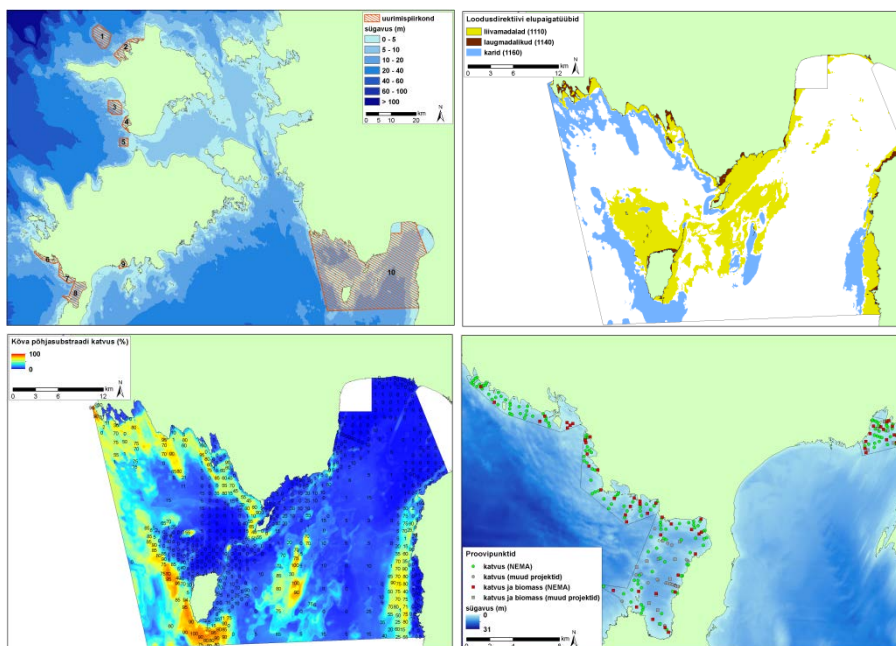


LOODUSDIREKTIIVI MERELISTE ELUPAIKADE KAARDISTAMINE INVENTEERIMATA NATURA 2000 ALADEL

Teostatud projekti „Eesti merealade loodusväärtuste inventeerimine ja seiremetoodika väljatöötamine“ raames

Aruande versioon 2, 8. aprill 2016



Leping: 10-4.5.5/14/21
Vastutav täitja: Georg Martin



KESKKONNAMINISTEERIUM



SISUKORD

1. SISSEJUHATUS	3
2. MATERJAL JA METOODIKA	5
2.1. Uuringupiirkonnad.....	5
2.2. Välitööd proovipunktides	7
2.3. Kaartide loomise meetodid.....	10
2.3.1. Modelleerimismeetodid ja ruumianalüüsid	10
2.3.2. Sonariga merepõhja kaardistamise vajadus ja tööpõhimõtted	13
2.3.3. Sonariandmete kogumine ja töötlemine	14
2.4. EL loodusdirektiivi elupaigatüübid	17
3. TULEMUSED	20
3.1. Merepõhja substraat	20
3.2. Merepõhja elustik.....	27
3.2.1. Põhjataimestik	29
3.2.2. Põhjloomastik	37
3.3. Loodusdirektiivi elupaigatüübid	44
4. KOKKUVÕTE.....	47
5. SUMMARY	48
KIRJANDUS.....	49

1. SISSEJUHATUS

Merepõhja substraadi, elustiku ja elupaikade kaardistamine on vajalik nii mitmete seadusandlike kohustuste täitmiseks, looduskaitsete vajaduste täitmiseks, merealade ruumilise planeerimise teostamiseks, keskkonnamõtjude hindamise läbiviimisel kui ka baasteaduslike teadmiste hankimise seisukohalt. Euroopas looduskaitse oluliseks peetavate elupaikade levila ja pindala hindamise kohustus lähtub Euroopa Liidu Nõukogu looduslike elupaikade ning loodusliku taime- ja loomastiku kaitse direktiivist (92/43/EMÜ edaspidi „loodusdirektiiv“).

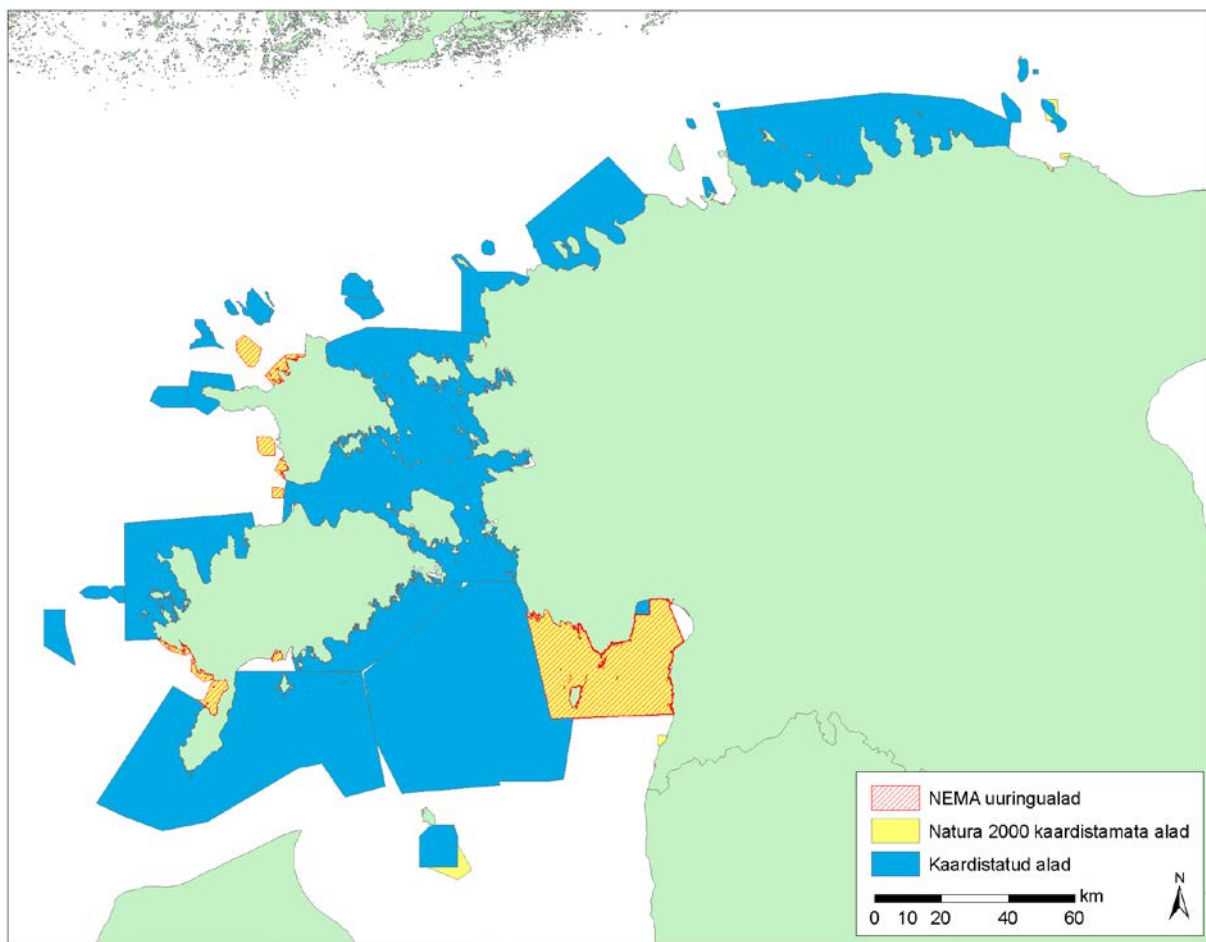
Kuna merepõhja elupaikade kaardistamisega alustati Eestis alles 2005. aastal on seni inventuuridega kaetud vaid ligi kolmandik Eestile kuuluvast merealast. Lisaks sellele tuleb silmas pidada, et mitmed ulatuslikud kaardistustööd põhinevad väga hõredal proovipunkti võrgustikul. Inventuurid on läbiviimata ka mitmel Natura 2000 võrgustiku aladel, mille kaitse eesmärkides on esile toodud ka merelised elupaigatüübid.

Käesoleva töö eesmärgiks on kaardistada loodusdirektiivi elupaigatüüpide levik veel kaardistamata Natura 2000 võrgustiku merealadel: Liivi lahe kirdeosas, Hiiumaa läänerannikul ning Saaremaa edelaosas ja Kuressaare lahes (joonis 1.1). Seniajani pole nende merepiirkondade kohta olemasolev informatsioon olnud piisav adekvaatse hinnangu andmiseks merealade loodusväärtuste kirjeldamiseks või nende seisundi hindamiseks.

Vastavate hinnangute andmiseks vajalik alginformatsioon koguti 2015-2016 aastate suvedel läbi viidud välitööde jooksul. Välitööd viidi läbi jälgides rahvusvaheliselt aktsepteeritud ning rahvusliku merekeskkonna seire programmi raames kasutatavaid meetodikaid. Välitöödega kaeti ligikaudu 1290 km² seni kaardistamata Natura 2000 merealadest. Eesmärgi täitmiseks kasutati mitmekiirelist sonarit, allveevideotehnikat, sukeldumistehnikat ja kvantitatiivseid sampleid.

Töö viisid läbi TÜ Eesti Mereinstituudi merebioloogia osakonna töötajad:

Kristjan Herkül, Katarina Oganjan, Sander Paekivi, Greta Reisalu, Kaire Kaljurand, Teemar Püss, Martin Teeveer, Liis Rostin, Liina Pajusalu, Mark Pahk, Priit Kersen, Anastasiia Kovtun-Kante, Ivan Kuprijanov, Birgit Jullinen, Jelena Kuprijanova, Merli Pärnoja, Lauri London, Kristiina Nurkse.



Joonis 1.1. Uuringualad.

2. MATERJAL JA METOODIKA

2.1. Uuringupiirkonnad

Kaardistamata Natura 2000 võrgustiku merealadest valiti detailse merepõhja elustiku ja elupaikade inventuuri läbiviimiseks välja alad Liivi lahe kirdeosas, Hiiumaa läänerannikul ning Saaremaa edelaosas ja Kuressaare lahes (joonis 2.1.1).

Liivi lahe kirdeosas paiknev uurimisala pindala oli 1077,2 km², mis hõlmas Pärnu lahe hoiuala.

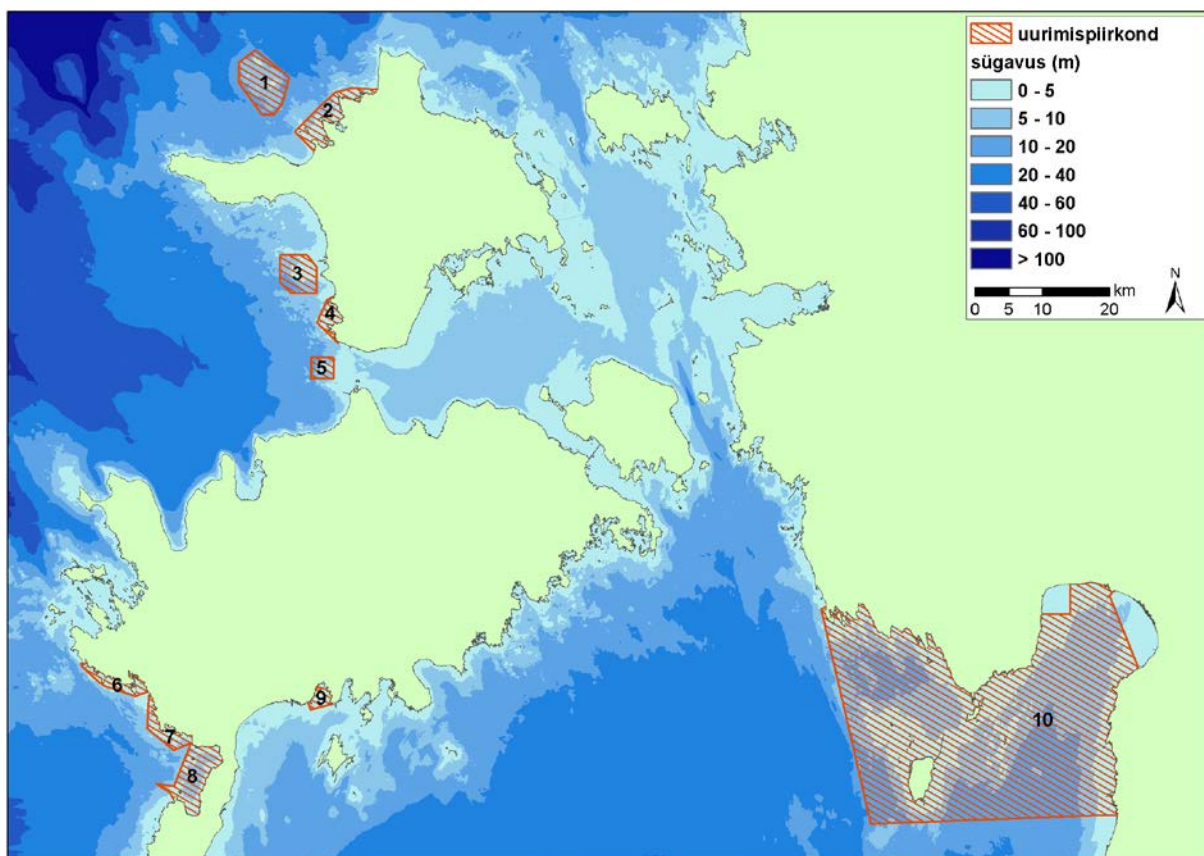
Hiiumaa läänerannikul paiknev uurimispiirkond koosnes viiest eraldi polügoonist (joonis 2.1.1.). Üks polügoon koosnes mitmest erinevast kaitsealast. Hiiumaa uuringupolügoonide summaarne pindala oli 129,4 km². Hiiumaa uuringualadeks olid:

1. Hiiu madala hoiuala
2. Kõrgessaare-Mudaste hoiuala, Paope looduskaitseala,
3. Klaasrahu loodusala,
4. Vanamõisa lahe hoiuala
5. Raudrahu loodusala

Saaremaa ümbruses paiknev uurimispiirkond koosnes neljast eraldi polügoonist (joonis 2.1.1.). Üks polügoon koosnes mitmest erinevast kaitsealast. Saaremaa uuringupiirkonna summaarne pindala oli 83,3 km². Saaremaa uuringualadeks olid:

6. Karala-Pilguse hoiuala
7. Riisu ranniku hoiuala
8. Kaugatoma-Lõu hoiuala, Rahuste looduskaitseala, Kura kurgu hoiuala
9. Kuressaare lahe hoiuala

Kõikide uuringupolügoonide summaarne pindala oli 1289,9 km².



2.1.1. Uuringupiirkonnad.

2.2. Välitööd proovipunktides

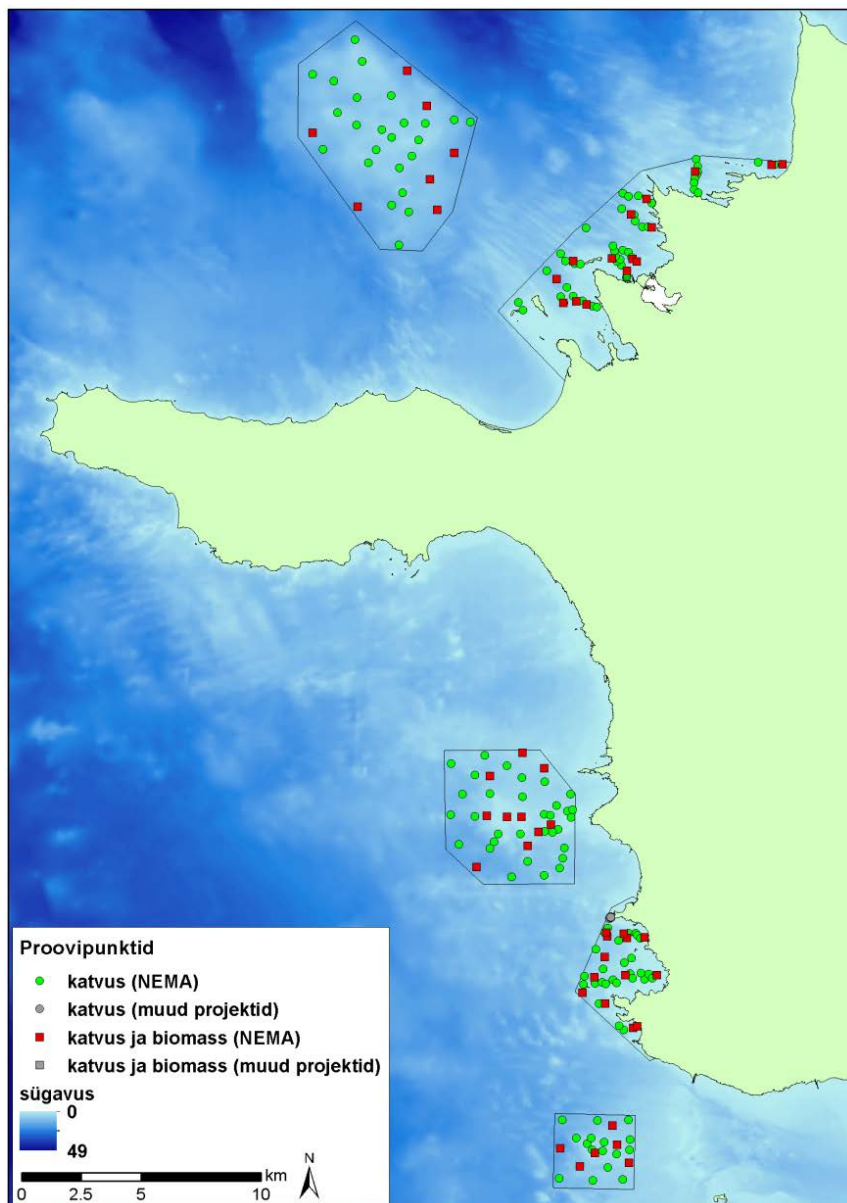
Andmed põhjasubstraadi ja põhjaelustiku parameetrite kirjeldamiseks koguti ajavahemikul mai-september 2014-2015. a. Hindamaks põhjaelustiku katvust, liigilist koosseisu ja põhja tüüpi koguti andmeid kasutades nii kvantitatiivseid samplereid, sukeldumistehnikat kui ka allveevideosüsteemi („drop“ kaamerad – merepõhja laevalt lastavad videosüsteemid). Andmed koguti kokku 1078 proovipunktist (joonised 2.2.1-2.2.3). Põhjataimestiku kvantitatiivsed proovid koguti raamidega (20 × 20 cm) sukelduja poolt või põhjaammutajaga kolmes korduses 299 proovipunktist ning allveevideo ülesvõtteid tehti 1078 proovipunktis (tabel 2.2.1). Kõigis punktides, kus koguti biomassiproove, teostati ka katvushinnangud sukelduja poolt või allveevideo abil. Lisaks nendele kasutati muid projekti piirkondadest või nende lähiümbrusest kogutud proovide kirjeid (andmed TÜ EMI põhjaelustiku andmebaasist), et saada levikumudelitesse rohkem sisendandmeid. Koos eeltoodud proovipunktide arvuga olid summaarsed proovipunktide arvud katvuse puhul 1581 ja biomassi puhul 492.

Tabel 2.2.1. Proovipunktide arvud piirkondade kaupa.

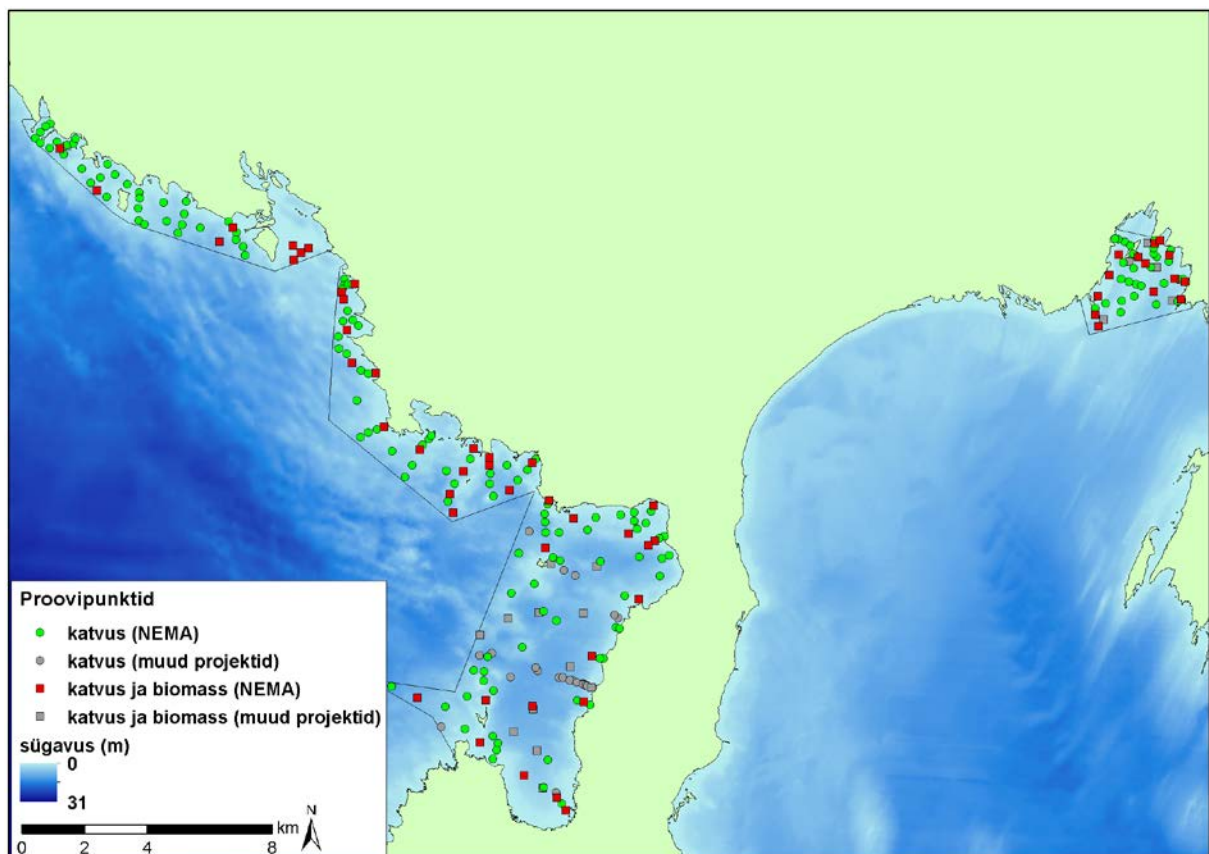
Piirkond	Biomass (kopp/raam)	Katvus (video)
Hiumaa uuringualad	51	192
Saaremaa uuringualad	55	208
Liivi laht	193	678
Kokku	299	1078

Vastavalt metoodikale pesti kogutud proovid merel nailonsõeltel, mille võrgusilma diameeter on 0,25 mm. Välitöödel pakiti proovid kilekottidesse, varustati etiketidega ning säilitati -20°C juures kuni nende laboratoorse analüüsini. Biomassiproovide analüüs toimus TÜ Eesti Mereinstituudi merebioloogia osakonna akrediteeritud laboris (Eesti Akrediteerimiskeskuse tunnistus L179) vastavalt kvaliteedisüsteemi juhenditele. Analüüsi meetodid on kooskõlas HELCOM-i soovitusetega (HELCOM 2015). Laboris proovid sulatati ja eristati kõik põhjaelustiku organismid liigiti või madalaima võimaliku taksonoomilise tasemeni kasutades vajadusel mikroskoobe ja erinevaid määrajaid. Kirpvähkide *Gammarus* noorjärgud (kehapikkus < 5 mm) määrati perekonna, sursääsklaste vastsed (*Chironomidae*) sugukonna ja väheharjasussid (*Oligochaeta*) alamklassi tasemeni. Ülejäänud taksonid määrati liigini. Iga loomaliigi kuivkaal määrati pärast kuivatamist vähemalt 48 h 60 °C juures ja iga taimeliigi kuivkaal pärast vähemalt kahenädalast kuivatamist 60 °C juures. Põhjaelustiku liikide kuivkaal arvutati ümber 1 m² kohta.

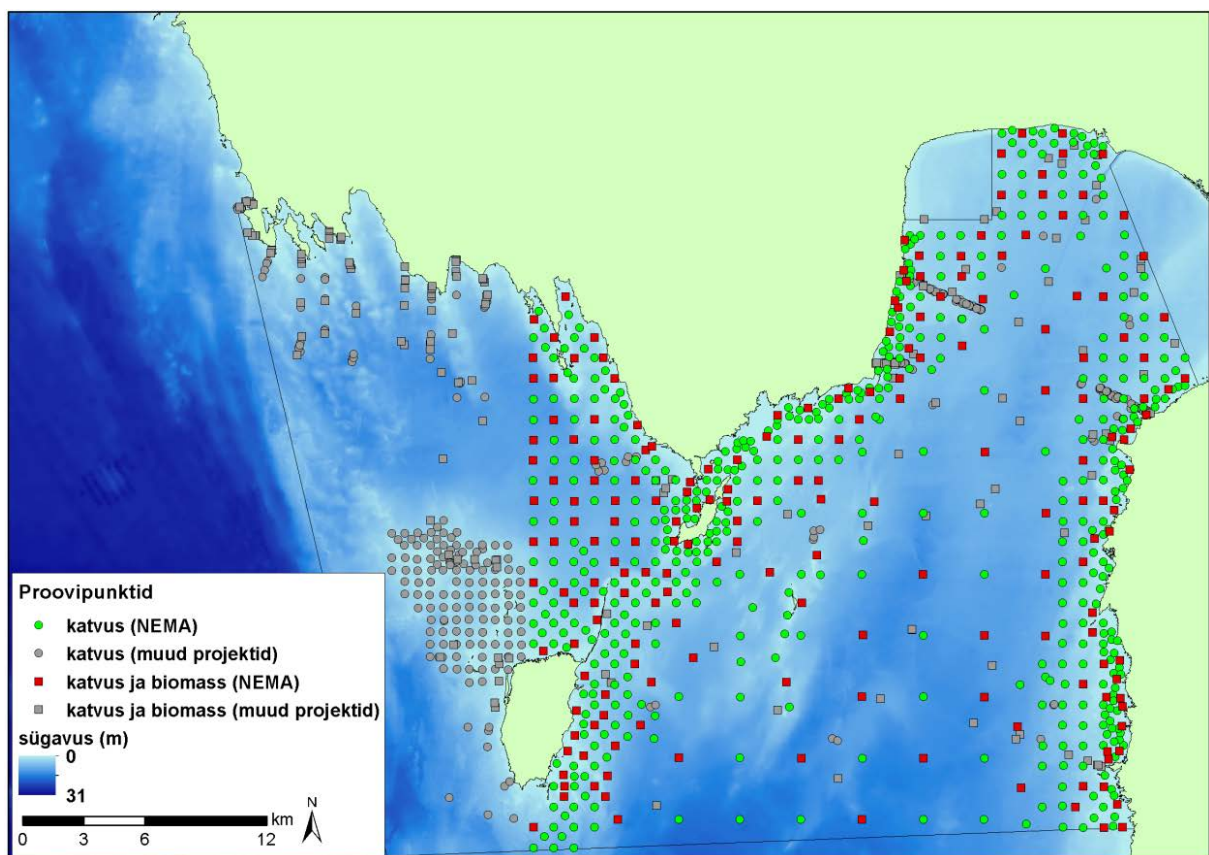
Igas proovipunktis salvestatud videolõigud analüüsiti hiljem visuaalselt arvutimonitorilt vaadatuna. Videopildilt hinnati põhjataimestiku üldkatvus, põhjataimestiku ja –loomastiku liikide/rühmade katvused ja põhjasubstraadi tüüpide katvused protsentuaalselt.



Joonis 2.2.1. Proovipunktide paiknemine Hiiumaa lääneranniku uuringualal.



Joonis 2.2.2. Proovipunktide paiknemine Saaremaa uuringualal.



Joonis 2.2.3. Proovipunktide paiknemine Liivi lahe uuringualal.

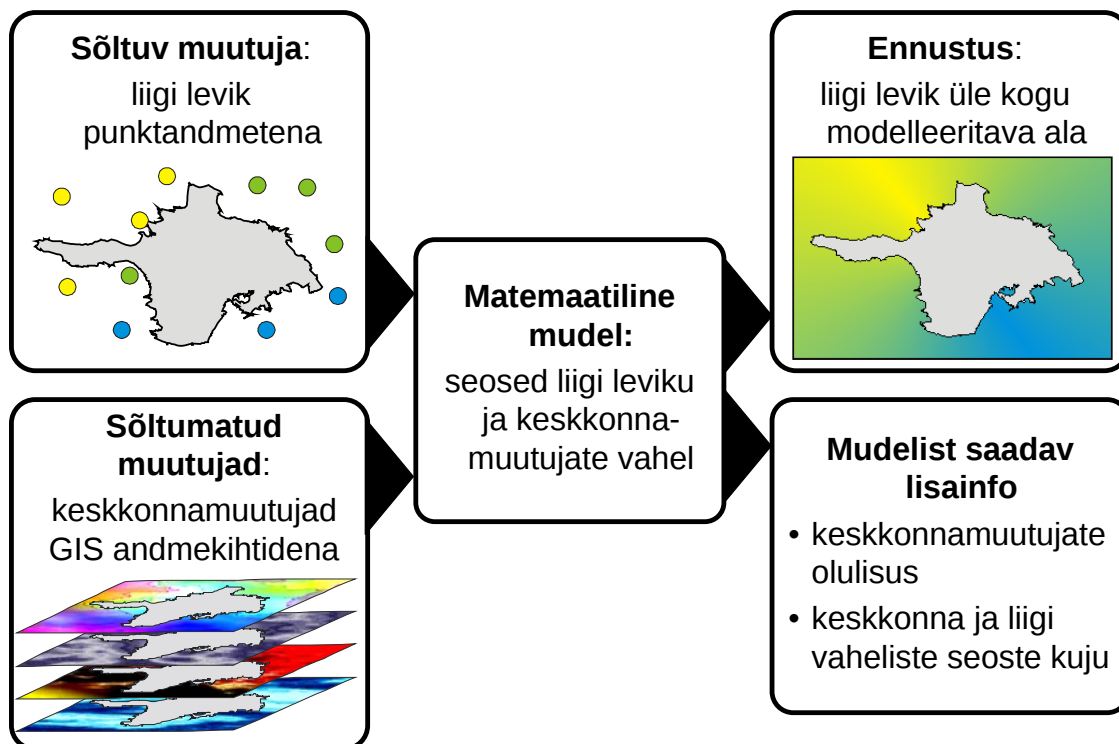
2.3. Kaartide loomise meetodid

Proovipunktidest kogutud merepõhja substraadi ja elustiku punktandmed (peatükk 2.2) laiendati üle kõigi uuringupolügoonide pindandmeteks (raster). Punktandmetest pindandmete loomine toimus kahel erineval viisil:

- Hiiumaa ja Saaremaa piirkonnas kasutati matemaatilist modelleerimist, kus proovipunktidest kogutud info (punktandmed) seostati matemaatiliste mudelite abil keskkonnamuutujatega (pindandmed, mis katavad kogu mereala) ja nende seoste abil modelleeriti merepõhja muutujate levik üle kõigi uuringupolügoonide (vt peatükk 2.3.1).
- Liivi lahe piirkonnas kasutati kõigepealt mitmekiirelist sonarit (vt peatükid 2.3.2 ja 2.3.3). Seejärel modelleeriti merepõhja substraadi ja elustiku muutujate levikut sonariga skaneeritud merepõhja piires ning seejärel kasutati piki sonari mõõtejooni modelleeritud muutujate andmeid koos videovaatluste andmetega sisendina nn. teise astme mudelis. Teise astme mudelis kasutati keskkonnamuutujate pindandmeid (vt 2.3.1), et modelleerida merepõhja muutujate levik üle kogu Liivi lahe uuringupolügooni.

2.3.1. Modelleerimismeetodid ja ruumianalüüsid

Liikide (või ka substraaditüüpide, elupaikade) leviku ennustav modelleerimine kujutab endast matemaatilist protseduuri, kus leitakse seosed liikide esinemise (või katvuse, biomassi) ja sõltumatute keskkonnamuutujate vahel ning nende seoste abil ennustatakse liikide levikut piirkondades, kust puuduvad vaatlused liikide kohta (joonis 2.3.1.1). Sõltumatuteks muutujateks kutsutakse mudelis muutujaid, mille väärtus mudelis ei sõltu ühestki teisest muutujast. Käesolevas töös on sõltumatuteks muutujateks erinevad abiootilised keskkonnaandmed (vt tabel 2.3.1.1) või sonaripõhised andmed (vt peatükk 2.3.3). Sõltuvaks muutujaks kutsutakse mudelis tunnust, mida soovitakse modelleerida ja mille väärtus mudelis on seotud sõltumatute muutujate väärtustega. Sõltuvateks muutujateks olid antud töös substraaditüüpide katvused ja põhjaelustiku tunnusliikide katvused või esinemine.



Joonis 2.3.1.1. Liikide (või ka abiootiliste elupaigamuutujate) ruumilise leviku modelleerimise tööpõhimõtte skeem.

Matemaatilise mudeli lihtsaimaks näiteks on lineaarne regressioon, kus kahe tunnuse vahelist seost kirjeldatakse sirge joonena. Käesolevas töös kasutati keerukamaid mudeleid, mis võimaldavad formaliseerida erineva kujuga seoseid. Varasemate tööde (nt. Elith et al 2006, TÜ Eesti Mereinstituut 2014c, Herkül et al 2016) põhjal on teade, et tänapäevased mitteparameetrilised ning masinõppe algoritmide võimaldavad väga kõrge ennustusvõimega mudelite loomist. Mudelite ennustusvõime on sageli väga sarnane erinevate hästi toimivate mudelite puhul ning lõpliku mudeli valikul võib osutuda määravaks mudelennustuse visuaalne eksterthinnang. Käesolevas töös kasutati alljärgnevalt kirjeldatud modelleerimisalgoritme.

Üldistatud aditiivsed mudelid (**GAM**, *generalized additive models*) on mitteparameetriline meetod, mis võimaldab erineva kujuga seoste mittelineaarset modelleerimist silumisfunktsiooni abil (Wood 2011). Silumisfunktsiooni arvutamine toimus üldistatud ristvalideerimise meetodil (GCV, *generalized cross-validation*). Mudeli ülesobitumise (*overfitting*) vältimiseks piirati sõltumatute muutujate silumisfunktsiooni vabadusastmete arv maksimaalselt viiele. Algoritm lubati automaatset sõltumatute muutujate valikut mudelisse.

Juhumets (**RF**, *random forest*) on ansamblimeetod, mille puhul luuakse suur hulk otsuste puid kasutades iga puu loomisel tagasipanekuga juhuvalimit (*bootstrap*) tunnustest ja vaatlustest (Remm et al 2012). Seejärel kombineeritakse lõpptulemuseks parima ennustusvõimega otsuste puud. Ennustamisel saadakse lõplik ennustatava muutuja väärtus üksikute puude tulemuste keskmistamisel, kui tegemist on pideva tunnusega või hääletamise teel, kui tegemist on faktortunnusega. Kirjanduse andmeil saavutatakse stabiilseid tulemusi vähemalt 500 puuga (Liaw and Wiener 2002). Käesolevas töös määrati puude arvaks 2000.

Kõik mudelarvutused viidi läbi vabavaralises statistikatarkvaras R 3.2.2 (The R Foundation for Statistical Computing 2015). GAM ja RF meetodite jaoks kasutati vastavalt järgmisi R-i pakette: *mgcv* (Wood 2015) ja *randomForest* (Breiman et al 2015).

Kuna RF ennustused olid täpsemad, seda just eriti reaalsete punktmõõtmiste piirkondades, ning ennustuste väärtuste ulatus ja keskvärtus ühtisid täpsemalt sisendandmete vastavate näitajatega, siis valiti kõigi antud aruandes toodud modelleerimisel põhinevate kaartide loomiseks RF meetod.

Merepõhja tunnusliikide ja elupaikade leviku modelleerimiseks koondati kogu olemasolev informatsioon uuritava mereala füüsikaliste ja keemiliste omaduste kohta. Vajadusel andmeid interpoleeriti, et saada iga keskkonnaparameetri kohta kogu uuringuala kattev georefereeritud rasterandmestik. Keskkonnaandmete allikadena kasutati TÜ EMI andmebaasides olevaid andmeid, kirjanduse allikaid ja teistest allikatest pärinevaid andmeid. Edasiseks modelleerimistööks ettevalmistatud keskkonnamuutujate rasterkihid koondati geoinfosüsteemi tarkvara *ArcGIS* geoandmebaasi. Koondatud keskkonnamuutujate nimekiri ja lisainfo on toodud tabelis 2.3.1.1.

Mudelite loomiseks loodi kalibratsiooniandmestik, milles iga proovipunkti kohta oli üks rida ja veergudes andmed nii proovianalüüsist (substraaditüüpide katvused, liikide katvused) kui kõigi tabelis 2.3.1.1 toodud keskkonnamuutujate väärtused. Sonaripõhise andmestiku korral olid keskkonnamuutujate asemel sonaripõhised muutujad. Kalibratsiooniandmestiku alusel modelleeriti seosed prooviandmete ja keskkonnaandmete (või sonariandmete) vahel. Lisaks kalibratsiooniandmestikule loodi ennustusandmestik, mis hõlmas kogu uuringualade ulatuse. Ennustusandmestiku jaoks loodi 50 m sammuga punktivõrgustik üle kõigi uuringualade ja igas punktis leiti kõigi keskkonnamuutujate väärtused. Kasutades kalibratsiooniandmestiku põhjal loodud mudeleid arvutati iga ennustusandmestiku punkti jaoks substraadi ja elusiku muutujate väärtused, millest omakorda loodi geoinfosüsteemis *ArcGIS* rasterkihid ruudu suurusega 50 m.

Kirjeldatud metoodikat kasutati järgmiste merepõhja muutujate ruumilise leviku modelleerimisel:

- liiva katvus;
- kõva põhjasubstraadi (kivid, kalju) summaarne katvus;
- kõrgemate taimede ja mändvetikate (liivamadalate elupaigatüübi tunnusrühmad) summaarne katvus;
- taimeliikide arv katvusandmete põhjal;
- põisardu katvus;
- agariku katvus;
- niitjate vetikate summaarne katvus;
- epifauna (põhjasubstraadi pinnal elavate loomade) katvus;
- infauna (põhjasubstraadi sees elavate) karpide levik faktortunnusena (esinemine: biomass $\geq 10 \text{ gm}^{-2}$; puudumine: biomass $< 10 \text{ gm}^{-2}$).

Need muutujad (va taimeliikide arv) on vajalikuks sisendiks loodusdirektiivi elupaigatüüpide leviku modelleerimisel.

Lisaks modelleerimisele kasutati loodusdirektiivi elupaigatüüpide leviku hindamiseks ka ülekatteanalüüsi geoinfosüsteemis *ArcGIS*. Ülekatteanalüüsis kasutati sisendiks eeltoodud modelleeritud rasterkihte, mille väärtustele seati elupaigatüüpide kriteeriumitele vastavaid lävendeid (vt peatükk 2.4).

Tabel 2.3.1.1. Modelleerimisel kasutatud georefereeritud keskkonnamuutujate rasterkihid. Näidatud on andmete allikad; algallikast pärinevaid andmed võivad olla töödeldud septsiaalsete andmekihtide tootmiseks.

Nimetus	Info	Allikad
sügavus	Mere sügavus	1
sügavus2	Keskmine mere sügavus 2 km raadiuses	1
nõlv	Merepõhja nõlva kalle	1
nõlv2	Merepõhja nõlva kalle 2 km raadiuses	1
kaug_rand	Kaugus rannajoonest	2
kaug_50	Kaugus 50 m sügavusjoonest	2
soolsus	Merevee põhjakihi keskmine soolsus; loodud interpoleerimise abil kasutades Üle-Läänemere mudeli andmeid, mida parandati teatud piirkondades TÜ EMI mõõtmistulemuste abil	2,4
avatus	Avatus lainetusele; arvutatud tuuleandmete ja laine tekkimise teekonna pikkuste (<i>fetch</i>) põhjal	5
klorofüll	Merevee pinnakihi klorofüllisisaldus; arvutatud satelliitmõõtmistest perioodil 2009-2010	2
läbipaistvus	Vee läbipaistvus; hinnatud kui valguse vähenemise koefitsient, mis arvutatud satelliitmõõtmistest perioodil 2010-2012	2
jää_katvus	Keskmine jääkatte katvus; katvus näitab jääkatte keskmist osakaalu mõõdistusruudus jää olemasolu korral; andmeperiood 2009-2011	6
jää_paksus	Keskmine jääkatte paksus; andmeperiood 2009-2011	6
jää_päev	Summaarne jääpäevade arv; andmeperiood 2009-2011	6
temp_külm	Modelleeritud vee põhjakihi keskmine temperatuur külmal poolaastal; mudeli periood 1996-2005	3
temp_soe	Modelleeritud vee põhjakihi keskmine temperatuur sooja poolaastal; mudeli periood 1996-2005	3
temp_sat	Merevee pinnakihi keskmine temperatuur suvel (juuni-august); arvutatud satelliitmõõtmistest perioodil 2009-2010	2
hoovus	Modelleeritud vee põhjakihi keskmine hoovuse kiirus perioodil 1996-2005	3
orbitaalkiirus	Modelleeritud tuulelainetusest tingitud orbitaalse vee liikumise keskmine kiirus mere põhjas perioodil 1989-2005	7
O2_kesk	Modelleeritud vee põhjakihi keskmine hapnikusisaldus perioodil 2002-2008	4

Allikad:

1 – Eesti Veeteede Ameti mere sügavuse andmed

2 – TÜ EMI andmekogud: topograafilised andmed (merepõhja sügavusraster, samasügavusjooned, rannajoon), füüsikaliste, keemiliste ja bioloogiliste mõõtmiste andmed

3 – TTÜ Meresüsteemide instituudi mudelarvutus

4 – Üle-Läänemere füüsikalise-keemiliste parameetrite mudelarvutus (Bendtsen 2009)

5 – avatus tuulest tingitud lainetusele; mudelarvutuse tulemus (Nikolopoulos & Isæus 2008)

6 – Soome Meteoroloogiainstituut

7 – Victor Alari (Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Institute of Coastal Research; TTÜ Meresüsteemide Instituut

2.3.2. Sonariga merepõhja kaardistamise vajadus ja tööpõhimõtted

Merepõhja elustiku ja elupaikade kaardistamisel kasutati lisaks proovipunktipõhisele materjali kogumisel ka mitmekiirelist sonarit. Seni Eestis läbi viidud punktipõhise kaardistamise peamine puudus seisneb selles, et punktidevahelise ala kohta ei ole teadmisi ja seetõttu ei ole võimalda tuvastada merepõhja elustiku ja elupaikade leviku tegelikke mustreid ja inimtegevuse jälgede ulatust. Täieliku ruumilise katvusega kaartide saamiseks on seni kasutatud interpoleerimist, st. proovipunktidega katmata merealadele arvutatakse merepõhja

omaduste ja elustiku parameetrite väärtused matemaatiliselt interpoleerimise teel. Sonari kasutamine võimaldab võrreldes tavapärase ainult merepõhja punktvaatlustel põhineva kaardistamisega väga palju suuremat täpsust: võrreldes interpoleerimisega võimaldavad sonariga kogutud andmed äärmiselt palju täpsemalt ennustada elustiku ja elupaikade levikut reaalsete merepõhja punktvaatluste vahelisel alal.

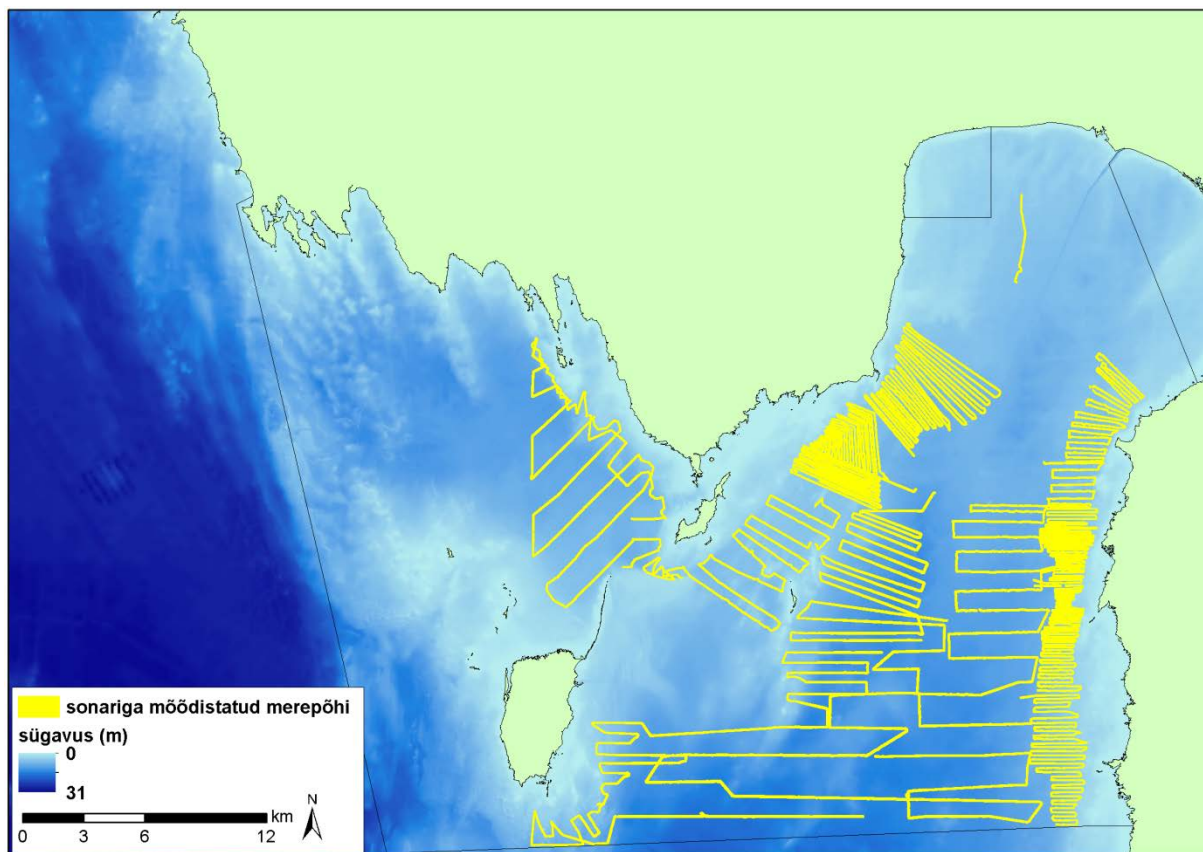
Sonari tööpõhimõtte seisneb aja mõõtmises helilaine väljumisest kuni veekogu põhjalt tagasi peegeldunud laine registreerimiseni sonaris, mille kaudu arvutatakse vahemaa ehk sügavus. Vahemaa arvutamise eelduseks on heli levimise kiiruse andmed, mida salvestatakse eraldi sensoritega. Lisaks heli tagasipeegeldumise ajale salvestab sonar ka peegelduse tugevuse. Seega on sonariga võimalik koguda kahte tüüpi andmeid – sügavus ja tagasipeegeldunud akustilise signaali intensiivsus (edaspidi „tagasihajumine“). Sügavus on merepõhja elustiku ja elupaikade kaardistamisel kõige olulisem keskkonnamuutuja kahel põhjusel: 1) kõikide taimeliikide ja paljude loomaliikide levik on seotud sügavusega, 2) sügavusandmetest on võimalik arvutada merepõhja nõlvakaldeid ja konarlikkust, mis peegeldavad merepõhja substraadi omadusi ja läbi selle elustiku ja elupaikade levikut. Tagasihajumine võimaldab hinnata merepõhja omadusi, sest helilaine sumbumine ja peegelduse tugevus sõltub substraadi materjalist ja pinna struktuurist. Tagasihajumine on tugevam kõvalt substraadilt (nt. paeplaat) ja nõrgem pehmetelt substraadilt (nt. liiv).

Käesolevas töös modelleeriti sonaripõhiste andmete alusel merepõhja substraadi omaduste ja elustiku levikut Liivi lahe uuringualal. Leviku ennustamiseks kasutati matemaatilist modelleerimist, kus sõltumatuteks muutujateks olid sonaripõhised andmed (sügavus, tagasihajumine, sügavusest arvatud merepõhja kalle) ja sõltuvateks muutujateks põhja substraadi ja elustiku leviku punktandmed, mis pärinesid merepõhja videovaatlustest. Seega matemaatiliste mudelite abil loodi seosed sonariandmete ja merepõhja vaatluste info vahel ning nende seoste abil ennustati merepõhja omadusi ja liikide levikut nendel aladel, kus puudusid reaalsed merepõhja vaatlused, aga mis olid kaetud sonarimõõdistamisega.

Detailsema ülevaate sonari kasutamisest merepõhja elustiku ja elupaikade kaardistamisel annab Keskkonnainvesteeringute Keskuse rahastatud projekti „Sonarisüsteemi rakendamise meetodika loomine merepõhja elupaikade ja füüsikaliste omaduste kaardistamiseks“ käigus valminud aruanne (TÜ Eesti Mereinstituut 2014a). Käesolevas töös on rakendatud nimetatud projekti käigus väljatöötatud meetodeid.

2.3.3. Sonariandmete kogumine ja töötlemine

Välitööd mitmekiirelise sonariga *Reson SeaBat 7101-Flow* viidi läbi 2015. aasta augustist oktoobrini. Sonar on paigaldatud TÜ Eesti Mereinstituudi uurimislaevale *AluDevil 33*. Sonariga mõõdistamised teostati ainult Liivi lahe piirkonnas (joonis 2.3.3.1), sest uuringualade äärmiselt suur pindala ning mitmete alade väga madal vesi ei võimaldanud sonarit kõikjal kasutada. Lisaks sellele on sonari mõõtejoone laius võrdelises seoses mere sügavusega – mida sügavam meri, seda laiema riba põhjast skaneerib sonar ühe ülesõiduga. Liivi lahe piirkonnas teostati sonariga mõõdistamisi valikuliselt eelistades madalamaid heterogeensemaid alasid.



Joonis 2.3.3.1. Käesolevas uuringus sonariga mõõdistatud merepõhi.

Sonariga kogutud andmete esmane töötlemine, sealhulgas sügavusmudeli ja tagasihajumise mudeli loomine, toimusid *Reson*'i tarkvaras *PDS2000*. Valminud andmestikud viidi geoinfosüsteemi *ArcGIS*, kus sügavusmudeli andmete põhjal arvutati merepõhja nõlva kalle. Merepõhja substraadi omaduste ja liikide leviku modelleerimiseks kasutati kolme sonaripõhist andmekihti: sügavus, tagasihajumine, nõlva kalle. Matemaatiliste mudelite loomiseks kasutati sisendandmetena merepõhja vaatlustest ja biomassiproovidest saadud informatsiooni ning eelmainitud kolme sonaripõhist andmekihti. Igas proovipunkti asukohas arvutati 10×10 m ruudus (proovipunkt asus ruudu keskel) sügavuse, tagasihajumise ja nõlvakalde keskmised väärtused. Selle tulemusel saadi mudelitele kalibratsiooniandmestik, kus iga proovipunkti kohta on üks rida ja veergudes andmed nii proovianalüüsist (substraaditüüpide katvused, liikide katvused) kui sonaripõhistest andmekihtidest. Lisaks kalibratsiooniandmestikule loodi ennustusandmestik, mis hõlmas kogu sonariga skaneeritud mereala (joonis 2.3.3.1), ning kus igas 10×10 m ruudus oli arvutatud keskmine sügavus, tagasihajumine ja nõlvakalle. Kalibratsiooniandmestiku alusel modelleeriti seosed prooviandmete ja sonariandmete vahel kasutades juhumetsa (*random forest*, RF) meetodit.

Pärast matemaatiliste mudelite loomist kasutati ennustusandmestikku, et mudeli abil prognoosida liikide ja substraadiomaduste levikut üle kogu sonariga skaneeritud mereala. Tulemus saadi ainult nende alade kohta, mis olid sonariga mõõdistatud. Kuna sonariga mõõdetud alade ruumiline ulatus oli kogu Liivi lahe uuringuala pindalaga võrreldes väike, siis kasutati piki sonari mõõtejooni modelleeritud muutujate andmeid koos videovaatluste andmetega sisendina nn. teise astme mudelis. Teise astme mudelis olid sõltumatuteks muutujateks suur hulk füüsikalisi ja keemilisi keskkonnaandmeid, mille andmekihid katsid kogu uuringuala. Matemaatilise modelleerimise meetodeid on täpsemalt kirjeldatud peatükis 2.3.1.

Hiiumaa ja Saaremaa piirkondades, kus sonarit ei kasutatud modelleeriti proovipunktides kogutud merepõhja substraadi ja elustiku muutujate levik otse tabelis 2.3.1.1 toodud keskkonnamuutujate abil.

Sonariandmete põhjal ja sellele järgnevas teise astme modelleerimises modelleeriti järgmiste muutujate ruumilist levikut:

- liiva katvus;
- kõva põhjasubstraadi (kivid, kalju) summaarne katvus;
- kõrgemate taimede ja mändvetikate (liivamadalate elupaigatüübi tunnusrühmad) summaarne katvus;
- taimeliikide arv katvusandmete põhjal;
- põisardu katvus;
- agariku katvus;
- niitjate vetikate summaarne katvus;
- epifauna (põhjasubstraadi pinnal elavate loomade) katvus;
- infauna (põhjasubstraadi sees elavate) karpide levik faktortunnusena (esinemine: biomass $\geq 10 \text{ gm}^{-2}$; puudumine: biomass $< 10 \text{ gm}^{-2}$).

Need muutujad (va. taimeliikide arv) on vajalikuks sisendiks loodusdirektiivi elupaigatüüpide leviku hindamisel.

2.4. EL loodusdirektiivi elupaigatüübid

Euroopa Liidus on looduskaitseks oluliseks peetavad elupaigatüübid loendatud 1992. a. vastu võetud looduslike elupaikade ja loodusliku fauna ning floora kaitse direktiivi (*Council Directive 92/43/EEC of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora*; edaspidi „loodusdirektiiv“) lisa 1. Loodusdirektiivi lisa 1 koondab endas elupaigatüüpe nii maismaalt, merest kui mageveekogudest. Loodusdirektiivi lisa 1 on kokku kaheksa merega seotud elupaigatüüpi, mis kuuluvad jaotusesse 11 „avamere ja loodete alad“. Vastavalt Paal (2007) Loodusdirektiivi elupaigatüüpide käsiraamatule esineb nendest Eestis kuus elupaigatüüpi (sulgudes loodusdirektiivi lisa 1 kood):

- mereveega üleujutatud liivamadalad (1110, edaspidi „liivamadalad“),
- jõgede lehtersuudmed (1130),
- mõõnaga paljanduvad mudased ja liivased laugmadalikud (1140, edaspidi „laugmadalikud“),
- rannikulõukad (1150),
- laiad madalad abajad ja lahed (1160),
- karid (1170).

Loodusdirektiivi elupaigatüüpide definitsioonid on Euroopa Komisjoni poolt välja antud juhendmaterjalides (European Commission 2013) väga üldist laadi ja vähedetailed jättes võimalusi erinevatele interpretatsioonidele. Aruandes Merepõhja elupaikade definitsioonide tõlgendamise juhend (TÜ Eesti Mereinstituut 2014b) on toodud praktiliste definitsioonide ettepanekud kuidas loodusdirektiivi elupaigatüüpe eristada merepõhja inventuurides. Toodud definitsioone on kasutatud ka käesolevas töös. Jõgede lehtersuudmete elupaigatüüpi käesoleva töö uuringupiirkondades ei esine (Paal 2007, TÜ Eesti Mereinstituut 2014b). Rannikulõukad ning laiad madalad abajad ja lahed on geomorfoloogilised üksused, mille leviku nimekirjad on esitatud varasemates töödes (nt Paal 2007, TÜ Eesti Mereinstituut 2014c). Seetõttu on käesoleva uuringu kontekstis eesmärgiks liivamadalate, karide ja laugmadalike kaardistamine, mille määratlemise kriteeriumid on ära toodud alljärgnevalt (põhineb allikal TÜ Eesti Mereinstituut 2014b)

Liivamadalad

Elupaigatüübi omistamiseks merealale on vajalik põhjasubstraadi, sügavuse (footilise vööndi) ja elustiku kriteeriumite samaaegne täitmine.

Põhjasubstraat

Erinevate liivafraktsioonide (peenliiv, keskmine liiv, jämeliiv) summaarne osakaal > 50 %.

Sügavus

Miimumisügavus: ei ole piiratud.

Maksimumisügavus: footilise tsooni maksimaalne sügavus. Elupaik võib levida footilisest tsoonist sügavamale, kui ta moodustab ühtse terviku footilises tsoonis oleva elupaigaga ning põhjasubstraadi ja elustiku kriteeriumid on täidetud.

Kaardistamisel tuleb hinnata piirkonnaspetsiifiline footilise tsooni levik.

Elustik

Ühe tunnusliigi või kõigi tunnusliikide summaarne katvus ≥ 10 % või infauna karpide biomass $\geq 10 \text{ g m}^{-2}$ (kojaga kuivkaal).

Tunnusliigid/rühmad (rasvases kirjas on karakterliik või –rühm ja tavalises kirjas liigid, mis kuuluvad sellesse rühma):

mändvetikad

pk mändvetikad (*Chara spp.*)
pesajas tolüpell (*Tolypella nidifica*)

kõrgemad taimed*

pikk merihein (*Zostera marina*)
kardhein (*Ceratophyllum spp.*)
tähk-vesikuusk (*Myriophyllum spicatum*)
meri-näkirohi (*Najas marina*)
perekond penikeel (*Potamogeton spp.*, *Stuckenia pectinata*)
särjesilm (*Ranunculus spp.*)
perekond heinmuda (*Ruppia spp.*)
harilik hanehein (*Zannichellia palustris*)

infauna karbid (merepõhja sette sees elavad karbid)

balti lamekarp (*Macoma balthica*)
liiva uurik-karp (*Mya arenaria*)
söödav südakarp (*Cerastoderma glaucum*)

agariku lahtine vorm (*Furcellaria lumbricalis f. aegagropila*, ainult Kassari lahes)

* kõrgemate taimede rühma kuuluvad ainult riim- ja merevees leiduvad veesisesed liigid, mis kinnituvad juurtega mere põhja (juurdunud sukeltaimed)

Laugmadalikud

Laugmadalikke on seni määratletud ainult geomorfoloogilistest kriteeriumitest lähtuvalt, st elustikku ei ole arvestatud, ning samal viisil määratleti elupaigatüüpi ka käesoleva suuringus. Kuna tegemist on maismaa ja mere ülemikupiirkonnaga, kust merepõhjauuringutes proove ei koguta, siis puudub hetkel informatsioon biootiliste kriteeriumite seadmiseks. Vajalik on toodud kriteeriumite samaaegne täitmine.

Põhjasubstraat

Muda, savi ja liiva summaarne osakaal > 50 %

Sügavus

TÜ Eesti Mereinstituut (2014b) järgi maksimaalne sügavus 1 m. Käesolevas töös kasutatud 0,5 m piirangut, sest kasutusele on võetud uus palju täpsem Eesti mere sügavusandmestik (allikas Veeteede Amet), mille puhul 1 m kriteerium ülehindaks elupaigatüübi levikut.

Avatus lainetusele

< 75 000 (Nikolopoulos & Isæus (2008) SWM arvutuse järgi); vastab EBHAB klassifikatsiooni süsteemis „varjatud“ merealadele.

Karid

Elupaigatüübi omistamiseks merealale on vajalik põhjasubstraadi ja elustiku kriteeriumite samaaegne täitmine.

Põhjasubstraat

Erinevate kõvade substraaditüüpide summaarne osakaal > 50 %. Kõvade substraaditüüpide hulka kuuluvad väikesed kivid (6,4-20 cm), suured kivid (> 20 cm) ja kalju.

Sügavus

Ei ole piiratud.

Elustik

Ühe tunnusliigi või kõigi tunnusliikide summaarne katvus ≥ 10 %. Taimeliikide puhul ei lähe arvesse lahtised vetikad.

Tunnusliigid/rühmad (rasvases kirjas on karakterliik või –rühm ja tavalises kirjas liigid, mis kuuluvad sellesse rühma):

põisadru (*Fucus vesiculosus*), *Fucus radicans*

agarik (*Furcellaria lumbricalis*)

niitjad vetikad*

Aglaothamnion roseum, *Battersia arctica*, *Capsosiphon fulvescens*, *Ceramium* spp, *Chaetomorpha linum*, *Chorda filum*, *Chroodactylon ornatum*, *Cladophora* spp, *Coccotylus truncatus*, *Dictyosiphon foeniculaceus*, *Ectocarpus siliculosus*, *Eudesme virescens*, *Halosiphon tomentosus*, *Leathesia marina*, *Monostroma balticum*, *Percursaria percursa*, *Pilayella littoralis*, *Polyides rotundus*, *Polysiphonia* spp, *Punctaria tenuissima*, *Rhizoclonium riparium*, *Rhodomela confervoides*, *Stictyosiphon tortilis*, *Ulothrix* sp, *Ulva* spp, *Urospora penicilliformis*

söödav rannakarp (*Mytilus trossulus*)

tavaline tõruvähk (*Amphibalanus improvisus*)

rändkarp (*Dreissena polymorpha*)

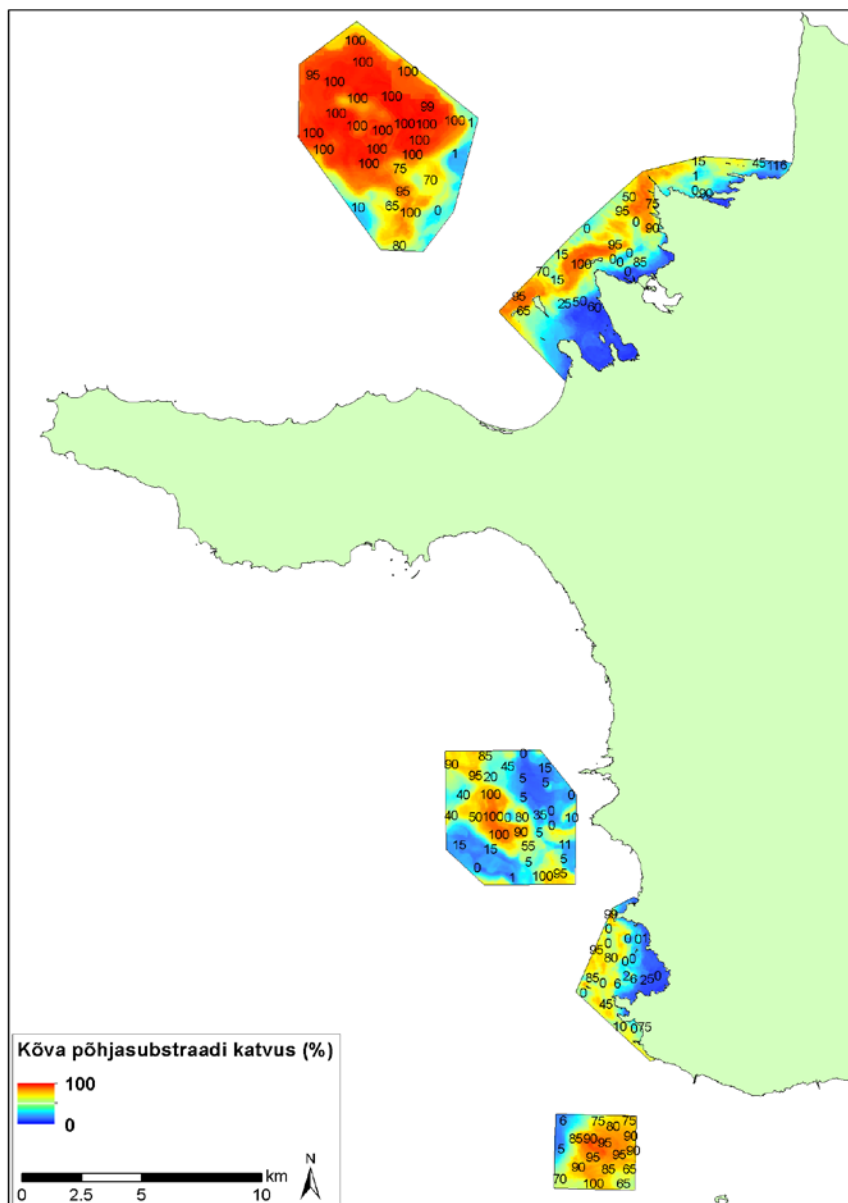
*Niitjad vetikad on tinglik taimede rühma nimetus, mis sisaldab valdavalt niitjaid vetikaid, kuid vähesel määral ka sifonaalse, lehtja jm ehitustüübiga vetikaid; arvesse ei lähe lahtised vetikad.

3. TULEMUSED

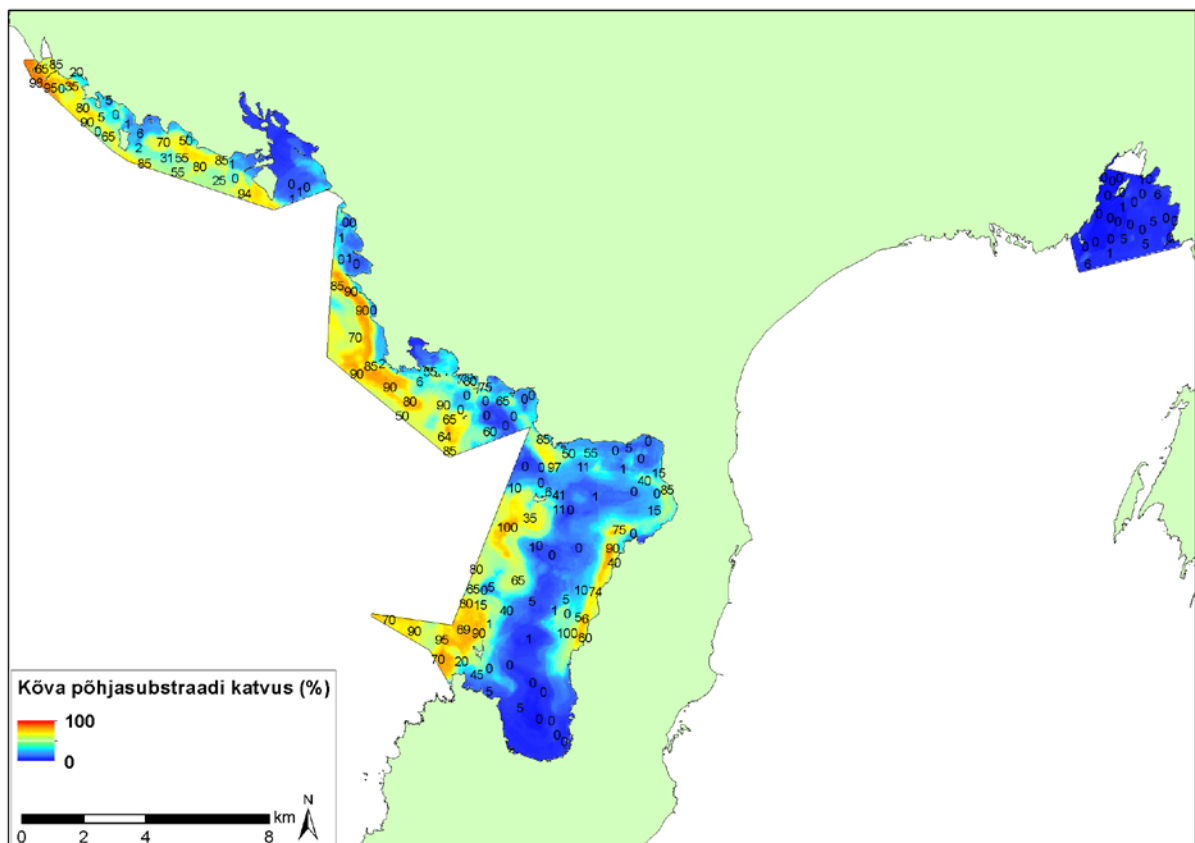
3.1. Merepõhja substraat

Põhjaelustiku levik on tugevalt limiteeritud sobiva substraadi olemasoluga. Kõva substraat (kivine põhi) pakub stabiilset kasvupinnast mitmeaastastele suurvetikatele ja sessiilsele epifaunale. Kivised põhjad esinevad lainetusele rohkem avatud madalates piirkondades nagu poolsaarte tipud ja avamere madalikud. Pehmele substraadile kinnituvad kõrgemad taimed ja mändvetikad, substraadi sees elab infauna. Pehme sette osakaal sõltub enim sügavusest ja avatusest lainetusele. Tugevate hoovuste ja lainetuse tõttu on kergemad setted nagu liiv ja kruus uhutud sügavatele aladele. Seega pehmed setted on eelkõige levinud sügavamatel merealadel ja varjatud lahtedes.

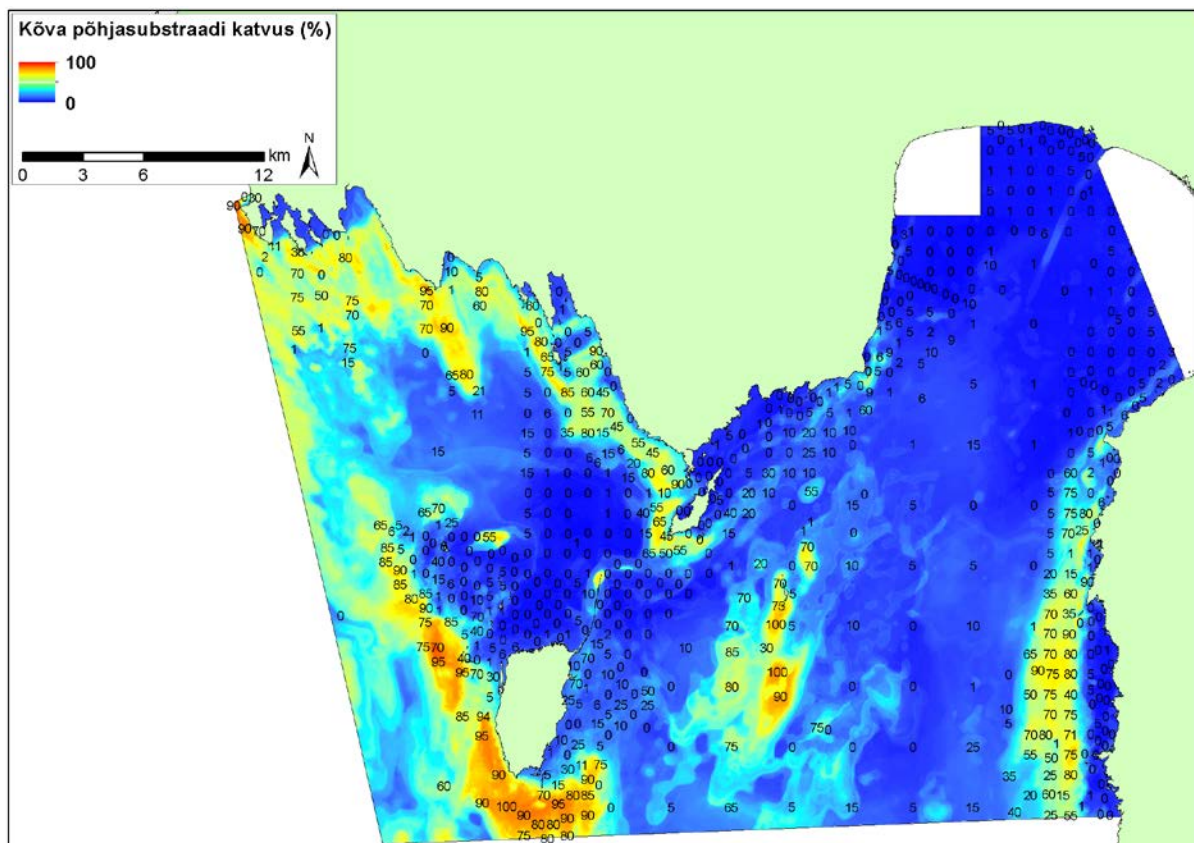
Merepõhja substraaditüüpide levik oli üldiselt seotud avatusega lainetusele – avatumad alad olid valdavalt kõvema põhjasubstraadiga kui varjatud alad (joonis 3.1.1-3.1.3). Liiva katvuse levik oli üldjoontes pöördvõrdeline kõva substraadi levikuga. Hiiumaa piirkonnas oli pehme põhjasubstraadi katvus kõrgeim rannikuäärsetes varjatud lahesoppides (joonis 3.1.4). Ka Saaremaa piirkonna puhul olid kõrgemad liivase substraadi katvuse väärtused seotud lainetuse eest varjatud aladega (joonis 3.1.5). Hüdroloogiliste tingimuste tõttu on Liivi lahes nõrgem lainetus mis põhjustab pehme sette akumulatsiooni, samuti kandub Pärnu lahte pehmeid setteid Pärnu jõega (joonis 3.1.6).



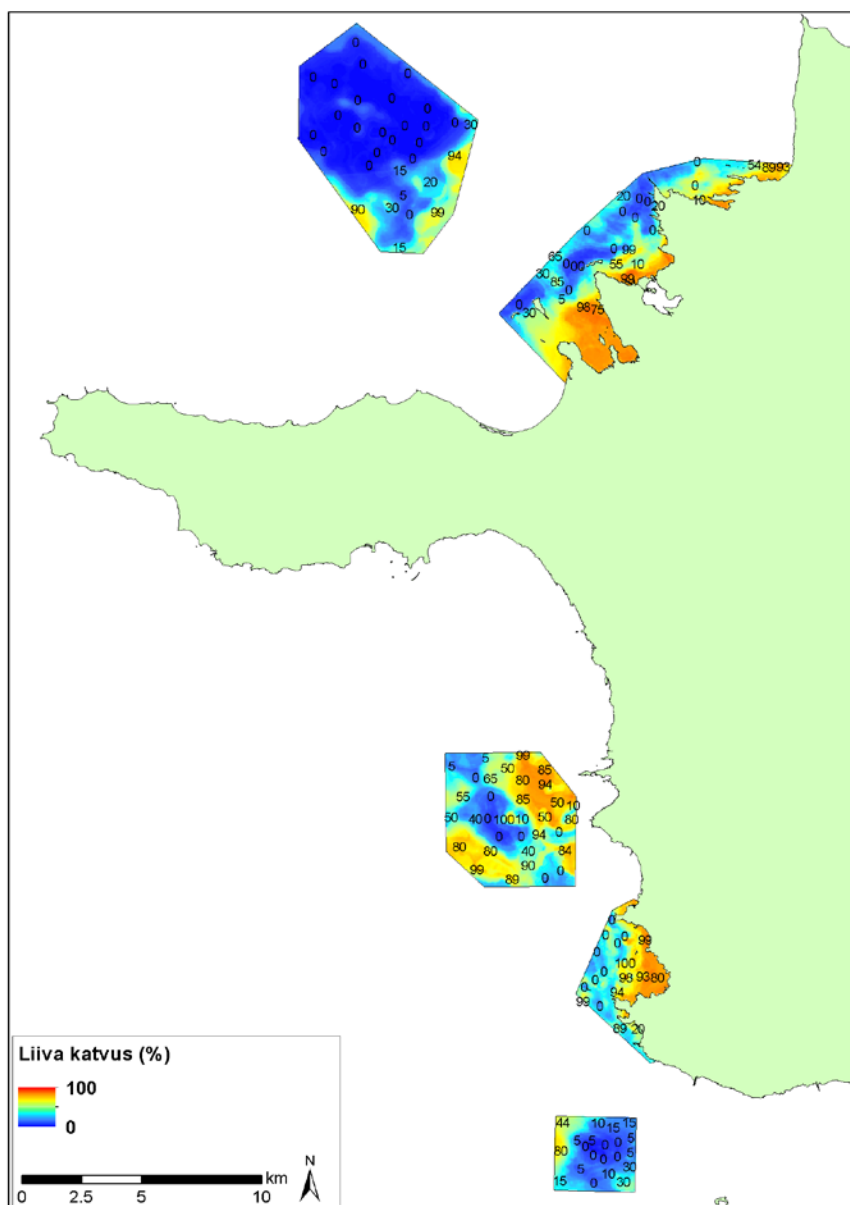
Joonis 3.1.1. Merepõhja kõva põhjasubstraadi katvus Hiiumaa kaardistuspiirkonnas. Numbritega on näidatud kõva substraadi katvuse andmed videovaaltuste põhjal; väga lähedastikku paiknevate proovipunktide korral on kuvatud ainult üks, et parandada kaardi loetavust.



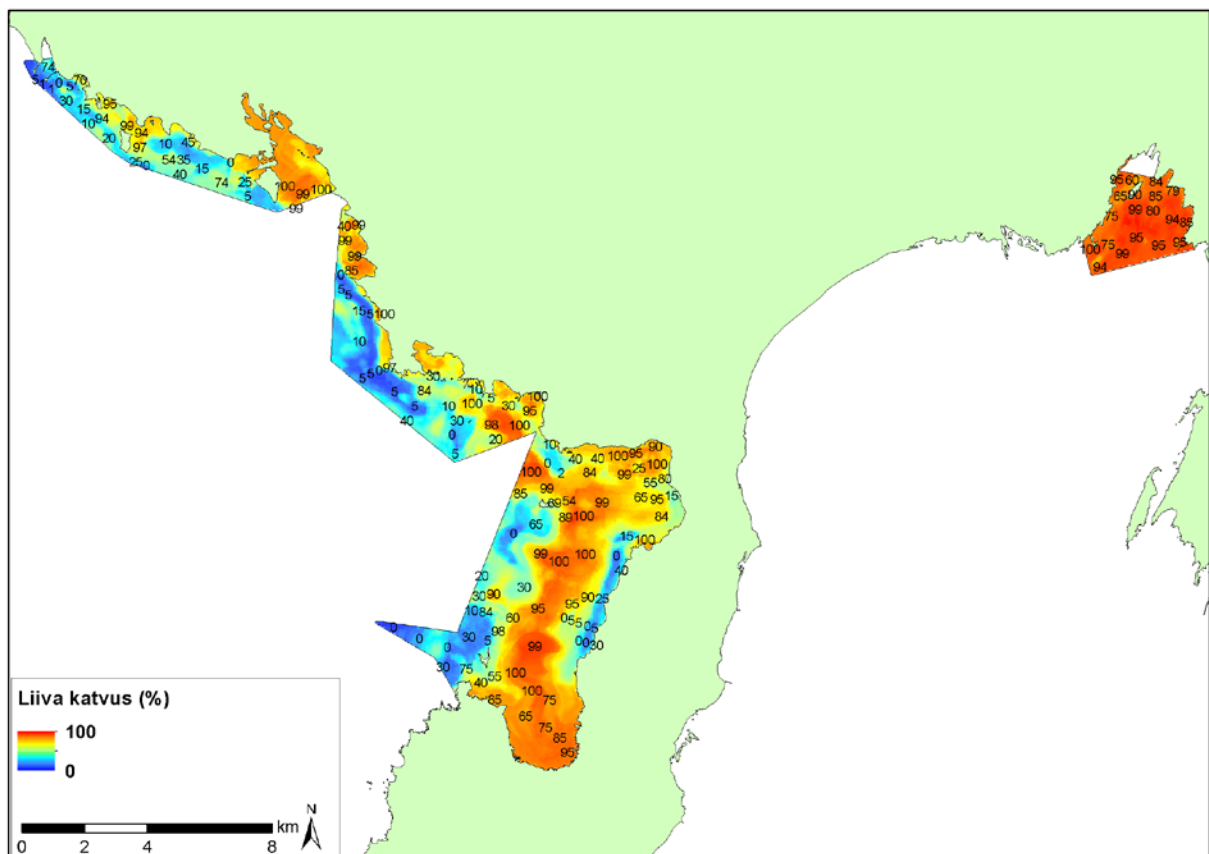
Joonis 3.1.2. Merepõhja kõva põhjasubstraadi katvus Saaremaa kaardistuspiirkonnas. Numbritega on näidatud kõva substraadi katvuse andmed videovaaltuste põhjal; väga lähestikku paiknevate proovipunktide korral on kuvatud ainult üks, et parandada kaardi loetavust.



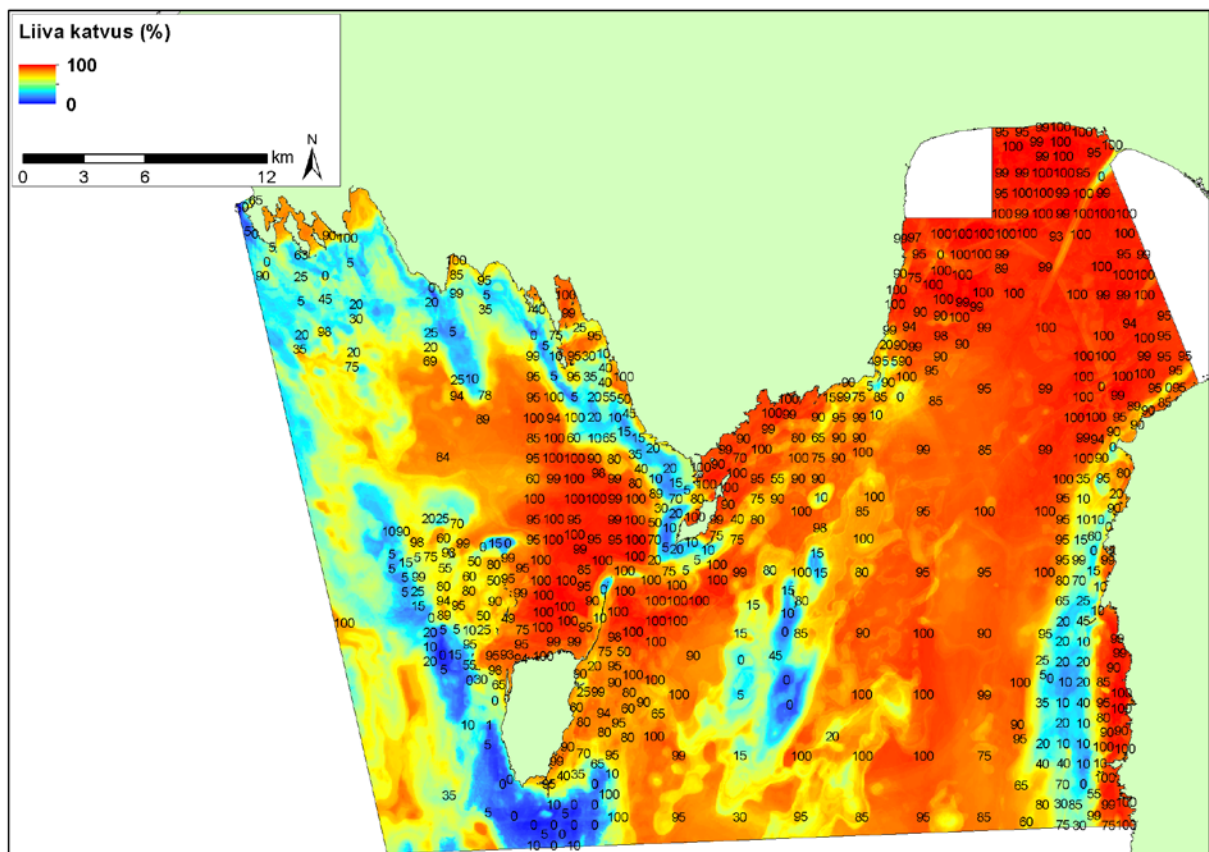
Joonis 3.1.3. Merepõhja kõva põhjasubstraadi katvus Liivi lahe kaardistuspiirkonnas. Numbritega on näidatud kõva substraadi katvuse andmed videovaaltuste põhjal; väga lähestikku paiknevate proovipunktide korral on kuvatud ainult üks, et parandada kaardi loetavust.



Joonis 3.1.4. Merepõhja liiva katvus Hiiumaa kaardistuspiirkonnas. Numbritega on näidatud liiva katvuse andmed videovaaltuste põhjal; väga lähestikku paiknevate proovipunktide korral on kuvatud ainult üks, et parandada kaardi loetavust.



Joonis 3.1.5. Merepõhja liiva katvus Saaremaa kaardistuspiirkonnas. Numbritega on näidatud liiva katvuse andmed videovaaltuste põhjal; väga lähestikku paiknevate proovipunktide korral on kuvatud ainult üks, et parandada kaardi loetavust.



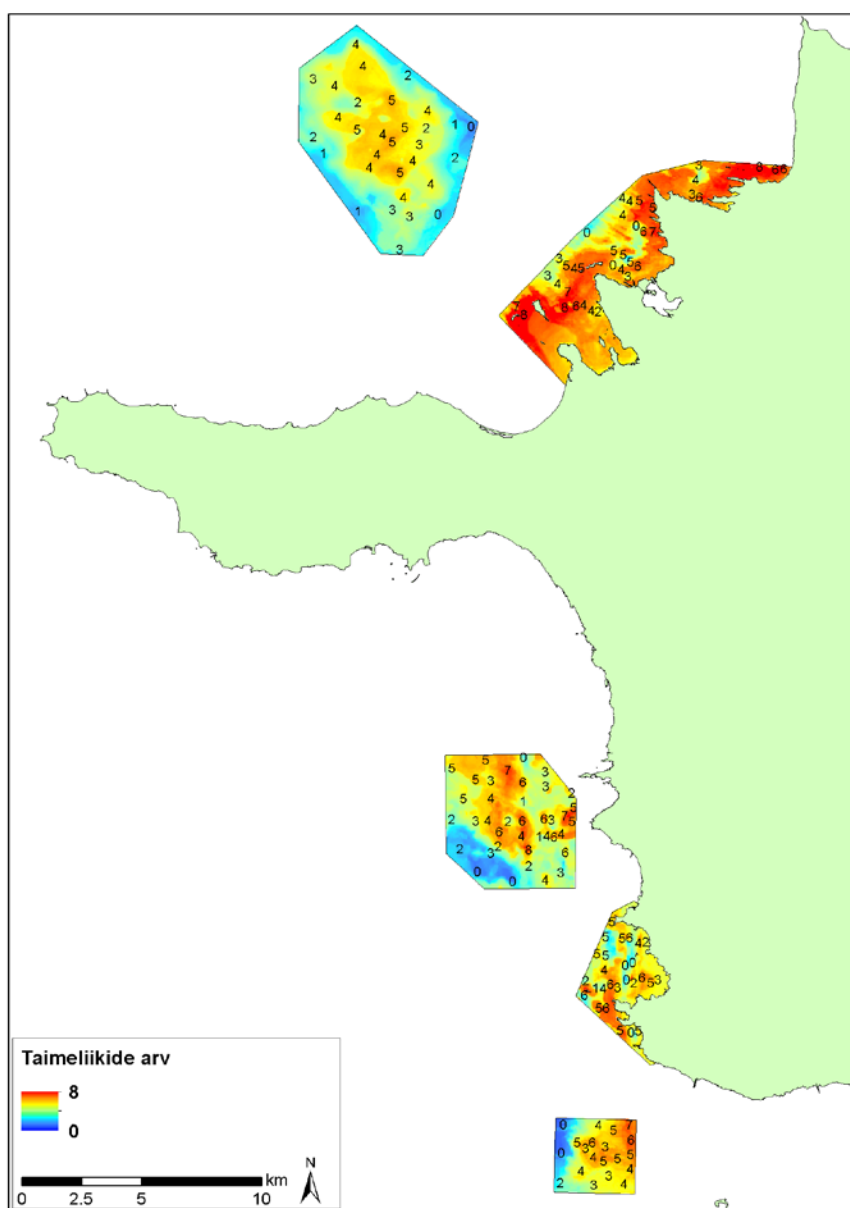
Joonis 3.1.6. Merepõhja liiva katvus Liivi lahe kaardistuspiirkonnas. Numbritega on näidatud liiva katvuse andmed videovaaltuste põhjal; väga lähestikku paiknevate proovipunktide korral on kuvatud ainult üks, et parandada kaardi loetavust.

3.2. Merepõhja elustik

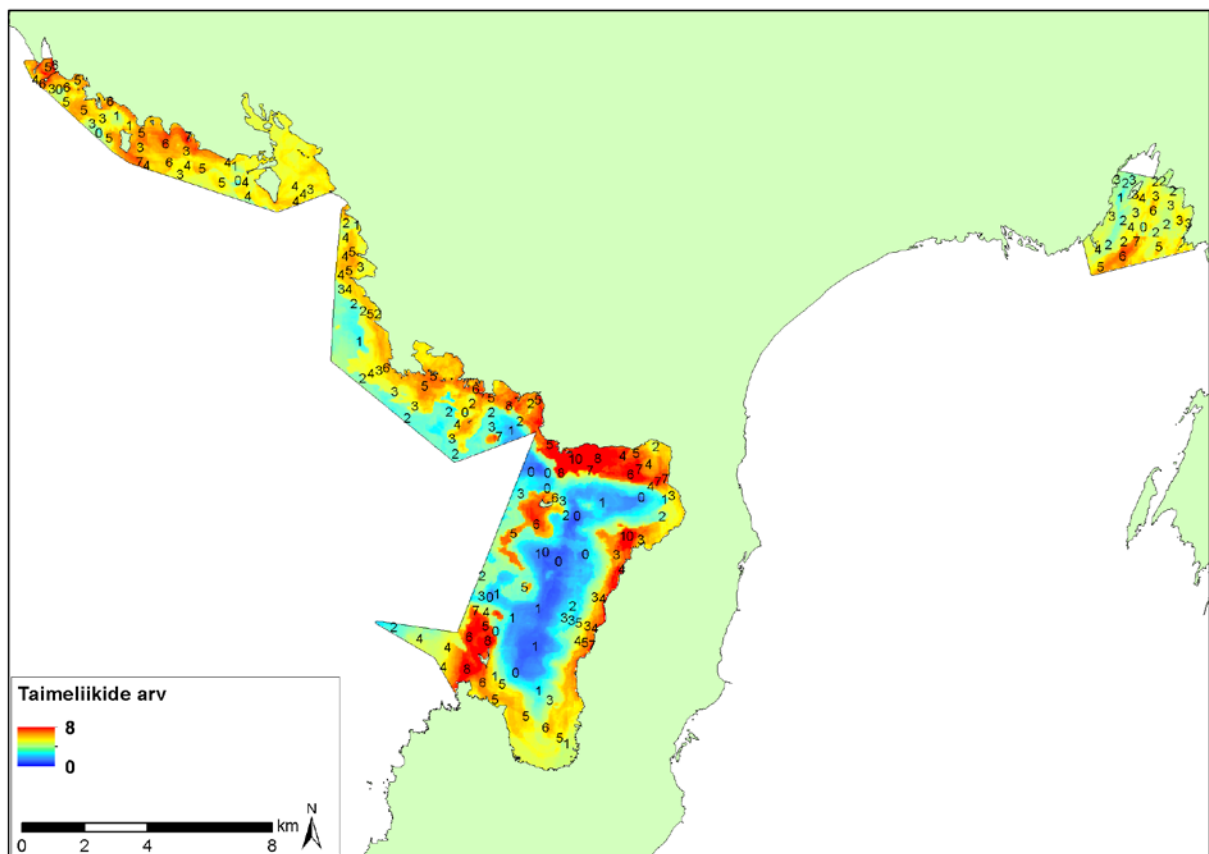
Käesolevas töös uuritud alad on omavahel väga erinevad ja on mõjutatud erinevate keskkonnatingimuste poolt. Põhilisteks põhjaelustiku vormivateks teguriteks on mehhaanilised häiringud madalamatel aladel, valguse kättesaadavus sügavamatel aladel, sobiva substraadi olemasolu ja soolsus. Kõige liigirikkamaks osutusid Saaremaa piirkonnas asuvad uuringualad. Kõrgemat liigilist mitmekesisust antud inventuuri aladel võib põhjustada kaitstus lainetuse eest ning mõnevõrra kõrgem soolsus võrreldes Liivi lahte jäävate mereosadega (tabel 3.2.1, joonised 3.2.1-3.2.3).

Tabel 3.2.1. Põhjaelustiku liikide arv biomassiproovide põhjal.

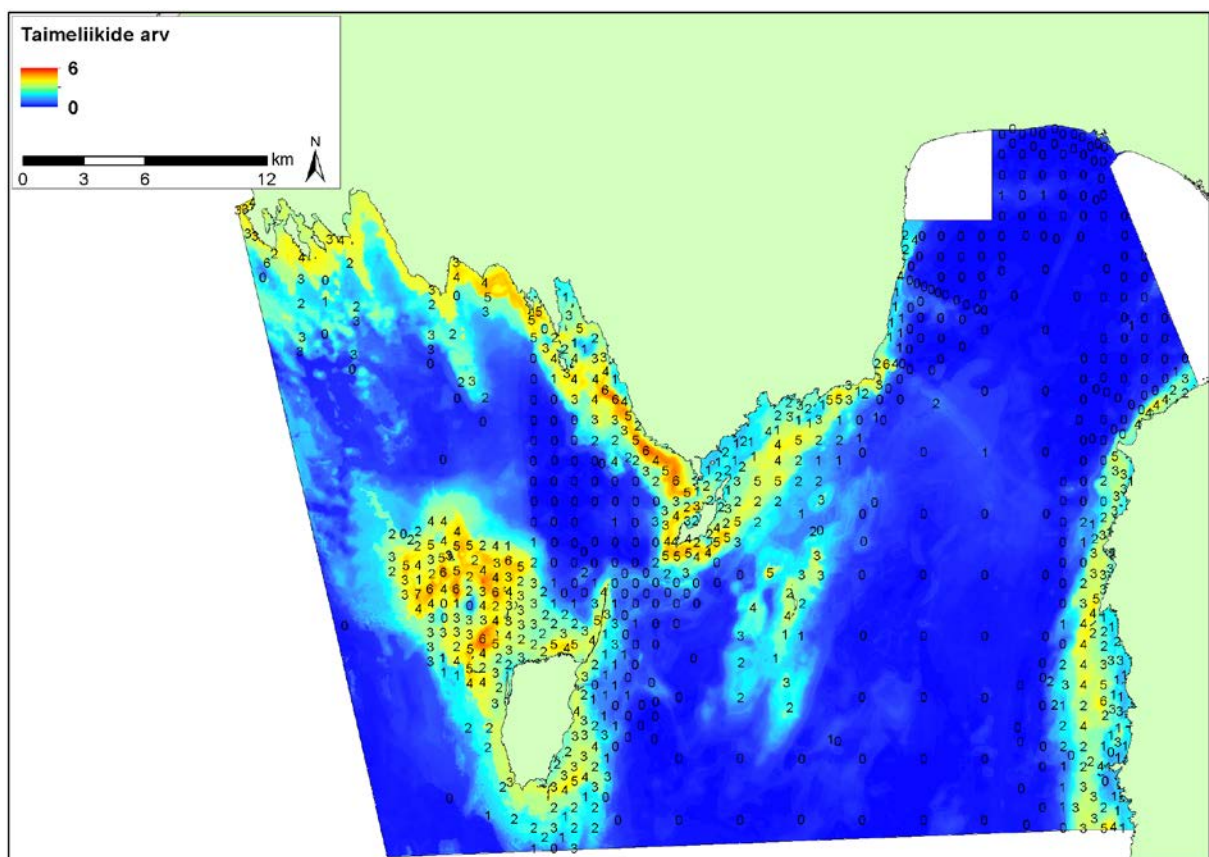
Piirkond	Loomaliikide arv	Taimeliikide arv
Hiumaa piirkond	47	33
Saaremaa piirkond	49	39
Liivi lahe piirkond	51	34



3.2.1. Põhjataimede liigiline mitmekesisus katvusandmete põhjal Hiumaa uuringualadel.



3.2.2. Põhjataimede liigiline mitmekesisus katvusandmete põhjal Saaremaa uuringualadel.



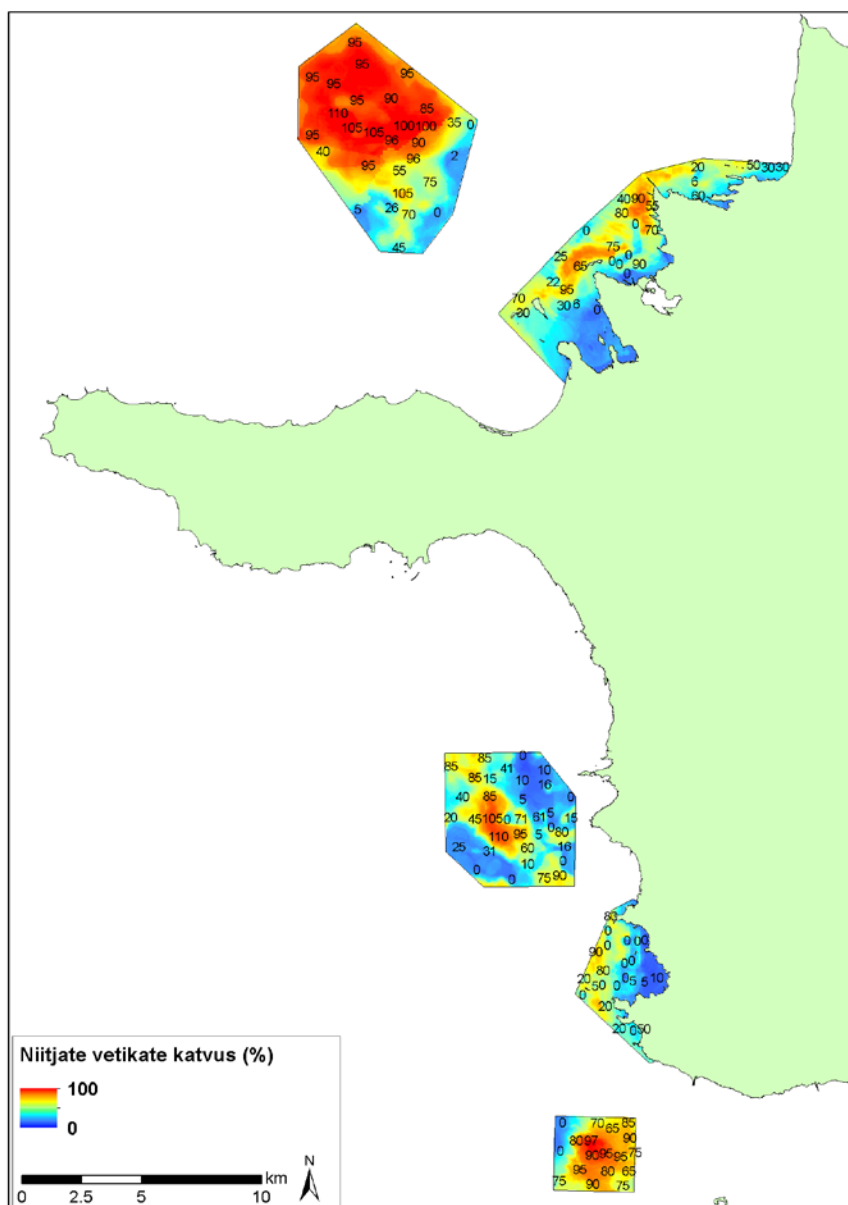
3.2.3. Põhjataimede liigiline mitmekesisus katvusandmete põhjal Liivi lahe uuringualal.

3.2.1. Põhjataimestik

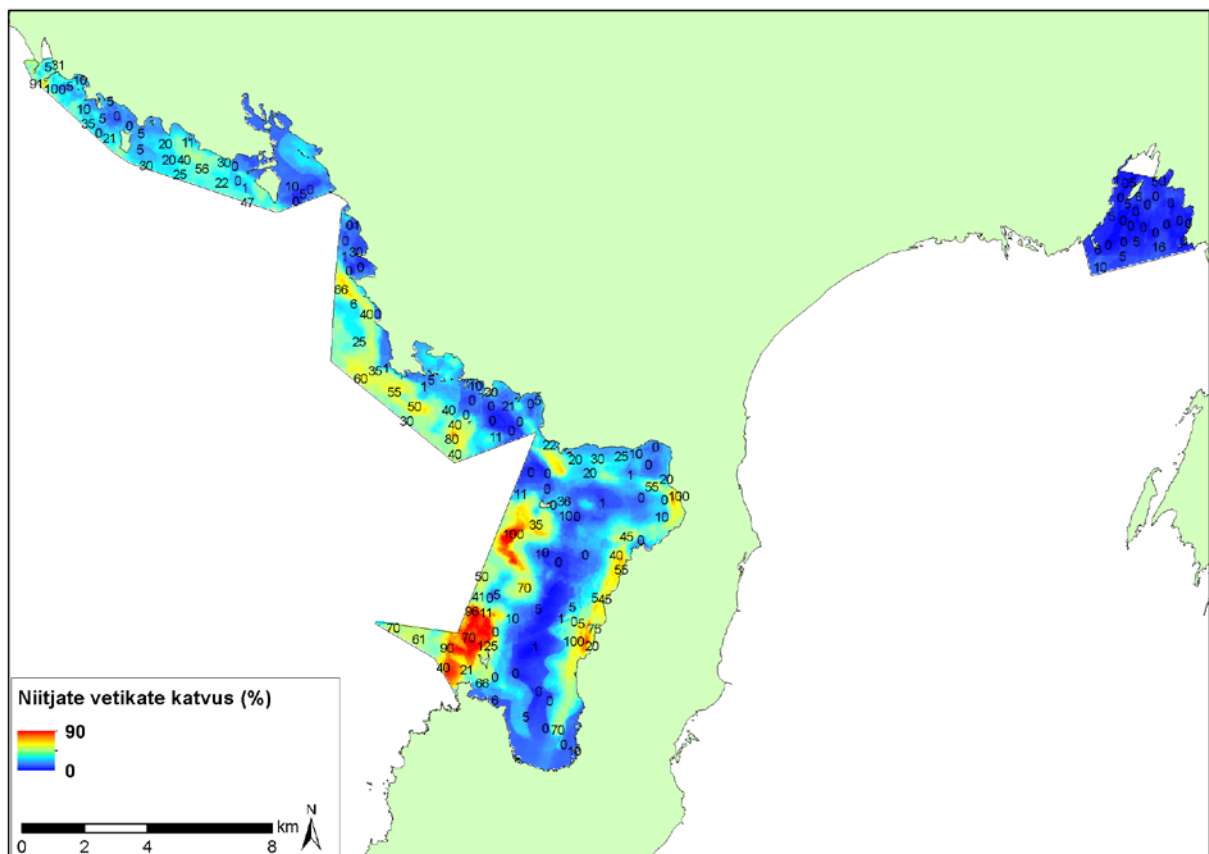
Üle 50% videoanalüüsis tuvastatud vetikatest olid lahtised niitjad vetikad, mis moodustasid 12% summaarsest katvusest kõikidel aladel. Hiiumaa ja Saaremaa piirkondades olid kõige tavalisemateks kinnitunud vetikateks niitjad vetikad, mis esinesid rohkem kui 40% punktides (joonised 3.2.1.1-3.2.1.3). Nendest esines Hiiumaa uuringualadel rohkem kui 50% proovipunktides niitjaid pruunvetikaid *Pilayella/Ectocarpus* ja punavetikat *Ceramium tenuicorne*. Kinnitunud vetikatest olid Hiiumaa uuringualadel kõige kõrgema katvusega pruunvetikas *Polysiphonia fucoides*, mille katvus ulatus 85%. Saaremaa uuringualadel olid lisaks eelnevalt nimetatud niitja vetika matile kõrge esinemissagedusega kõrgem taim kamm-penikeel (*Stuckenia pectinata*), mis oli esindatud rohkem kui pooltes proovipunktides. Üle 80% katvusega olid siin kõrgemad taimed tähkjas vesikuusk (*Myriophyllum spicatum*) ning perekonda *Chara* kuuluvad mändvetikad. Liivi lahe kõige tavalisemateks vetikaliikideks olid niitjas pruunvetikas *P. fucoides* ja kamm-penikeel (*S. pectinata*). Liivi lahe suurima katvuse moodustasid lisaks lahtisele niitjale vetikale kinnitunud niitjad vetikad *Cladophora glomerata* ja *P. fucoides* ning kõrgemad taimed tähk-vesikuusk, mändvetikad, kamm-penikeel ja kaelus-penikeel (*Potamogeton perfoliatus*).

Taimede biomassis domineeris nii piirkondade kaupa kui ka kõikide alade peale kokku tugevalt põisadru (*Fucus vesiculosus*), mille biomassi väärtused ulatusid kuni 860 gm⁻² kohta. Põisadru maksimaalne katvus eraldi piirkonniti võetuna küündis 85%-ni Saaremaal Riksu ranniku hoiualal (joonis 3.2.1.4), Hiiumaal ja Liivi lahes ei ületanud põisadru katvus 45% (joonised 3.2.1.5-3.2.1.6). Hiiumaa ja Saaremaa uuringualadel saavutasid kõrgeid biomassi väärtusi ka *Pilayella/Ectocarpus* ning agarik (*Furcellaria lumbricalis*), Liivi lahes niitjas rohevetikas *Cladophora glomerata* ja kare mändvetikas (*Chara aspera*). Põisadru, agarik ning niitjad vetikad olid uuringualadel karide elupaigatüübi tunnusliikideks.

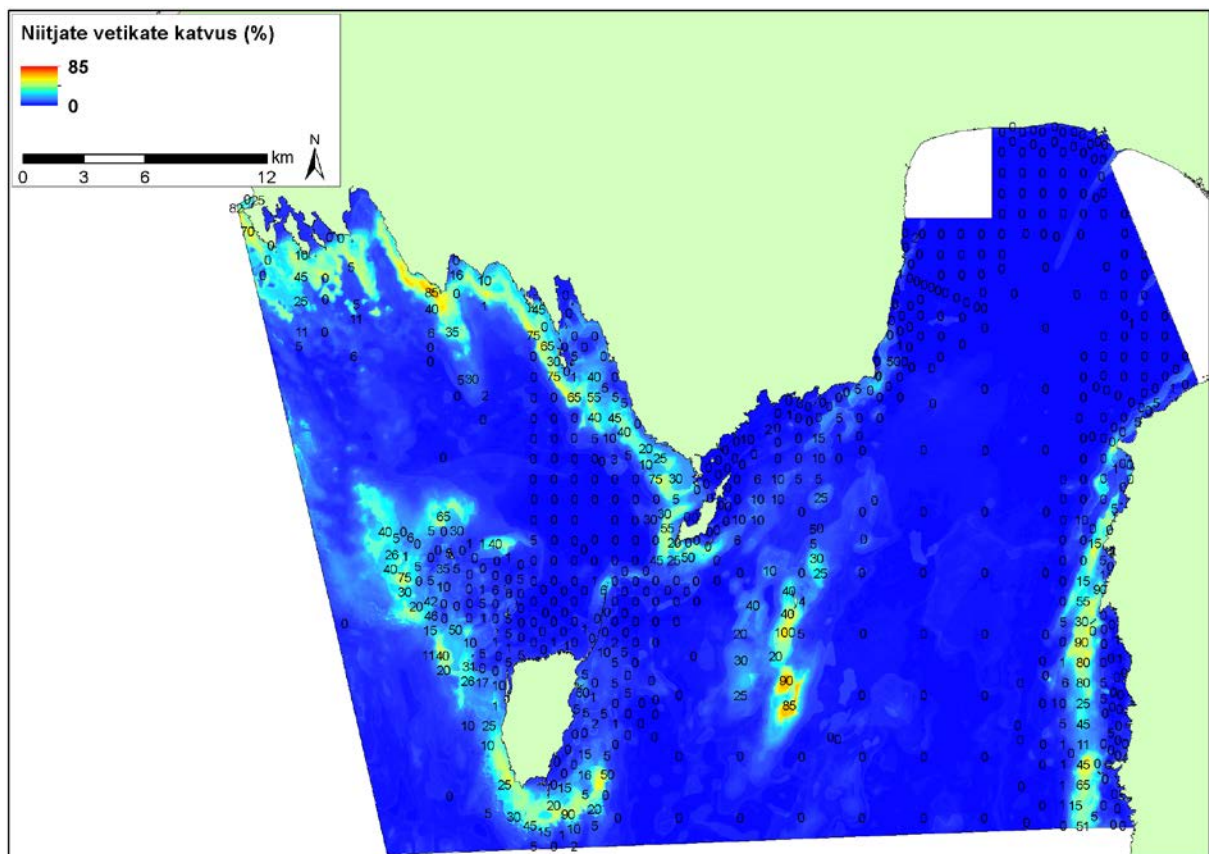
Liivamadalate tunnusliikideks uuringualal olid mändvetikad *Chara spp* ja pesajas tolüpell (*Tolypella nidifica*), kõrgemad taimed pikk merihein (*Zostera marina*), tähkjas vesikuusk (*M. spicatum*), kamm-penikeel (*S. pectinata*), harilik hanehein (*Zannichellia palustris*), merinäkirohi (*Najas marina*), harilik heinmuda (*Ruppia maritima*). Nende liikide summaarne katvus on kajastatud joonistel 3.2.1.7-3.2.1.9.



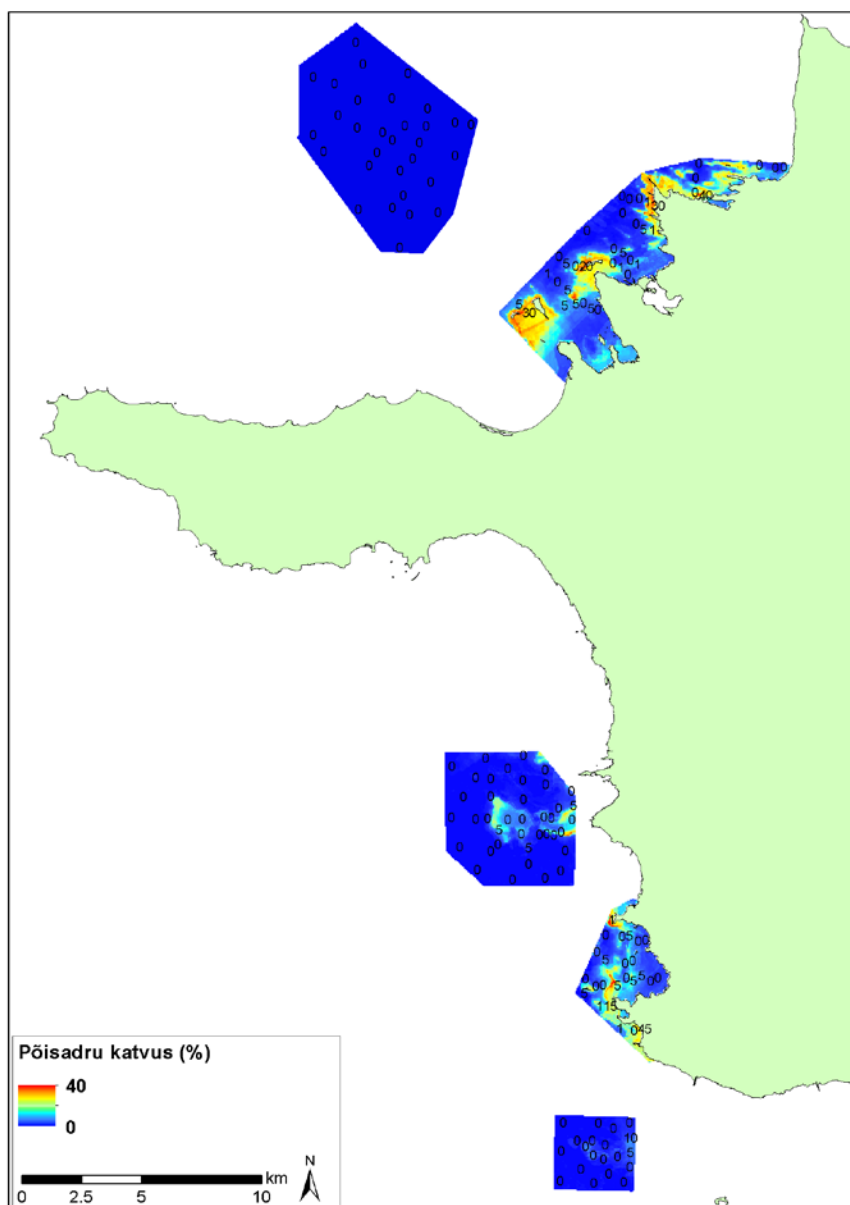
3.2.1.1. Niitjate vetikate summaarne katvus Hiumaa uuringualadel. Numbritena on ära toodud jaamade videomaterjali käigus saadud niitjate vetikate summaarne katvus.



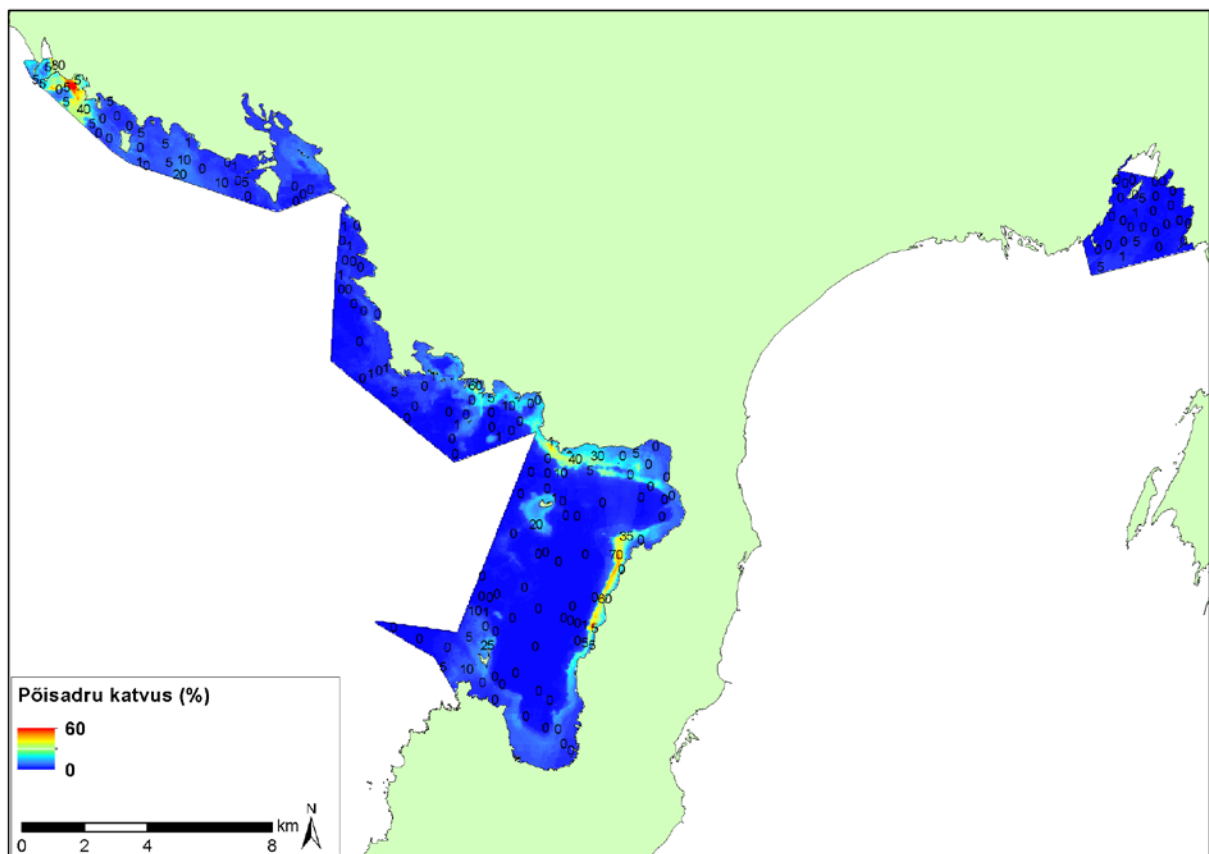
3.2.1.2. Saaremaa uuringualade niitjate vetikate summaarne katvus. Numbritena on ära toodud jaamade videomaterjali käigus saadud niitjate vetikate summaarne katvus.



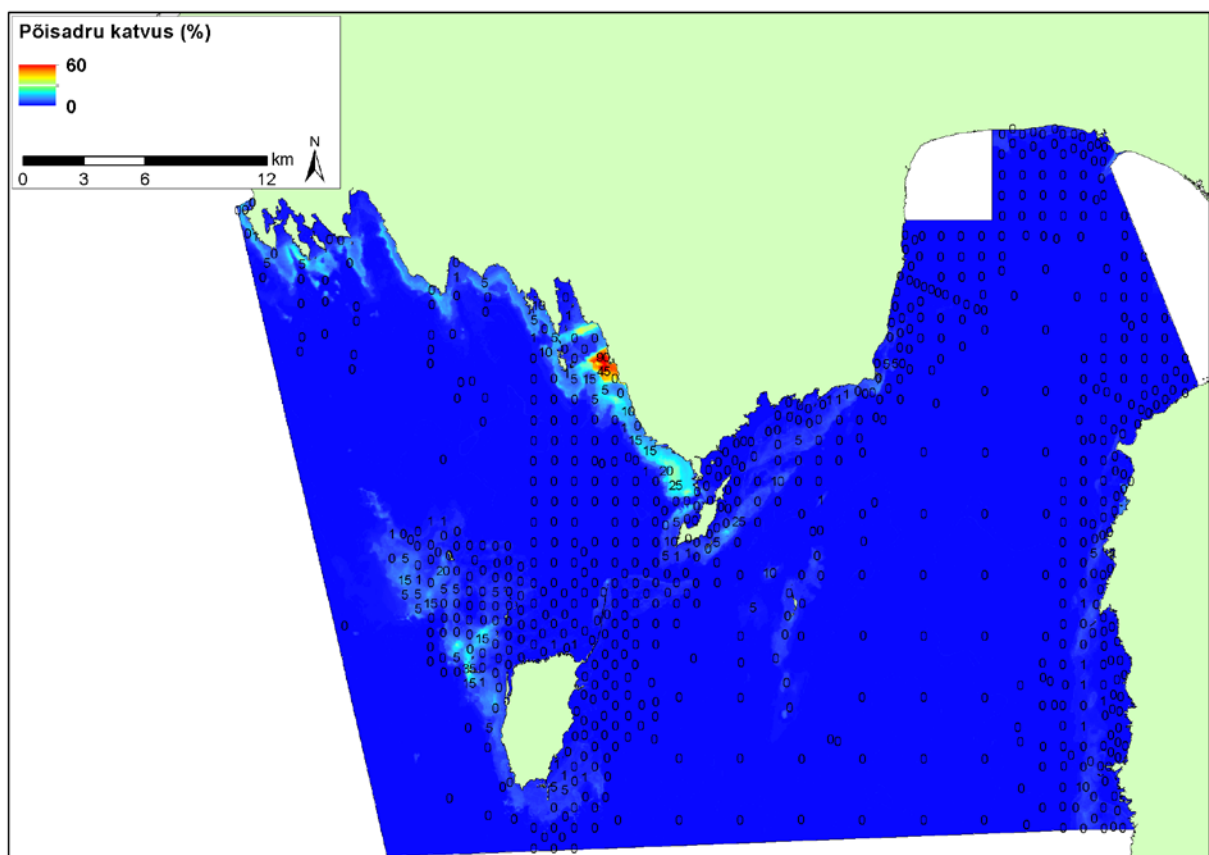
3.2.1.3. Niitjate vetikate summaarne katvus Liivi lahe uuringualal. Numbritena on ära toodud jaamade videomaterjali käigus saadud niitjate vetikate summaarne katvus.



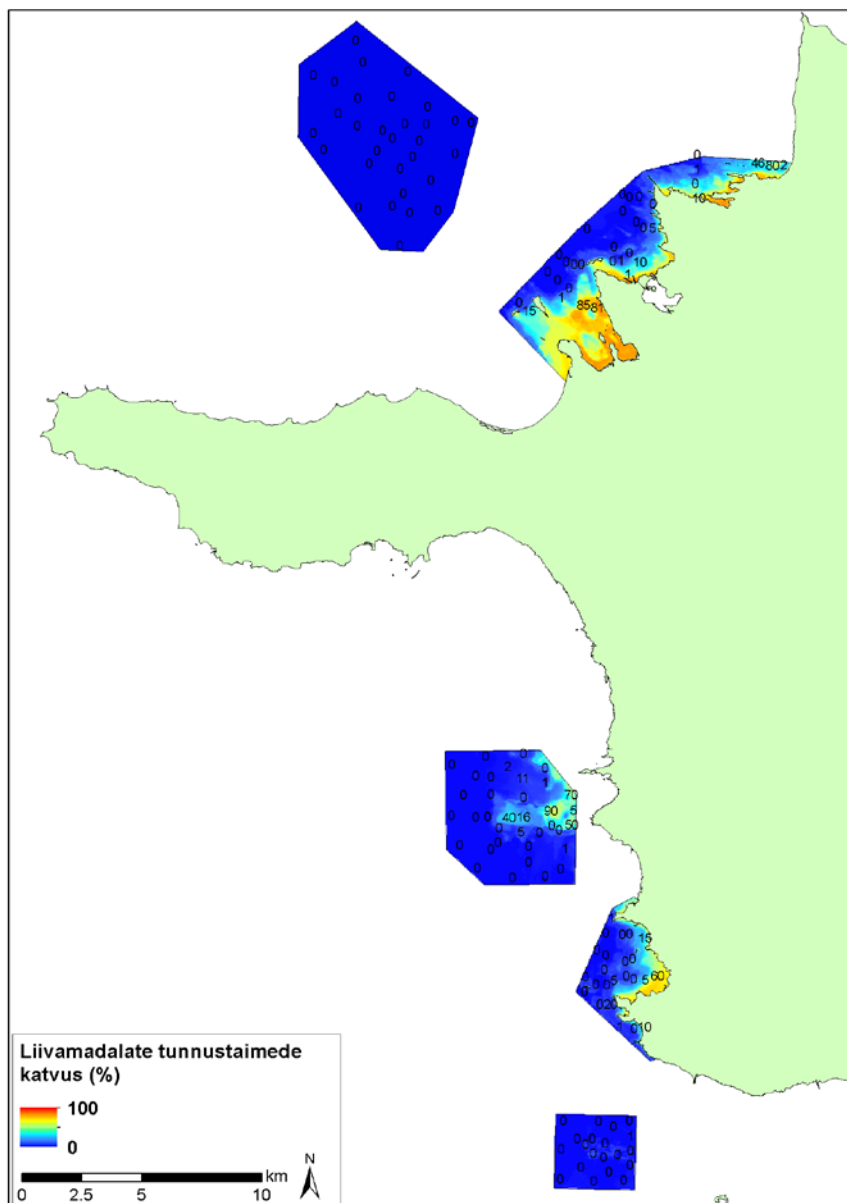
3.2.1.4. Põisardu (*Fucus vesiculosus*) katvus Hiiumaa uuringualadel.



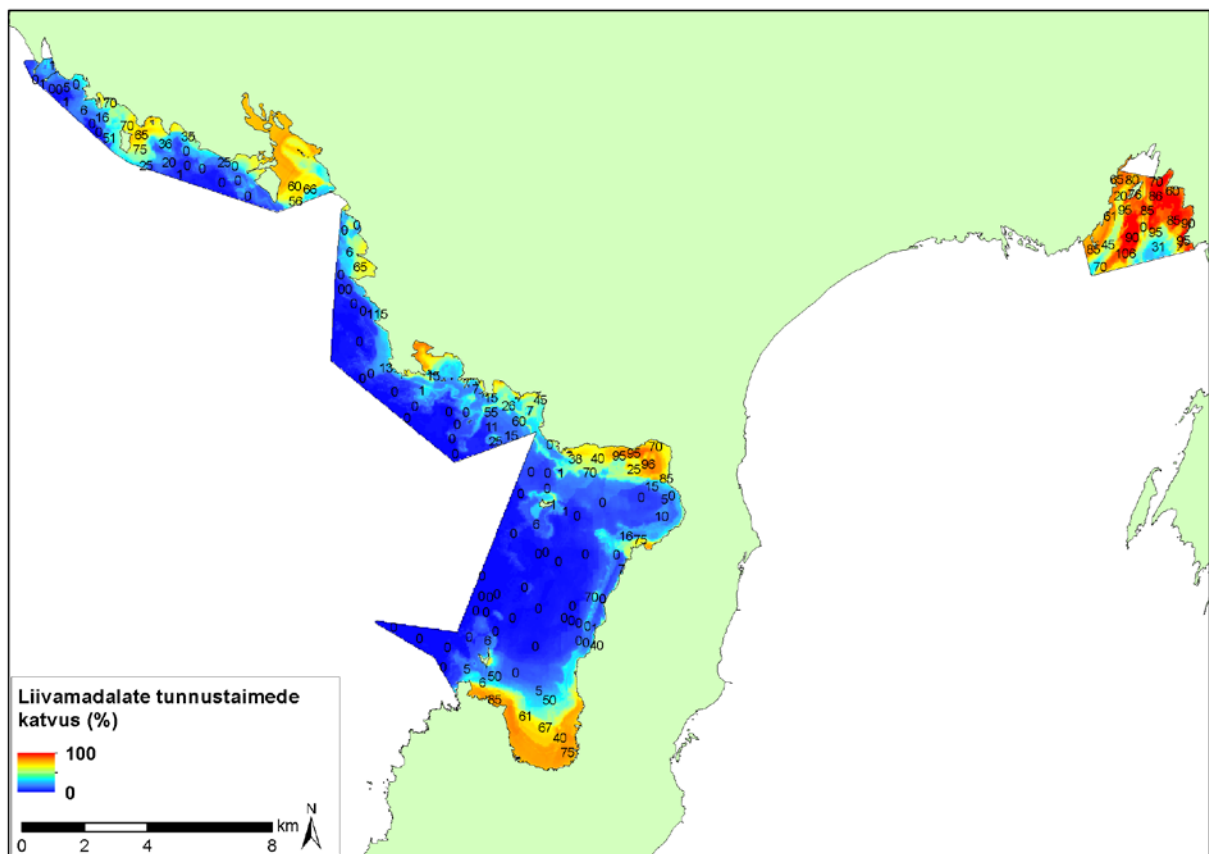
3.2.1.5. Põisadru (*Fucus vesiculosus*) katvus Saaremaa uuringualadel.



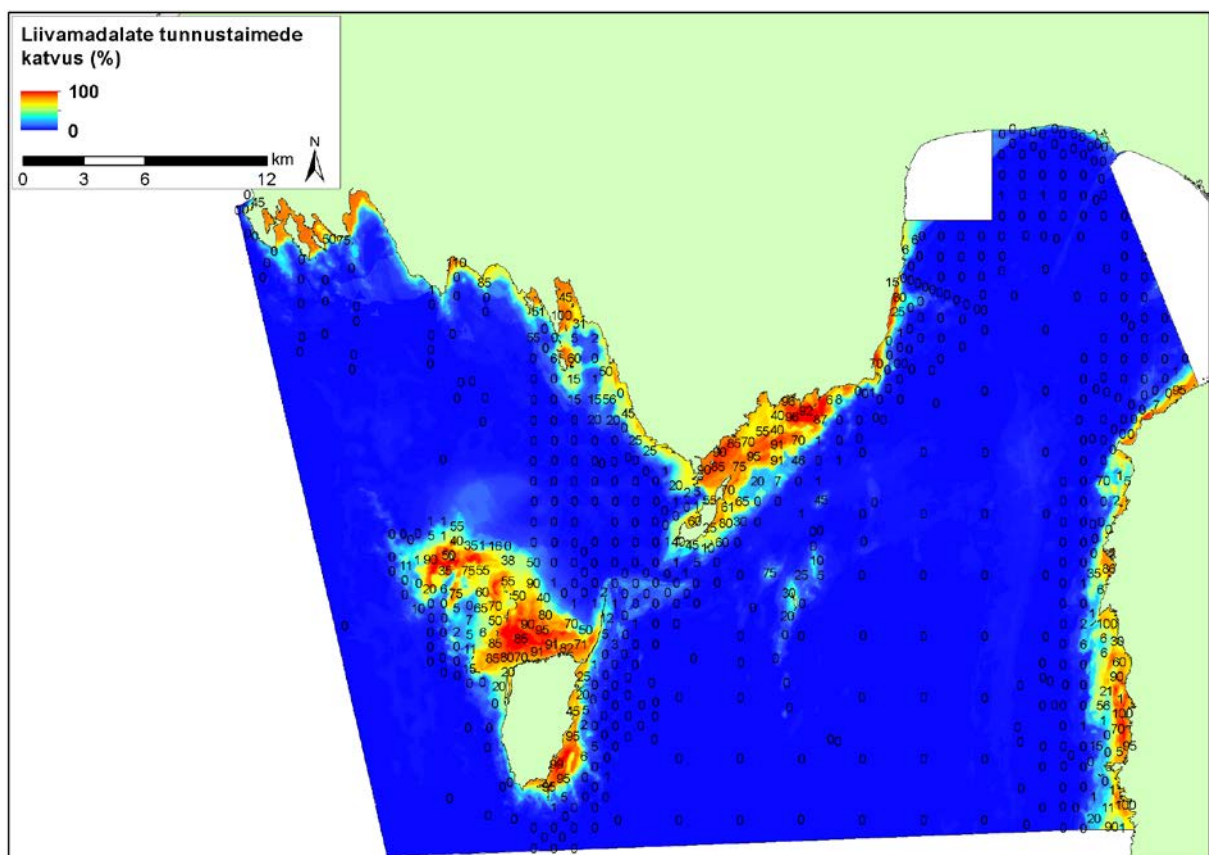
3.2.1.6. Põisadru (*Fucus vesiculosus*) katvus Liivi lahe uuringualal.



3.2.1.7. Liivamadalate tunnustaimede summaarne katvus Hiiumaa uuringualadel.



3.2.1.8. Liivamadalate tunnustaimede katvus Saaremaa uuringualadel.



3.2.1.9. Liivamadalate tunnustaimede summaarne katvus Liivi lahe uuringualal.

3.2.2. Põhjaloomastik

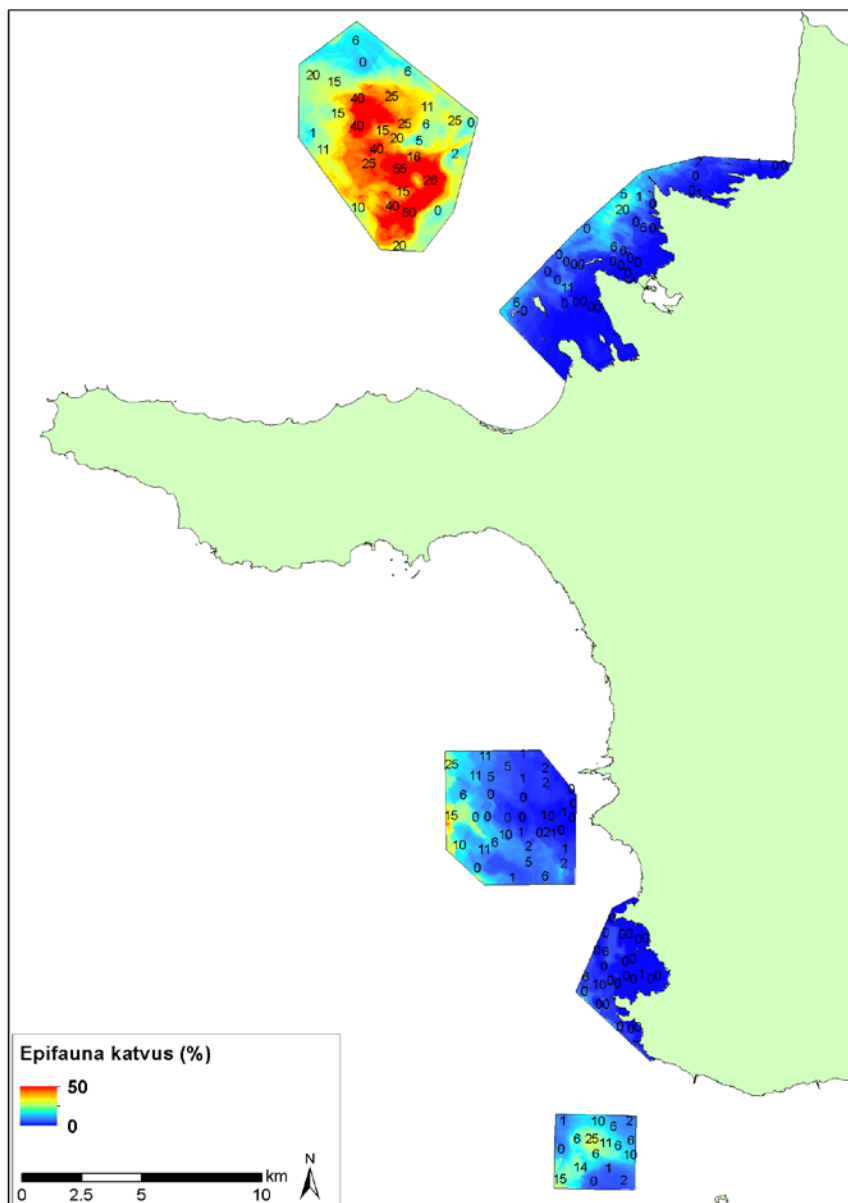
Videoanalüüsides tuvastati kokku viis põhjaloomastiku liiki: söödav rannakarp (*Mytilus trossulus*), tavaline tõruvähk (*Amphibalanus improvisus*), hüdraloomad (*Hydrozoa*, videopildis võimatu liigini määrata), muutlik rändkarp (*Dreissena polymorpha*) ja vesiking (*Theodoxus fluviatilis*). Epifauna dominantliikideks olid tavaline tõruvähk ja söödav rannakarp (joonised 3.2.2.1-3.2.2.3). Leitud taksonitest olid tõruvähid ja söödav rannakarp esindatud rohkem kui kolmandikus Hiiumaa uuringuala proovipunktides ja vähem kui neljandikus Liivi lahe ja Saaremaa uuringuala proovipunktides. Muutlik rändkarp esines ainult Liivi lahes, teistel uuringualadel ta kõrgema soolsuse tõttu levinud ei ole. Keskmise ja maksimaalse katvuse poolest olid kõrgeimad väärtused rannakarbil (tabel 3.2.2.1). Söödav rannakarp, tavaline tõruvähk ja rändkarp on karide elupaigatüübi tunnusliikideks.

Tabel 3.2.2.1. Põhjaelustiku taksonite esinemissagedus, keskmine ja maksimaalne katvus ning maksimaalne leviku sügavus merepõhja videoproovide põhjal.

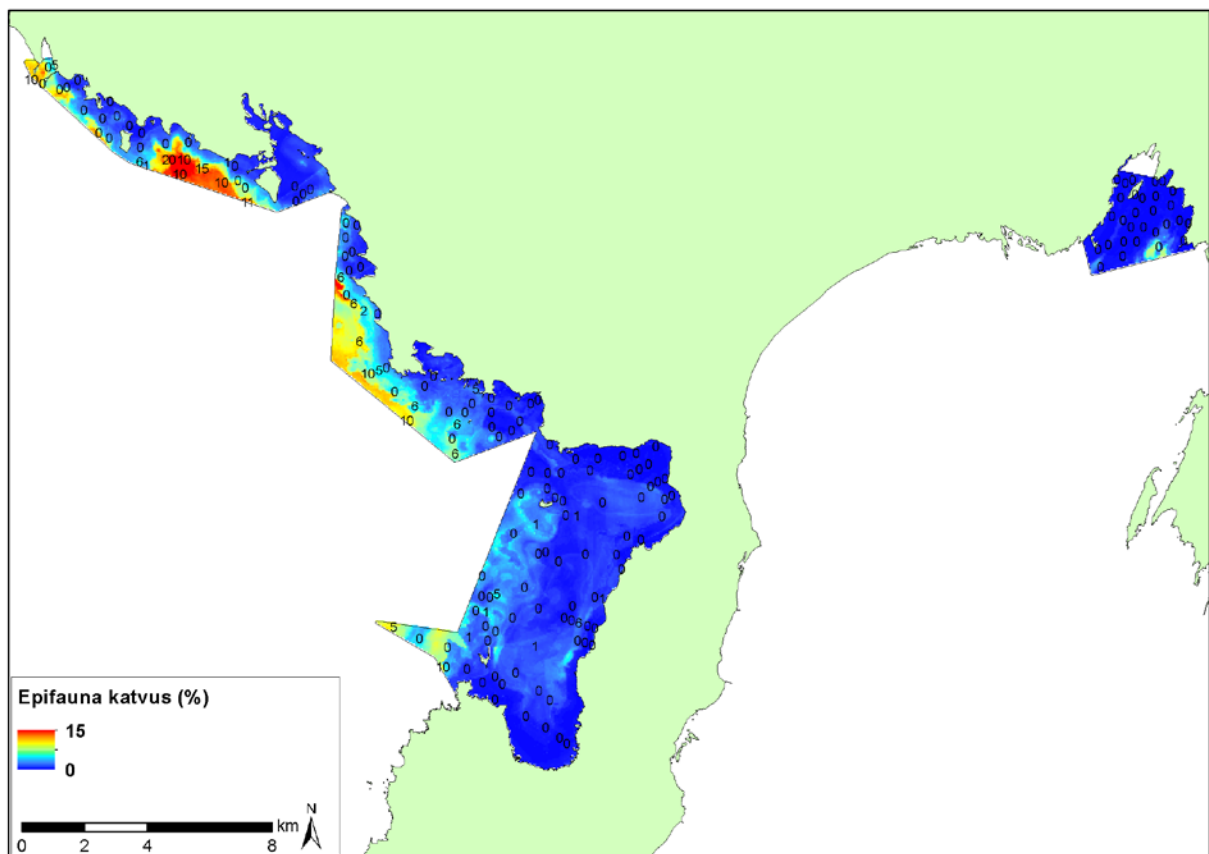
Piirkond	Liik	Esinemine (%)	Maksimaalne katvus (%)	Keskmine katvus (%)
Hiiumaa	<i>Amphibalanus improvisus</i>	39,6	5	2,4
	<i>Mytilus trossulus</i>	45,8	45	6,4
	<i>Theodoxus fluviatilis</i>	14,1	5	3,7
Liivi laht	<i>Amphibalanus improvisus</i>	26,7	15	3,5
	<i>Dreissena polymorpha</i>	1,0	15	4,3
	<i>Hydrozoa</i>	8,5	25	3,7
	<i>Mytilus trossulus</i>	13,1	15	3,5
	<i>Theodoxus fluviatilis</i>	0,1	1	1,0
Saaremaa	<i>Amphibalanus improvisus</i>	18,5	5	3,4
	<i>Mytilus trossulus</i>	14,2	15	4,3
	<i>Theodoxus fluviatilis</i>	7,1	5	3,9

Enamlevinud liikideks biomassiproovides olid lamekeermene vesitigu (*Peringia ulvae*), söödav südakarp (*Cerastoderma glaucum*) ja balti lamekarp (*Macoma balthica*). *M. balthica* domineeris tugevalt loomade kogubiomassis, tema biomassi väärtused ulatusid kuni 2460 g/m² Saaremaa uuringualal.

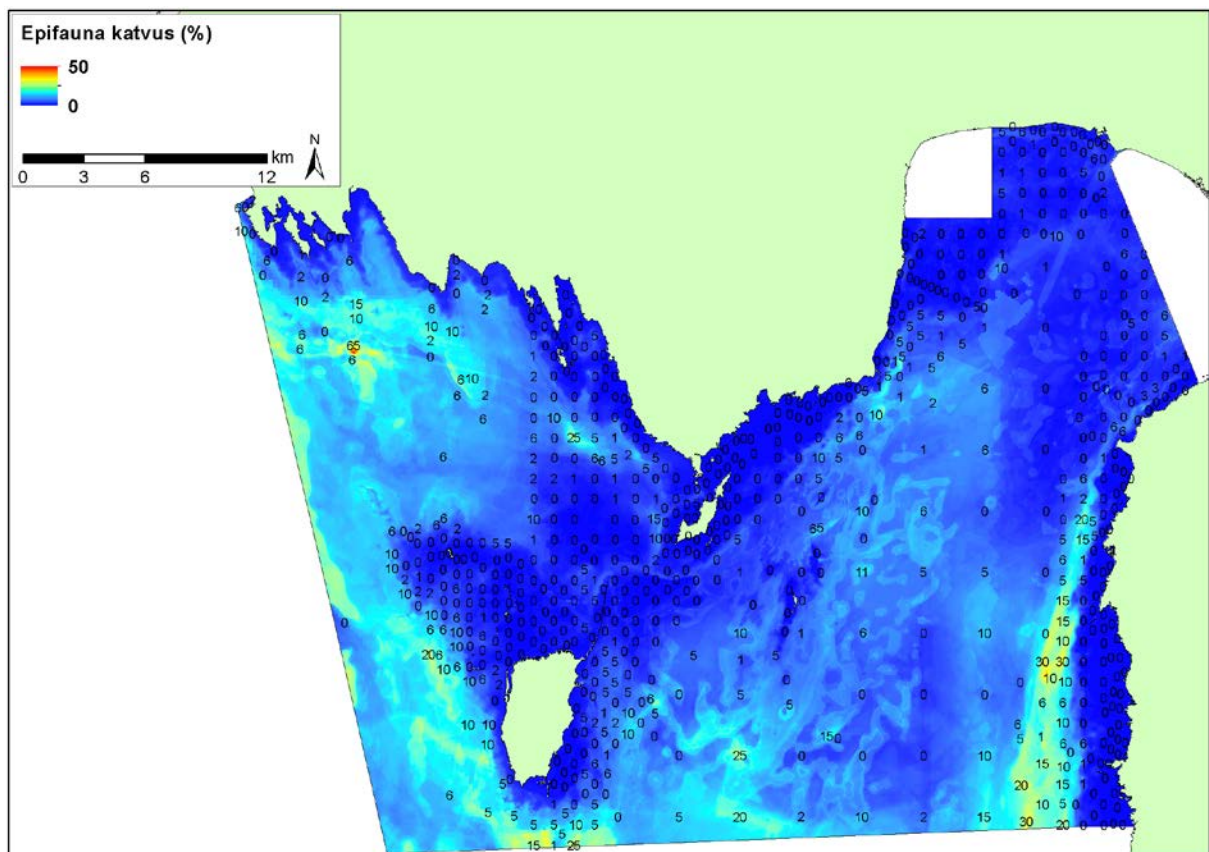
Infauna karbid balti lamekarp, liiva uurik-karp (*Mya arenaria*) ja söödav südakarp olid uuringualadel liivamadalate tunnusliikideks. Liivamadalate määratlusel on nende liikide biomassi alampiiriks 10 g/m². Infauna karpide biomassilävendit ületav levik on näidatud joonistel 3.2.2.4 – 3.2.2.6.



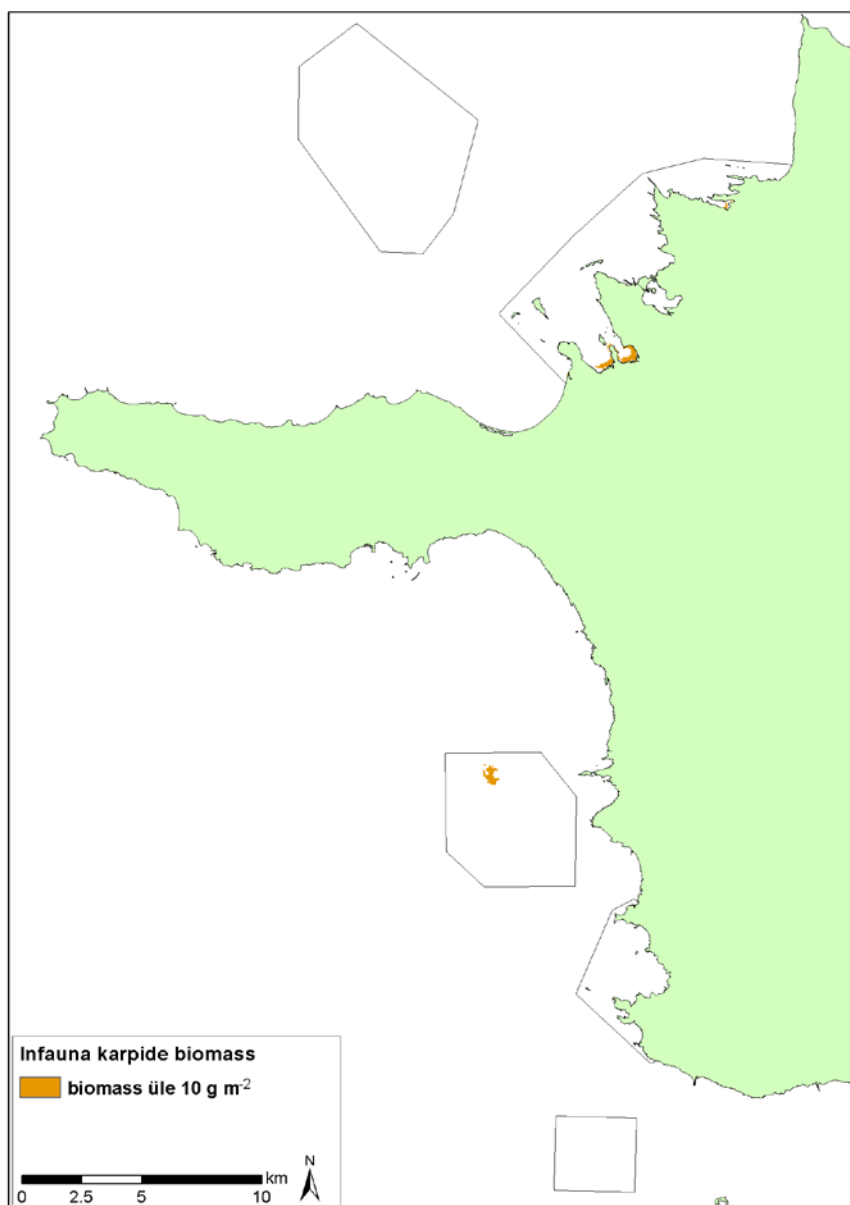
Joonis 3.2.2.1. Substraadi pinnal elavate loomade (epifauna) summaarne katvus Hiiumaa uuringualadel.



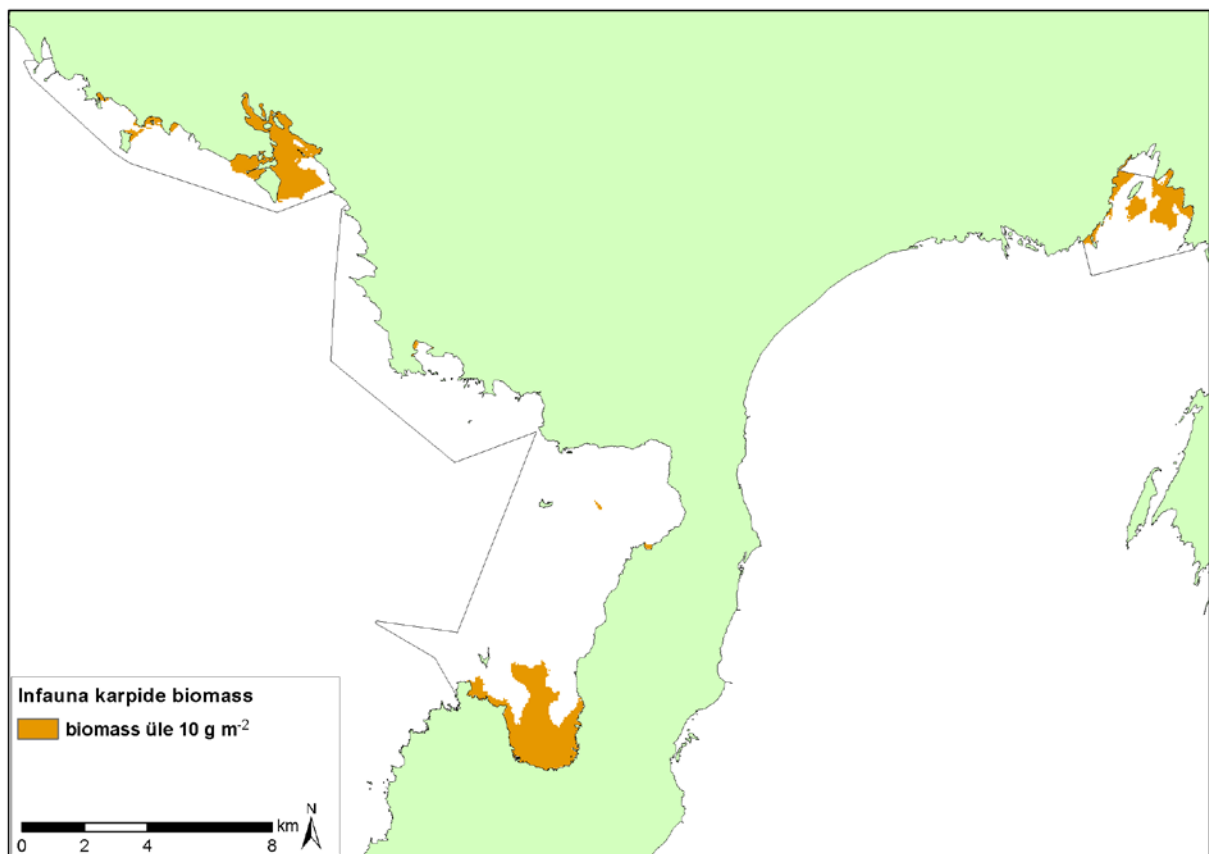
Joonis 3.2.2.2. Substraadi pinnal elavate loomade (epifauna) summaarne katvus Saaremaa uuringualadel.



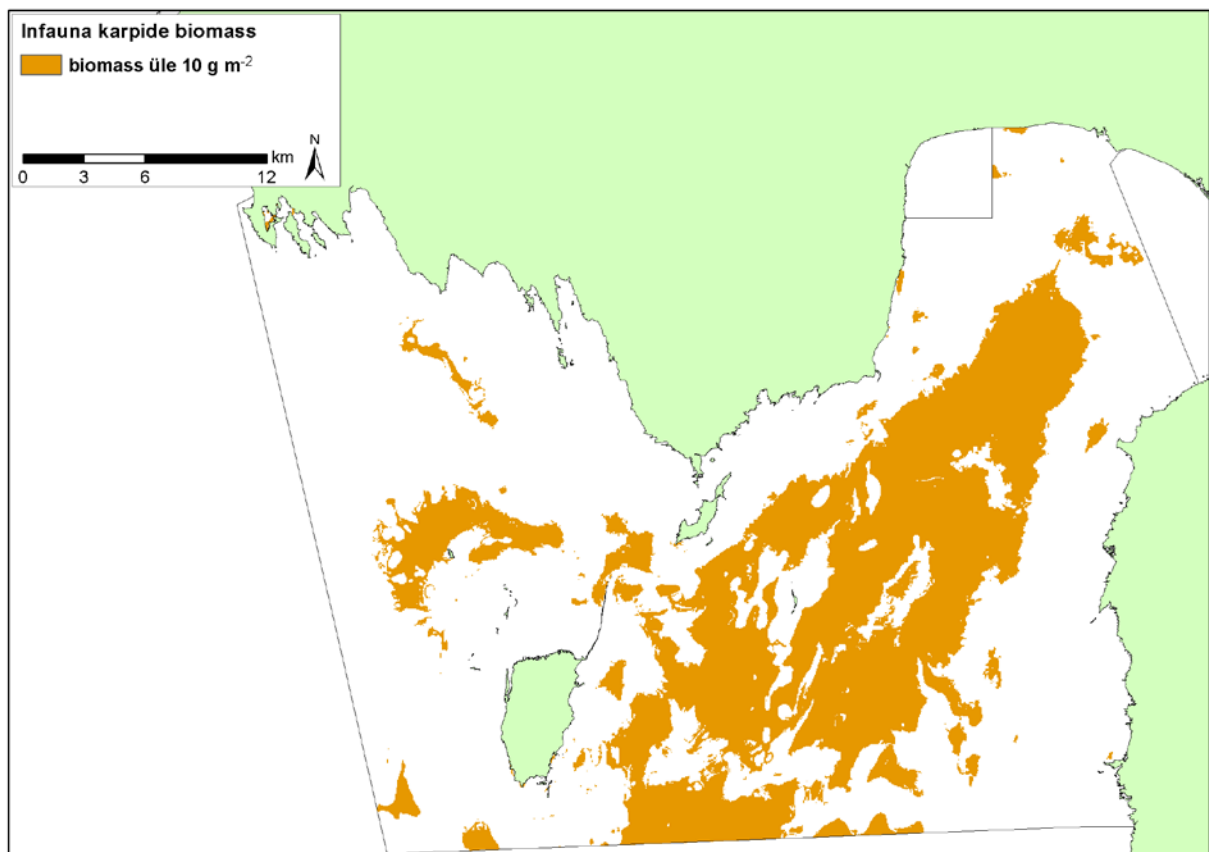
Joonis 3.2.2.3. Substraadi pinnal elavate loomade (epifauna) summaarne katvus Liivi lahe uuringualal.



3.2.2.4. Infauna karpide biomass Hiiumaa uuringualadel. Näidatud ainult piirkondi, kus biomass ületab 10 g m^{-2} , mis on liivamadalate määratlusel piiriks.



3.2.2.5. Infauna karpide biomass Saaremaa uuringualadel. Näidatud ainult piirkondi, kus biomass ületab 10 g m⁻², mis on liivamadalate määratlusel piiriks.



3.2.2.6. Infauna karpide biomass Liivi lahe uuringualal. Näidatud ainult piirkondi, kus biomass ületab 10 g m⁻², mis on liivamadalate määratluse piiriks.

3.3. Loodusdirektiivi elupaigatüübid

Loodusdirektiivi lisa I elupaigatüüpide definitsioonide kohaselt leidsid uuringualadel 3 elupaigatüüpi: mereveega üleujutatud liivamadalad (1110), mõõnaga paljanduvad mudased ja liivased laugmadalikud (1140) ning karid (1170). Kokku hõlmavad need 3 elupaigatüüpi 40% kogu uuritud alast (tabel 3.3.1).

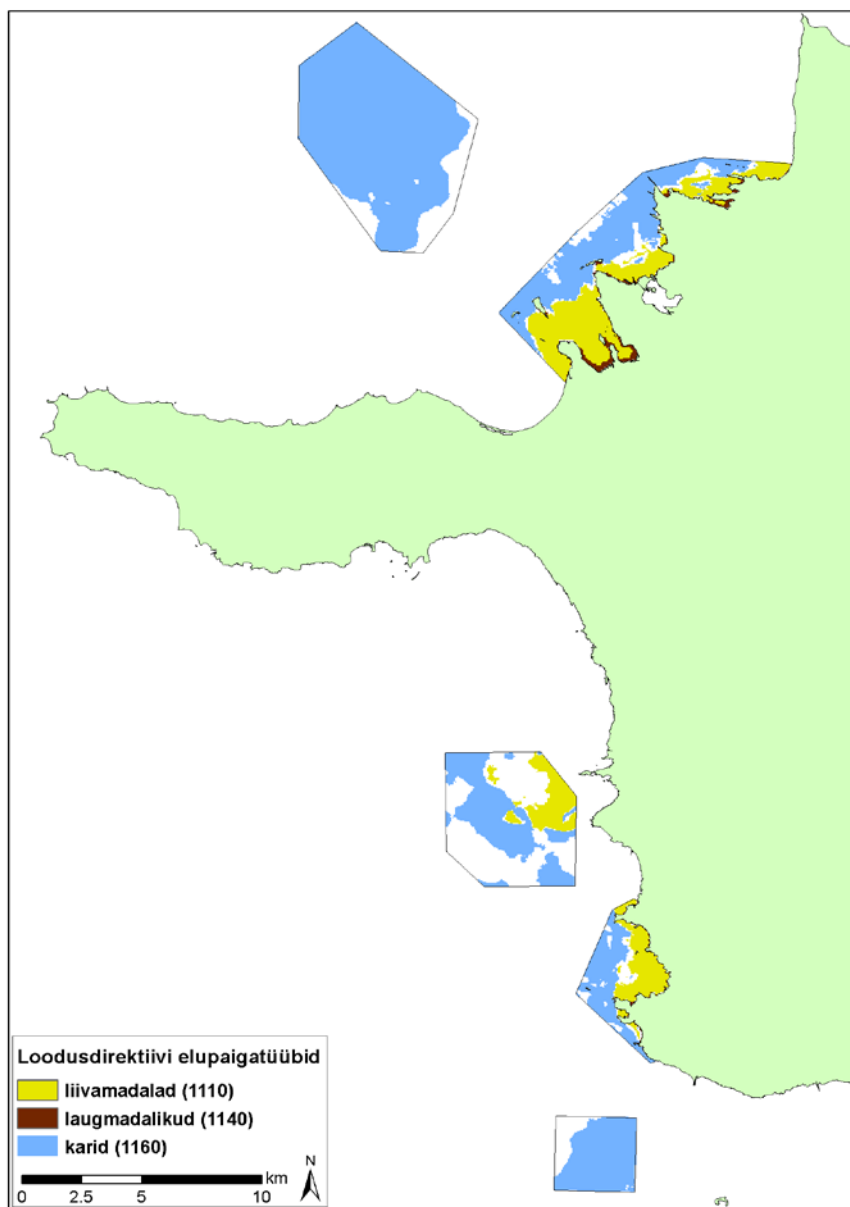
Tabel 3.3.1. Loodusdirektiivi elupaigatüüpide pindalad uuringualadel. Tabelis ei ole toodud geomorfoloogiliste üksustena eristatavad elupaigatüübid laiad madalad abajad ja lahed (1160) ning rannikulõukad (1150).

Piirkond	Uuringala pindala (km ²)	Elupaigatüüp	Elupaigatüübi pindala (km ²)	Elupaigatüübi osakaal kogu uuringualast (%)
Hiiumaa	129,4	Karid	79,9	61,7
		Laugmadalikud	1,5	1,1
		Liivamadalad	21,8	16,9
Liivi laht	1077,2	Karid	138,4	12,8
		Laugmadalikud	8,1	0,7
		Liivamadalad	201,6	18,7
Saaremaa	83,3	Karid	23,6	28,3
		Laugmadalikud	4,2	5,0
		Liivamadalad	37,2	44,7
Kokku	1289,8		516,2	40

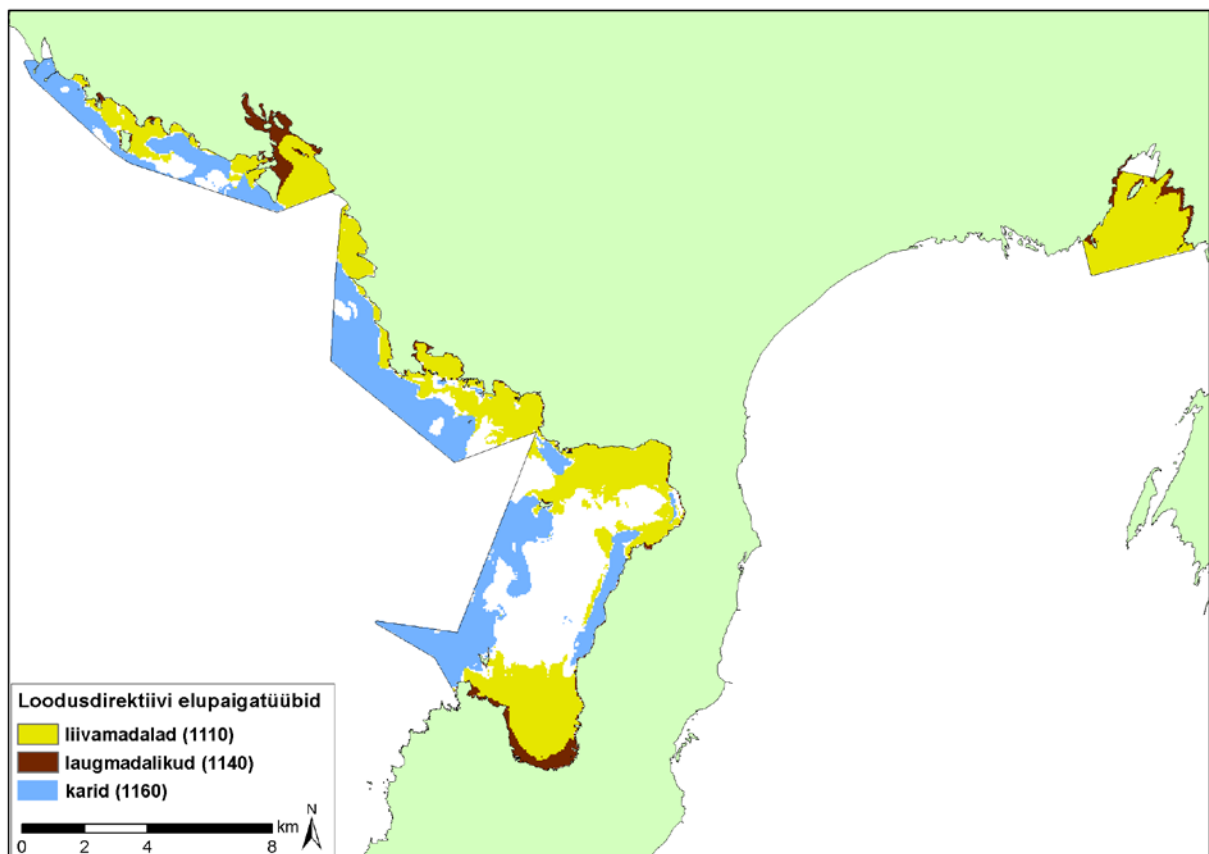
Liivamadalate tunnusliikideks on merepõhjale kinnituvad või vähese liikumisvõimega liigid, mis vajavad kasvupinnana liivast põhjasubstraati – kõrgemad taimed, mändvetikad ja sette sees elavad karbid. Liivamadalate tunnusliikide katvuse ja liiva domineerimisega põhjasubstraadis kaudu saadud liivamadalate elupaigatüübi levikukaardid (joonised 3.3.1-3.3.3) näitasid, et liivamadalad levisid madalates lainetuse eest varjatud merealadel. Liivamadalad levisid Hiiumaa uuringualade varjatud lahesoppides ning puudusid Hiiumaa madala hoiualal ja Raudrahu looduslal (joonis 3.3.1). Saaremaa uuringualadel oli liivamadalate levik kõige ulatuslikum - 45% kogu uuringualast, kus nad samuti esinesid varjatud lahesoppides. Kuressaare lahe hoiualal moodustasid liivamadalad 97% hoiuala pindalast (joonis 3.3.2). Liivi lahes moodustasid liivamadalad 19% uuringuala pindalast ning olid ülekaalus rannalähedastel äärealadel ning Kihnu saare loode ja kirde osades (joonis 3.3.3).

Karid on elupaigatüüp, kus kivist merepõhja asustab mõni elupaigatüübi tunnusliik. Tunnusliikide katvuse ja kõva põhjasubstraadi kaudu saadud karide elupaigatüübi levikukaardid näitasid, et karid levisid eelkõige uurimispiirkondade lainetusele avatumates osades. Karide elupaigatüübi levik oli ulatuslikum Hiiumaa piirkonnas (joonis 3.3.3, tabel 3.3.1), kus elupaigatüüp moodustas peaaegu 62% uuritud aladest. Elupaigatüüp oli enam levinud Hiiumaa madala hoiualal ja Raudrahu looduslal, kus karid moodustasid enam kui 80% kaitsealadest. Saaremaal levisid karid 28% uuringualade pindalast ning täiesti puudusid Kuressaare lahe hoiualal (joonis 3.3.2). Liivi lahes moodustasid karid peaaegu 13% uuringuala pindalast ning olid ülekaalus piirkonna lääneosas (joonis 3.3.3, tabel 3.3.1).

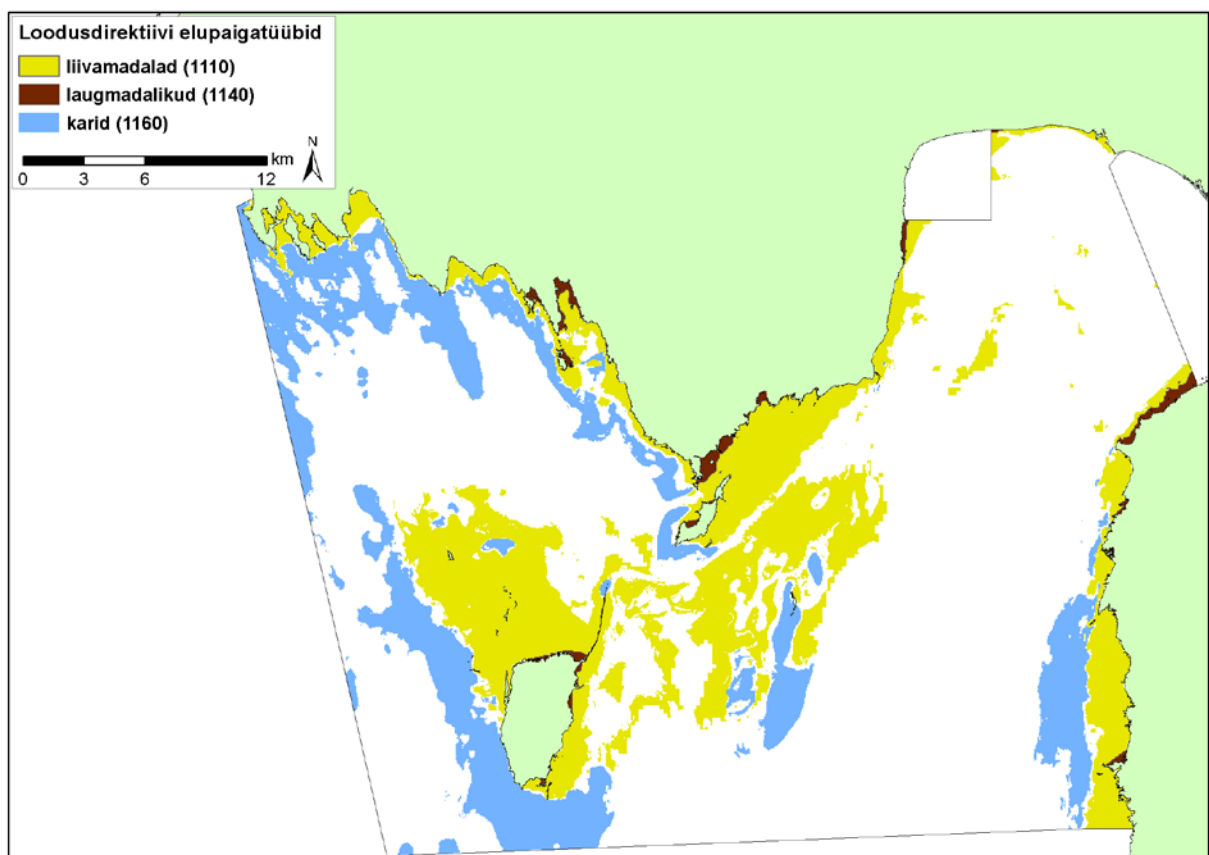
Laugmadalike levikut on hinnatud geograafilises infosüsteemis ülekatteanalüüsi abil kus elustiku komponenti pole arvestatud. Elupaigatüübi all käsitletakse liivaseid, saviseid ja mudaseid laugeid ja varjatuid mererandu, mis ajuti paguveega paljanduvad. Seda elupaigatüüpi levis kõige rohkem Saaremaa uurimispiirkonnas, kus laugmadalikud moodustasid 5% uuringualadest. Kõige enam esines laugmadalikke Karala-Pilguse hoiuala idaosas Pilguse lahes ning Kaugatoma-Lõu hoiuala lõunaosas Lõu lahes. Hiiumaa ja Liivi lahe uuringualadel moodustasid laugmadalikud ainult kuni 1% uuringualade pindalast (joonised 3.3.1-3.3.3).



3.3.1. Loodusdirektiivi elupaigatüüpide levik Hiiumaa kaardistuspiirkonnas.



3.3.2. Loodusdirektiivi elupaigatüüpide levik Saaremaa kaardistuspiirkonnas.



3.3.3. Loodusdirektiivi elupaigatüüpide levik Liivi lahe kaardistuspiirkonnas.

4. KOKKUVÕTE

Käesoleva uuringu eesmärgiks oli anda ülevaade Liivi lahe kirdeosa, Hiiumaa lääneranniku ning Saaremaa edelaosa ja Kuressaare lahe piirkondade põhjaelustiku liigilise koosseisu ja leviku iseärasuste kohta ning kaardistada Euroopa Liidu loodusdirektiivi lisa 1 mereliste elupaikade levikut. Inventeerimata Natura 2000 võrgustiku merealadest kaardistati üle 1289 km². Kaardistamiseks kasutati mitmekiirelist sonarit, allveevideot, sukeldumistechnikat ja kvantitatiivseid sampleid.

Uuringualade ulatuses on tegemist suhteliselt heterogeense keskkonnaga, kus keskkonnatingimused varieeruvad väga suurel määral. Tervikuna iseloomustas inventeeritud alasid kõrge liigirikkus ja keskmine kogubiomass.

Looduskaitse väärtusega EL loodusdirektiivi lisa 1 elupaigatüüpidest leidub uuringupiirkondades mereveega üleujutatud liivamadalaid (kood 1110), mõõnaga paljanduvaid mudaseid ja liivaseid laugmadalikke (kood 1140) ning karisid (kood 1170). Kuna varasemates töödes on fikseeritud laiade madalate lahtede ja abajate (kood 1160) ning rannikulõugaste (kood 1150) leviku nimekirjad, mida käesolevas töös neid eraldi välja ei toodud. Kivise põhjasubstraadiga avatumad piirkonnad, mida asustasid põisadru, agarik, niitjad vetikad ja sessiilse eluviisiga loomastik olid klassifitseeritavad loodusdirektiivi karide elupaigatüübina. Karid levisid ligi viiendikul kogu uuringualast. Liivase põhjasubstraadiga lainetuse eest varjatud piirkonnad, kus esinesid liivamadalate tunnustaksonid – mändvetikad, kõrgemad taimed ja infauna karbid, olid klassifitseeritavad liivamadalate elupaigatüübina. Liivamadalaid esines viiendikul kogu uuringualast. Laugmadalikke leidis madalates varjatud pehme settega lahesoppides ja seda elupaigatüüpi esines 1% uuringualast.

5. SUMMARY

The objective of the study was to map the composition and distribution of the marine benthos and marine habitat types of the EU habitat directive in the unmapped sites belonging to the Natura 2000 network. During this extensive study over 1289 km² of the marine areas were mapped in the areas of the North-Eastern Gulf of Riga, Western Hiiu and South-Western Saaremaa as well as Kuressaare Bay. Field work was conducted using multibeam sonar, underwater video, scubadivers and quantitative bottom samplers.

The study areas were relatively heterogeneous with high variability of environmental conditions and high species diversity. Habitat types of the EU habitat directive were represented in the study areas by sandbanks which are slightly covered by sea water all the time (code 1110), mudflats and sandflats not covered by seawater at low tide (code 1140) and reefs (code 1170). Exposed areas dominated by hard substrate which were inhabited by *Fucus vesiculosus*, *Fucus radicans*, *Furcellaria lumbricalis*, filamentous algae and sessile epifauna were categorized as reef habitat type. Reefs were found on about one fifth of the total study area. Sheltered areas dominated by sandy substrate which were inhabited by charophyte species, vascular plants and infauna were classified as sandbanks. Sandbanks were found on about one fifth of the total study area. Mudflats were found in the shallow sheltered bays dominated by soft bottom. This habitat type was found on 1% of the total study area.

KIRJANDUS

- Bendtsen J, Gustafsson KE, Söderkvist J, Hansen JLS (2009) Ventilation of bottom water in the North Sea–Baltic Sea transition zone. *J. Mar. Syst.* 75, 138–149.
- Breiman L, Cutler A, Liaw A, Wiener M (2015) randomForest: Breiman and Cutler's random forests for classification and regression. R package version 4.6-12. <http://cran.r-project.org/web/packages/randomForest/>
- Elith J, Graham CH, Anderson RP et al (2006) Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29, 129-151.
- European Commission (2013) Interpretation manual of European Union habitats. Interpretation Manual - EUR 28. European Commission, DG Environment.
- HELCOM. 2015. Manual for Marine Monitoring in the COMBINE Programme of HELCOM. <http://www.helcom.fi/action-areas/monitoring-and-assessment/manuals-and-guidelines/combine-manual>
- Herkül K, Lauringson V, Kotta J (2016) Specialization among amphipods: the invasive *Gammarus tigrinus* has narrower niche space compared to native gammarids. *Ecosphere* (in press)
- Liaw, A., and M. Wiener. 2002. Classification and Regression by randomForest. *R News* 2(3):18–22.
- Nikolopoulos A, Isæus M (2008) Wave exposure calculations for the Estonian coast. AquaBiota Water Research.
- Paal J (2007) Loodusdirektiivi elupaigatüüpide käsiraamat. Teine, parandatud ja täiendatud trükk. Auratrükk, Tallinn.
- Remm K, Remm J, Kaasik A (2012) Ruumiliste loodusandmete statistiline analüüs. Õpik-käsiraamat. Tartu Ülikooli Ökoloogia ja Maateaduste Instituut. Tartu
- The R Foundation for Statistical Computing (2015) R version 3.2.2. <http://www.r-project.org/>
- TÜ Eesti Mereinstituut (2014a) Keskkonnainvesteeringute Keskuse poolt rahastatud projekti nr 3125 „Sonarisüsteemi rakendamise meetodika loomine merepõhja elupaikade ja füüsikaliste omaduste kaardistamiseks“ aruanne/juhendmaterjal.
- TÜ Eesti Mereinstituut (2014b) Merepõhja elupaikade definitsioonide tõlgendamise juhend. Teostatud Keskkonnainvesteeringute Keskuse poolt rahastatud projekti „Eesti merealade planeerimiseks looduskaitse teabe koondamine, sh. territoriaalmere mereelupaikade modelleerimine“ raames.
- TÜ Eesti Mereinstituut (2014c) Eesti territoriaalmere merepõhja elupaikade ja liikide leviku modelleerimine. Teostatud KIK projekti „Eesti merealade planeerimiseks looduskaitse teabe koondamine, sh. territoriaalmere mereelupaikade modelleerimine“ raames.
- Wood SN (2011) Fast stable restricted maximum likelihood and marginal likelihood estimation of semiparametric generalized linear models. *Journal of the Royal Statistical Society (B)* 73(1):3-36
- Wood S (2015) mgcv: Mixed GAM Computation Vehicle with GCV/AIC/REML smoothness estimation. R package version 1.8-9. <http://cran.r-project.org/web/packages/mgcv>