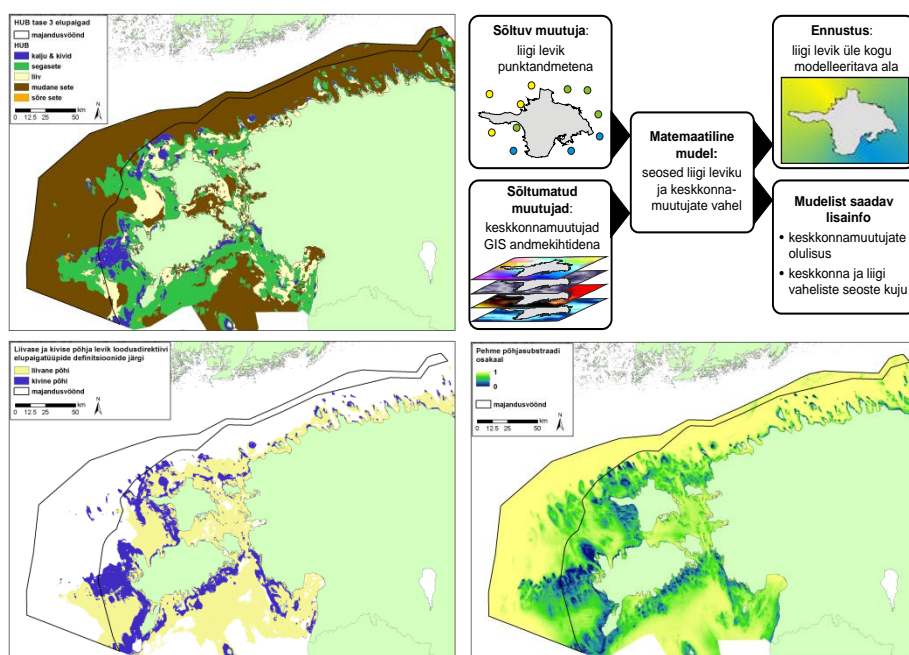


LOODUSDIREKTIIVI MERELISTE ELUPAIGATÜÜPIDE JA EUNIS TASE 3 ELUPAIKADE LEVIKU MODELLEERIMINE EESTI MAJANDUSVÖÖNDIS

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. Uuringupiirkond.....	5
2.2. EUNIS tase 3	6
2.3. EL loodusdirektiivi elupaigatüübid	9
2.4. Keskkonnamuutujad	12
2.5. Kaartide loomise meetodid.....	13
2.5.1. Suunatud modelleerimine	13
2.5.2. Automaatne klassifitseerimine	14
2.5.3. Tulemuste valideerimine	16
3. TULEMUSED	17
3.1. EUNIS ja HUB tase 3.....	17
3.2. Loodusdirektiivi elupaigatüübid	19
4. KOKKUVÕTE	23
5. SUMMARY	24
KIRJANDUS.....	25
LISA 1	26

1. SISSEJUHATUS

Võrreldes merepõhjaga on maismaa reljeefi ja elupaikade kaardistamine tunduvalt kaugemale arenenud. Sellel on ka objektiivne põhjus – veesamba tõttu on võimatu või väga piiratud satelliidi- ja aerofotograafia kasutamine, mis võimaldab maismaa kaardistamise jaoks saada kiiresti, suure detailsusega, ruumiliselt katkematut ja suuri pindalasid katvat informatsiooni suhteliselt madalate kuludega. Info merepõhja looduse kohta on enamasti punktipõhine – teadmised pärinevad punktidest, mida on merel külastatud ja kus on teostatud kohapealsed vaatlused. Sellised punktvaatlused katavad Eesti merealast äärmiselt väikese ala. Lisaks väikesele pindalale on punktipõhised teadmised ka ruumiliselt ebaühtlaselt jagunenud. Kõrgema ruumilise tihedusega on teadmisi piirkondadest, kus on teostatud spetsiaalseid merepõhja elustiku ja elupaikade kaardistamisi. Merepiirkondade kohta, kus taolisi uuringuid teostatud ei ole, teadmised põhjelustikust kas puuduvad või põhinevad mõnel üksikul proovil. Olukorras, kus informatsioon merepõhja looduse kohta on ruumiliselt hõre ja ebaühtlane, on keeruline hinnata looduskaitseoluliste elupaigatüüpide ja liikide levikut tervikuna kogu merealal. Üheks võimaluseks saada üldistav hinnang kogu merealale on kasutada matemaatilist ennustavat modelleerimist. Modelleerimise põhimõtteks on olemasolevate abiootiliste keskkonnaandmete, näiteks mere füüsikaliste ja keemiliste muutujate, alusel huvipakkuvate liikide ja elupaikade leviku ennustamine piirkondades, kus reaalsed vaatlused liikide ja elupaikade kohta puuduvad või on teostatud hõredalt. Modelleerimise läbiviimise eelduseks on põhjusliku või korrelatiivse seose olemasolu liikide ja elupaikade ning abiootiliste keskkonnamuutujate vahel.

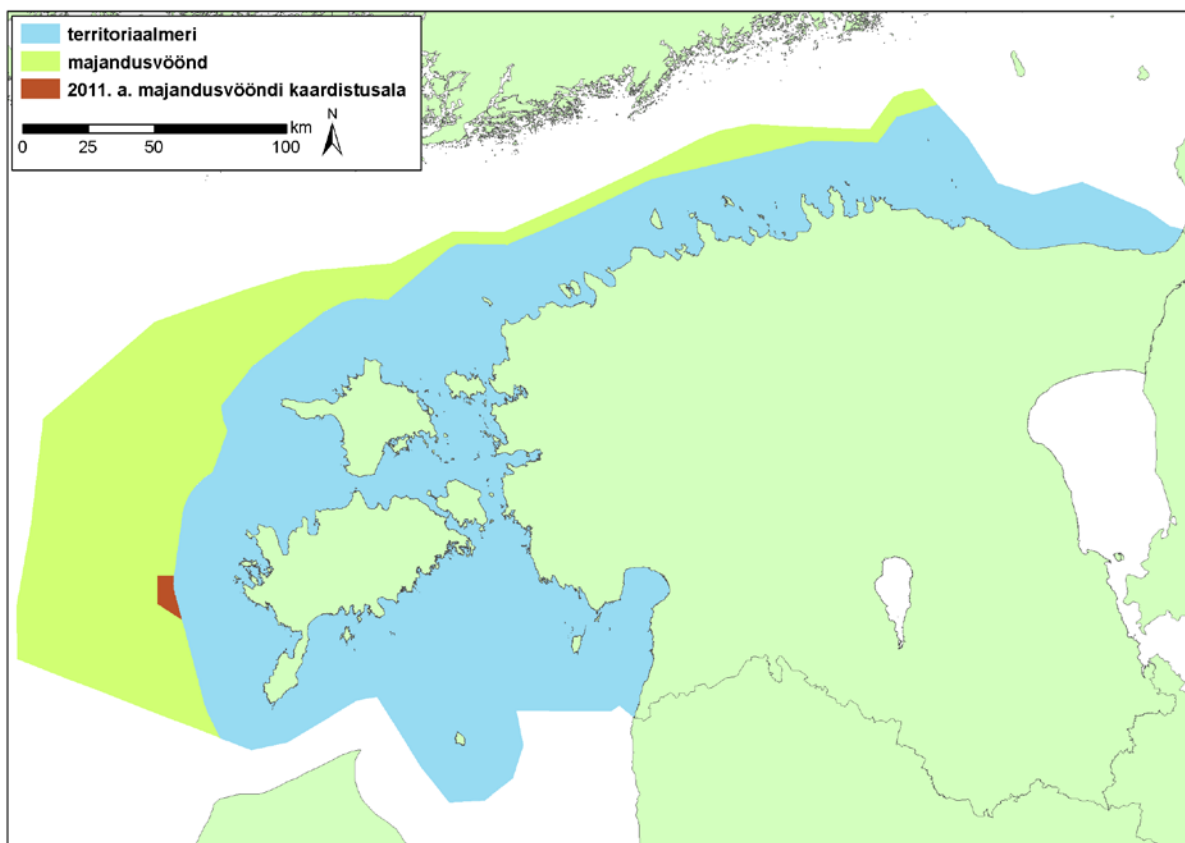
Vastavalt merealapiiride seadusele (Riigiteataja 1993) on Eesti merealad jagatud kolmeks: sisemeri, territoriaalmeri ja majandusvöönd. Sisemeri on mereala, mis asub territoriaalmeri lähtejoone ja ranniku vahel ning territoriaalmeri lähtejoon on mõtteline joon, mis ühendab omavahel maismaa, saarte, laidude, kaljude ja veest väljaulatuvate üksikute kivide rannikust kõige kaugemal asuvaid punkte. Territoriaalmeri on sisemerega külgnev mereala, mille laius on 12 meremiili (joonis 1.1). Majandusvöönd on väljaspool territoriaalmerd asuv ja viimasega külgnev mereala, mille piirid on kindlaks määratud Eesti Vabariigi ja naaberriikide vaheliste lepingutega (joonis 1.1).

Eesti majandusvöönd on võrdlemisi suur (ca 11300 km²) moodustades ligi kolmandiku kogu riigi merealast. Vaatamata suurele pindalale on majandusvööndi loodust väga vähe uuritud. Enne 2011. aastat oli põhjaelustiku kohta teadmisi vaid üksikutest proovipunktidest. 2011. aastal viidi läbi esimene merepõhja elustiku ja elupaikade kaardistamine majandusvööndi kõige madalamas osas Saaremaast läänes (joonis 1.1).

Käesoleva töö eesmärgiks oli matemaatilise modelleerimise abil saada merepõhja elupaikade leviku hinnang Eesti majandusvööndis. Selleks koondati kogu saadaolev teadmine Eesti merelooduse kohta, nii punktandmed merepõhja kohta kui lai valik erinevaid füüsikalisi ja keemilisi keskkonnamuutujaid, mille kohta on info üle kogu mereala. Koondatud info alusel loodi matemaatiliste mudelite abil seosed merepõhja substraadi ja elustiku punktandmete ja kogu mereala katvate keskkonnaandmete vahel ning nende seoste abil modelleeriti merepõhja info üle kogu mereala. Modelleerimise lõppväljunditeks olid HELCOM HUB elupaigaklassifikatsiooni tase 3 elupaikade (EUNIS tase 3 Läänemere ekvivalent) ja loodusdirektiivi elupaigatüüpide leviku kaardid Eesti majandusvööndi kohta.

Töö teostasid:

Kristjan Herkül (TÜ Eesti Mereinstituudi merebioloogia osakond)
Miles Macmillan-Lawler, Peter Harris (GRID-Arendal, Norra)



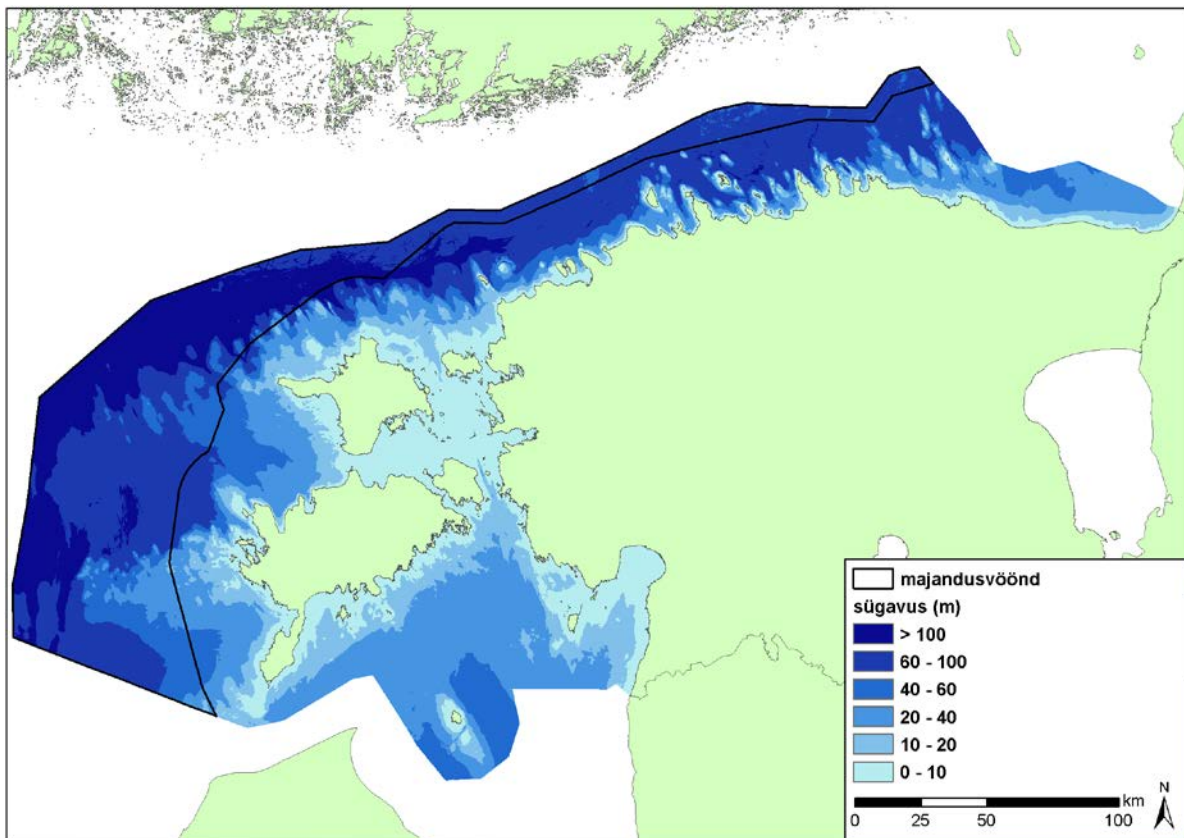
Joonis 1.1. Eesti merealad. Eraldi polügooniga on näidatud seni ainuke majandusvööndi merepõhja kaardistamise piirkond (teostatud 2011. aastal).

2. MATERJAL JA METOODIKA

2.1. Uuringupiirkond

Kuna majandusvööndist on väga vähe andmeid, siis kaasati mudelite sisendandmetena informatsioon kogu Eesti merealalt. Mudelennustused toodeti samuti kogu Eesti mereala kohta, mis võimaldas paremini hinnata tulemuste adekvaatsust.

Eesti majandusvööndi pindala on ligikaudu 11300 km². Suurim majandusvööndi osa asub Läänemeres avaosas, kus vööndi põhja-lõunasuunaline ulatus on ca. 170 km ja ida-lääne-suunaline ulatus kuni ligikaudu 70 km. Soome lahes on majandusvöönd palju kitsam – ca. 6-12 km (joonis 2.1.1). Võrreldes territoriaalmerega on majandusvööndi meri tunduvalt sügavam. Kui territoriaalmere keskmine sügavus on ligikaudu 30 m, siis majandusvööndi keskmine sügavus on ligikaudu 80 m (joonis 2.1.1). Majandusvööndi sügavuse miinimum on ligikaudu 20 m ja see välistab enamiku taimeliikide leviku majandusvööndis.



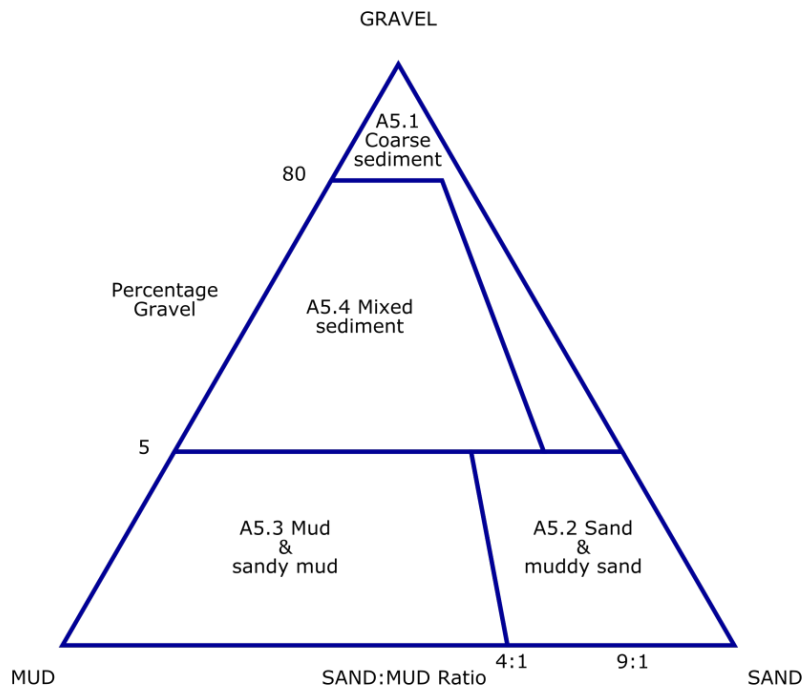
Joonis 2.1.1. Eesti mereala sügavus.

2.2. EUNIS tase 3

EUNIS elupaikade klassifikatsioon on üle-Euroopaline süsteem elupaikade identifitseerimiseks ühistel alustel. Tegemist on hierarhilise süsteemiga, mis katab kõik elupaigatüübid nii maismaal, magevees kui meres. Süsteemi eesmärgiks on luua ühtne süsteem andmete harmoniseerimiseks ja koondamiseks üle-Euroopalisel skaalal (Davies 2004).

EUNIS tase 1 määratleb üldise ökosüsteemi tüübi ja kõik merepõhja elupaigad kuuluvad kategooriasse A. Merelised elupaigad (*Marine habitats*). Tase 2 merelistel elupaikadel kategoriseerib vertikaalse sügavusvööndi ja üldise substraadi tüübi, näiteks A1. Litoraali kivine põhi (*Littoral rock and other hard substrate*), A5. Sublitoraali setted (*Sublittoral sediment*), A7. Pelaagiline veesammas (*Pelagic water column*).

EUNIS substraaditüüpide klassifitseerimiseks kasutati modifitseeritud Folk'i kolmnurka (Mcbreen & Askew 2011). Esimeses astmes määratleti, kas tegemist on pehme substraadiga (A5. Sublitoraali setted) või kõva substraadiga (A3. Infralitoraali kõva substraat, A4. Tsirkalitoraali kõva substraat). Kõva substraadina määratleti substraadi koosseis, kus väikeste kivide, suurte kivide ja kalju kombineeritud osakaal ületab 30%. Setteline substraat klassifitseeriti neljaks substraaditüübiks modifitseeritud Folk'i kolmnurga alusel (joonis 2.2.1). A5.1. Sõre sete (*coarse sediment*) defineeriti substraadina, milles kruusa osakaal oli vähemalt 80% või kui kruusa osakaal oli vähemalt 5% ning liiva-muda suhe oli kõrgem kui 9:1. A5.2. Liiv ja mudane liiv (*sand & muddy sand*): kruusa osakaal alla 5% ja liiva-muda suhe kõrgem kui 4:1. A5.3. Muda ja liivane muda: kruusa vähem kui 5% ja liiva-muda suhe vähem kui 4:1. A5.4. Segasete (*mixed sediment*): kruusa 5 kuni 80% ja liiva-muda suhe rohkem kui 9:1.



Joonis 2.2.1. Modifitseeritud Folk'i kolmnurk setteliste substraaditüüpide klassifitseerimiseks (Mcbreen & Askew 2011).

EUNIS tase 3 kõva substraadi infra- ja tsirkalitoraali vööndid jaotatakse vastavalt üleminekule footilistest kooslustest afootilistele kooslustele ehk vetikate domineerimiselt sessiilsete selgrootute domineerimisele. Nende vööndite eristamiseks kasutati käesoleva töö

raames modelleeritud footilise merepõhja leviku andmestikku. Mõlema jaotuse kõvad substraadid jaotatakse omakorda kolme kategooriasse lainetusele avatuse gradiendil: varjatud, mõõdukalt avatud, avatud. Lainetusele avatuse andmed saadi portaalist EMODnet Seabed Habitats (<http://www.emodnet-seabedhabitats.eu>). Lainetusele avatuse klasside ulatused on järgmised: varjatud 0 – 60000, mõõdukalt avatud 60000-680000, avatud > 680000. Tegemist on pinnalainetuse mudeliga (*simplified wave model*, SWM), mille arvutus põhineb laineteekonna pikkusel ning tuule suuna ja kiiruse andmetel (Isæus 2004).

EUNIS klassifikatsiooni merelised elupaigad on välja töötatud eelkõige Briti saarte näitel ja kuna Läänemeres looded puuduvad, siis on EUNIS süsteemi korrektne rakendamine Läänemere puhul võimatu. Selleks, et Läänemere mereelupaikasid EUNIS hierarhiasse sobitada töötati HELCOM-i juhtimisel ja kõigi Läänemere riikide ühise töö tulemusel välja Läänemere EUNIS-e analoog – HUB (HELCOM Underwater Biotopes) süsteem (HELCOM 2013). Seetõttu on käesolevas töös kasutatud HUB tase 3 definitsioone ehk EUNIS Läänemere ekvivalenti. HUB tase 3 defineerib põhjasubstraadi tüübid (tabel 2.2.1).

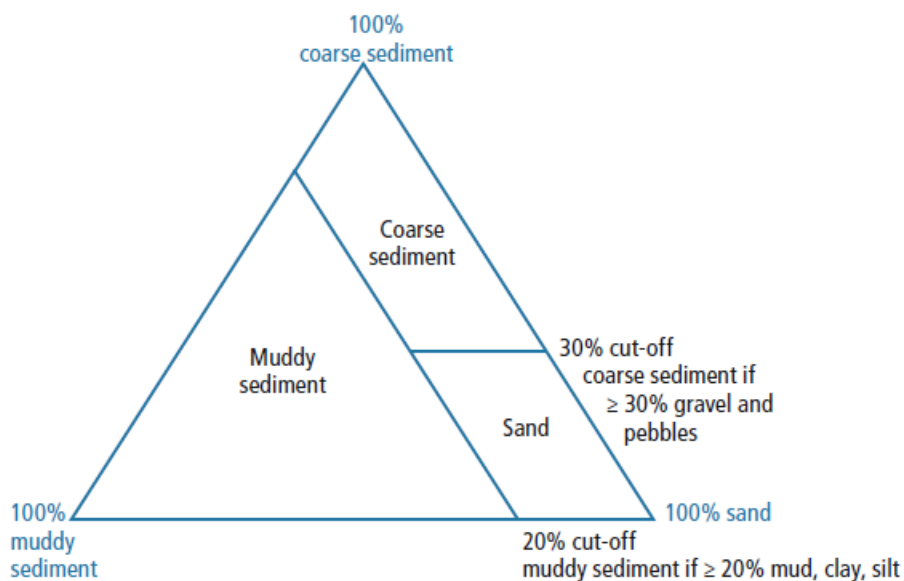
Tabel 2.2.1. HUB klassifikatsiooni tase 3 substraaditüübid ning nende esinemine Eesti mereala proovipunktides TÜ Eesti Mereinstituudi põhjaelustiku andmebaasi alusel

Substraaditüüp	Pehme/ kõva	Substraaditüüp originaalmaterjalis*	Esinemine Eestis	Esinemine Eesti majandusvööndis
kalju ja kivid	kõva	<i>rock and boulders</i>	+	+
kõva savi	kõva	<i>hard clay</i>	+	
mergel	kõva	<i>marl rock</i>		
maerl (koralliinsed punavetikad)	kõva	<i>maerl beds</i>		
karbikojad	kõva	<i>shell gravel</i>		
raudmangaan- konkretsioonid	kõva	<i>ferromanganeese concretion bottoms</i>		
turvas	kõva	<i>peat bottoms</i>		
mudane sete	pehme	<i>muddy sediment</i>	+	+
sõre sete	pehme	<i>coarse sediment</i>	+	+
liiv	pehme	<i>sand</i>	+	+
segasete		<i>mixed sediment</i>	+	+
inimtekkelised kõvad substraadid	kõva	<i>hard anthropogenically created substrates</i>		
inimtekkelised pehmed substraadid	pehme	<i>soft anthropogenically created substrates</i>		

*HELCOM 2013

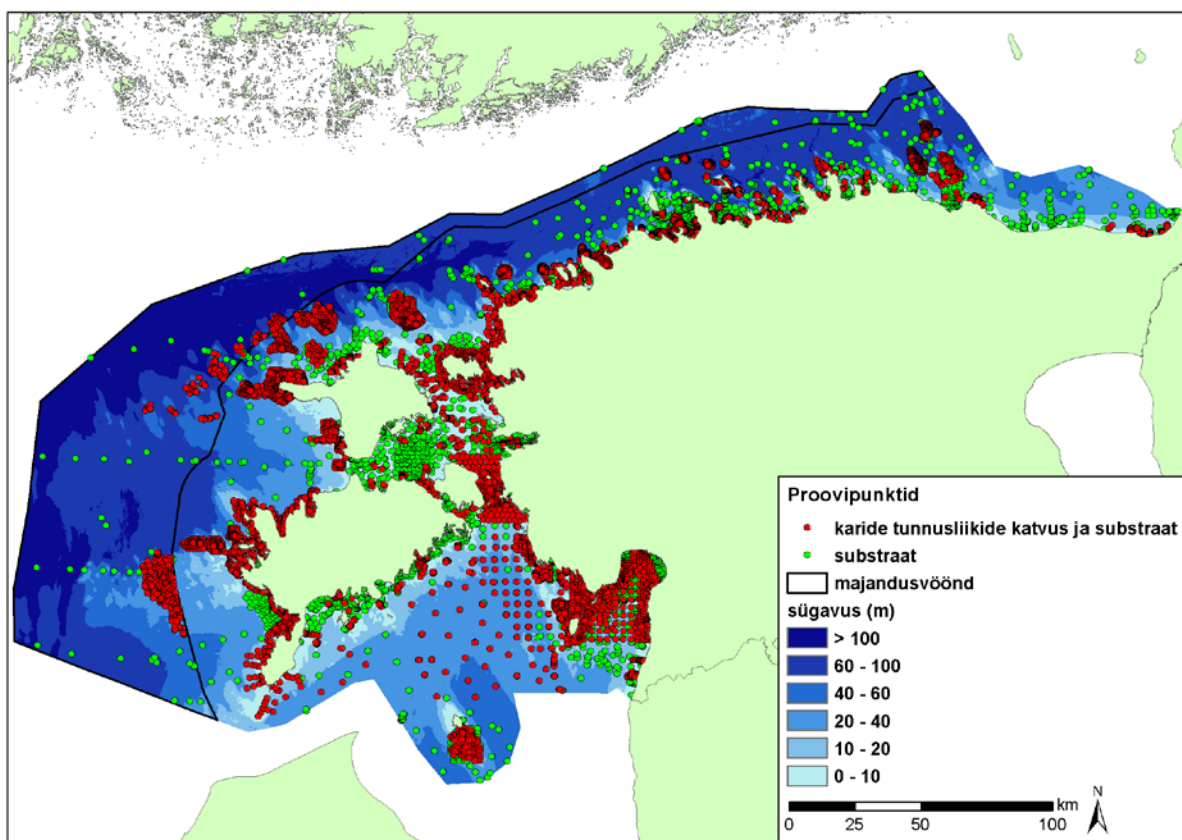
HUB tase 3 substraaditüüpide määramisel on seatud esimeseks lahkemiskohaks $\geq 90\%$ katvuse lävend, kus tehakse kindlaks, kas mõni substraaditüüp on katvusega $\geq 90\%$. Kui mõni selline tüüp esineb, siis omistatakse punktile vastav substraaditüüp. Kui pehmed substraaditüübid summaarselt moodustavad $\geq 90\%$, siis järgitakse järgmist skeemi (joonis 2.2.2):

1. kui muda, savi ja kõdu (< 0.063 mm) summaarne katvus on rohkem kui 20%, siis on tegemist mudase settega;
2. kui tegemist ei ole mudase settega, siis
 - a) kui kruusa ja klibu (2 - 63 mm) katvus ületab 30% kruusa, klibu ja liiva summaarsest proportsioonist, siis on tegemist sõreda settega;
 - b) kui ei, siis on tegemist liivaga (0,063 - 2 mm).



Joonis 2.2.2. HELCOM HUB setteliste substraaditüüpide eristamise diagramm (HELCOM 2013).

Põhjasubstraadi sisendandmed modelleerimiseks saadi TÜ Eesti Mereinstituudi põhjaelustiku andmebaasist. Kokku kasutati põhjasubstraadi infot rohkem kui 16000 punktist (joonis 2.2.2).



Joonis 2.2.2. Modelleerimiseks kasutatud põhjasubstraadi ja –elustiku proovipunktide paiknemine.

2.3. 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).

Rannikust kaugel avamere tingimustes on välistatud jõgede lehtersuudmete, laugmadalike, rannikulõugaste ning laiade madalate abajate ja lahtede esinemine, sest kõik need elupaigatüübid on vahetult seotud rannajoonega. Seega on Eesti majandusvööndis potentsiaalselt võimalik ainult liivamadalate ja karide esinemine. Loodusdirektiivi elupaigatüüpide definitsioonid on Euroopa Komisjoni poolt välja antud juhendmaterjalides (European Commission 2013) väga üldist laadi ja vähedetailsed jättes võimalusi erinevatele interpretatsioonidele. Aruandes Merepõhja elupaikade definitsioonide tõlgendamise juhend (TÜ Eesti Mereinstituut 2014b) on toodud praktiliste definitsioonide ettepanekud kuidas loodusdirektiivi elupaigatüüpe eristada merepõhja kaardistamise töödes. Toodud definitsioone on kasutatud ka käesolevas töös ning vastavad karide ja liivamadalate määratlused on toodud alljärgnevalt.

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

Miimumsügavus: ei ole piiratud.

Maksimumsügavus: 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 $\geq 10\%$ 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

perekond 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.*)
hariilik 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)**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 $\geq 10\%$.

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 percurta*, *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.

Liivamadalate ja karide elupaigatüübi leviku hindamiseks modelleeriti mitmeid sisendkihte. Kuna majandusvöönd on rannikumerega võrreldes väga sügav, siis liivamadalate potentsiaalne levik majandusvööndis on väga piiratud. Seetõttu modelleeriti esmalt footilise merepõhja ulatus. Footiliseks merepõhjaks on põhja see osa, kus on võimalik taimede kasv. Footilise tsooni piiriks loetakse valguse hulka, mis on vähemalt 1% veepinnale langevast kiirgusest. Muutuja on vajalik liivamadalate elupaigatüübi sügavusleviku piiritlemiseks. Sõltuva muutuja sisendandmetena kasutati TÜ EMI veekeemia ja –füüsika andmebaasist pärit läbipaistvuse andmeid (Secchi sügavus). Sõltumatuteks muutujateks olid tabelis 3 toodud keskkonnamuutujad ja käesoleva uuringu raames modelleeritud pehme sette osakaal. Secchi sügavus arvutati footilise tsooni sügavuseks ümber korrutades seda kolmega (Baretta-Bekker et al. 1998). Korrutis annab sügavuse, kuhu jõuab ligikaudu 1% pinnale langevast valgusest. Kuna Secchi sügavused on hetkemõõtmised ja kirjanduse põhjal (nt. Markager & Sand-Jensen 1992) on teada, et taimestik võib levib sügavamale kui 1% piir, siis korrigeeriti footilise tsooni levikut tegeliku taimestiku sügavusleviku andmete abil (TÜ EMI põhjaelustiku andmebaasi).

Karide leviku hindamiseks modelleeriti kõva põhjasubstraadi levik ning karide tunnustaimede ja -loomade esinemine faktortunnusena (katvus < 10%, katvus ≥ 10%).

Karide elupaigatüübi tunnusliikide leviku modelleerimise sisendandmed saadi TÜ Eesti Mereinstituudi põhjaelustiku andmebaasist. Kokku kasutati infot ligi 11000 punktist (joonis 2.2.2).

2.4. Keskkonnamuutujad

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 allikatena kasutati TÜ EMI andmebaasides olevaid andmeid, kirjanduse allikaid ja teistest allikatest pärinevaid andmeid. Edasiseks modelleerimistöoks ettevalmistatud keskkonnaparameetrite rasterkihid koondati geoinfosüsteemi tarkvara *ESRI ArcGIS* geoandmebaasi. Koondatud keskkonnamuutujate nimekiri ja lisainfo on toodud tabelis 2.4.1.

Tabel 2.4.1. Modelleerimisel ja GIS-analüüsid kasutatud georefereeritud keskkonnamuutujate rasterkihid. Näidatud on andmete algallikad; algallikast pärinevaid andmed võivad olla töödeldud septsiifiliste 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; arvatud tuuleandmete ja laine tekkimise teekonna pikkuste (<i>fetch</i>) põhjal	5
klorofüll	Merevee pinnakihi klorofüllisisaldus; arvatud satelliitmõõtmistest perioodil 2009-2010	2
läbipaistvus	Vee läbipaistvus; hinnatud kui valguse vähenemise koefitsient, mis arvatud 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 soojal poolaastal; mudeli periood 1996-2005	3
temp_sat	Merevee pinnakihi keskmine temperatuur suvel (juuni-august); arvatud 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

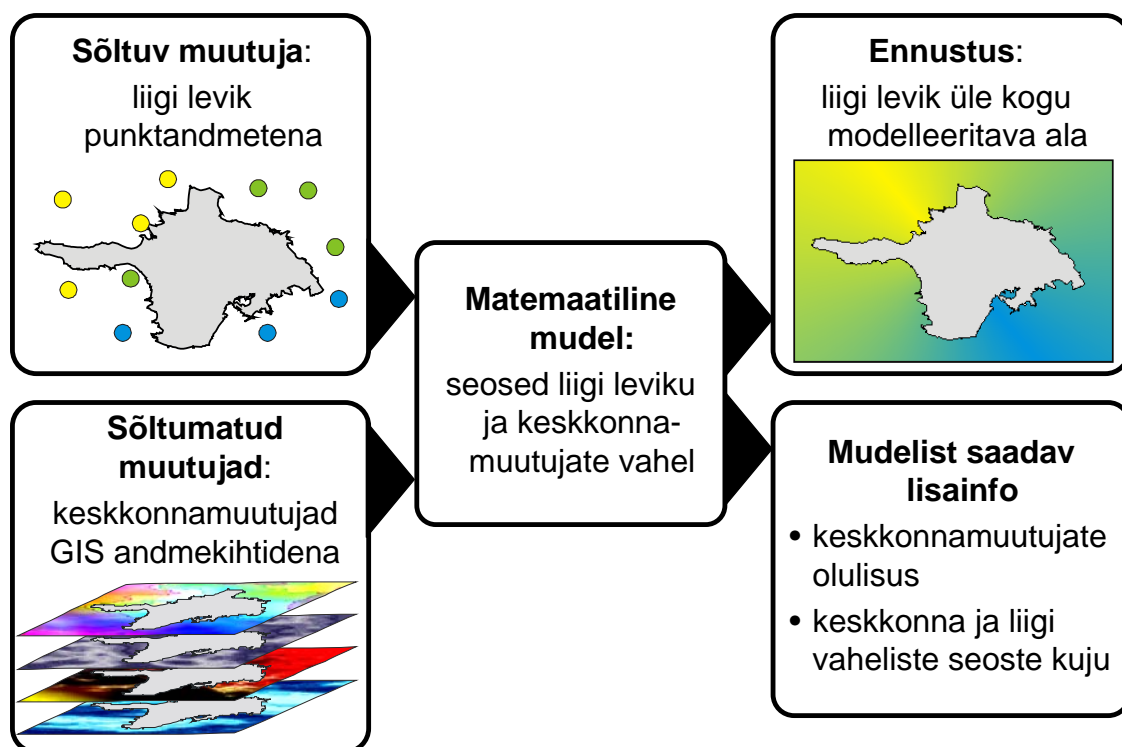
Allikad:

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

2.5. Kaartide loomise meetodid

2.5.1. Suunatud modelleerimine

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 2.5.1). Sõltumatuteks muutujateks kutsutakse mudelis muutujaid, mille väärtus mudelis ei sõltu ühestki teisest muutujast. Käesolevas töös on sõltumatuteks muutujateks erinevad abiootilised keskkonnaandmed (vt tabel 2.4.1). Sõltuvaks muutujaks kutsutakse mudelis tunnust, mida soovitakse modelleerida ja mille väärtus mudelis on seotud sõltumatute muutujate väärtustega. Käesolevas töös on mudelites sõltuvateks muutujateks substraaditüüpide, Secchi sügavuse ja elupaigatüüpide tunnusliikide levik punktandmetena. Sõltuvate muutujate sisendandmed saadi TÜ Eesti Mereinstituudi bentose ja hüdrograafia andmebaasidest (vt joonis 2.2.2).



Joonis 2.5.1. 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 2014, Herkül et al 2016) põhjal on teade, et tänapäevased mitteparameetriselised 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 osutada määravaks mudelennustuse visuaalne eksperthinnang. Käesolevas töös kasutati alljärgnevalt kirjeldatud modelleerimisalgoritme.

Üldistatud aditiivsed mudelid (**GAM**, *generalized additive models*) on mitteparameetiline meetod, mis võimaldab erineva kujuga seoste mittelineaarset modelleerimist silumisfunktsiooni abil (Wood 2011). Silumiskontrolli arvutamine toimus üldistatud ristvalideerimise meetodil (GCV, *generalized cross-validation*). Mudeli ülesobitumise (*overfitting*) vältimiseks piirati sõltumatute muutujate silumiskontrolli vabadusastmete arv maksimaalselt viiele. Algoritm lubati automaatset sõltumatute muutujate valikut mudelisse. GAM meetodit kasutati pehmete substraaditüüpide proportsiooni ja Secchi sügavuse modelleerimisel.

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 muutuse 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 arvuks 2000. RF meetodit kasutati pehmete substraaditüüpide proportsiooni, HUB tase 3 substraaditüüpide ning elupaigatüüpide tunnusliikide leviku modelleerimisel.

Tugivektormasin (**SVM**, *support vector machine*) on õpetusandmeid kasutav klassifitseerimismeetod, mis otsib mitmemõõtmelises andmeruumis jagavat pinda, mille lähimate andmepunktide (tugivektorite) omavaheline kaugus on kõige suurem (Remm et al 2012). SVM meetodit kasutati HUB tase 3 substraaditüüpide leviku modelleerimisel.

Kõik mudelarvutused viidi läbi vabavaralises statistikatarkvaras R 3.2.2 (The R Foundation for Statistical Computing 2015). GAM, RF ja SVM meetodite jaoks kasutati vastavalt järgmisi R-i pakette: *mgcv* (Wood 2015), *randomForest* (Breiman et al 2015) ja *e1071* (Meyer et al 2015).

Modelleeriti järgnevate muutujate levik Eesti merealal:

- footilise merepõhja levik (Secchi sügavuse kaudu);
- pehme põhjasubstraadi osakaal;
- EUNIS tase 3 Läänemere ekvivalendi HUB tase 3 substraaditüüp;
- kivise põhjasubstraadi (kõvade substraaditüüpide summaarne katvus > 50%) levik faktortunnusena;
- liivase põhjasubstraadi (liivafraktsioonide summaarne katvus > 50%) levik faktortunnusena.

2.5.2. Automaatne klassifitseerimine

Automaatse klassifitseerimise ehk klasteranalüüsi puhul ei sisestata matemaatilisse mudelisse sõltuva muutuja väärtusi vaid andmepunktid jagatakse automaatselt gruppidesse nende matemaatilise sarnasuse alusel. Käesolevas töös kasutati kaheastmelist klassifitseerimist. Esimeses astmes toimus mereala klasterdamine ruumiliselt eristuvateks segmentideks objektipõhise pildianalüüsi meetodil (**OBIA**, *object based image analysis*). Teises astmes kasutati esimeses astmes loodud segmente, arvutati segmentides sisendandmete statistikud ning nende alusel klasterdati segmentid automaatselt k-keskmiste meetodil.

OBIA analüüsi jaoks kasutati järgmisi georefereeritud andmekihihte:

- sügavus;
- merepõhja nõlva kalle;
- topograafilise positsiooni indeks (TPI);

- merepõhja konarlikkus;
- pehme põhjasubstraadi proportsioon.

Sügavusrater loodi 50 m piksli suurusega kasutades sisendina Eesti Veeteede Ametilt saadud sügavusmõõtmiste punktandmeid ja Läänemere batümeetria andmebaasi (Baltic Sea Hydrographic Commission 2015) tarkvaras *Geocap* (version 7). Kasutati kaalutud keskmise algoritmi 50 m sammuga liikuva aknaga.

Merepõhja nõlva kalle arvutati sügavusrastri alusel kraadides kasutades *ArcGIS* geoinfosüsteemi tarkvara lisamoodulit *DEM Surface Tools toolset for ArcGIS 10.3*.

TPI arvutati kahes ruumiraadiuses – 25 pikslit (TPI25) ja 50 pikslit (TPI50). TPI on positsiooni indeks, mis mõõdab piksli suhtelist paiknemist sügavuskaardil võrrelduna naabuskaardiga etteantud raadiuses. Kaks raadiust valiti selleks, et paremini kajastada merealal esinevaid topograafilisi elemente. TPI arvutamiseks kasutati *ArcGIS* geoinfosüsteemi lisamoodulit *Land Facet Corridor Designer in ArcGIS*.

Merepõhja konarlikkus arvutati *ArcGIS* geoinfosüsteemi lisamooduli *Remote Sensing Object Based Image Analysis (RSOBIA) toolbox* abil. Sisendina kasutati sügavusrastrit. Konarlikkuse hindamise ruumiraadiuseks valiti 5 pikslit. OBIA analüüsi käigus selgus, et konarlikkus sõltub eelkõige sisendandmete päritolust – kõrge konarlikkus oli seotud tänapäevaste kõrge resolutsiooniga mitmekiirelise sonariga mõõdetud aladega ja madal konarlikkus ajalooliste hõredate sügavusmõõtmistega. Seetõttu konarlikkust lõplike tulemuste loomisel ei kasutatud.

Pehme põhjasubstraadi osakaalu levik modelleeriti suunatud modelleerimise abil (vt peatükk 2.5.1).

Ülaltoodud sisendandmetest (nõlvakalle, TPI25, TPI50, pehme põhjasubstraadi proportsioon) loodi komposiitraster kasutades *RSOBIA* tarkvara. Seejärel teostati samas tarkvaras OBIA segmentatsioon. OBIA tulemusel segmenteeriti komposiitraster statistiliselt eristuvateks klastriteks. Klastrite arvaks seati 50, minimaalseks segmendi suuruseks 10 pikslit ja iteratsioonide arvaks 1000. Klastrite arvaks valiti 50, kuna see oli piisavalt kõrge eristamiseks erinevaid merepõhja topograafilisi üksusi ja tüüpe. Pärast segmentatsiooni arvutati igas segmendis sisendandmete keskmine ja standardhälve. Algselt oli üheks sisendkihiks ka sügavus, aga see põhjustas ebapiisavat segmentatsiooni madalas vees, kus sügavused olid suhteliselt sarnased.

Kõikide segmentide statistikute põhjal jaotati segmendid 50ks eristuvaks klassiks kasutades k-keskmiste algoritmi statistikatarckvaras *R*. Klasside identifikaatorid seoti seejärel segmenteeritud pildi polügoonidega nii et igale segmendile omistati k-keskmiste meetodil saadud klassi number. Polügoonid seoti seejärel ruumiliselt *ArcGIS* tarkvara *Spatial Join* tööriista abil EUNIS/HUB substraadi punktandmetega, mis pärinesid TÜ Eesti Mereinstituudi bentose andmebaasist (vt joonis 2.2.2). Iga polügoon, millesse sattuvatest substraadi punktandmetest vähemalt 50% olid identsed, omistati vastav substraaditüüp. Kui polügoonis ei ületanud ükski substraaditüüp 50% lävendit, siis omistati sellele polügoonile segasette tüüp. Polügoonid, kuhu ei sattunud ühtegi sisendpunkti, jäeti selles astmes klassifitseerimata. Klassifitseerimata polügoonide jaoks koostati substraaditüüpide loendid üle kogu uuringuala klastrite. Nendele klastritele, millesse jäävate proovipunktide substraaditüübis domineeris mõni substraaditüüp (esinemisi üle 50%), omistati vastav substraaditüüp. Klastritele, millel dominant puudus, omistati segasette tüüp.

EUNIS kõvade substraadide klassifitseerimiseks infra- ja tsirkalitoraali vöönditeks kasutati modelleeritud footilise merepõhja levikut. Nende klasside edasiseks jaotamiseks lainetusele avatuse klassideks kasutati modelleeritud lainetusele avatuse andmestikku.

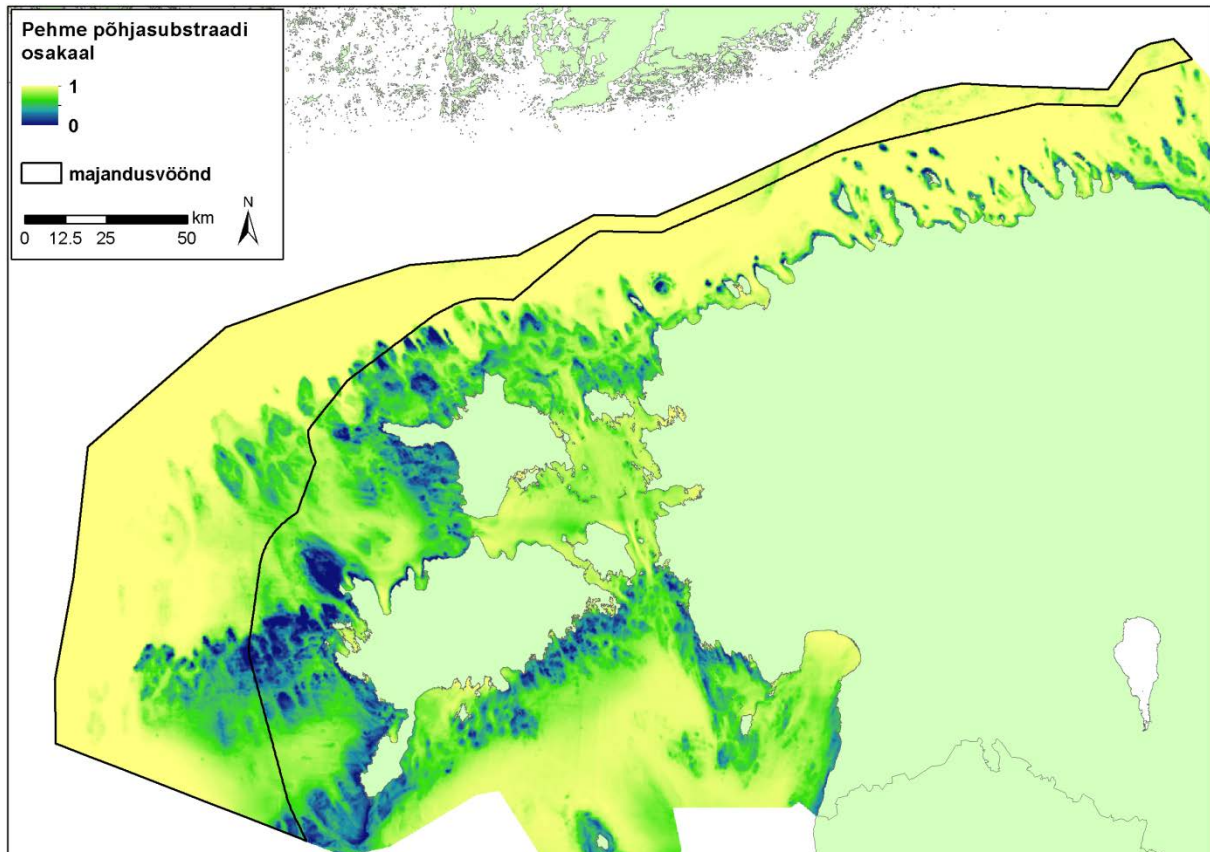
2.5.3. Tulemuste valideerimine

Tulemuste valideerimine toimus nii visuaalse eksperthinnanguna kui matemaatiliselt. Suunatud mudelite ennustusvõime on sageli väga sarnane erinevate hästi toimivate algoritmide puhul ning lõpliku mudeli valikul võib osutuda määravaks mudelennustuse visuaalne eksperthinnang. Käesolevas töös kasutati suunatud mudelite pidevtunnuseliste ennustuste headuse hindamisel visuaalset eksperthinnangut. Faktortunnuste modelleerimise täpsust hinnati lisaks visuaalsele hinnangule ka matemaatiliselt sisendpunktandmete klassiväärtuste ja ennustuse klassiväärtuste kokkulangevuse proportsioonina (klassifitseerimise edukus; *prediction success*), mis arvutati vigade maatriksi (*confusion matrix*) põhjal. Suunatud mudelite puhul teostati valideerimine nii 100% sisendandmetega kalibreeritud mudeliga kui ka 90% ja 80% juhusliku väljavõtte alusel ehitatud mudeliga. 90% ja 80% kalibratsiooniandmestike korral teostati klasside ennustuste kokkulangevuse test vastavalt 10% ja 20% andmetega, mida ei kasutatud mudeli kalibreerimises. Automaatse klassifitseerimise edukust hinnati 100% sisendandmete põhjal.

3. TULEMUSED

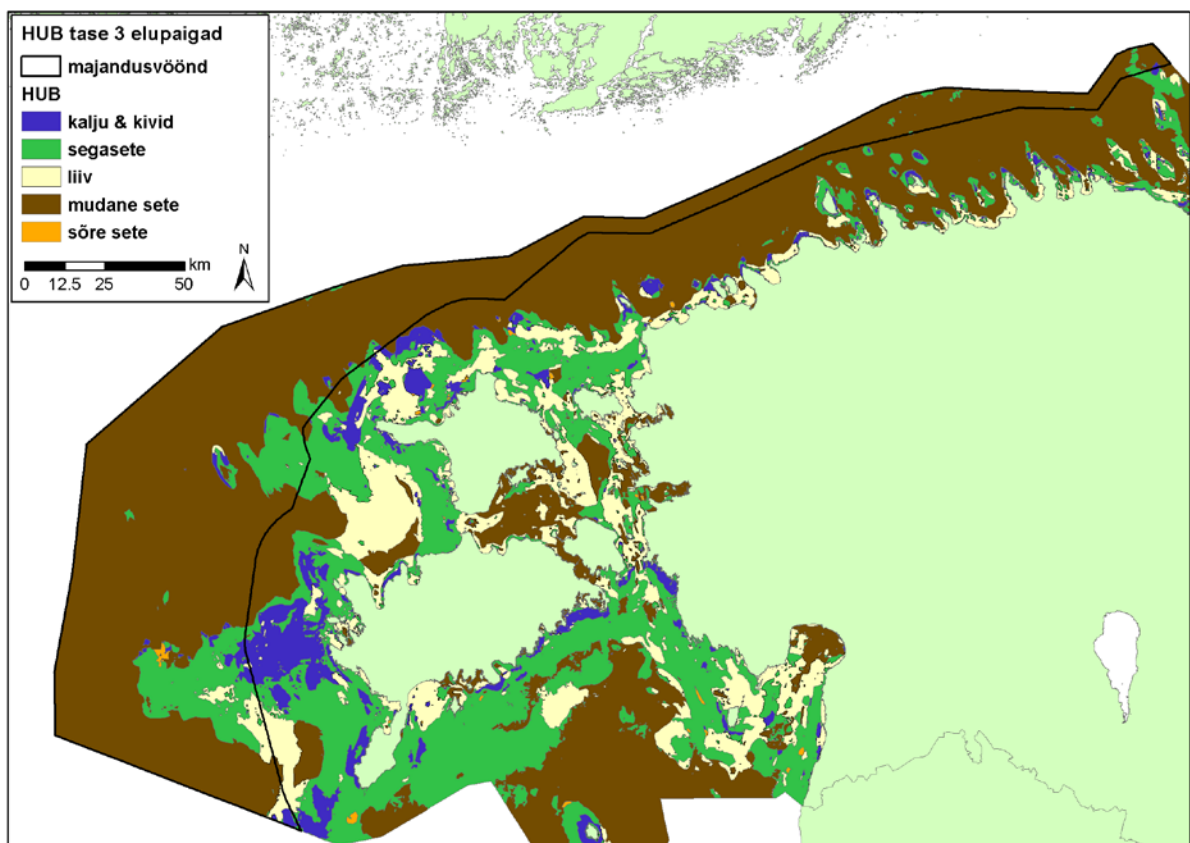
3.1. EUNIS ja HUB tase 3

Pehme põhjasubstraadi osakaalu leviku modelleerimine näitas, et et pehmed setted on eelkõige levinud sügavamatel merealadel ja varjatud lahtedes. Kõva merepõhja substraat on seotud madalate ja hüdrodünaamiliselt aktiivsete piirkondadega nagu poolsaarte tipud, avamere madalikud ja Balti klindi veetalune osa (joonis 3.1.1).



Joonis 3.1.1. Modelleeritud pehme substraadi osakaal.

EUNIS tase 3 ehk HUB tase 3 põhjatüüpide leviku modelleerimisel andis parima tulemuse juhumetsa (RF) meetod, mille klassifitseerimise edukus oli üle 95% (valideerimiseks 10% andmeid). Modelleeritud leviku kohaselt on suuremal osal majandusvööndi sügavamast osast levinud mudased setted (joonise 3.1.2). Madalamates osades on levinud eelkõige segasetted, vähem leidub kalju-kivi põhja ja liiva. Kivine põhi on levinud kõige madalamatel majandusvööndi aladel ja Balti klindi veetalustel astangutel.

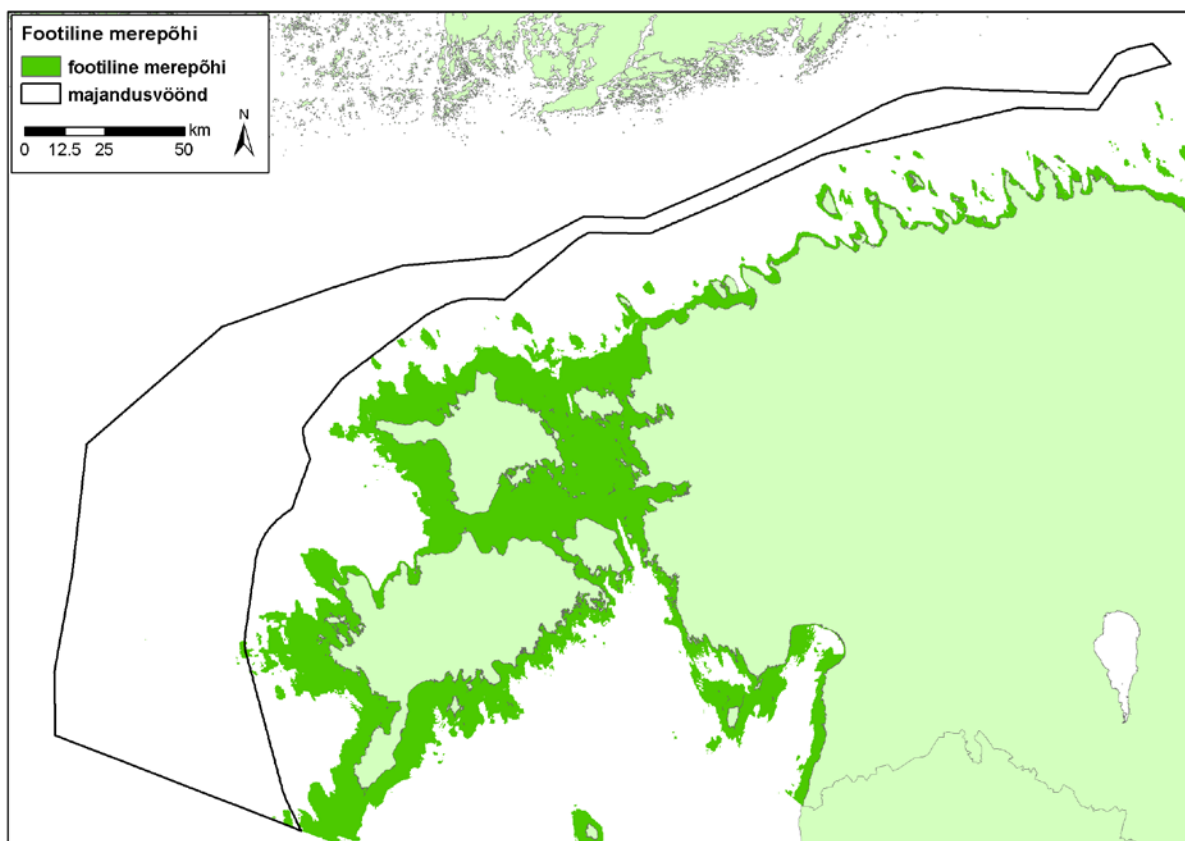


Joonis 3.1.2. Modelleeritud HUB tase 3 elupaikade levik.

Võrreldes suunatud mudelitega (RF), oli automaatse klassifitseerimise ennustusvõime tunduvalt madalam ning seetõttu on nii EUNIS tase 3 originaalkirjeldustele vastava mudeli tulemus kui ka HELCOM HUB tase 3 (klassifitseerimise edukus 65%) tulemus esitatud lisas 1. Edasiseks kasutuseks on soovitatav RF meetodil saadud tulemus, mis on toodud joonisel 3.1.2.

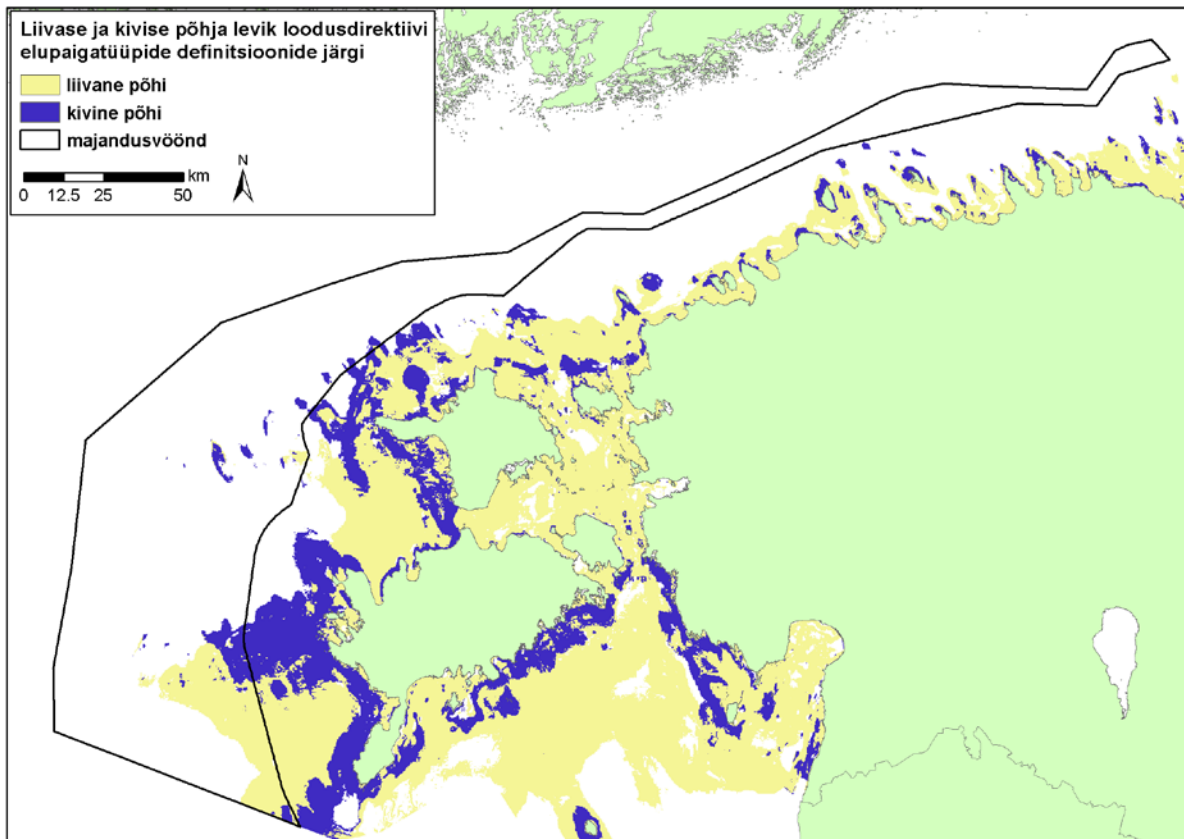
3.2. Loodusdirektiivi elupaigatüübid

Secchi sügavuse ja sellest lähtuva footilise merepõhja leviku modelleerimisel andis parima tulemuse GAM mudel. Tulemus näitas, et footilise põhja levik piirneb vaid majandusvööndi kõige madalamate aladega (joonis 3.2.1). Võrreldes footilise põhja levikut HUB tase 3 substraaditüüpidega (joonis 3.1.1) või loodusdirektiivi elupaigatüüpide leviku kaardistamiseks eraldi modelleeritud kivise ja liivase põhja levikuga (joonis 3.2.2), on näha, et footilise põhja tsoon langeb kokku kõva põhjasubstraadi levikuga; seda kinnitas ka vastavate kihtide ülekatte analüüs. Sellest tulenevalt ei esine majandusvööndis liivamadalaid. Tuleb silmas pidades, et tegemist on suureskaalalise modelleerimise tulemusega, mis võib väiksemates ruumiskaalades lahkneha kohtmõõtmiste tulemustest. Footilise majandusvööndi kivisel põhjal võib esineda üksikuid liivalaike kuid nende ulatus on väga väike ja sedavõrd lainetusele avatud piirkondades ei ole lainetuse tugeva mõju tõttu liivane substraat stabiilne elupaik.

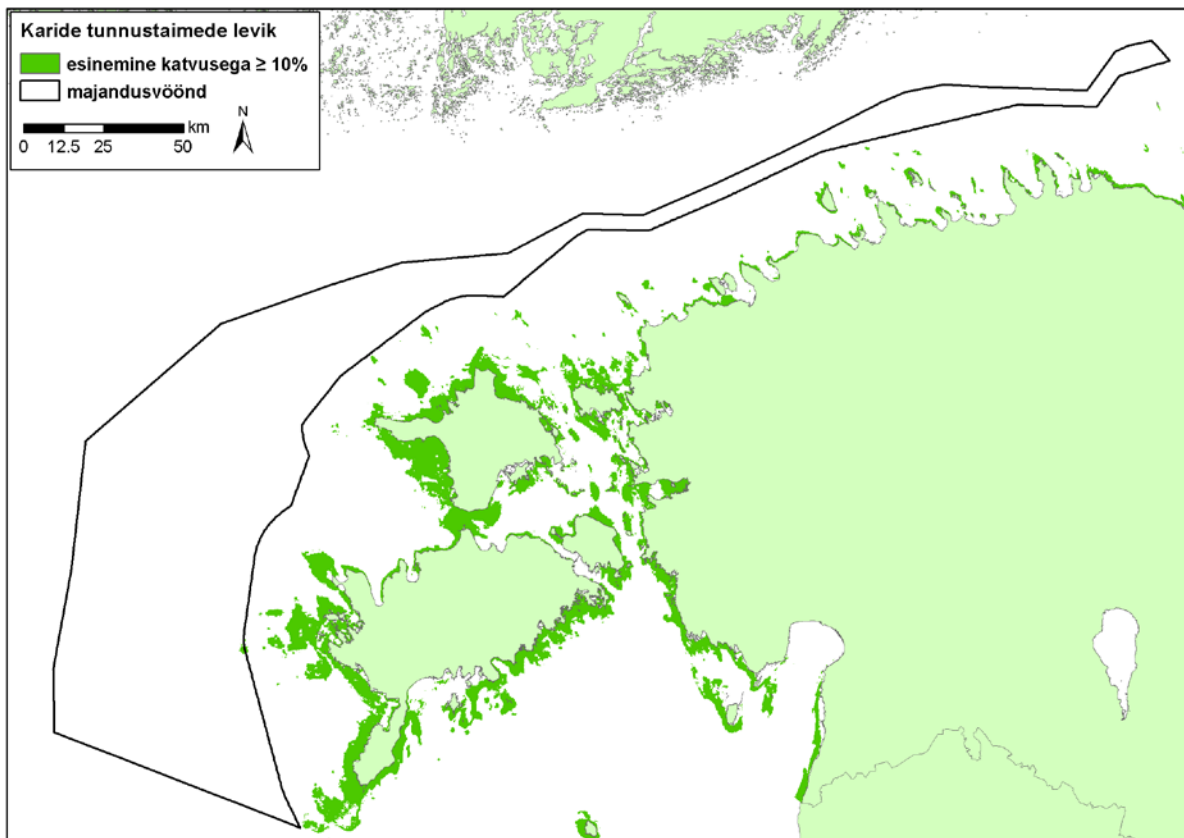


Joonis 3.2.1. Modelleeritud footilise merepõhja levik.

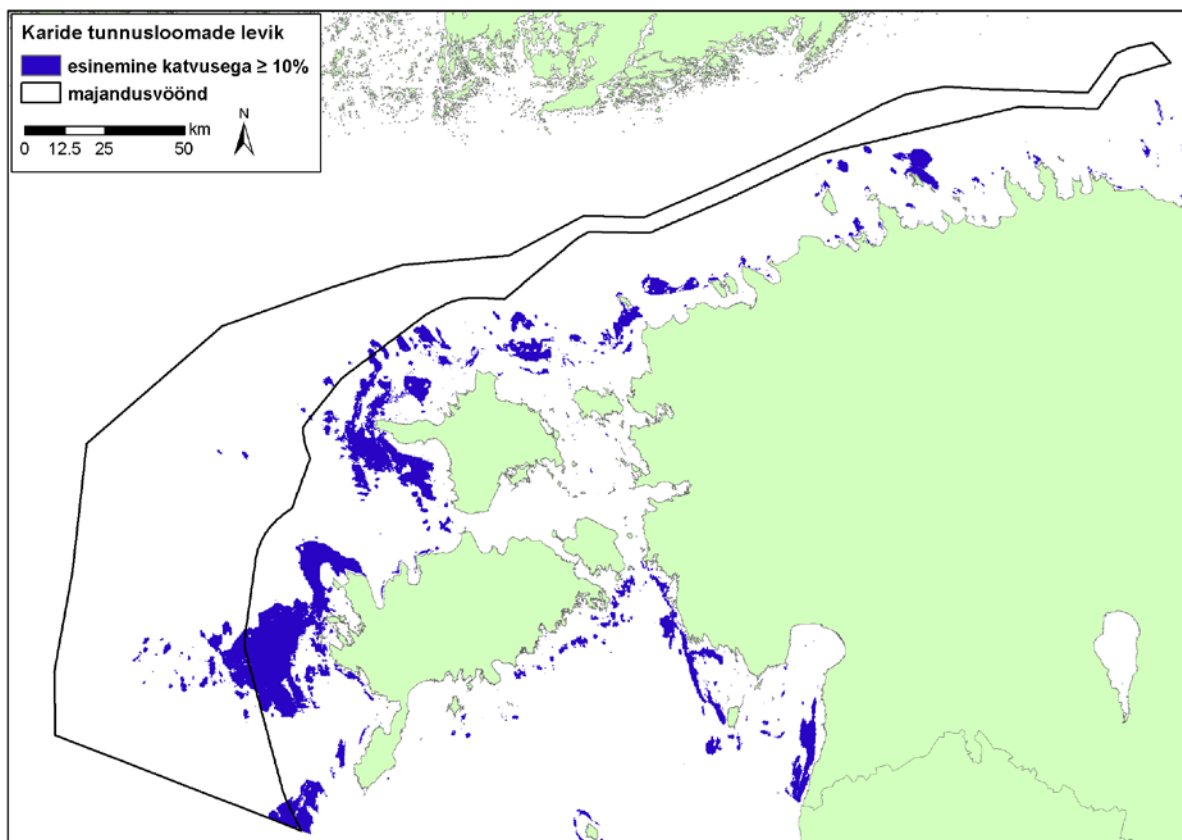
Karide elupaigatüübi üheks eeludseks olev kõva põhjasubstraat oli levinud eelkõige majandusvööndi madalamates idapoolsetes osades (joonis 3.2.2). Karide tunnustaimede leviku mudel (joonis 3.2.3) oli kooskõlas footilise põhja mudeliga ning selle kohaselt võib karide tunnustaimi katvusega $\geq 10\%$ leida ainult väikeselt alalt Saaremaast läänes. Seevastu karide tunnusloomade levik oli märksa laiem kattes peaaegu kogu kõva substraadi leviku ulatuse (joonis 3.2.4).



Joonis 3.2.2. Modelleeritud liivase ja kivise põhja levik loodusdirektiivi elupaigatüüpide definitsioonide järgi.

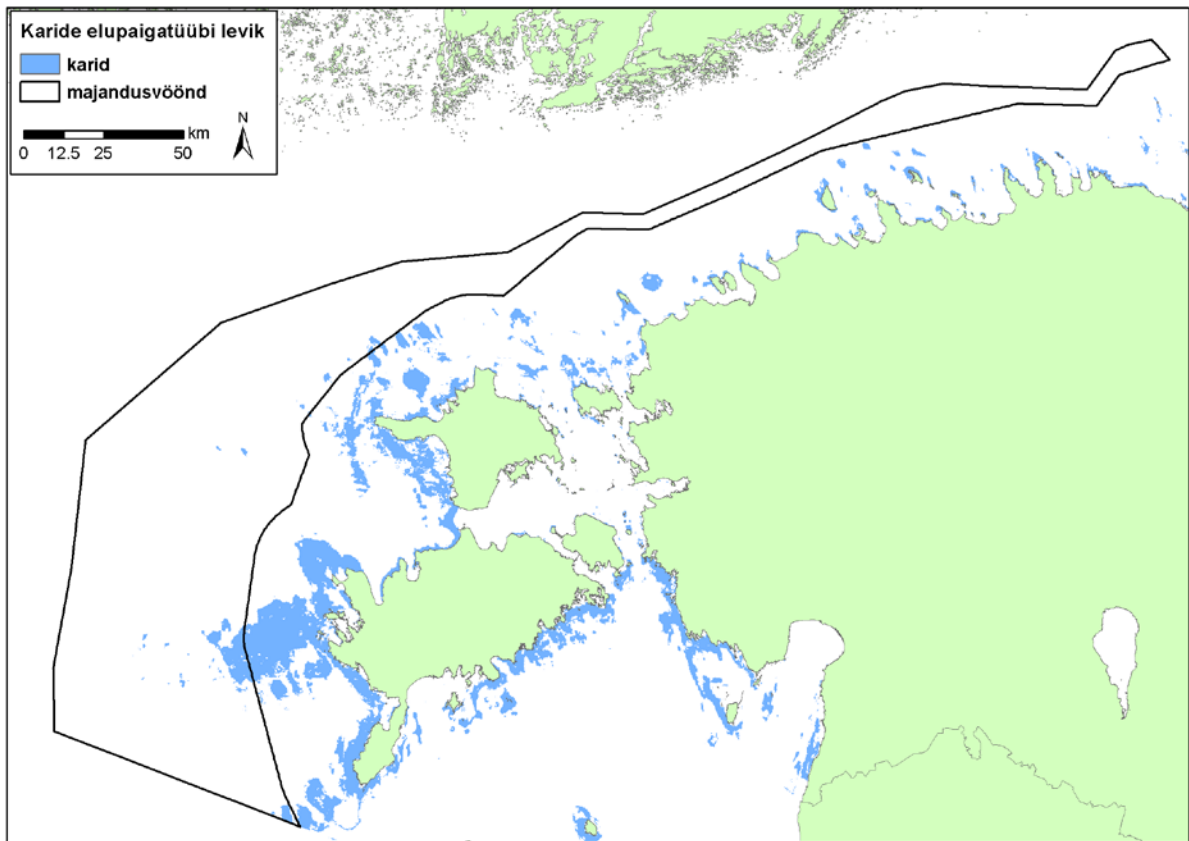


Joonis 3.2.3. Modelleeritud karide elupaigatüübi tunnustaimede levik. Modelleeritud esinemist katvusega $\geq 10\%$.



Joonis 3.2.4. Modelleeritud karide elupaigatüübi tunnusloomade levik. Modelleeritud esinemist katvusega $\geq 10\%$.

Ülekatteanalüüsi tulemusel, kus sisendandmeteks olid modelleeritud substraadi ja tunnusliikide levik, on karide elupaigatüüp levinud madalikel majandusvööndi Ava-Läänemere osa idaosas (joonis 3.2.5). Majandusvööndi Soome lahe osas modelleerimise andmetel loodusdirektiivi elupaigatüüpe ei esine kuna piirkond on suure sügavusega ja puudub karide elupaigatüübi kriteeriumile vastav substraat.



Joonis 3.2.5. Modelleeritud karide elupaigatüübi levik.

4. KOKKUVÕTE

Kasutades kogu saadaolevat informatsiooni Eesti merelooduse kohta, nii punktandmeid merepõhja kohta kui ka suurt hulka erinevaid füüsikalisi ja keemilisi keskkonnamuutujaid, modelleeriti loodusdirektiivi elupaigatüüpide ja EUNIS tase 3 (HELCOM HUB tase 3) elupaikade levik Eesti majandusvööndis. Kuna EUNIS süsteemi mereliste elupaikade klassifikatsioon on välja töötatud loodetega meredele, siis on EUNIS süsteemi korrektne rakendamine Läänemere puhul raskendatud. Selleks, et Läänemere mereelupaikasad EUNIS hierarhiasse sobitada on HELCOM-i juhtimisel välja töötatud Läänemere EUNIS-e analoog – HUB klassifikatsioonisüsteem (HELCOM Underwater Biotopes). Käesolevas töös on seetõttu põhitulemusena esitatud HUB tase 3 elupaikade levik.

Modelleerimisel kasutati nii suunatud mudeleid, objektipõhist pildianalüüsi kui automaatset klassifitseerimist. Kõige täpsemaid tulemusi saadi suunatud mudelite abil. Lõpptulemuste saamiseks modelleeriti footilise merepõhja levikut, pehmete substraaditüüpide osakaalu, kivise ja liivase põhja levikut ja karide elupaigatüübi tunnusliikide levikut.

HUB tase 3 elupaikadest on suuremal osal majandusvööndi sügavamast osast levinud mudased setted. Madalamates osades on levinud eelkõige segasetted, vähem leidub kaljukivi põhja ja liiva. Kaljune-kivine põhi on levinud kõige madalamatel majandusvööndi aladel ja Balti klindi veealustel astangutel.

Kuna footiline merepõhi, mis on eelduseks loodusdirektiivi liivamadalate elupaigatüübi (kood 1110) määramisel, on majandusvööndis levinud ainult piirkonna kõige madalamate osade kõvadel põhjadel, siis sellest tulenevalt ei esine majandusvööndis liivamadalaid. Küll aga on majandusvööndis esindatud karide elupaigatüüp (kood 1170), mis on levinud madalikel majandusvööndi Ava-Läänemere osa idaosas. Majandusvööndi Soome lahe osas modelleerimise andmetel loodusdirektiivi elupaigatüüpe ei esine kuna piirkond on suure sügavusega ja puudub karide elupaigatüübi kriteeriumile vastav substraat.

5. SUMMARY

The distributions of EU habitats directive (HD) habitat types and EUNIS level 3 habitats in the Estonian exclusive economic zone (EEZ) were modeled using all relevant georeferenced input data. Different point data and spatial coverage data of the biotic, physical, and chemical variables were used. HELCOM HUB classification system was used as the Baltic equivalent of the EUNIS system because it is specially adapted for the Baltic tideless conditions.

Supervised modeling, object based image analysis, and automatic clustering were used as the main modeling methods. The distribution of photic seabed, proportion of soft sediment, sandy seabed, rocky seabed, and characteristic species of reefs habitat type were modeled as intermediate results needed to produce the final layers.

Muddy sediment was the prevailing HUB level 3 substrate type in the majority of the deep areas of the EEZ. Mixed sediment type was mainly found in the shallower areas. The types rock & boulders and sand were less common and were mainly related to the shallow areas of the EEZ. Rock & boulders were mainly related to the shallowest areas of the EEZ and the underwater parts of the Baltic Clint.

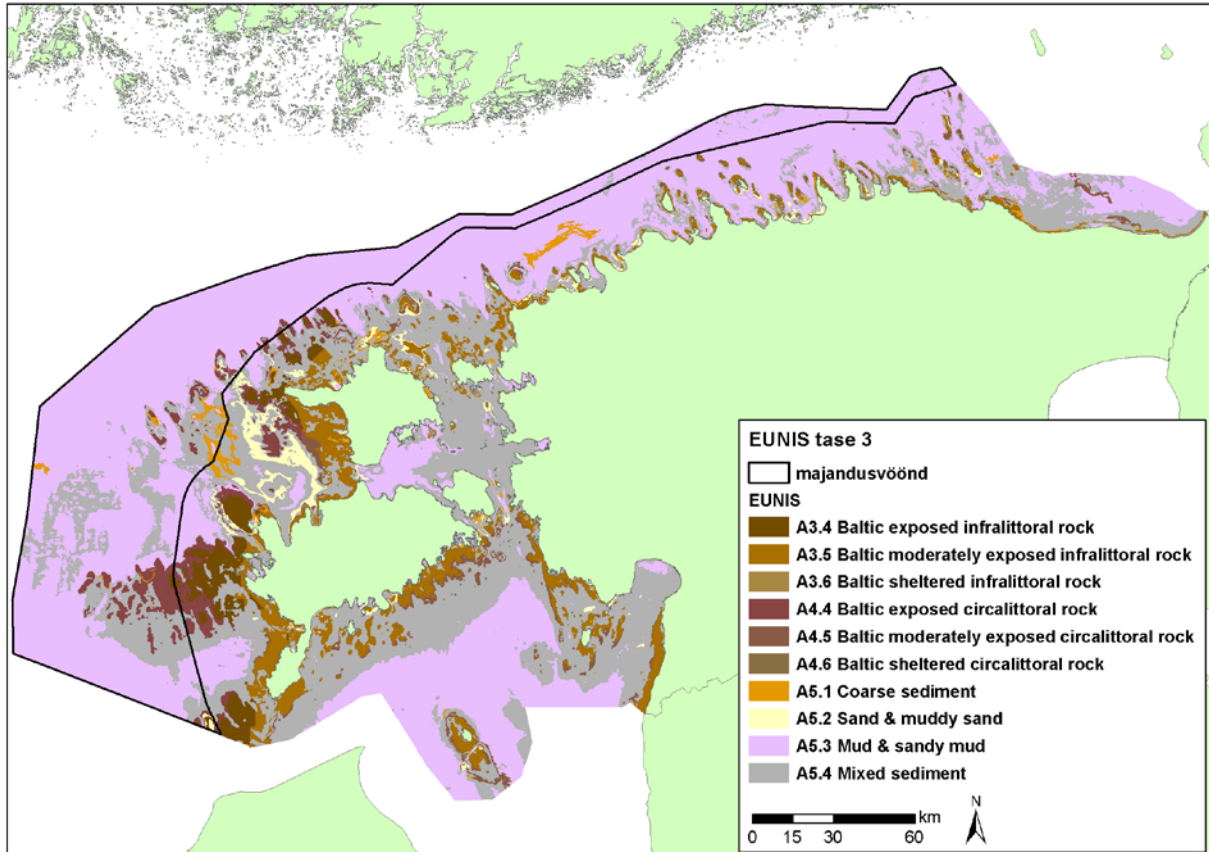
One of the Estonian national criteria of the HD sandbanks habitat type (code 1110) is that sandbanks should be in the photic zone. The photic seabed zone only overlapped the shallowest areas of the EEZ where hard substrate prevailed. Based on that, sandbanks can not be found in the EEZ. The only HD habitat type represented in the Estonian EEZ is the reefs habitat type (code 1170). Based on the modeling results, reefs can mostly be found in the shallow areas of the eastern Baltic Proper. No HD habitats can be found in the Gulf of Finland part of the EEZ because of its great depth and lack of substrate meeting the criterion of reefs habitat type.

KIRJANDUS

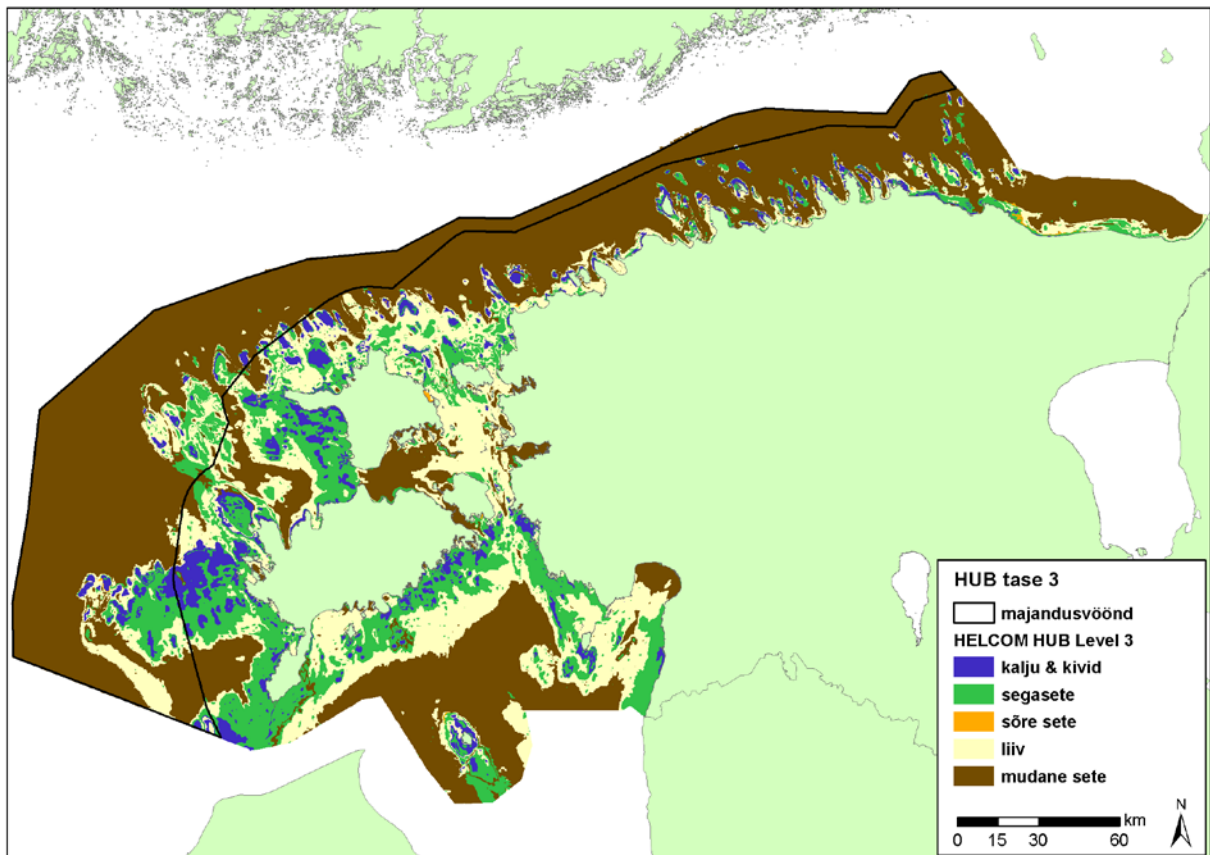
- Baltic Sea Hydrographic Commission (2013) Baltic Sea Bathymetry Database version 0.9.3. <http://data.bshc.pro/>
- Baretta-Bekker JG, Duursma EK, Kuipers BR (toim.) (1998) Encyclopedia of Marine Sciences. Second, corrected and enlarged Edition. Springer-Verlag.
- Bendtsen J, Gustafsson KE, Söderkvist 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/>
- Davies CE, Moss D, Hill MO (2008) EUNIS Habitat Classification Revised 2004. European Topic Centre on Biological Diversity. <http://www.eea.europa.eu/themes/biodiversity/eunis/eunis-habitat-classification#tab-documents>
- Elith J, Graham CH, Anderson RP et al (2006) Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29, 129-151.
- HELCOM (2013) HELCOM HUB – Technical Report on the HELCOM Underwater Biotope and habitat classification. *Balt. Sea Environ. Proc.* No. 139.
- 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)
- Isæus M (2004) Factors structuring *Fucus* communities at open and complex coastlines in the Baltic Sea. Sweden, Stockholm: Stockholm University, PhD Thesis, 40p.
- Liaw A, Wiener M (2002) Classification and Regression by randomForest. *R News* 2(3):18–22.
- Markager S, Sand-Jensen K (1992) Light requirements and depth zonation of marine macroalgae. *Marine Ecology Progress Series* 88, 83-92.
- Mcbreen F, Askew N (2011) UKSeaMap 2010 Technical Report 3. Substrate data. Joint Nature Conservation Committee, Peterborough, UK.
- Meyer D, Dimitriadou E, Hornik K, Weingessel A, Leisch F (2015) e1071: Misc Functions of the Department of Statistics, Probability Theory Group (Formerly: E1071), TU Wien. R package version 1.6-7. <http://CRAN.R-project.org/package=e1071>
- Nikolopoulos A, Isæus M (2008) Wave Exposure Calculations for the Estonian coast. AquaBiota Water Research, Stockholm.
- Remm K, Remm J, Kaasik A (2012) Ruumiliste loodusandmete statistiline analüüs. Õpik-käsiraamat. Tartu Ülikooli Ökoloogia ja Maateaduste Instituut. Tartu
- Riigiteataja (1993) Merealapiiride seadus. *RT* 1993, 14, 217
- The R Foundation for Statistical Computing (2015) R version 3.2.2. <http://www.r-project.org/>
- TÜ Eesti Mereinstituut (2014) 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>

LISA 1

Automaatse klassifitseerimise teel saadud EUNIS tase 3 originaalkirjeldustele vastavate elupaikade ja HELCOM HUB tase 3 elupaikade levik



Joonis 1. EUNIS tase 3 elupaikade levik automaatse klassifikatsiooni tulemusel.



Joonis 2. HELCOM HUB tase 3 elupaikade levik automaatse klassifikatsiooni tulemusel.