	676
15SL-078	60,9	5,63	7,70	456	0,65	0,26	11,3	67,0	30,8	3,3	4,8	0,11	3,49	1,06	500
15SL-079	42,1	4,77	11,30	455	0,41	0,49	12,0	85,0	45,6	2,9	5,6	0,28	3,41	0,86	316
15SL-086	70	6,39	13,10	118	0,64	0,79	18,8	89,0	40,3	4,6	3,9	0,04	3,39	1,70	545
15SL-087	102	6,73	7,50	462	1,24	0,58	18,4	82,0	36,1	4,6	3,9	0,03	3,25	1,93	621
15SL-088	113	6,84	6,30	447	1,65	0,48	17,8	78,0	33,2	4,6	4,3	0,03	3,27	2,07	616
15SL-089	114	6,10	7,60	438	1,28	0,70	16,9	82,0	38,4	4,4	3,8	0,04	3,06	1,90	503
15SL-095	62	6,72	8,20	421	1,92	0,28	14,4	73,0	27,3	4,2	4,2	0,04	3,25	1,95	538

Jaam	Mo	Na	Ni	P	Pb	S	Sb	Se	Sn	Zn	Zr	Th	Tl	U	Corg	Ntot	Clay
	ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	%	%
14SL-001	2,9	1,28	31,2	0,10	34,76	0,72	0,86	0,89	3,79	100	270	14,07	1,20	5,45	2,94	0,37	38,5
14SL-002	17,0	1,79	39,1	0,10	30,77	1,05	1,40	0,81	3,55	137	194	14,08	1,14	7,05	5,00	0,59	47,8
14SL-003	8,7	1,64	44,0	0,10	38,25	0,87	1,40	1,41	4,02	157	215	14,18	1,81	8,15	4,20	0,52	56,4
14SL-004	3,2	1,38	39,9	0,09	54,41	0,55	1,41	1,15	4,23	161	218	15,66	1,18	6,83	3,16	0,40	60,7
14SL-005	5,4	1,62	46,6	0,10	49,22	0,73	1,82	1,16	4,30	183	174	13,74	2,54	7,20	3,44	0,46	64,4
14SL-006	24,3	1,62	44,7	0,09	30,71	0,89	2,50	1,02	3,10	190	189	17,40	2,47	7,94	3,43	0,41	51,7
14SL-007	3,2	1,60	44,7	0,10	29,27	0,65	0,68	0,75	3,46	132	198	14,90	1,28	5,88	3,82	0,44	61,7
14SL-009	0,7	1,00	26,3	0,08	21,99	0,55	0,33	0,64	2,24	81	190	12,80	0,76	3,79	2,59	0,41	34,8
14SL-010	2,4	1,22	35,7	0,10	28,61	0,57	0,56	0,51	3,10	107	198	12,71	1,00	5,86	3,34	0,43	41,3
14SL-011	6,1	1,28	33,4	0,11	29,87	0,78	1,26	0,74	3,16	115	259	14,36	1,13	6,32	3,44	0,45	29,4
14SL-012	16,9	1,87	42,7	0,10	33,28	1,36	3,03	1,27	3,33	175	179	12,64	2,66	6,98	5,16	0,58	41,1
14SL-013	11,1	1,57	37,3	0,09	28,52	0,89	1,16	1,10	3,18	123	224	12,35	2,52	6,28	3,97	0,50	34,5
14SL-014	12,9	2,21	36,6	0,10	22,94	0,72	1,10	1,06	2,75	123	216	12,44	2,27	6,59	4,71	0,56	29,9
14SL-016	6,1	1,75	39,9	0,10	50,73	0,79	2,63	1,20	4,17	211	203	15,99	1,15	6,33	3,60	0,43	58,7
14SL-020	4,6	1,71	31,9	0,09	26,22	0,60	0,76	0,56	3,11	108	230	8,45	1,17	5,32	3,17	0,40	36,3
14SL-023	4,1	1,66	36,2	0,11	32,04	0,63	1,19	0,94	3,46	125	222	12,13	0,99	6,63	4,22	0,58	47,7
14SL-025	2,1	1,03	30,7	0,09	25,52	0,57	0,62	0,73	3,19	102	263	13,11	1,13	6,66	2,62	0,33	21,8
14SL-026	8,3	1,83	41,7	0,11	55,35	0,88	3,12	0,99	4,17	224	185	8,91	1,16	5,70	4,01	0,48	37,7
14SL-E2	9,6	1,60	34,3	0,10	31,45	1,00	1,75	0,98	3,21	135	252	14,87	1,30	6,13	3,19	0,38	31,9
14SL-E4	17,4	2,17	40,5	0,10	39,14	0,98	2,41	0,80	3,41	177	199	14,57	1,32	7,50	4,48	0,55	48,0
14SL-E6	9,6	2,28	45,2	0,11	31,79	0,90	1,04	1,22	3,50	136	199	15,68	1,54	7,09	5,72	0,69	46,1
14SL-jaam-017	23,4	2,29	37,7	0,14	27,28	1,43	2,95	1,21	2,93	156	145	12,13	1,17	6,34	6,23	0,72	43,3
14SLM-001	1,8	1,39	30,1	0,09	20,08	1,27	0,52	<0.3	2,40	87	150	11,80	0,70	4,10	2,71	0,37	
14SLM-002	13,2	1,44	38,0	0,13	51,02	0,78	10,85	0,50	26,60	169	102	10,90	0,96	4,20			
14SLM-004	6,4	1,96	41,5	0,09	73,00	0,91	4,14	0,50	9,50	186	136	13,90	0,84	5,10	3,49	0,48	58,4
14SLM-005	7,8	1,55	41,7	0,09	48,46	1,20	1,64	0,50	3,40	181	130	13,80	0,90	5,20	3,79	0,42	49,9
14SLM-006	14,9	2,03	45,7	0,08	35,40	1,19	1,38	0,80	3,10	150	122	13,30	0,89	6,40	3,53	0,48	60,3
14SLM-007	1,8	1,13	31,3	0,09	52,70	0,33	7,40	<0.3	13,00	106	159	13,10	0,74	4,90			
14SLM-E5-b	25,5	1,61	43,5	0,12	31,87	1,00	2,76	0,60	2,90	199	122	13,40	1,05	6,70			
15SL-039	2,6	0,94	26,3	0,10	28,21	0,86	0,57	0,82	2,62	96		12,93	0,66	6,49			44,5
15SL-043	6,1	2,12	50,6	0,10	43,73	0,79	1,80	0,50	3,70	174	124	13,20	0,95	6,40			62,0
15SL-066	5,3	1,46	37,7	0,11	36,39	0,77	1,18	0,60	3,90	140	167	12,60	0,98	6,60			34,1
15SL-067	8,0	1,93	39,8	0,11	32,69	1,06	1,38	0,50	3,70	144	142	11,00	0,91	6,40			39,1
15SL-068	0,7	1,50	60,0	0,09	27,98	0,05	0,35	<0.3	4,20	148	147	14,80	1,37	5,80			
15SL-069	0,9	1,90	62,8	0,09	25,17	<0.04	0,26	0,70	3,80	161	127	15,90	1,18	4,60			
15SL-071	20,1	4,41	39,5	0,16	27,74	1,44	3,49	0,60	2,80	169	104	7,10	0,82	3,50			36,2
15SL-077	1,3	1,45	54,0	0,09	26,80	0,07	0,42	<0.3	3,80	131	166	15,80	1,15	7,50			
15SL-078	1,9	1,12	30,2	0,09	31,12	0,53	0,74	0,50	3,30	92	181	11,80	0,71	3,70			37,8
15SL-079	1,7	0,83	29,2	0,08	51,85	0,48	1,20	0,60	4,70	126	191	11,70	0,81	3,80			
15SL-086	11,4	2,26	50,5	0,10	31,99	0,99	1,27	1,00	3,50	155	134	11,60	1,06	6,50			
15SL-087	15,0	2,92	49,5	0,12	31,35	1,11	1,01	0,60	3,60	152	136	14,90	0,97	6,30			
15SL-088	7,0	2,65	49,7	0,11	30,35	1,00	0,75	0,60	3,30	140	142	14,10	0,92	4,50			
15SL-089	20,2	3,13	47,3	0,12	29,87	1,12	1,16	1,10	3,40	145	121	12,60	1,01	6,80			
15SL-095	1,5	1,33	39,5	0,10	28,73	0,54	0,54	0,80	3,10	127	145	13,80	0,71	3,80			

Jaam	Veesügavus	Al	As	Ba	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hf	Hg	K	Mg	Mn	Mo	Na
	m	%	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	%	%	ppm	ppm	%
14SL-008	33,6	5,48	5,30	524	3,29	0,27	11,5	54,7	18,6	2,9	8,4	b.d.l.	2,64	2,05	439	0,5	0,99
14SL-021	45	3,51	3,10	499	0,64	0,24	4,9	14,0	6,3	1,1	4,6	0,010	2,47	0,30	234	0,6	1,16
14SL-022	30	3,54	3,00	430	0,68	0,20	5,1	20,0	9,0	1,3	6,3	0,020	2,34	0,37	199	0,7	0,91
14SL-024	19,3	1,97	1,70	375	0,43	<0.02	1,2	5,0	2,2	0,4	1,2	<0.01	1,72	0,07	101	0,2	0,77
14SL-027	33,5	4,04	8,20	520	0,74	0,31	8,5	28,0	13,8	1,9	5,4	0,030	2,81	0,51	324	2,5	1,08
14SL-028	25,1	3,24	2,70	851	0,66	0,09	3,3	13,0	6,9	1,1	2,5	0,010	1,89	0,29	383	0,4	0,97
14SL-029	51,3	4,91	7,10	559	0,91	0,41	10,8	29,0	13,3	2,0	6,2	0,030	2,96	0,55	612	3,5	1,62
14SL-030	54,3	3,79	7,00	733	0,74	0,38	8,3	21,0	10,8	1,5	4,6	0,010	2,12	0,43	244	1,4	1,09
14SL-031	53,8	3,94	2,10	487	0,90	0,15	4,1	16,0	5,6	1,2	5,6	<0.01	2,18	0,35	282	0,5	1,34
15SL-033	55,8	2,57	1,80	342	0,46	0,21	3,3	17,0	8,0	0,9	4,5	0,020	2,23	0,40	144	0,9	0,47
15SL-038	8	0,85	3,90	116	0,11	<0.02	0,6	3,0	1,3	0,4	1,2	<0.01	0,54	0,04	49	0,2	0,23
15SL-040	8,4	1,04	0,30	129	0,26	<0.02	0,6	3,0	1,5	0,2	1,1	<0.01	0,59	0,07	54	0,1	0,35
15SL-041	20,8	1,53	1,10	218	0,46	0,03	1,0	5,0	2,3	0,3	1,4	<0.01	1,06	0,17	75	0,1	0,42
15SL-049	92,3	4,24	7,10	359	0,95	0,88	15,9	52,0	34,4	3,2	3,1	0,040	2,46	1,22	1536	17,0	4,26
15SL-051	20,3	3,65	11,94	855	0,69	0,20	6,8	30,6	44,9	2,7	9,0	0,459	2,80	0,46	249	0,9	0,33
15SL-053	20,4	4,11	3,70	368	0,64	0,16	6,7	35,0	24,3	1,9	4,4	0,110	2,99	0,64	331	0,3	0,57
15SL-055	4,6	4,16	0,50	324	1,06	0,11	2,7	13,0	2,9	1,2	7,0	<0.01	1,81	0,29	446	0,2	1,44
15SL-056	5,4	4,64	2,20	519	0,85	0,15	6,3	29,0	14,4	1,9	3,0	<0.01	2,38	0,63	393	0,2	1,21
15SL-058	11,6	3,85	2,10	827	0,90	0,10	4,9	18,0	8,8	1,4	3,7	<0.01	2,15	0,43	290	0,3	0,98
15SL-059	8,9	3,28	0,90	408	1,00	0,34	3,4	16,0	5,2	1,3	18,7	<0.01	1,83	0,33	464	0,3	0,88
15SL-060	10,2	3,73	2,10	600	0,72	0,10	4,3	17,0	9,3	1,4	4,8	<0.01	2,08	0,37	346	0,3	0,99
15SL-061	9,2	2,40	1,30	361	0,50	0,03	1,6	6,0	3,1	0,6	2,2	<0.01	1,34	0,14	179	0,2	0,71
15SL-062	6	2,21	1,00	257	0,45	<0.02	1,0	3,0	2,3	0,4	1,5	<0.01	1,47	0,06	72	0,2	0,70
15SL-063	11,1	2,80	1,70	462	0,86	0,20	2,9	14,0	6,5	1,1	10,5	<0.01	2,15	0,37	259	0,5	0,60
15SL-064	11,8	2,22	1,80	314	0,37	0,08	1,8	6,0	3,5	0,6	2,2	<0.01	1,56	0,15	100	0,2	0,51
15SL-065	14,3	2,35	1,60	299	0,62	0,15	1,9	9,0	3,1	0,8	10,9	<0.01	1,51	0,19	248	0,3	0,62
15SL-070	59,6	4,62	6,30	2283	0,92	0,89	8,1	17,0	10,2	1,5	3,8	0,030	2,29	0,38	1117	1,4	1,68
15SL-075	88,2	3,71	9,30	722	0,70	0,79	14,1	26,0	15,4	1,9	2,3	0,020	2,03	0,50	3666	7,8	1,32
15SL-080	14	3,71	0,30	415	0,71	<0.02	2,0	7,0	3,0	0,7	1,7	<0.01	2,19	0,23	139	0,1	1,45
15SL-081	14,6	4,24	0,70	393	0,92	0,10	2,5	11,0	3,4	1,0	3,2	<0.01	2,14	0,28	298	0,1	1,64
15SL-082	13,3	2,04	0,50	217	0,34	0,03	2,9	6,0	5,5	0,5	3,3	0,010	1,06	0,14	145	0,1	0,62
15SL-083	14	2,10	1,00	217	0,38	<0.02	2,3	5,0	4,8	0,5	2,4	<0.01	1,17	0,15	120	0,1	0,64
15SL-084	18,5	2,52	0,40	269	0,43	<0.02	1,2	4,0	2,2	0,3	1,3	<0.01	1,36	0,12	94	0,1	0,95
15SL-085	15	5,11	3,00	521	0,98	0,12	9,8	46,0	17,9	2,6	3,4	<0.01	2,45	0,88	371	0,2	1,23
15SL-092	61	3,00	6,20	457	0,39	0,23	6,8	24,0	12,9	1,8	2,2	0,016	1,65	0,54	675	0,9	0,58
15SL-096	56	3,00	5,50	362	0,76	0,17	6,0	27,0	10,9	1,7	3,1	0,032	2,05	0,66	371	0,7	0,79

Jaam	Ni	P	Pb	S	Sb	Se	Sn	Zn	Zr	Th	Tl	U	Corg	Ntot	Clay
	ppm	%	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	%	%
14SL-008	26,6	0,07	22,34	0,40	0,35	0,97	2,24	82	242	13,13	1,08	4,12	2,08	0,29	36,3
14SL-021	8,5	0,08	16,02	0,07	0,19	<0.3	1,10	31	174	8,20	0,58	2,40			
14SL-022	9,3	0,09	15,65	0,12	0,23	<0.3	1,10	35	230	9,30	0,48	3,30			
14SL-024	1,9	0,11	12,45	<0.04	0,04	<0.3	0,60	11	44	3,90	0,51	1,40			
14SL-027	16,2	0,11	21,53	0,11	0,43	<0.3	1,70	66	199	9,50	0,61	4,20			
14SL-028	7,6	0,09	13,81	<0.04	0,12	<0.3	0,90	26	94	6,60	0,48	1,90			
14SL-029	17,5	0,09	21,64	0,24	0,40	<0.3	1,70	58	229	9,80	0,75	3,40			
14SL-030	12,7	0,10	16,60	0,17	0,28	<0.3	1,20	46	168	10,10	0,54	3,10			
14SL-031	7,9	0,08	14,91	0,04	0,16	<0.3	0,90	28	217	10,40	0,45	2,30			
15SL-033	8,5	0,05	13,04	<0.04	0,31	<0.3	0,90	30	153	7,90	0,41	2,30			
15SL-038	1,0	0,02	6,11	<0.04	0,05	<0.3	0,20	6	35	2,20	0,11	0,80			
15SL-040	1,0	0,04	6,55	<0.04	<0.02	<0.3	0,20	5	33	2,80	0,12	0,90			
15SL-041	1,8	0,02	9,04	<0.04	0,06	<0.3	0,40	8	44	3,00	0,25	1,00			
15SL-049	34,0	0,11	21,75	1,09	1,78	0,80	2,10	127	113	7,50	0,76	2,40			31,4
15SL-051	10,2	0,12	21,11	0,12	1,26	0,81	1,33	104		8,64	0,40	2,64			4,0
15SL-053	15,5	0,08	23,05	0,21	0,33	<0.3	2,10	52	159	9,10	0,50	2,20			
15SL-055	4,0	0,05	14,12	<0.04	0,07	<0.3	0,60	18	266	17,40	0,38	2,60			
15SL-056	15,5	0,05	15,52	<0.04	0,12	<0.3	1,30	44	101	14,40	0,56	2,40			
15SL-058	10,6	0,08	13,93	<0.04	0,14	<0.3	1,10	29	132	10,30	0,45	2,30			
15SL-059	5,5	0,11	13,72	<0.04	0,20	<0.3	1,10	19	641	31,60	0,34	6,30			
15SL-060	9,3	0,07	19,40	<0.04	0,11	0,30	1,10	27	176	60,60	0,51	6,40			
15SL-061	3,0	0,07	9,93	<0.04	0,06	<0.3	0,60	11	80	7,60	0,32	1,40			
15SL-062	1,2	0,08	9,77	<0.04	0,04	<0.3	0,50	8	51	3,10	0,38	1,20			
15SL-063	4,5	0,08	12,81	<0.04	0,19	<0.3	0,90	21	367	12,40	0,40	4,30			
15SL-064	3,2	0,05	10,19	<0.04	0,07	<0.3	0,70	12	83	4,60	0,40	1,40			
15SL-065	3,4	0,10	10,48	<0.04	0,14	<0.3	0,70	13	383	9,70	0,31	3,60			
15SL-070	9,9	0,10	18,31	0,16	0,52	<0.3	1,10	57	143	8,20	0,64	2,30			
15SL-075	17,1	0,11	17,96	0,47	1,15	0,40	1,60	79	86	5,60	0,57	2,40			
15SL-080	3,3	0,03	15,66	<0.04	0,06	<0.3	0,70	16	57	4,00	0,54	1,10			
15SL-081	4,8	0,03	16,52	<0.04	0,04	<0.3	0,70	17	105	9,40	0,52	1,50			
15SL-082	2,9	0,01	11,91	<0.04	0,03	<0.3	0,50	13	113	4,70	0,24	1,20			
15SL-083	2,4	0,01	15,39	<0.04	0,02	<0.3	0,50	12	77	4,40	0,26	1,10			
15SL-084	2,2	0,01	9,98	<0.04	0,03	<0.3	0,40	8	45	2,40	0,29	0,70			
15SL-085	23,0	0,05	17,82	<0.04	0,15	<0.3	1,70	60	118	11,10	0,68	2,40			
15SL-092	17,0	0,06	14,26	<0.04	0,23	0,30	1,30	50	76	8,50	0,42	2,30			
15SL-096	15,2	0,08	15,37	0,26	0,21	0,30	1,30	48	115	7,90	0,41	2,10			

	Alates	Kuni	Veesügavus	Al	As	Ba	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hf	Hg	K	Mg
Jaam	cm	cm	m	%	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	%	%
14SLM-001	0	3	33,7	6,95	6,2	530	0,89	0,32	11,7	57,3	22,5	3,56	9,7	b.d.l.	3,32	1,02
14SLM-001	0	3	33,7	6,95	6,2	530	0,89	0,32	11,7	57,3	22,5	3,56	9,7	b.d.l.	3,32	1,02
14SLM-001	12	15	33,7	4,76	7,6	532	0,79	0,37	10,8	32,0	16,9	2,27	4,9	0,042	2,93	0,54
14SLM-001	3	6	33,7	6,98	6,6	554	0,89	0,45	11,3	56,9	24,5	3,58	9,1	b.d.l.	3,30	1,03
14SLM-001	3	6	33,7	6,98	6,6	554	0,89	0,45	11,3	56,9	24,5	3,58	9,1	b.d.l.	3,30	1,03
14SLM-001	6	9	33,7	5,61	10,1	425	0,72	0,46	11,8	51,0	26,7	3,26	4,8	0,044	3,11	0,90
14SLM-001	9	12	33,7	6,72	8,2	453	0,96	0,52	16,1	76,0	36,9	3,92	3,6	0,069	3,24	1,63
14SLM-002	0	2	84,3	6,26	9,3	363	1,06	1,05	15,4	50,6	36,1	4,35	3,8	<0.5	2,93	1,36
14SLM-002	0	3	84,3	5,64	9,0	384	1,89	1,24	17,7	56,0	41,2	3,76	3,0	0,043	2,50	1,10
14SLM-002	10	12	84,3	6,39	9,9	380	0,86	1,88	26,6	56,9	51,6	4,59	3,3	<0.5	2,72	1,30
14SLM-002	12	14	84,3	7,28	7,2	385	0,85	1,54	18,2	67,6	45,4	4,52	3,8	<0.5	3,07	1,35
14SLM-002	12	15	84,3	6,04	9,4	648	1,00	1,48	23,3	70,0	45,0	3,82	3,1	0,107	2,76	1,25
14SLM-002	14	16	84,3	7,12	10,6	368	0,85	1,90	20,9	68,2	51,0	4,62	3,7	<0.5	3,01	1,31
14SLM-002	16	18	84,3	7,14	12,7	360	0,85	2,57	21,5	68,4	54,0	4,73	3,6	<0.5	3,03	1,28
14SLM-002	18	20	84,3	7,01	11,4	368	0,85	2,30	20,7	68,3	52,8	4,59	3,7	<0.5	3,00	1,32
14SLM-002	18	21	84,3	6,19	16,1	355	1,21	2,91	22,6	75,0	61,7	3,93	2,9	0,141	2,87	1,20
14SLM-002	20	22	84,3	7,38	10,5	378	0,84	1,76	19,9	66,7	45,7	4,68	3,6	<0.5	3,13	1,36
14SLM-002	22	24	84,3	7,79	6,4	394	0,82	1,16	17,0	66,0	43,0	4,45	3,8	<0.5	3,25	1,42
14SLM-002	2	4	84,3	6,65	6,8	336	0,94	0,87	16,2	52,0	37,5	4,77	3,9	<0.5	2,90	1,28
14SLM-002	24	26	84,3	7,93	8,4	405	0,85	0,88	18,5	65,1	34,0	5,10	3,7	<0.5	3,38	1,41
14SLM-002	26	28	84,3	8,02	7,2	386	0,84	0,80	17,3	64,0	34,5	4,90	3,6	<0.5	3,33	1,47
14SLM-002	28	30	84,3	8,36	5,4	461	0,86	0,21	16,3	68,8	27,5	4,97	3,7	<0.5	3,56	1,47
14SLM-002	30	32	84,3	8,40	7,6	381	0,82	0,30	16,6	68,7	31,0	5,13	4,0	<0.5	3,50	1,56
14SLM-002	32	34	84,3	8,32	4,5	401	0,87	0,35	15,8	68,7	31,5	4,98	4,5	<0.5	3,49	1,56
14SLM-002	34	36	84,3	8,44	6,1	406	0,85	0,30	15,8	69,1	29,3	5,14	4,2	<0.5	3,49	1,57
14SLM-002	3	6	84,3	5,70	9,9	385	1,09	1,40	18,7	59,0	46,9	3,90	3,0	0,043	2,51	1,05
14SLM-002	36	38	84,3	8,41	9,6	407	0,84	0,31	15,2	71,1	30,9	5,00	4,1	<0.5	3,49	1,60
14SLM-002	38	40	84,3	8,33	8,9	387	0,85	0,39	15,7	68,9	29,4	4,75	4,2	<0.5	3,51	1,54
14SLM-002	40	42	84,3	8,50	8,4	428	0,86	0,43	16,1	69,5	29,6	4,92	4,2	<0.5	3,52	1,56
14SLM-002	42	44	84,3	8,34	10,4	394	0,84	0,33	15,3	69,8	29,3	5,06	4,0	<0.5	3,47	1,57
14SLM-002	44	46	84,3	8,17	10,7	389	0,86	0,32	15,3	69,7	28,7	4,93	4,2	<0.5	3,47	1,54
14SLM-002	4	6	84,3	6,46	10,6	337	0,93	1,54	19,6	52,9	45,1	4,83	3,7	<0.5	3,02	1,33
14SLM-002	46	48	84,3	8,27	12,2	406	0,87	0,35	16,2	69,8	28,9	5,24	4,3	<0.5	3,53	1,54
14SLM-002	48	50	84,3	8,31	9,9	403	0,87	0,44	16,7	70,7	30,3	5,18	4,3	<0.5	3,49	1,57
14SLM-002	6	8	84,3	6,91	9,2	363	0,89	1,55	18,6	56,8	45,8	4,74	3,8	<0.5	2,92	1,33
14SLM-002	6	9	84,3	4,54	11,3	296	0,76	1,67	20,7	50,0	47,2	3,85	2,7	0,080	2,33	1,13
14SLM-002	8	10	84,3	7,05	8,8	381	0,92	1,63	20,1	60,8	45,6	4,65	3,9	<0.5	2,97	1,37
14SLM-002	9	12	84,3	5,95	11,5	336	0,80	1,79	21,9	60,0	46,8	3,84	2,9	0,072	2,70	1,21
14SLM-004	0	3	81,3	7,73	10,0	475	0,86	0,97	17,9	81,1	45,3	4,46	6,9	b.d.l.	3,48	1,46
14SLM-004	0	3	81,3	7,73	10,0	475	0,86	0,97	17,9	81,1	45,3	4,46	6,9	b.d.l.	3,48	1,46
14SLM-004	12	15	81,3	6,51	53,4	47	0,78	0,12	23,9	58,0	24,2	6,60	4,2	0,021	3,00	1,17
14SLM-004	18	21	81,3	6,71	7,0	383	0,73	0,16	15,1	70,0	26,7	4,03	3,7	0,012	3,25	1,33
14SLM-004	24	27	81,3	6,80	8,5	409	0,82	0,17	15,9	65,0	26,8	3,87	4,1	0,020	3,19	1,30
14SLM-004	30	33	81,3	7,03	7,3	494	0,85	0,17	15,9	71,0	27,2	4,02	3,8	<0,005	3,30	1,41
14SLM-004	3	6	81,3	8,08	11,8	459	0,89	1,17	17,2	80,0	37,4	4,59	7,2	b.d.l.	3,63	1,51
14SLM-004	3	6	81,3	8,08	11,8	459	0,89	1,17	17,2	80,0	37,4	4,59	7,2	b.d.l.	3,63	1,51
14SLM-004	6	9	81,3	7,02	12,7	477	0,77	0,77	16,0	84,0	41,2	3,94	4,0	0,100	3,30	1,38
14SLM-004	9	12	81,3	6,31	14,2	479	0,95	0,21	14,9	61,0	28,8	3,33	4,6	0,039	3,03	1,09
14SLM-005	0	3	81,4	8,07	9,8	459	0,86	0,89	18,5	84,1	33,5	4,81	6,6	b.d.l.	3,45	1,62
14SLM-005	0	3	81,4	8,07	9,8	459	0,86	0,89	18,5	84,1	33,5	4,81	6,6	b.d.l.	3,45	1,62
14SLM-005	12	15	81,4	6,40	6,9	405	1,90	0,11	13,6	66,0	24,8	3,93	3,7	0,010	3,10	1,81
14SLM-005	15	18	81,4	6,46	6,6	401	2,55	0,09	13,2	71,0	24,6	3,80	3,9	0,015	3,08	1,83
14SLM-005	3	6	81,4	7,91	13,3	502	0,82	1,23	20,0	87,9	37,0	4,94	6,4	b.d.l.	3,39	1,57
14SLM-005	3	6	81,4	7,91	13,3	502	0,82	1,23	20,0	87,9	37,0	4,94	6,4	b.d.l.	3,39	1,57
14SLM-005	6	9	81,4	6,74	13,7	379	0,78	1,52	16,6	81,0	49,8	4,04	3,7	0,089	3,22	1,37
14SLM-005	9	12	81,4	5,50	12,0	389	1,25	0,23	13,1	56,0	23,6	3,30	3,4	0,041	2,72	1,35
14SLM-006	0	2	99,1	7,49	8,6	498	1,50	0,57	16,3	83,0	28,0	4,82	5,2	5,304	3,25	2,01
14SLM-006	0	3	99,1	7,88	8,9	484	1,17	0,61	18,2	83,3	37,7	5,07	6,3	b.d.l.	3,33	1,81
14SLM-006	0	3	99,1	7,88	8,9	484	1,17	0,61	18,2	83,3	37,7	5,07	6,3	b.d.l.	3,33	1,81
14SLM-006	10	12	99,1	7,99	10,2	507	0,80	0,74	17,2	90,6	28,4	5,09	5,5	7,077	3,43	1,73
14SLM-006	12	14	99,1	7,90	10,1	511	1,09	1,11	18,5	90,2	32,4	5,34	5,6	8,789	3,37	1,82

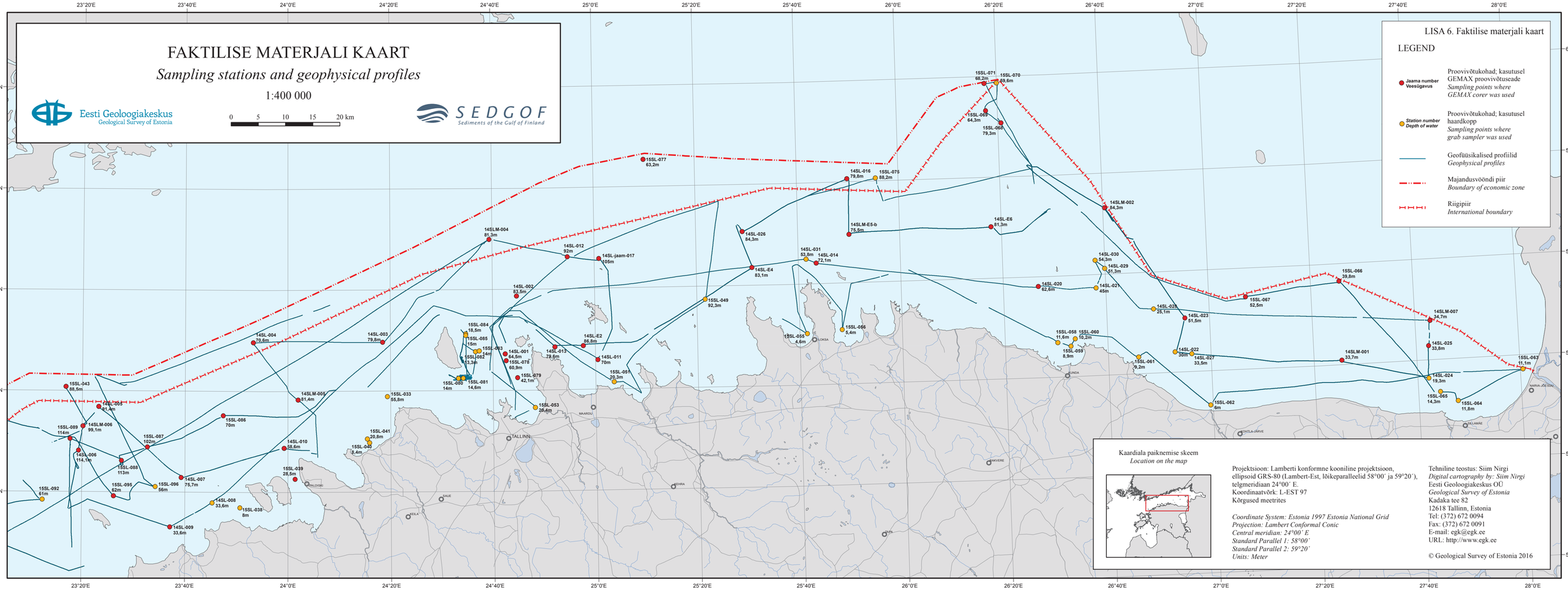
	Alates	Kuni	Veesügavus	Al	As	Ba	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hf	Hg	K	Mg
Jaam	cm	cm	m	%	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	%	%
14SLM-006	12	15	99,1	7,02	14,1	293	0,78	1,57	19,8	85,0	46,0	4,67	3,9	0,074	3,35	1,55
14SLM-006	14	16	99,1	7,82	14,8	495	0,98	1,92	18,4	91,8	42,0	5,16	5,4	9,416	3,34	1,76
14SLM-006	16	18	99,1	7,93	16,5	492	1,16	2,37	18,9	89,4	45,7	5,42	5,4	11,260	3,38	1,81
14SLM-006	18	20	99,1	8,14	13,3	504	1,03	1,04	18,0	89,1	35,9	5,13	5,6	9,893	3,43	1,84
14SLM-006	18	21	99,1	6,67	13,0	428	0,71	0,60	15,8	79,0	38,8	4,34	3,5	0,074	3,23	1,50
14SLM-006	20	22	99,1	8,11	14,5	504	0,92	0,71	16,0	85,7	32,4	5,28	5,5	8,910	3,41	1,77
14SLM-006	22	24	99,1	8,21	14,2	514	0,77	0,89	16,5	87,8	34,6	5,19	5,4	8,818	3,49	1,70
14SLM-006	2	4	99,1	7,58	9,2	527	1,10	1,03	16,1	80,8	36,2	5,03	6,2	5,882	3,28	1,90
14SLM-006	24	26	99,1	8,32	12,8	543	0,80	0,60	15,1	89,9	32,5	5,04	5,4	7,762	3,49	1,76
14SLM-006	24	27	99,1	6,86	13,4	399	0,94	0,29	17,1	79,0	33,6	4,77	3,9	0,044	3,33	1,65
14SLM-006	26	28	99,1	8,44	12,9	512	0,93	0,36	16,2	90,4	30,8	5,20	5,4	7,450	3,55	1,80
14SLM-006	28	30	99,1	8,29	10,1	510	1,06	0,27	16,8	88,8	29,1	5,37	5,5	4,318	3,48	1,84
14SLM-006	30	33	99,1	7,38	10,2	501	1,04	0,33	17,4	84,0	32,8	4,76	4,2	0,048	3,48	1,76
14SLM-006	32	34	99,1	8,31	12,7	566	1,09	0,28	17,5	95,2	30,7	5,22	5,0	2,866	3,48	1,88
14SLM-006	3	6	99,1	7,95	9,1	449	1,21	0,62	18,4	85,9	33,0	5,36	6,5	b.d.l.	3,35	1,81
14SLM-006	3	6	99,1	7,95	9,1	449	1,21	0,62	18,4	85,9	33,0	5,36	6,5	b.d.l.	3,35	1,81
14SLM-006	36	38	99,1	8,39	12,0	560	1,06	0,29	17,1	92,9	29,0	5,26	5,0	3,142	3,49	1,85
14SLM-006	36	39	99,1	6,99	11,1	479	0,93	0,29	17,8	81,0	34,5	4,62	4,3	0,048	3,38	1,68
14SLM-006	40	42	99,1	8,35	13,1	562	1,13	0,32	17,4	93,1	29,5	5,30	5,1	4,746	3,49	1,89
14SLM-006	44	46	99,1	8,42	13,1	560	1,02	0,25	17,4	92,2	28,3	5,42	4,9	b.d.l.	3,48	1,82
14SLM-006	4	6	99,1	7,25	9,2	509	1,17	1,21	19,3	80,0	36,1	5,54	5,0	6,697	3,15	1,86
14SLM-006	48	50	99,1	8,37	12,4	545	1,08	0,24	16,6	91,5	28,1	5,23	5,4	2,007	3,48	1,85
14SLM-006	52	54	99,1	8,36	11,6	536	1,09	0,22	16,2	90,6	28,5	5,28	5,2	4,301	3,48	1,87
14SLM-006	6	8	99,1	7,81	7,3	535	1,18	0,59	17,5	87,1	27,7	5,18	5,1	11,590	3,37	1,85
14SLM-006	6	9	99,1	5,41	12,9	514	0,82	0,60	12,5	45,0	25,4	3,19	4,8	0,081	3,05	0,79
14SLM-006	8	10	99,1	8,15	9,2	544	0,92	0,60	16,6	96,3	30,1	4,81	6,3	9,083	3,46	1,77
14SLM-006	9	12	99,1	6,46	10,7	346	0,69	0,85	17,6	76,0	36,9	4,36	3,6	0,064	3,17	1,46
14SLM-007	0	3	34,7	7,19	6,6	366	0,85	0,22	10,1	52,5	23,3	3,93	5,9	<0.5	3,43	1,17
14SLM-007	0	3	34,7	7,19	6,6	366	0,85	0,22	10,1	52,5	23,3	3,93	5,9	<0.5	3,43	1,17
14SLM-007	10	12	34,7	6,51	7,4	433	0,84	0,45	10,4	47,8	22,0	3,27	7,5	<0.5	3,45	0,89
14SLM-007	12	14	34,7	6,91	6,7	425	0,71	0,39	10,3	45,6	25,2	3,23	6,9	<0.5	3,56	0,96
14SLM-007	12	15	34,7	5,72	9,2	535	0,66	0,46	14,2	54,0	25,2	3,06	5,7	0,070	3,53	0,86
14SLM-007	14	16	34,7	6,87	4,3	431	0,67	0,23	9,6	45,8	18,4	3,13	6,6	<0.5	3,54	0,94
14SLM-007	16	18	34,7	7,11	4,9	433	0,70	0,25	9,7	46,5	17,8	3,17	7,0	<0.5	3,58	1,01
14SLM-007	18	20	34,7	7,19	3,2	413	0,68	0,16	9,7	46,4	16,7	3,30	6,7	<0.5	3,61	1,02
14SLM-007	18	21	34,7	6,23	6,5	541	0,70	0,24	12,5	62,0	23,5	3,27	5,6	0,044	3,68	0,99
14SLM-007	20	22	34,7	7,28	3,1	391	0,72	0,17	9,7	49,3	18,6	3,50	6,1	<0.5	3,61	1,10
14SLM-007	22	24	34,7	7,36	5,3	421	0,63	0,16	10,6	50,9	18,7	3,75	6,0	<0.5	3,65	1,08
14SLM-007	2	4	34,7	7,26	5,1	393	0,84	0,28	10,4	52,5	23,6	3,60	6,3	<0.5	3,52	1,10
14SLM-007	24	26	34,7	7,23	4,0	416	0,64	0,16	10,2	50,3	18,0	3,52	6,3	<0.5	3,61	1,04
14SLM-007	26	28	34,7	7,37	3,6	399	0,65	0,16	10,0	51,1	18,4	3,56	6,2	<0.5	3,67	1,09
14SLM-007	28	30	34,7	7,63	5,1	364	0,65	0,14	10,7	51,9	18,8	3,73	5,7	<0.5	3,71	1,16
14SLM-007	30	32	34,7	7,57	5,8	379	0,64	0,11	10,8	52,0	18,0	3,84	5,6	<0.5	3,68	1,14
14SLM-007	32	34	34,7	7,66	4,3	372	0,64	0,13	11,7	54,8	19,7	4,09	5,6	<0.5	3,67	1,15
14SLM-007	3	6	34,7	6,07	7,0	487	0,91	0,44	13,2	60,0	30,8	3,26	4,6	0,061	3,40	1,04
14SLM-007	4	6	34,7	7,20	5,5	319	0,77	0,36	10,7	54,0	25,4	3,75	6,1	<0.5	3,58	1,12
14SLM-007	6	8	34,7	6,83	6,3	397	0,81	0,51	11,2	56,0	23,6	3,38	6,6	<0.5	3,51	1,00
14SLM-007	6	9	34,7	6,04	7,0	476	0,67	0,47	13,6	65,0	31,4	3,35	5,1	0,054	3,59	1,02
14SLM-007	8	10	34,7	6,75	4,2	388	0,83	0,48	11,0	51,5	22,5	3,53	6,4	<0.5	3,53	0,98
14SLM-007	9	12	34,7	5,75	6,7	543	0,73	0,60	12,8	61,0	27,7	3,09	5,4	0,092	3,59	0,89
14SLM-E5	0	2	75,5	6,83	6,0	352	1,06	0,60	16,3	51,7	27,6	4,42	4,6	<0.5	2,93	1,29
14SLM-E5	0	3	75,5	6,50	9,6	460	1,09	0,93	18,0	63,0	35,9	3,87	3,6	0,040	2,96	1,10
14SLM-E5	12	15	75,5	6,28	17,9	353	0,93	2,69	18,6	70,0	57,1	3,74	3,2	0,132	2,89	1,17
14SLM-E5	18	21	75,5	6,77	9,7	507	0,99	0,65	13,9	69,0	37,4	3,57	4,4	0,085	3,18	1,22
14SLM-E5	24	27	75,5	6,79	6,8	522	0,99	0,22	14,2	63,0	26,6	3,54	5,1	0,031	3,25	1,16
14SLM-E5	3	6	75,5	6,55	9,2	446	0,87	1,12	34,1	77,0	46,2	4,08	3,7	0,092	2,90	1,18
14SLM-E5	4	6	75,5	6,55	8,2	336	1,14	1,27	21,7	54,8	41,3	5,59	3,9	<0.5	2,76	1,34
14SLM-E5	6	9	75,5	6,84	8,9	521	0,94	1,22	17,7	75,0	49,6	4,03	4,2	0,110	3,15	1,25
14SLM-E5	9	12	75,5	6,84	11,0	497	0,88	1,61	17,4	80,0	50,3	3,95	3,9	0,112	3,15	1,23
15SL-043	0	3	88,5	0,00												
15SL-043	0	3	88,5	0,00												

Jaam	Alates cm	Kuni cm	Veesügavus m	Al %	As ppm	Ba ppm	Ca %	Cd ppm	Co ppm	Cr ppm	Cu ppm	Fe %	Hf ppm	Hg ppm	K %	Mg %
15SL-043	12	15	88,5	8,74			1,09					5,67			3,63	1,91
15SL-043	12	15	88,5	8,74			1,09					5,67			3,63	1,91
15SL-043	15	18	88,5	8,15	7,1	1014	0,99	0,21	21,9	93,0	48,0	5,79	3,8	<0.01	3,99	2,00
15SL-043	18	21	88,5	8,29	6,4	753	1,01	0,29	22,5	96,0	49,5	6,05	3,7	0,010	4,08	2,06
15SL-043	3	6	88,5	8,30			0,89					4,70			3,53	1,76
15SL-043	3	6	88,5	8,30			0,89					4,70			3,53	1,76
15SL-043	6	9	88,5	8,30			0,78					4,89			3,46	1,68
15SL-043	6	9	88,5	8,30			0,78					4,89			3,46	1,68
15SL-043	9	12	88,5	8,23			0,82					5,86			3,42	1,69
15SL-043	9	12	88,5	8,23			0,82					5,86			3,42	1,69
15SL-066	0	3	39,8	7,44			0,98					4,36			3,39	1,29
15SL-066	0	3	39,8	7,44			0,98					4,36			3,39	1,29
15SL-066	12	15	39,8	5,73	6,5	557	0,70	0,71	13,1	66,0	26,6	3,03	5,1	0,070	3,41	0,87
15SL-066	15	18	39,8	5,73	6,1	587	0,72	0,55	10,6	49,0	19,2	2,54	5,5	0,050	3,34	0,76
15SL-066	18	21	39,8	5,22	4,0	552	0,72	0,24	7,2	32,0	11,5	1,91	6,0	<0.01	3,20	0,58
15SL-066	21	24	39,8	5,99	6,3	541	0,69	0,25	13,4	54,0	15,5	2,71	5,9	<0.01	3,45	0,84
15SL-066	3	6	39,8	7,57			0,90					4,15			3,43	1,25
15SL-066	3	6	39,8	7,57			0,90					4,15			3,43	1,25
15SL-066	6	9	39,8	7,35			0,80					4,46			3,40	1,20
15SL-066	6	9	39,8	7,35			0,80					4,46			3,40	1,20
15SL-066	9	12	39,8	5,94	9,2	472	0,63	0,79	17,8	78,0	36,1	3,85	4,6	0,090	3,49	1,08
15SL-071	0	3	68,2	6,36			0,94					4,94			2,66	1,32
15SL-071	0	3	68,2	6,36			0,94					4,94			2,66	1,32
15SL-071	12	15	68,2	6,49	14,2	252	0,82	2,77	21,0	86,0	55,8	4,69	3,6	0,140	2,99	1,33
15SL-071	15	18	68,2	6,34	18,2	388	0,80	2,95	21,1	80,0	59,4	4,29	3,5	0,200	2,93	1,26
15SL-071	18	21	68,2	6,58	11,4	575	0,99	1,18	12,8	64,0	39,0	3,31	4,6	0,130	2,97	1,07
15SL-071	21	24	68,2	6,54	10,2	634	0,95	0,34	12,4	57,0	26,8	3,41	5,1	0,040	3,06	1,05
15SL-071	24	27	68,2	6,45	13,6	636	0,98	0,22	13,2	52,0	31,9	3,34	4,6	0,020	3,06	1,00
15SL-071	27	30	68,2	6,29	19,4	112	1,06	0,31	13,3	51,0	21,1	3,97	5,5	0,010	2,90	0,94
15SL-071	3	6	68,2	6,49			0,98					4,92			2,63	1,35
15SL-071	3	6	68,2	6,49			0,98					4,92			2,63	1,35
15SL-071	6	9	68,2	5,38	9,1	478	0,89	1,08	12,9	50,0	29,7	2,73	4,7	0,100	2,62	0,81
15SL-071	9	12	68,2	5,75	12,1	304	0,85	1,25	16,3	62,0	34,0	3,33	5,0	0,080	2,79	0,97
15SL-077	0	3	63,2	6,10			1,11					3,01			2,52	1,03
15SL-077	0	3	63,2	6,10			1,11					3,01			2,52	1,03
15SL-077	0	3	63,2	6,10			1,11					3,01			2,52	1,03
15SL-077	3	6	63,2	8,37	8,6	925	0,90	0,27	22,8	90,0	40,7	5,32	4,6	0,020	3,87	1,80
15SL-077	3	7	63,2	8,51	7,1	868	1,01	0,25	22,6	96,0	46,4	6,00	3,9	0,020	3,88	2,11
15SL-077	4	5	63,2	7,03			1,04					3,66			2,82	1,16
15SL-077	6	9	63,2	8,29	7,9	530	0,90	0,27	22,1	98,0	43,1	5,66	4,5	<0.01	3,97	2,00
15SL-077	9	12	63,2	8,44	8,3	531	0,84	0,30	22,3	94,0	41,5	5,76	4,4	0,010	3,98	1,96
15SL-088	0	3	113	6,72	8,0	453	1,57	0,45	16,4	72,0	31,7	4,57	3,8	0,030	3,18	2,07
15SL-088	15	18	113	6,49	7,4	475	1,27	0,48	16,9	85,0	33,6	4,38	4,3	0,060	3,35	1,98
15SL-088	27	30	113	6,63	8,6	465	1,32	0,88	18,2	87,0	36,9	4,71	3,8	0,080	3,35	1,96
15SL-088	3	6	113	6,84	6,3	447	1,65	0,48	17,8	78,0	33,2	4,63	4,3	0,030	3,27	2,07
15SL-088	39	42	113	6,52	7,7	480	1,27	0,75	18,0	83,0	37,7	4,58	4,2	0,060	3,39	1,99
15SL-089	0	3	114	5,85	8,6	425	1,14	0,88	15,3	75,0	41,1	4,21	3,3	0,040	2,93	1,82
15SL-089	15	18	114	6,64	9,0	443	1,20	1,07	17,7	84,0	45,9	4,77	3,7	0,040	3,32	1,89
15SL-089	27	30	114	6,68	10,0	492	1,01	0,62	17,2	90,0	33,1	4,55	4,2	0,050	3,43	1,87
15SL-089	3	6	114	6,10	7,6	438	1,28	0,70	16,9	82,0	38,4	4,37	3,8	0,040	3,06	1,90
15SL-089	39	42	114	6,23	15,4	240	0,99	3,28	18,7	84,0	69,9	4,99	3,7	0,100	3,21	1,74
15SL-089	51	54	114	6,42	12,2	226	0,68	0,86	18,5	83,0	39,7	5,42	3,6	0,060	3,41	1,73
15SL-094	15	18	106	5,72	11,9	181	1,06	1,18	16,2	61,0	44,2	4,26	3,0	0,039	2,61	1,65
15SL-094	27	30	106	6,12	12,1	275	1,20	1,37	16,4	70,0	55,1	4,47	3,4	0,033	2,88	1,75
15SL-094	3	6	106	5,82	9,7	390	1,16	0,91	15,3	65,0	39,8	4,22	2,8	0,054	2,70	1,78
15SL-094	39	42	106	6,60	9,4	450	0,93	0,63	18,0	78,0	34,8	4,71	3,5	0,061	3,18	1,74
15SL-094	51	54	106	6,09	18,9	122	1,05	3,74	17,2	71,0	76,4	4,81	3,1	0,091	2,79	1,61

	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	S	Sb	Se	Sn	Zn	Zr	Th	Tl	U	Corg	Ntot	Clay
Jaam	ppm	ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm		%	%	%
14SLM-001	376	1,1	1,26	26,0	0,11	22,81	0,56	0,56	1,06	2,71	86	289	8,42	0,97	5,2	2,4	0,32	18,9
14SLM-001	376	1,1	1,26	26,0	0,11	22,81	0,56	0,56	1,06	2,71	86	289	8,42	0,97	5,2	2,4	0,32	18,9
14SLM-001	366	2,7	1,07	18,7	0,09	23,34	0,36	0,45	<0.3	1,70	74	181	10,40	0,62	4,3			
14SLM-001	313	2,9	1,29	26,5	0,09	25,02	0,78	0,64	0,52	2,66	91	264	9,41	0,95	6,0	2,7	0,37	25,2
14SLM-001	313	2,9	1,29	26,5	0,09	25,02	0,78	0,64	0,52	2,66	91	264	9,41	0,95	6,0	2,7	0,37	25,2
14SLM-001	503	1,4	1,31	26,7	0,09	25,20	0,82	0,58	<0.3	2,50	96	162	11,80	0,64	3,9			
14SLM-001	622	3,3	1,91	43,4	0,09	60,36	0,68	12,68	<0.3	48,80	162	116	13,50	0,79	4,4			
14SLM-002	5420	10,6	3,17	31,3	0,13	24,77	0,91	1,53	<0.5	2,45	156		8,96	0,74	4,1	6,3	0,88	38,3
14SLM-002	2765	14,6	1,37	38,3	0,14	32,11	0,63	5,24	<0.3	17,20	154	104	11,00	1,41	4,3	6,3	0,88	0,0
14SLM-002	2242	18,2	2,29	41,2	0,13	39,14	1,42	2,81	<0.5	2,90	250		9,42	1,04	4,6	7,2	0,91	34,1
14SLM-002	868	8,7	2,17	36,1	0,11	49,68	1,08	2,13	<0.5	3,55	223		9,69	0,87	4,3	4,7	0,59	35,6
14SLM-002	1574	5,6	2,25	60,3	0,10	49,22	0,95	5,34	0,60	17,80	216	97	11,70	0,73	3,8			
14SLM-002	907	20,3	2,06	41,3	0,10	48,63	1,45	2,80	<0.5	3,47	279		9,46	0,84	4,7	4,7	0,63	31,1
14SLM-002	761	27,2	2,07	43,3	0,11	54,76	1,46	2,99	<0.5	3,44	291		9,09	0,90	5,2	4,7	0,59	37,3
14SLM-002	769	26,6	2,36	41,1	0,10	55,47	1,47	3,01	<0.5	3,48	284		9,24	0,94	5,3	4,6	0,58	37,4
14SLM-002	980	33,2	2,01	47,6	0,10	70,51	1,13	8,37	1,00	17,50	301	102	11,70	0,99	6,0			
14SLM-002	900	19,2	2,06	36,4	0,10	51,37	1,19	2,75	<0.5	3,52	251		9,55	0,78	5,0	4,2	0,53	33,2
14SLM-002	734	9,2	1,96	32,9	0,09	46,26	1,00	2,10	<0.5	3,73	217		9,66	0,88	5,1	3,3	0,42	32,5
14SLM-002	4216	17,8	2,23	30,9	0,14	24,18	1,32	1,97	<0.5	2,60	141		9,22	0,91	4,4	5,6	0,71	39,3
14SLM-002	730	4,2	1,78	33,9	0,10	36,88	1,08	1,61	<0.5	3,47	192		9,95	0,74	4,0	3,1	0,39	37,0
14SLM-002	775	7,4	1,94	32,8	0,10	34,18	1,12	1,50	<0.5	3,42	188		8,87	0,72	3,9	3,0	0,38	36,5
14SLM-002	867	2,0	1,71	33,0	0,10	30,42	0,88	0,95	<0.5	3,34	145	0	10,58	0,74	4,0	2,5	0,30	38,7
14SLM-002	902	1,4	1,68	33,5	0,09	31,99	0,96	0,92	<0.5	3,36	140		9,41	0,72	4,0	2,4	0,30	36,6
14SLM-002	874	0,5	1,63	32,2	0,10	32,14	0,84	0,75	<0.5	3,36	134		10,67	0,84	4,2	2,4	0,30	38,6
14SLM-002	894	0,5	1,66	33,4	0,10	33,69	0,86	0,76	<0.5	3,34	136		10,25	0,81	4,6	2,4	0,30	37,4
14SLM-002	5907	13,2	1,44	38,0	0,13	51,02	0,78	10,85	0,50	26,60	169	102	10,90	0,96	4,2			
14SLM-002	933	0,6	1,73	33,3	0,10	34,02	0,91	0,82	<0.5	3,29	136		10,66	0,66	4,4	2,5	0,31	34,3
14SLM-002	909	1,2	1,67	33,6	0,10	33,79	0,94	0,91	<0.5	3,28	143		9,49	0,74	4,1	2,4	0,29	33,1
14SLM-002	924	1,1	1,81	33,6	0,10	34,03	0,97	0,87	<0.5	3,26	139		10,41	0,83	4,3	2,3	0,28	34,8
14SLM-002	909	<0.5	1,72	32,9	0,10	32,41	0,97	0,82	<0.5	3,23	133		9,66	0,67	4,0	2,4	0,30	57,4
14SLM-002	914	<0.5	1,74	34,1	0,10	32,05	1,07	0,81	<0.5	3,21	132		9,44	0,67	4,0	2,3	0,29	56,8
14SLM-002	2825	33,6	2,62	41,1	0,13	27,90	1,06	2,71	<0.5	2,69	212		9,31	0,86	6,0	8,1	0,99	39,4
14SLM-002	891	0,6	1,72	33,4	0,10	32,09	0,97	0,82	<0.5	3,18	134		10,54	0,66	4,0	2,3	0,32	46,4
14SLM-002	861	0,5	1,69	34,0	0,10	32,62	0,95	0,80	<0.5	3,20	137		10,70	0,68	4,2	2,4	0,33	46,1
14SLM-002	1231	33,9	2,33	41,0	0,13	30,49	1,09	2,31	<0.5	2,84	191		9,62	0,98	5,7	7,1	0,87	37,7
14SLM-002	5563	29,6	3,16	43,0	0,12	23,04	1,33	2,50	0,60	2,30	181	88	7,50	0,98	4,5			
14SLM-002	1047	13,8	2,13	38,7	0,12	40,30	1,09	2,18	<0.5	3,03	217		10,22	0,94	4,6	5,9	0,74	31,1
14SLM-002	1034	22,9	2,65	42,9	0,11	37,29	1,04	2,65	1,00	2,90	216	101	11,70	0,89	5,2			
14SLM-004	520	14,9	1,91	42,8	0,10	37,14	0,76	2,55	1,14	3,95	165	189	12,72	1,45	8,8	5,5	0,73	46,6
14SLM-004	520	14,9	1,91	42,8	0,10	37,14	0,76	2,55	1,14	3,95	165	189	12,72	1,45	8,8	5,5	0,73	46,6
14SLM-004	602	20,4	1,46	36,5	0,07	22,64	3,99	0,54	<0.3	2,60	90	147	13,70	0,74	5,4			
14SLM-004	570	8,1	1,72	36,7	0,08	37,04	1,18	5,13	<0.3	13,50	105	125	13,70	0,78	6,5			
14SLM-004	582	7,4	1,73	37,4	0,08	35,62	1,13	3,87	<0.3	8,50	100	133	14,20	0,80	6,3			
14SLM-004	592	5,3	1,63	36,4	0,08	50,68	0,95	7,40	<0.3	10,80	101	128	14,80	0,84	5,3			
14SLM-004	570	4,1	1,65	37,9	0,09	52,80	0,85	1,66	1,02	4,14	180	198	8,20	1,28	5,9	3,5	0,48	58,4
14SLM-004	570	4,1	1,65	37,9	0,09	52,80	0,85	1,66	1,02	4,14	180	198	8,20	1,28	5,9	3,5	0,48	58,4
14SLM-004	649	4,1	1,68	39,3	0,08	75,98	0,75	9,05	0,90	13,60	173	138	14,40	0,84	5,1			
14SLM-004	540	4,2	1,44	31,6	0,07	42,48	0,65	4,23	<0.3	9,40	105	159	14,50	0,71	4,4			
14SLM-005	445	11,4	1,75	45,9	0,11	33,74	0,83	1,51	1,08	3,66	154	182	15,58	1,20	9,7	5,0	0,63	62,2
14SLM-005	445	11,4	1,75	45,9	0,11	33,74	0,83	1,51	1,08	3,66	154	182	15,58	1,20	9,7	5,0	0,63	62,2
14SLM-005	611	3,0	1,13	36,3	0,07	27,99	1,32	3,37	0,40	11,00	88	130	13,60	0,73	3,6			
14SLM-005	617	2,1	1,10	37,1	0,07	33,42	1,18	4,07	<0.3	8,40	90	128	13,50	0,70	3,0			
14SLM-005	554	7,2	1,65	45,4	0,10	45,33	1,18	1,63	1,37	3,95	191	186	9,96	1,01	6,2	3,8	0,42	49,9
14SLM-005	554	7,2	1,65	45,4	0,10	45,33	1,18	1,63	1,37	3,95	191	186	9,96	1,01	6,2	3,8	0,42	49,9
14SLM-005	585	10,9	1,74	42,6	0,09	66,43	1,14	4,64	1,00	13,60	224	123	13,90	1,05	8,4			
14SLM-005	481	4,6	1,04	31,5	0,06	38,09	1,08	5,31	<0.3	10,50	84	117	13,70	0,67	4,2			
14SLM-006	592	15,2	2,72	42,6	0,10	35,80	0,96	1,55	1,27	3,85	157		17,31	2,80	8,7	4,0	0,54	61,0
14SLM-006	429	20,9	1,99	46,9	0,10	32,04	0,86	1,53	1,07	3,52	143	172	15,08	1,25	10,3	5,5	0,73	62,8
14SLM-006	429	20,9	1,99	46,9	0,10	32,04	0,86	1,53	1,07	3,52	143	172	15,08	1,25	10,3	5,5	0,73	62,8
14SLM-006	627	5,4	1,98	44,7	0,09	53,17	0,92	1,52	1,42	4,44	197		16,74	1,19	5,9			58,6
14SLM-006	745	13,2	2,09	46,0	0,09	55,78	1,14	2,03	1,43	4,37	219		17,07	1,34	6,9			58,8

	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	S	Sb	Se	Sn	Zn	Zr	Th	Tl	U	Corg	Ntot	Clay
Jaam	ppm	ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm		%	%	%
14SLM-006	759	20,6	1,82	50,0	0,09	66,86	1,48	5,18	1,00	16,60	233	131	14,90	1,17	7,4			
14SLM-006	804	23,6	2,07	47,5	0,10	67,43	1,01	2,43	1,63	4,87	267		16,23	1,75	8,7			47,9
14SLM-006	934	27,3	2,08	46,7	0,09	72,82	1,15	2,21	2,26	5,09	299		15,65	1,59	10,1			61,5
14SLM-006	815	13,6	1,95	43,0	0,09	64,68	0,93	1,72	1,49	5,09	253		16,95	1,47	9,0			59,0
14SLM-006	604	4,2	1,69	40,1	0,08	52,51	1,17	6,18	<0.3	25,10	179	123	14,20	0,93	6,1			
14SLM-006	849	8,3	1,89	39,8	0,09	53,11	1,09	1,54	0,94	4,53	195		16,07	1,14	7,9			46,5
14SLM-006	684	8,7	1,90	40,2	0,09	51,19	0,84	1,32	1,15	4,61	206		15,93	1,18	8,3			63,2
14SLM-006	614	28,6	2,66	45,5	0,10	36,81	1,18	1,55	1,07	3,75	179		16,18	2,15	11,1			59,3
14SLM-006	709	4,3	1,83	40,2	0,09	51,59	0,70	1,44	1,48	4,51	197		17,94	1,28	7,9			50,2
14SLM-006	691	1,2	1,59	38,3	0,09	51,07	1,44	3,56	<0.3	7,50	144	135	14,90	0,88	4,4			
14SLM-006	751	2,2	1,78	39,4	0,10	46,29	0,67	1,24	1,34	4,34	176		15,89	1,15	6,3			65,8
14SLM-006	851	1,4	1,75	38,6	0,09	45,56	1,04	0,99	1,17	4,31	166		16,85	1,09	5,7			53,0
14SLM-006	600	1,0	1,61	40,6	0,09	51,44	1,11	4,10	<0.3	12,00	153	133	15,80	0,94	4,6			
14SLM-006	917	1,8	1,68	41,3	0,09	41,35	0,96	1,03	1,08	4,18	168		17,64	1,10	5,3			59,9
14SLM-006	533	9,9	1,81	44,3	0,09	41,33	0,94	1,59	0,91	3,83	160	175	14,26	1,27	7,4	3,5	0,48	60,3
14SLM-006	533	9,9	1,81	44,3	0,09	41,33	0,94	1,59	0,91	3,83	160	175	14,26	1,27	7,4	3,5	0,48	60,3
14SLM-006	789	1,4	1,62	40,9	0,09	41,14	0,90	0,97	0,86	4,11	165		17,67	0,96	5,4			50,5
14SLM-006	609	1,0	1,51	41,3	0,08	48,75	1,11	2,71	<0.3	6,70	147	139	15,80	0,89	4,7			
14SLM-006	796	1,6	1,64	41,3	0,10	43,24	0,99	1,08	0,97	4,27	171		18,13	0,95	5,4			63,6
14SLM-006	748	1,2	1,68	40,3	0,10	41,34	1,01	1,00	0,98	4,02	163		18,16	0,92	5,4			63,6
14SLM-006	634	14,8	2,87	43,2	0,09	44,52	1,37	1,59	1,39	4,00	197		16,53	1,72	7,0			50,4
14SLM-006	628	1,3	1,65	39,5	0,10	42,07	0,88	0,93	1,18	4,09	158		17,74	1,05	5,3			61,2
14SLM-006	572	1,1	1,68	39,5	0,10	42,34	0,80	0,97	0,94	4,03	157		17,78	0,97	5,3			60,6
14SLM-006	701	4,8	2,05	41,0	0,09	50,21	0,88	1,38	1,38	4,28	194		17,22	1,37	6,4			58,8
14SLM-006	503	2,8	1,14	25,2	0,08	35,88	0,78	0,54	<0.3	2,30	102	169	11,40	0,67	4,3			
14SLM-006	721	3,7	1,92	44,1	0,09	53,77	0,69	1,13	1,49	4,59	193		18,35	1,68	6,5			62,7
14SLM-006	632	11,4	1,76	45,8	0,09	46,29	1,28	1,42	0,70	3,40	185	120	13,40	0,89	4,9			
14SLM-007	391	<0.5	1,24	24,4	0,15	23,66	0,22	0,50	<0.5	2,75	91		8,35	0,55	3,9	3,6	0,46	21,3
14SLM-007	391	<0.5	1,24	24,4	0,15	23,66	0,22	0,50	<0.5	2,75	91		8,35	0,55	3,9	3,6	0,46	21,3
14SLM-007	324	2,8	1,04	23,0	0,07	32,16	0,66	0,69	<0.5	2,56	114		10,74	0,59	5,2			4,0
14SLM-007	341	3,7	1,01	23,7	0,07	34,00	0,39	0,79	<0.5	2,65	124		10,30	0,64	5,7			4,7
14SLM-007	370	5,8	0,98	27,3	0,07	39,07	0,45	3,18	<0.3	8,30	110	193	12,70	0,83	5,8			
14SLM-007	367	1,4	0,98	20,7	0,06	23,14	0,33	0,55	<0.5	2,48	95		10,68	0,67	4,2			7,3
14SLM-007	388	0,5	1,01	20,8	0,07	22,96	0,26	0,54	<0.5	2,50	87		10,72	0,64	4,1			12,0
14SLM-007	384	<0,5	1,00	20,9	0,07	20,92	0,24	0,45	<0.5	2,45	79		10,49	0,68	3,8			14,6
14SLM-007	481	1,5	1,00	27,6	0,08	40,38	0,44	4,51	<0.3	9,70	90	191	13,50	0,82	4,5			
14SLM-007	420	<0,5	0,98	21,9	0,07	21,97	0,33	0,46	<0.5	2,44	84		10,08	0,67	3,7			22,4
14SLM-007	420	<0,5	1,01	23,8	0,08	20,80	0,55	0,45	<0.5	2,48	84		11,26	0,63	3,9			20,3
14SLM-007	304	0,6	1,12	24,7	0,09	23,83	0,37	0,60	<0.5	2,78	95		11,24	0,59	4,8	2,9	0,35	22,8
14SLM-007	420	<0,5	0,98	22,5	0,07	19,95	0,46	0,41	<0.5	2,36	81		10,45	0,60	3,9			16,0
14SLM-007	407	<0,5	1,02	23,4	0,07	19,01	0,38	0,41	<0.5	2,56	81		10,21	0,60	4,0			20,1
14SLM-007	415	<0,5	1,01	24,1	0,07	17,96	0,35	0,40	<0.5	2,41	81		9,56	0,56	3,7			20,3
14SLM-007	428	<0,5	1,04	24,3	0,07	17,41	0,58	0,38	<0.5	2,33	80		9,81	0,54	3,7			21,4
14SLM-007	413	<0,5	1,03	26,2	0,07	17,99	0,58	0,41	<0.5	2,47	84		9,63	0,60	3,9			26,2
14SLM-007	391	1,8	1,13	31,3	0,09	52,70	0,33	7,40	<0.3	13,00	106	159	13,10	0,74	4,9			
14SLM-007	281	1,2	1,07	24,8	0,09	25,65	0,50	0,62	<0.5	2,66	100		6,49	0,66	4,2	2,8	0,36	21,0
14SLM-007	316	<0,5	1,03	25,6	0,08	32,25	0,49	0,72	<0.5	2,79	115		10,57	0,58	4,9			15,0
14SLM-007	352	2,0	1,04	31,1	0,08	38,25	0,44	3,29	<0.3	7,00	106	175	13,00	0,83	5,4			
14SLM-007	421	<0,5	1,03	24,5	0,07	30,79	0,62	0,68	<0.5	2,57	109		9,98	0,63	4,3			13,9
14SLM-007	347	1,8	0,98	29,8	0,08	36,49	0,43	3,33	0,50	14,40	106	184	13,00	0,77	5,5			
14SLM-E5	578	12,2	2,58	30,2	0,11	26,13	0,82	1,58	<0.5	3,30	132		8,68	0,69	4,6	9,8	1,37	30,2
14SLM-E5	778	18,9	1,53	38,3	0,11	35,93	0,65	6,54	0,60	16,00	146	125	12,20	0,91	5,1			
14SLM-E5	732	18,4	2,01	43,3	0,10	63,75	1,18	5,63	<0.3	11,70	291	116	12,50	1,01	6,0			
14SLM-E5	702	1,4	1,64	33,2	0,08	64,44	0,56	8,25	0,60	19,60	141	148	14,30	0,77	4,2			
14SLM-E5	630	2,7	1,58	32,7	0,08	47,71	0,50	4,90	<0.3	9,40	112	169	14,80	0,76	4,8			
14SLM-E5	669	16,8	1,53	140,8	0,11	44,94	0,86	6,73	0,90	19,10	182	121	13,60	0,90	5,4			
14SLM-E5	6419	17,8	2,28	38,2	0,13	32,24	1,41	2,68	<0.5	2,80	195		8,38	0,76	4,5	5,6	0,67	55,7
14SLM-E5	739	3,0	1,48	42,3	0,10	54,50	0,71	7,66	0,50	26,10	191	128	13,80	0,82	4,2			
14SLM-E5	760	4,2	1,49	41,3	0,10	64,94	0,71	7,76	<0.3	19,80	213	131	14,00	0,82	4,5			
15SL-043																4,6	0,56	63,6
15SL-043																4,6	0,56	63,6

	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	S	Sb	Se	Sn	Zn	Zr	Th	Tl	U	Corg	Ntot	Clay
Jaam	ppm	ppm	%	ppm	%	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm		%	%	%
15SL-043			1,88		0,09													
15SL-043			1,88		0,09													
15SL-043	722	0,9	1,87	55,4	0,09	26,36	0,07	0,36	0,30	4,10	163	124	17,70	1,27	4,5			
15SL-043	758	0,8	1,89	55,8	0,09	26,41	<0.04	0,31	<0.3	4,00	161	123	17,20	1,28	4,3			
15SL-043			2,23		0,10											3,3	0,40	62,0
15SL-043			2,23		0,10											3,3	0,40	62,0
15SL-043			1,98		0,10													
15SL-043			1,98		0,10													
15SL-043			1,90		0,10													
15SL-043			1,90		0,10													
15SL-066			1,60		0,20											3,5	0,44	29,7
15SL-066			1,60		0,20											3,5	0,44	29,7
15SL-066	468	1,9	1,27	29,5	0,08	39,66	0,51	0,84	<0.3	3,10	120	184	12,30	0,80	4,9			
15SL-066	415	3,9	1,33	24,1	0,08	28,46	0,28	0,61	<0.3	2,80	91	202	12,00	0,79	4,6			
15SL-066	306	1,1	1,30	16,9	0,07	19,24	0,09	0,34	<0.3	2,00	54	216	10,60	0,74	3,8			
15SL-066	396	2,7	1,24	27,5	0,08	18,37	0,17	0,37	<0.3	2,50	66	206	12,50	0,92	5,3			
15SL-066			1,47		0,11											3,7	0,48	34,1
15SL-066			1,47		0,11											3,7	0,48	34,1
15SL-066			1,40		0,10													
15SL-066			1,40		0,10													
15SL-066	462	1,8	1,29	37,2	0,09	43,35	0,83	1,01	0,90	3,40	147	154	12,50	0,81	4,9			
15SL-071			3,12		0,16		1,52									6,7	0,85	35,8
15SL-071			3,12		0,16		1,52									6,7	0,85	35,8
15SL-071	1563	13,2	2,16	49,5	0,11	60,08	1,35	2,82	1,60	4,30	269	128	12,90	0,93	4,9			
15SL-071	1137	18,1	2,26	44,9	0,11	65,48	1,46	3,54	1,30	4,20	315	127	12,70	1,00	5,5			
15SL-071	955	2,0	1,93	31,8	0,08	44,98	0,68	1,53	0,80	3,20	163	161	12,70	0,81	3,9			
15SL-071	848	4,3	1,85	29,8	0,08	33,22	0,63	0,82	0,60	3,10	108	179	13,20	0,81	4,5			
15SL-071	795	3,8	1,90	27,4	0,08	24,74	0,81	0,47	0,40	2,60	92	164	12,10	0,78	4,2			
15SL-071	750	8,7	1,88	26,7	0,08	20,41	1,79	0,45	<0.3	2,20	74	194	13,10	0,75	4,4			
15SL-071			2,77		0,13		1,54									6,1	0,74	36,2
15SL-071			2,77		0,13		1,54									6,1	0,74	36,2
15SL-071	731	3,7	1,96	25,2	0,08	35,24	0,71	1,35	<0.3	2,70	136	173	10,70	0,76	3,2			
15SL-071	951	5,3	1,97	30,1	0,09	39,79	0,82	1,52	0,60	3,20	152	185	13,30	0,75	3,7			
15SL-077			2,37		0,15		0,56									3,1	0,40	43,8
15SL-077			2,37		0,15		0,56									3,1	0,40	43,8
15SL-077			2,37		0,15		0,56									3,1	0,40	43,8
15SL-077	676	1,3	1,45	54,0	0,09	26,80	0,07	0,42	<0.3	3,80	131	166	15,80	1,15	7,5			
15SL-077	889	0,7	1,89	57,9	0,10	26,05	0,05	0,28	0,30	4,10	152	128	17,30	1,30	4,0			
15SL-077			1,58		0,08		0,31									1,3	0,18	48,2
15SL-077	765	0,9	1,33	58,9	0,09	28,30	0,05	0,40	<0.3	4,00	141	158	15,50	1,15	4,8			
15SL-077	755	0,7	1,40	57,3	0,09	27,52	0,04	0,34	<0.3	4,40	138	158	15,30	1,15	4,5			
15SL-088	524	12,1	3,35	47,7	0,11	30,75	1,02	1,06	0,60	3,30	136	130	13,90	0,89	5,4			
15SL-088	808	2,4	1,88	48,9	0,09	41,17	0,88	0,93	1,00	3,50	160	143	13,70	0,86	4,3			
15SL-088	846	8,7	1,88	50,3	0,09	48,59	1,19	1,08	0,50	4,10	195	136	13,20	0,96	4,5			
15SL-088	616	7,0	2,65	49,7	0,11	30,35	1,00	0,75	0,60	3,30	140	142	14,10	0,92	4,5			
15SL-088	773	4,7	1,74	44,9	0,09	48,50	1,18	0,95	0,40	4,40	172	145	14,70	0,96	4,6			
15SL-089	456	24,7	3,99	47,0	0,13	27,76	1,11	1,48	1,00	3,00	153	112	10,40	0,94	6,6			
15SL-089	722	15,9	2,40	51,4	0,10	33,33	1,33	1,15	0,60	3,70	170	134	13,90	1,02	7,4			
15SL-089	782	3,6	1,90	48,5	0,10	42,89	1,12	1,02	0,70	3,70	174	140	13,50	0,88	4,1			
15SL-089	503	20,2	3,13	47,3	0,12	29,87	1,12	1,16	1,10	3,40	145	121	12,60	1,01	6,8			
15SL-089	888	22,4	2,05	58,7	0,11	68,19	2,00	2,03	1,40	5,00	323	127	11,90	1,64	8,5			
15SL-089	824	6,3	1,94	47,9	0,10	48,19	1,89	1,26	1,40	4,40	191	139	12,50	1,13	5,8			
15SL-094	855	29,2	2,62	50,0	0,12	27,16	1,77	1,66	1,60	2,90	158	104	12,00	1,01	8,9			
15SL-094	692	36,6	2,45	56,0	0,12	32,40	1,75	1,61	1,20	3,10	182	114	13,10	1,07	10,4			
15SL-094	538	26,9	3,57	45,0	0,13	25,95	1,28	1,35	1,60	2,90	151	104	11,50	0,92	6,9			
15SL-094	1303	7,3	2,12	49,6	0,10	41,58	1,32	1,18	1,10	3,50	172	120	13,10	0,88	4,5			
15SL-094	949	27,1	1,97	56,8	0,10	63,06	2,11	1,85	1,70	4,00	334	110	12,30	1,67	9,4			


FAKTILISE MATERJALI KAART
Sampling stations and geophysical profiles
1:400 000
Eesti Geoloogiakeskus
Geological Survey of Estonia
0 5 10 15 20 km
SEDGOF
Sediments of the Gulf of Finland
LISA 6. Faktilise materjali kaart
LEGEND
Jaama number
Veesügavus
Proovivõtukohad; kasutusel GEMAX proovivõtusead
Sampling points where GEMAX corer was used
Station number
Depth of water
Proovivõtukohad; kasutusel haardkopp
Sampling points where grab sampler was used
Geofüüsikalised profiilid
Geophysical profiles
Majandusvööndi piir
Boundary of economic zone
Riigipiir
International boundary
Kaardiala paiknemise skeem
Location on the map
Projektsioon: Lamberti konformne kooniline projektsioon, ellipsoid GRS-80 (Lambert-Est, lõikeparalleelid 58°00´ ja 59°20´), telgmeridiaan 24°00´ E.
Koordinaatvõrk: L-EST 97
Kõrgused meetrites
Coordinate System: Estonia 1997 Estonia National Grid
Projection: Lambert Conformal Conic
Central meridian: 24°00´ E
Standard Parallel 1: 58°00´
Standard Parallel 2: 59°20´
Units: Meter
Tehniline teostus: Siim Nirgi
Digital cartography by: Siim Nirgi
Eesti Geoloogiakeskus OÜ
Geological Survey of Estonia
Kadaka tee 82
12618 Tallinn, Estonia
Tel: (372) 672 0094
Fax: (372) 672 0091
E-mail: egk@egk.ee
URL: http://www.egk.ee
© Geological Survey of Estonia 2016
14SLM-004 81,3m
14SL-012 92m
14SL-jaam-017 105m
14SL-002 83,5m
14SL-E4 83,1m
14SL-026 84,3m
14SLM-E5-b 75,5m
14SL-016 79,8m
15SL-075 68,2m
15SL-077 63,2m
15SL-071 68,2m
15SL-070 69,6m
15SL-069 64,3m
15SL-068 79,3m
14SL-E6 81,3m
14SLM-002 84,3m
14SL-031 53,8m
14SL-014 72,1m
14SL-030 54,3m
14SL-029 61,3m
14SL-020 62,6m
14SL-021 49m
15SL-066 39,8m
15SL-067 52,5m
14SL-028 25,1m
14SL-023 51,5m
14SLM-007 34,7m
14SL-025 33,8m
14SL-049 92,3m
15SL-049 4,6m
15SL-066 5,4m
15SL-058 11,6m
15SL-060 10,2m
15SL-059 8,9m
14SL-022 30m
14SL-027 33,5m
14SLM-001 33,7m
15SL-063 11,1m
15SL-061 9,2m
15SL-062 6m
14SL-024 19,3m
15SL-065 14,3m
15SL-064 11,8m
14SL-004 70,6m
14SL-003 79,8m
15SL-084 18,5m
15SL-085 15m
15SL-083 13,3m
15SL-082 14m
15SL-080 14m
15SL-081 14,6m
15SL-063 14m
14SL-001 64,5m
15SL-078 60,9m
15SL-079 42,1m
14SL-013 79,6m
14SL-E2 86,8m
14SL-011 70m
15SL-051 20,3m
15SL-053 20,4m
15SL-033 55,8m
14SLM-005 81,4m
14SL-005 81,4m
15SL-043 88,5m
14SLM-006 99,1m
15SL-089 114m
15SL-086 70m
15SL-087 102m
14SL-006 114,1m
15SL-088 113m
14SL-007 75,7m
15SL-092 61m
15SL-095 62m
15SL-096 56m
14SL-010 58,6m
15SL-039 28,5m
14SL-008 33,6m
15SL-038 8m
14SL-009 33,6m
15SL-041 20,8m
15SL-040 8,4m
TALLINN
MAARDU
LOKSA
LINDA
KEILA-JÕARVE
NEELAMÄE
MAKSIMAE
SAUE
KEILA
ESTRA
PAE
PALDISKI

VARASEM UURITUS

Previous studies

1:400 000

0 5 10 15 20 km

Eesti Geoloogiakeskus
Geological Survey of Estonia

SEDGOF
Sediments of the Gulf of Finland

LISA 7. Varasem uuritus

LEGEND

- Talpas, A., Kask, J. jt., 1994 (EGF 4860)
- Talpas, A., Kivisilla, J. jt., 1989 (EGF 4339)
- Malkov, B., Kiipli, T. jt., 1986 (EGF 4188)
- Suuroja, S., Talpas, K. jt., 2008 (EGF 8041)
- Majandusvööndi piir
  Boundary of economic zone
- Riigipiir
  International boundary

Kaardiala paiknemise skeem
Location on the map



Projektsioon: Lamberti konformne kooniline projektsioon, ellipsoid GRS-80 (Lambert-Est, lõikeparalleelid 58°00´ ja 59°20´), telgmeridiaan 24°00´ E.
Koordinaatvõrk: L-EST 97
Kõrgused meetrites

Coordinate System: Estonia 1997 Estonia National Grid
Projection: Lambert Conformal Conic
Central meridian: 24°00´ E
Standard Parallel 1: 58°00´
Standard Parallel 2: 59°20´
Units: Meter

Tehniline teostus: Siim Nirgi
Digital cartography by: Siim Nirgi
Eesti Geoloogiakeskus OÜ
Geological Survey of Estonia
Kadaka tee 82
12618 Tallinn, Estonia
Tel: (372) 672 0094
Fax: (372) 672 0091
E-mail: egk@egk.ee
URL: http://www.egk.ee

© Geological Survey of Estonia 2016

Kasutatud materjalid
Sources of information

1. Talpas, A., Kask, J. jt., 1994 (EGF 4860)
2. Malkov, B., Dulin, J. jt., 1983 (EGF 4014)
3. Malkov, B., Kiipli, T. jt., 1986 (EGF 4188)
4. Talpas, A., Kivisilla, J. jt., 1989 (EGF 4339)
5. Suuroja, S., Talpas, K. jt., 2008 (EGF 8041)



Pb-SISALDUS SOOME LAHE PÕHJASETETES

Pb concentrations in bottom sediments of the Gulf of Finland

1:400 000

Eesti Geoloogiakeskus
Geological Survey of Estonia

0 5 10 15 20 km

SEDGOF
Sediments of the Gulf of Finland

LISA 8. Pb-sisaldus Soome lahe põhjasetetes

LEGEND

Pb, ppm

- < 22,7
- 22,7 - 26,1
- 26,1 - 30,0
- 30,0 - 34,5
- 34,5 - 39,7
- 39,7 - 45,7
- 45,7 - 52,5
- 52,5 - 60,4
- 60,4 - 69,4
- 69,4 - 79,9
- 79,9 - 91,8
- 91,8 - 105,6
- 105,6 - 110,0
- > 110,0

Majandusvööndi piir
Boundary of economic zone

Riigipiir
International boundary

Kaardiala paiknemise skeem
Location on the map



Projektsioon: Lamberti konformne kooniline projektsioon, ellipsoid GRS-80 (Lambert-Est, lõikeparalleelid 58°00´ ja 59°20´), telgmeridiaan 24°00´ E.
Koordinaatvõrk: L-EST 97
Kõrgused meetrites

Coordinate System: Estonia 1997 Estonia National Grid
Projection: Lambert Conformal Conic
Central meridian: 24°00´ E
Standard Parallel 1: 58°00´
Standard Parallel 2: 59°20´
Units: Meter

Tehniline teostus: Siim Nirgi
Digital cartography by: Siim Nirgi
Eesti Geoloogiakeskus OÜ
Geological Survey of Estonia
Kadaka tee 82
12618 Tallinn, Estonia
Tel: (372) 672 0094
Fax: (372) 672 0091
E-mail: egk@egk.ee
URL: http://www.egk.ee

© Geological Survey of Estonia 2016

Kasutatud materjalid
Sources of information

Poolkvantitatiivse spektraalanalüüsi andmetel:

1. Talpas, A., Kask, J. jt., 1994 (EGF 4860)
2. Malkov, B., Dulin, J. jt., 1983 (EGF 4014)
3. Talpas, A., Kivisilla, J. jt., 1989 (EGF 4339)



Zn-SISALDUS SOOME LAHE PÕHJASETETES

Zn concentrations in bottom sediments of the Gulf of Finland

1:400 000

Eesti Geoloogiakeskus
Geological Survey of Estonia

0 5 10 15 20 km

SEDGOF
Sediments of the Gulf of Finland

LISA 9. Zn-sisaldus Soome lahe põhjasetetes

LEGEND

Zn, ppm

- < 71
- 71 - 82
- 82 - 94
- 94 - 108
- 108 - 124
- 124 - 143
- 143 - 164
- 164 - 189
- 189 - 217
- 217 - 249
- 249 - 270
- > 270

Majandusvööndi piir
Boundary of economic zone

Riigipiir
International boundary

Kaardiala paiknemise skeem
Location on the map



Projektsioon: Lamberti konformne kooniline projektsioon, ellipsoid GRS-80 (Lambert-Est, lõikeparalleelid 58°00´ ja 59°20´), telgmeridiaan 24°00´ E.
Koordinaatvõrk: L-EST 97
Kõrgused meetrites

Coordinate System: Estonia 1997 Estonia National Grid
Projection: Lambert Conformal Conic
Central meridian: 24°00´ E
Standard Parallel 1: 58°00´
Standard Parallel 2: 59°20´
Units: Meter

Tehniline teostus: Siim Nirgi
Digital cartography by: Siim Nirgi
Eesti Geoloogiakeskus OÜ
Geological Survey of Estonia
Kadaka tee 82
12618 Tallinn, Estonia
Tel: (372) 672 0094
Fax: (372) 672 0091
E-mail: egk@egk.ee
URL: http://www.egk.ee

© Geological Survey of Estonia 2016

Kasutatud materjalid
Sources of information

Poolkvantitatiivse spektraalanalüüsi andmetel:

1. Talpas, A., Kask, J. jt., 1994 (EGF 4860)
2. Malkov, B., Dulin, J. jt., 1983 (EGF 4014)
3. Malkov, B., Kiipli, T. jt., 1986 (EGF 4188)
4. Talpas, A., Kivisilla, J. jt., 1989 (EGF 4339)



TALLINN
MAARDU
LOKSA
KUNDA
KEILA
SAUE
VAIDSKI
EHRA
NARVA-JÕESUU
KILLAMÄE
OHTLA-JÄRVE

Mo-SISALDUS SOOME LAHE PÕHJASETETES

Mo concentrations in bottom sediments of the Gulf of Finland

1:400 000

Eesti Geoloogiakeskus
Geological Survey of Estonia

0 5 10 15 20 km

SEDGOF
Sediments of the Gulf of Finland

LISA 10. Mo-sisaldus Soome lahe põhjasetetes

LEGEND

Mo, ppm

< 1,4	6,8 - 8,8
1,4 - 1,8	8,8 - 10,4
1,8 - 2,4	10,4 - 11,4
2,4 - 3,1	11,4 - 14,9
3,1 - 4,0	14,9 - 19,3
4,0 - 5,2	19,3 - 25,1
5,2 - 6,8	25,1 - 32,6
	> 32,6

Majandusvööndi piir
Boundary of economic zone

Riigipiir
International boundary

Kaardiala paiknemise skeem
Location on the map



Projektsioon: Lamberti konformne kooniline projektsioon, ellipsoid GRS-80 (Lambert-Est, lõikeparalleelid 58°00´ ja 59°20´), telgmeridiaan 24°00´ E.
Koordinaatvõrk: L-EST 97
Kõrgused meetrites

Coordinate System: Estonia 1997 Estonia National Grid
Projection: Lambert Conformal Conic
Central meridian: 24°00´ E
Standard Parallel 1: 58°00´
Standard Parallel 2: 59°20´
Units: Meter

Tehniline teostus: Siim Nirgi
Digital cartography by: Siim Nirgi
Eesti Geoloogiakeskus OÜ
Geological Survey of Estonia
Kadaka tee 82
12618 Tallinn, Estonia
Tel: (372) 672 0094
Fax: (372) 672 0091
E-mail: egk@egk.ee
URL: http://www.egk.ee

© Geological Survey of Estonia 2016

Kasutatud materjalid
Sources of information

Poolkvantitatiivse spektraalanalüüsi andmetel:

1. Talpas, A., Kask, J. jt., 1994 (EGF 4860)
2. Malkov, B., Dulin, J. jt., 1983 (EGF 4014)
3. Malkov, B., Kiipli, T. jt., 1986 (EGF 4188)
4. Talpas, A., Kivisilla, J. jt., 1989 (EGF 4339)



Mn-SISALDUS SOOME LAHE PÕHJASETETES

Mn concentrations in bottom sediments of the Gulf of Finland

1:400 000

Eesti Geoloogiakeskus
Geological Survey of Estonia

0 5 10 15 20 km

SEDGOF
Sediments of the Gulf of Finland

LISA 11. Mn-sisaldus Soome lahe põhjasetetes

LEGEND

Mn, ppm

< 280	860 - 1140
280 - 370	1140 - 1500
370 - 490	1500 - 1980
490 - 650	1980 - 2630
650 - 860	2630 - 6000
	> 6000

Majandusvööndi piir
Boundary of economic zone

Riigipiir
International boundary

Kaardiala paiknemise skeem
Location on the map



Projektsioon: Lamberti konformne kooniline projektsioon, ellipsoid GRS-80 (Lambert-Est, lõikeparalleelid 58°00´ ja 59°20´), telgmeridiaan 24°00´ E.
Koordinaatvõrk: L-EST 97
Kõrgused meetrites

Coordinate System: Estonia 1997 Estonia National Grid
Projection: Lambert Conformal Conic
Central meridian: 24°00´ E
Standard Parallel 1: 58°00´
Standard Parallel 2: 59°20´
Units: Meter

Tehniline teostus: Siim Nirgi
Digital cartography by: Siim Nirgi
Eesti Geoloogiakeskus OÜ
Geological Survey of Estonia
Kadaka tee 82
12618 Tallinn, Estonia
Tel: (372) 672 0094
Fax: (372) 672 0091
E-mail: egk@egk.ee
URL: http://www.egk.ee

© Geological Survey of Estonia 2016

Kasutatud materjalid
Sources of information

Poolkvantitatiivse spektraalanalüüsi andmetel:

1. Talpas, A., Kask, J. jt., 1994 (EGF 4860)
2. Malkov, B., Dulin, J. jt., 1983 (EGF 4014)
3. Malkov, B., Kiipli, T. jt., 1986 (EGF 4188)
4. Talpas, A., Kivisilla, J. jt., 1989 (EGF 4339)

