

TÜ Eesti Mereinstituut

**MERELA PLANEERINGU ALUSUURING – SELGROOTUTE JA
VETIKATE VESIVILJELUSEKS SOBILIKUD ALAD**

TÖÖVÕTULEPING nr 809

Aruanne

Tellijä:

Rahandusministeerium

Lepingu vastutav täitja:

J. Kotta

TALLINN 2016

SISUKORD

SISSEJUHATUS	3
TÖÖ PÕHITÄITJAD	4
MATERJAL JA METOODIKA	5
Tulemused	10
Selgrootute ja vetikate vesiviljeluseks sobilike alade määratlemine ja kirjeldamine	10
Täiendavad andmed	13
Söödava rannakarbi kasvupotentsiaali määratlemine	14
Täiendavad uuringud.....	16
KIRJANDUS.....	17

SISSEJUHATUS

Mereruumi planeeringule keskenduv Euroopa Parlamendi ja Nõukogu Direktiiv (2014/89/EL) rõhutab Sinise meremajanduse potentsiaali võimaldamaks kestlikku majanduskasvu mere- ja merendusvaldkonnas. Merealade planeerimisel tuleks rakendada meetmeid, millele sinise meremajanduse algatused võiksid edaspidi keskenduda ja mida võiks piisavalt toetada investoritele mereruumi planeerimisega antava usaldus- ja kindlustunde suurendamisega. Vetika- ja karbikasvandus on potentsiaalselt oluliseimad sinimeremajanduse sektorid, mille arengut on meil võimalik soodustada vetika- ja karbikasvanduse ökoloogilist potentsiaali näitavate ruumiliste analüüside abil.

Käesoleva uuringu eesmärgiks on selgrootute ja vetikate vesiviljeluseks sobilike alade väljaselgitamine Eesti merelalal, sh majandusvööndis. Uuring on koostatud EV Rahandusministeeriumi tellimusel ja läbi viidud 2016. aastal.

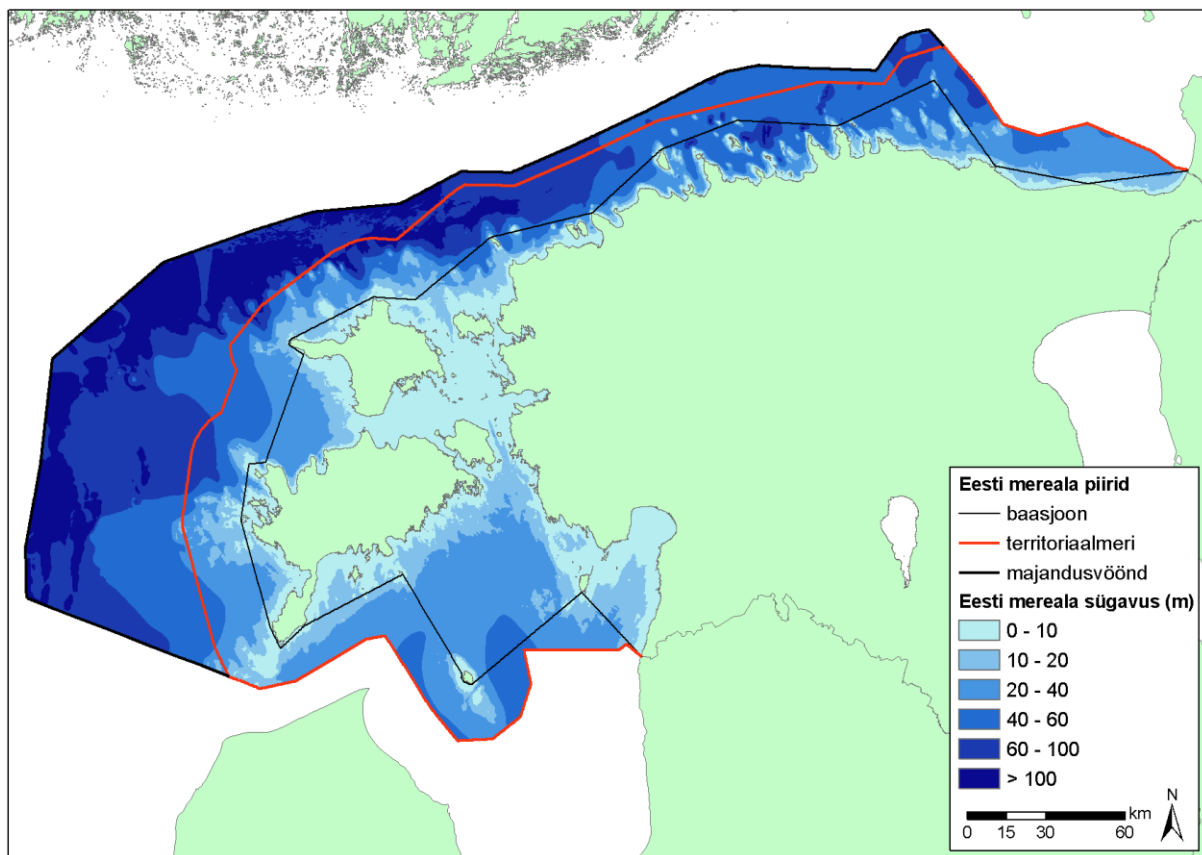
Töös on kasutatud parimaid olemasolevaid eluta ja elusa keskkonna andmekihte. Vesiviljeluseks sobivate liikide leviku modelleerimisel kasutati intellektitehnikat ja statistilise analüüsi ühendavat uuenduslikku võimendatud regressioonipuu meetodit (Boosted Regression Trees modelling). Modelleeritud kaardikihid on lisatud aruandele MapInfo rasterkaartidena kasutades Tellija poolt etteantud 1x1 km ruudustikku, mis on projitseeritud geodeetilises referentssüsteemis ETRS89.

TÖÖ PÕHITÄITJAD

Jonne Kotta, PhD	Vastutav täitja, projekti juhtimine ja koordineerimine ning aruandlus
Merli Pärnoja, PhD	Lepingu täitmine, aruande koostamine

MATERJAL JA METOODIKA

Uurimispiirkonna moodustavad Eesti sisemeri (13 214 km²) ja territoriaalmeri (11 940 km²) ning koos majandusvööndiga on Eesti mereala kogupindala 36 481 km² (Joonis 1). Käeoleva töö uuringuala hõlmab kogu Eesti mereala, sh majandusvööndit.



Joonis 1. Eesti mereala piirid ja sügavus.

Selgrootute ja vetikate vesiviljeluseks sobilike alade väljaselgitamiseks ning söödava rannakarbi kasvupotentsiaali määratlemiseks kasutati parimat olemasolevat informatsiooni uuritava mereala füüsikaliste ja keemiliste omaduste ning merepõhja elustiku ja elupaikade kohta. Vesiviljeluseks sobilike alade määratlemisel kasutati sisendina vesiviljeluse valdkonnas olulisemate selgrootute ja makrovetika liikide modelleeritud levikukaarte (Tabel 1).

Modelleeritud liikide levikukaardid pärinesid projektist „Eesti merealade planeerimiseks looduskaitse teabe koondamine, sh. territoriaalmere mereelupaikade modelleerimine“. Kasutatud keskkonnamuutujate nimekiri ja lisainfo on toodud Tabel 2. Avalikud merebioloogilised andmed pärinevad TÜ Eesti Mereinstituudi põhjataimestiku- ja loomastiku eritüübilistest andmebaasidest, mis füüsiliselt paiknevad aadressil Mäealuse 14, Tallinn NESSIE nimelises siseserveris.

Tabel 1. Modelleerimisel ja GIS-analüüsid kasutatud georeferentide olulisemate liikide rasterkihid.

Kihi nimetus	Info	Allikas
dreissena	Rändkarbi (<i>Dreissena polymorpha</i>) modelleeritud esinemise tõenäosus	Projekti „Eesti merealade planeerimiseks looduskaitse teabe koondamine, sh. territoriaalmere mereelupaikade modelleerimine“ raames modelleeritud.
fucus	Põisadru (<i>Fucus spp</i>) modelleeritud esinemise tõenäosus	
furcellaria	Agariku (<i>Furcellaria lumbricalis</i>) modelleeritud esinemise tõenäosus	
mytilus	Söödava rannakarbi (<i>Mytilus trossulus</i>) modelleeritud esinemise tõenäosus	

Tabel 2. Modelleerimisel ja GIS-analüüsid kasutatud georeferentide keskkonnamuutujate rasterkihid. Valiku aluseks on varasemad teadmised sellest, kuidas erinevad keskkonnamuutujad mõjutavad mereelustiku levikut ja kasvupotentsiaali. Üldises plaanis sisalduvad selles nimekirjas olulisemad elupaika iseloomustavad tegurid (nt. sügavus, soolsus, nõlvakalle, meresete), toiduhulk (vee klorofüllis sisaldus, hoovuse kiirus) ja elustikku levikut piiravad näitajad (jää kulutav toime, hapniku madalad sisaldused). Eri liigid mõneti eristuvad keskkonnategurite eelistuse põhjal ja see erisus võimaldab eri liikide koosinemist samal meremaastikul. Merereostusele vastupidavamatele karbiliikide (nt. rändkarbi) normaalseks elutegevuseks peab vee klorofüllis sisaldus olema üle 5 mg m^{-3} , samas kui puhastele mereelupaikadele iseloomulike liikide (nt. söödava rannakarbi) areng on võimalik palju madalamate klorofüllis kontsentratsioonide juures, alates 1 mg m^{-3} . Kui klorofüllis väärtused aga ületavad teatud kriitilist piiri ($15\text{--}20 \text{ mg m}^{-3}$), siis karpide toitumine peatub filtreerimisaparaadi ummistumise tõttu. Siit tulenevalt on kõige mõistlikum kasvatada karbiliike mere puhastamise eesmärgil mõõdukalt reostunud merealadel (klorofüllis sisaldus $5\text{--}15 \text{ mg m}^{-3}$).

Kihi nimetus	Info	Allikad
sügavus	Mere sügavus	1

nõlv	Merepõhja nõlva kalle	1
soolsus	Merevee põhjakihi keskmine soolsus; loodud interpoleerimise abil kasutades Üle-Läänemerelelise mudeli andmeid, mida parandati teatud piirkondades TÜ EMI mõõtmistulemuste abil	1,3
avatus	Avatus lainetusele; arvatud tuuleandmete ja laine tekkimise teekonna pikkuste (<i>fetch</i>) põhjal	4
klorofüll	Merevee pinnakihi klorofüllisisaldus; arvatud satelliitmõõtmistest perioodil 2009-2010	1
läbipaistvus	Vee läbipaistvus; hinnatud kui valguse vähenemise koefitsient, mis arvatud satelliitmõõtmistest perioodil 2010-2012	1
jää_katvus	Keskmine jääkatte katvus; katvus näitab jääkatte keskmist osakaalu mõõdistusruudus jää olemasolu korral; andmeperiood 2009-2011	5
temp	Pinnavee suvine (juuni–august) pilvevabade päevade keskmine temperatuur; arvatud satelliitmõõtmistest perioodil 2009-2011	1
hoovus	Modelleeritud vee põhjakihi keskmine hoovuse kiirus perioodil 1996-2005	2
O2_kesk	Modelleeritud vee põhjakihi keskmine hapnikusisaldus perioodil 2002-2008	3
sete_mod	Pehme sette osakaalu modelleeritud levik; loodud interpoleerimise abil käesoleva töö kasutades TÜ EMI bentose andmebaasi punktandmeid, geoloogiliste kaartide andmeid ja ekspertteadmisi	1

Allikad:

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

2 – TTÜ Meresüsteemide instituudi mudelarvutus

3 – Üle-Läänemereleline füüsikalise-keemiliste parameetrite mudelarvutus (Bendtsen et al., 2009)

4 – avatus tuulest tingitud lainetusele; mudelarvutuse tulemus (Nikolopoulos ja Isæus, 2008)

5 – Soome Meteoroloogiatstituut

Kõik ruumianalüüsid teostati ESRI tarkvara ArcGIS 10.4.1 abil. Töö esimeses etapis määratleti sobilikud vesiviljelusalad. Sisendandmetena kasutati vesiviljeluse valdkonnas olulisemate selgrootute ja makrovetika liikide modelleeritud levikukaarte. Koondhinnangu saamiseks teostati ülekatteanalüüs (*overlay analysis*) tööriista 'Raster Calculator' abil, kus

sisendandmeteks olid oluliste vesiviljelusliikide mudelennustused (Tabel 1). Mudelennustuste väljundiks olid tunnusliikide esinemise tõenäosuse ennustus, mis varieerus 0 ja 1 vahel, kus 0 tähendas liigi puudumist ja 1 liigi esinemist. Tööriista 'Raster Calculator' abil summeeriti söödava rannakarbi, rändkarbi, agariku ja põisadru modelleeritud esinemistõenäosused ning tulemused standardiseeriti. Saadud rasterkiht konverteeriti etteantud 1x1 km ruudustikku, mis projitseeriti geodeetilises referentssüsteemis ETRS89. Selline indeks iseloomustab merealade sobivust vesiviljeluseks lähtudes vesiviljeluseks sobilike liikide elupaigaeelistustest. Indeksi väärtus 1 näitab, et sellel merealal suudavad elada kõik Eestis olemasolevad vesiviljeluseks olulised vetika- ja karbiliigid. Indeksi väärtus 0 näitab, et merealal vesiviljeluseks olulised vetika- ja karbiliigid looduslikult ei esine. See omakorda ei tähenda aga seda, et ala oleks vesiviljeluseks täiesti ebasobiv. Piiravate tegurite tõttu (nt. sobiva substraadi puudumine, kiskjate olemasolu jne.) on liikide potentsiaalne levikuala alati laiem kui realiseerunud levikuala. Selleks et teada saada vesiviljeluseks oluliste liikide potentsiaalset kasvuala, on vaja teostada liikide kasvupotentsiaali uuringud (vt. allpool söödava rannakarbi kasvupotentsiaali mudelit).

Töö teiseks eesmärgiks oli metoodiliselt näidata, kuidas määratleda ühe oluliseima vesiviljelusliigi, söödava rannakarbi, kasvupotentsiaali. Analüüsi sisendina kasutati looduskeskkonnas eksperimentaalselt mõõdistatud söödava rannakarbi juurdekasvupotentsiaali. Tingituna eksperimentaaltööde suurtest kuludest, olid uuringu kaasrahastajateks INTERREG BBG, KIK projekt „Merekeskkonna seisundi parandamine vesiviljeluse abil“ ja IUT projekt „Rannikumere ökosüsteemid muutuv maailmas: survetegurite kumulatiivne mõju mereelustiku mitmekesisusele ja toimimisele“. Kogutud teavet kasutati, et luua seoseid keskkonna ja karpide juurdekasvu vahel ning seejärel rakendati leitud seosed, et hinnata rannakarbi kasvupotentsiaali etteantud ruudustikus üle kogu Eesti mereala.

Modelleerimisülesande lahendamisel kasutati uuenduslikke empiirilisi meetodeid. Lisaks lähtuti modelleerimise käigus olemasolevatest teoreetilistest eeldustest mereelustikku kujundavate keskkonnategurite kohta (Kotta et al., 2013). Mudelisse valiti vaid sellised muutujad, mille mõju on varem söödavale rannakarbile selgelt dokumenteeritud (Kotta et al., 2015). Selline teoreetiliste eelduste arvestamine võimaldas meil empiirilisi mudeleid muuta universaalsemateks, säilitades nende hea ennustusvõime. Üldises plaanis sisaldasid selles keskkonnamuutujate nimekirjas olulisemad elupaika iseloomustavad tegurid (nt. sügavus, soolsus, nõlvakalle, meresete), toiduhulk (vee klorofüllis sisaldus, hoovuse kiirus) ja elustikku levikut piiravad näitajad (jäa kulutav toime, hapniku madalad sisaldused). Näiteks on söödava rannakarbi areng võimalik klorofüllis kontsentratsioonide juures, mis jäävad vahemikku 1–15 mg m⁻³. Kui klorofüllis väärtused on liiga madalad, siis karbid ei saa oma arenguks piisavalt toitu, kui toiduhulk on aga liiga suur, siis karpide toitumine peatub filtreerimisaparaadi ummistumise tõttu. Seos klorofüllis ja rannakarbi kasvukiiruse vahel pole siiski üheselt määratletav, kuna veevahetuse suurenemine (hoovuste kiiruse kasv või merepinna ja –põhja veekihtide

segunemine avatud merealadel) võib suurel määral parandada karpide toidutingimusi. Lihtsalt öeldes tuuakse sama aja jooksul karpidele rohkem toitu ette. Siit tulenevalt on mudelisse kaasatud klorofüll ja hoovuste kiiruse interaktsiooni iseloomustav komponent. Lisaks toiduhulgale mõjutab oluliselt rannakarbi kasvu vee soolsus ning suuremate soolsuste juures on rannakarpide kasvukiirus ja mõõtmed suuremad. See on tingitud suuremast energiakulust madalate soolsustingimuste juures, mis kulub üleliigse vee organismist väljapumpamisele.

Keerukate süsteemide puhul, nagu loodus seda on, ei ole võimalik korraga saavutada täpsust, üldisust ja lihtsust. Tuleb valida kas üks või kaks suunda ja teiste osas järeleandmisi teha. Äärmiselt lihtsustatud teoreetilise mudeli tunnetuslik tähtsus võib olla suurem kui rakenduslik tähtsus, samas nende ennustamisvõime on kesine. Empiirilised statistilised mudelid ei ole reeglina rakendatavad väljaspool lähteandmete väärtuspiirkonda, kuid nende ennustamistäpsus on enamasti suur (Remm et al., 2012).

Söödava rannakarbi kasvupotentsiaali ennustuste tegemiseks vajaliku keskkonnamuutujate andmestiku saamiseks kaeti uurimisala 300 m sammuga punktivõrgustikuga ja päriti ArcGis Xtools Pro Extract Raster Values tööriistaga kõigi sõltumatute keskkonnamuutujate väärtusi igas võrgustiku punktis. Kokku koosnes söödava rannakarbi juurdekasvu hinnangu alusandmestik 1096 mõõtmisest 20 erinevas piirkonnas. Prognoositabel koosnes kokku 458323 punktist. Andmestik esitati modelleerimistarkvarale andme-maatriksina. Statistilised mudelid arvutati statistikaprogrammi R keskkonnas (The R Foundation for Statistical Computing). Andmete modelleerimisel määratleti lubatud piirkonnana Eesti mereala, sh majandusvöönd. Modelleerimismeetodina kasutati intellektitehnikat ja statistilise analüüsi ühendavat uuenduslikku võimendatud regressioonipuu meetodit (Boosted Regression Trees modelling, BRT). Tegemist on meetodiga, mis leiab ja kirjeldab väga efektiivselt keskkonna ja elustiku vaheliste seoste seaduspärasusi, mis on suure üldistusjõuga ja potentsiaalselt ekstrapoleeritav ka väljapoole mudeli parameetrite määramiseks kasutatud treeningandmeid. Tingituna meetodi uudsusest pole BRT mudeleid mereökosüsteemide uurimisel praktiliselt kasutatud välja arvatud hiljuti avaldatud uuringud Vilsandi merealade mitmekesisusest ja võtmeliikide levikust (Herkül et al., 2013; Kotta et al., 2013; Kotta et al., 2015).

Sarnaselt teiste ruumianalüüsi meetodiga sisestatakse BRT puhul mudelisse kõik keskkonnamuutujad ja lastakse mudeli algoritmil automaatselt valida mudeli ehitamiseks need keskkonnamuutujad, mis paremini seostuvad ennustatava bioloogilise muutujaga. Sellise modelleerimistechnika käigus kasutati looduses eksperimentaalselt mõõdetud rannakarbi kasvukiirusi, määratleti mõõdetud kasvukiiruste ja rannakarbi jaoks olulisemate keskkonnategurite vahelised seosed ning ennustati nende keskkonnategurite väärtuste alusel karpide kasvupotentsiaal nende merealade jaoks, kus mõõtmisi ei teostatud. Kuuludes osaliselt intellektitehnika valdkonda võimaldavad masinõppe meetodid lisaks primale struktuurile

otsida ka regressioonipuu sobivaimat üldistustaset. Otsuste puud on laialdaselt kasutusel suuremahuliste kaugseireandmete töötlemises, kuna nende kasutus on arvutuslikult kiire. Otsuste puud ei sea eeldusi andmete tüübi ja statistilise jaotuse osas, kuid võimaldavad samaaegselt kasutada erinevas mõõtkavas lähteandmeid. Regressioonipuu eelised varasemate meetodite ees on nende (1) robustsus tunnuste tüüpide ja väärtuste jaotuste suhtes, (2) regressioonipuu sõltumatus funktsioontunnuse monotoonsetest teisendustest, (3) regressioonipuu võime paindlikult arvestada argumenttunnuste iseloomulikke kombinatsioone ning (4) andmekaevandamise efektiivsus so. puude hargnemiskriteeriumiks ei pea olema seletavate tunnuste kriitilised väärtused, vaid ka väärtuste kombinatsioonid või isegi lokaalsed regressioonimudelid. Sellest tulenevalt on BRT'l või siis intellektitehnika meetodite rakendusel väga suur (kuid seni veel kasutamata) potentsiaal reaalteadustes läbiviidavates andmetöötlemises ja mudelprognosides.

Parima kirjeldava mudeli leidmiseks kasutati parima prognoosi meetodit ehk siis prognoosivea minimeerimist. Kuna tegemist oli pidevate tunnustega, kasutati mudelite ennustusvõime valideerimiseks lineaarset regressioonianalüüsi. Regressioonianalüüsi käigus arvatud determinatsioonikordaja varieerub 0 ja 1 vahel; väärtus 0 näitab mudelennustuse täielikku juhuslikkust ja 1 täpset ennustust. Lisaks matemaatilisele valideerimisele hinnati mudelite tulemusi visuaalselt põhjajelustiku juhtivate ekspertide poolt. Söödava rannakarbi kasvupotentsiaali hindamise jaoks valiti determinatsioonikordaja ja eksperthinnangu alusel välja parim mudel ning selle mudeli abil teostati ennustus üle kogu Eesti mereala. Punktennustused konverteeriti rasterkihtideks ArcGis Xtools Pro Extract Raster Values tööriista abil etteantud 1x1 km ruudustikku, mis projitseeriti geodeetilises referentsüsteemis ETRS89.

TULEMUSED

Selgrootute ja vetikate vesiviljeluseks sobilike alade määratlemine ja kirjeldamine

Töö esimeseks eesmärgiks oli olemasolevatele levikuandmetele tuginedes määratleda ja kirjeldada vetikate ja selgrootute vesiviljeluseks sobilikud alad ning koostada kaardikihid arvestades üleriigilise planeeringu täpsusastet.

Tuginedes olemasolevatele andmetele on Eesti merealal hetkel ainsaks vesiviljeluseks kasutatavaks vetikaliigiks punavetikas *F. lumbricalis* ehk agarik, olles väärtuslikuks tooraineks geelistuvate polüsahhariidide tootmisel, mida kasutatakse tänapäeval laialdaselt eelkõige

toiduainete, kosmeetika ja farmaatsiatööstuses. Väinameres Kassari lahes kasvav lahtine (substraadile mittekinne) punavetikakooslus moodustub peamiselt kahe punavetikaliigi – *Furcellaria lumbricalis* ja *Coccotylus truncatus* kinnitumata vormist. Alates 2006. aastast määratakse lisaks *F. lumbricalis* märgkaalule projekti „Kassari lahe tööndusliku punavetikavaru uuring“ raames eraldi ka tema kaasliigi *C. truncatus* märgkaal ning arvatud osakaal – pidades silmas viimase potentsiaalset võimalikku töönduslikku kasutamist tulevikus (Tuvikene et al., 2009).

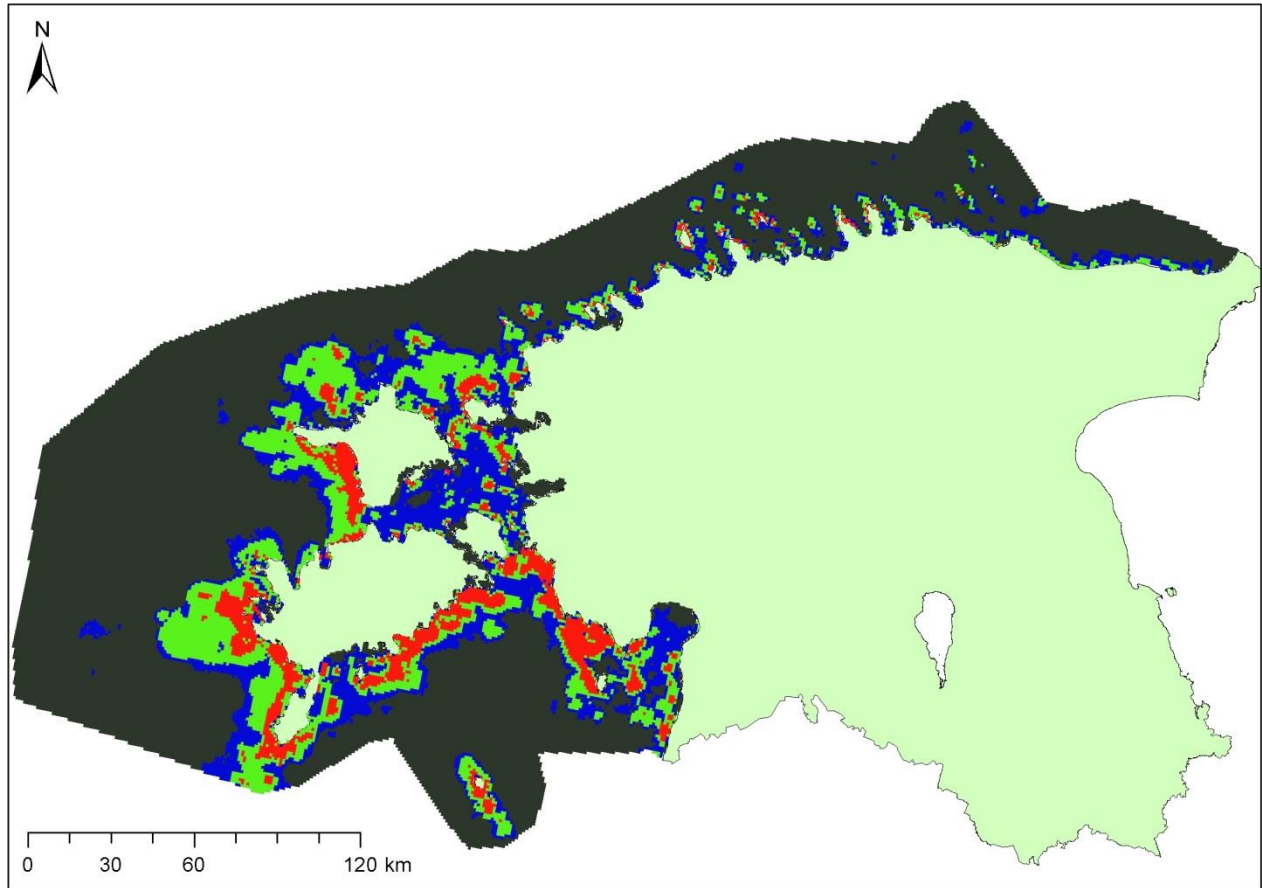
Eesti rannikumere kõige suuremõõtmelisem ja suurema biomassiga vetikaliik on põisadru (*Fucus vesiculosus*). Liik levib peaaegu üle kogu Eesti rannikumere. Põisadru taime pikkus võib ulatuda kuni 80–90 cm-ni ja biomass ruutmeetril kuni 500–800 g kuivkaalus. On hinnatud, et põisadru taim võib elada kuni 25 aastat vanaks. Põisadru kooslused on meie rannikumere kõige liigirikkamad. Põisadru on senini leidnud kasutust peamiselt väetisena, aga lähiajal on oodata liigi kasutust farmaatsia- ja kosmeetikatööstuses.

Läänemere kesk- ja põhjaosas ei ole kasvandustes kasutatavate karpide valik väga lai, kuna mere soolsus on madal ja karpide kasv seetõttu väike. Võttes aluseks vee puhastamise potentsiaali, on kõige väljapaistvamad filtreerijad Läänemeres söödav rannakarp *Mytilus trossulus* ja rändkarp *Dreissena polymorpha* (Öst ja Kilpi, 1997). Rannakarbid on Euroopas kõige esimesed kasvandustes kultiveeritavad vesiviljelusliigid (Asokan, 2009) ja neist enim on kasutust leidnud söödav rannakarp (*Mytilus trossulus*). Söödav rannakarp kinnitub looduslikult kõvadele substraatidele ning kasvandustes kõisliinidele. Olles filtreerija sõltub liik taimse hõljumi rohkusest. Sellest tulenevalt on söödavat rannakarpi eriti massiliselt intensiivse veevahetusega merealadel – väinades ning rannikunõlvadel. Suurte arvukuste juures suudab söödav rannakarp pidurdada inimtekkelisi eutrofeerumisprotsesse. Läänemeres levib liik arvukamalt kuni 40 meetri sügavuseni. Tegemist on kõige massilisema Läänemere põhjaloomastiku liigiga kivistel põhjadel.

Rändkarp (*Dreissena polymorpha*) pärineb Ponto-Kaspia basseinist. Liigil on 3–5 cm pikkune rohekaskollane väga muutliku kujuga koda. Koja pinnal on sageli ristipidi paiknevad või siksakilised pruunid ribad. Rändkarbil teatakse hulgaliselt alamliike. Eestis piirdub rändkarbi levik enim magestunud merepiirkonadega ning mageveekogudega. Liik asustab peamiselt kõvu põhju, kuid võib elada ka pehmetel setetel. Liigile on iseloomulik kobardumine, mille tagajärjel tekib uutele rändkarpidele soodus kõva pinnas. Suurimad sügavused, kus elujõulisi rändkarbi populatsioone on leitud, ei ületa tavaliselt kümnet meetrit. Olles aktiivne filtreerija võib arvukas rändkarbipopulatsioon oluliselt pidurdada veekogu eutrofeerumisprotsesse. Info rändkarpide kasutusvõimalustest põhineb teistel karbiliikidel, kuna rändkarpide kasutusvõimalusi on väga vähe uuritud (McLaughlan ja Aldridge, 2013), kuid Rootsisis teostatud kasvatamise võimaluste

hinnangute alusel on rändkarp sobiv liik vee kvaliteedi parandamiseks ja toitainete eemaldamiseks (Goedkoop et al., 2011).

Tuginedes olemasolevatele tunnusliikide levikuandmetele määratleti vetikate ja selgrootute vesiviljeluseks sobilikud alad Eesti merealal (Joonis 2). Söödava rannakarbi levik on peamiselt määratletud jää karakteristikutest, merevee läbipaistvusest ning sügavusest. Agariku kinnitunud vormi levik on peamiselt määratletud avatusest lainetele, sügavusest, taimse hõljumi ohtrusest ning meresetete iseloomust. Põisadru levik on peamiselt määratletud sügavusest, meresetete iseloomust. Kõik need kolm mereliiki ei suuda asustada ka madalasooleid merealaid. Rändkarbi levik on määratletud merevee läbipaistvusest ja setete iseloomust. Lisaks ei tohi vee soolsus ületada kriitilist väärtust. Eespool toodud kriteeriumitest tulenevalt sobivad vesiviljeluseks lainetusele mõõdukalt avatud kõva põhjasubstraadiga elupaigad, kus elustiku dominantliigiks on kas söödav rannakarp (*Mytilus trossulus*), rändkarp (*Dreissena polymorpha*), põisadru (*Fucus vesiculosus*) või agarik (*Furcellaria lumbricalis*). Selliste vesiviljeluseks sobilike alade sügavuslevik jääb vahemikku 0,2–10 meetrit ja soolsuse miinimum tavaliselt 4 PSU. Häid vesiviljelusalasid paikneb kõige enam Saaremaast ja Hiiumaast läände jäävatel merealadel ning Liivi lahe põhjaosas. Vähesel määral sobivad vesiviljeluseks ka Väinamere äärealad ja Vormsi saare põhjaosas paiknevad merealad.



Joonis 2. Eesti rannikumere sobivus vesiviljeluseks vetika- ja karbikasvanduse seisukohast. Punane tähistab väga häid vesiviljelusalasid (75-100% olemasolevatest vesiviljelusliikidest suudavad nendel aladel elada), roheline häid vesiviljelusealasad (50% olemasolevatest vesiviljelusliikidest suudavad nendel aladel elada) ning sinine võimalikke vesiviljelusalasid (25% olemasolevatest vesiviljelusliikidest suudavad nendel aladel elada). Mustaga on näidatud vesiviljeluseks mitesobilikud alad (vesiviljeluseks sobivad liigid ei esine).

Täiendavad andmed

Vesiviljeluseks sobilike asukohtade valimisel tuleb arvestada vetikate seisukohalt kultiveeritava vetikaliigi eripäraga, so eelkõige talluse morfoloogia ja regeneratsioonivõime, paljunemisviisi (vegetatiivne vs spooridega) ning kasvukiirusega. Samuti tuleb välja selgitada, millised on liigi optimaalsed kasvutingimused: valgusnõudlus, toitainete vajadus, vee liikumine (Titlyanov ja Titlyanova, 2010). Epifüütsed kiirekasvulised vetikad konkureerivad kultiveeritavate vetikatega nii valguse, substraadi kui toitainete pärast (Buschmann ja Gomez, 1993) ning vähendavad seetõttu kultiveeritava liigi fotosünteesi kiirust ja biomassi juurdekasvu. Epifüütsete vetikate

füüsiline eemaldamine tõstab märkimisväärselt tootmiskulusid (Buschmann ja Gomez, 1993; Kuschel ja Buschmann, 1991).

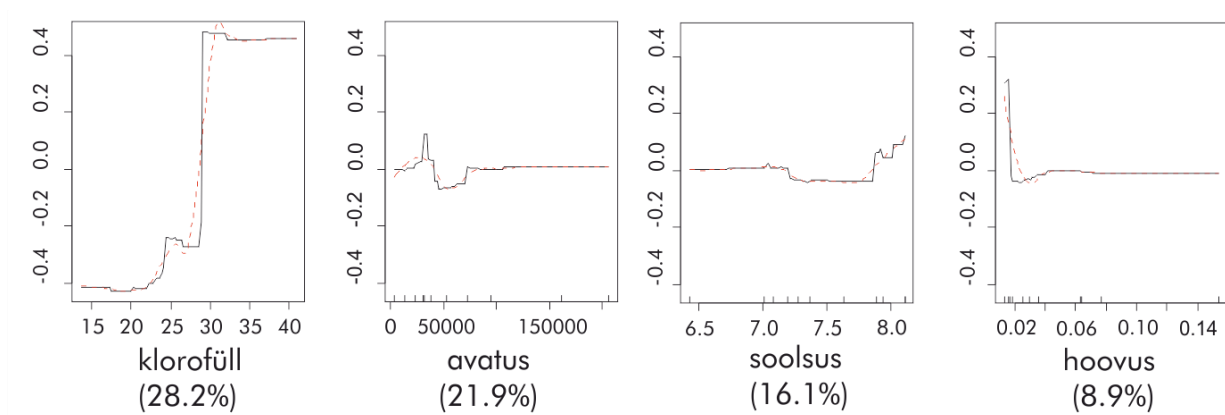
Sarnaselt määravad agariku juurdekasvu nii looduslikus punavetikakoosluses kui kunstliku kultiveerimise tingimustes mitmed erinevad eluta ja elusa keskkonna näitajad, sh valgustingimused, veetemperatuur, toitained, koosluse struktuur. Makrovetikad vajavad kasvu tagamiseks mitmeid erinevaid keemilisi ühendeid, millest olulisemad on lämmastiku- ja fosforiühendid. Vetikad on võimelised omastama mereveest anorgaanilisi lämmastiku- ja fosforiühendeid (valdavalt nitraate ja fosfaate). Toitainete omastamise kiirus sõltub vetikaliigist, tema morfoloogiast ja elutsüklis (Wallentinus, 1984). Reeglina omastavad kõige kiiremini toitained niitjad üheaastased rohe- ja pruunvetikad ning on seetõttu võimelised kiiresti reageerima ka lühiajalistele lokaalsetele toitainete kontsentratsioonide muutustele merevees. Mitmeaastaste vetikate, sh agariku toitainete omastamise kiirus on märkimisväärselt madalam ja ei suuda kindlasti konkureerida üheaastaste niitjate vetikatega. Samas on mitmeaastased vetikad võimelised talletama oma talluses piisavat toitainete varu, mille arvel tagatakse juurdekasv aktiivsel kasvuperioodil, kui toitainete kontsentratsioonid merevees on madalad.

Karpide vesiviljeluseks sobilike asukohtade valimisel tuleb arvestada karbiliigi keskkonnataluvust, samuti on oluline teada liigi elupaigaeelistusi. Majanduslikult tasuvad ära vaid sellised karbikasvandused, kus saagikused on suured. Siit tulenevalt on vaja hinnata karpide kasvukiirusi eri keskkonnatingimuste juures ning eelistada karbikasvandusaladena neid merepiirkondi, kus on tagatud karpide kiire kasv. Lisaks tuleb analüüsida, kui oluline on jää, tormilainete, vetikate pealiskasvu, kiskjate (krabid, kalad, linnud) negatiivne mõju karbikasvatusele. Optimaalsed karbikasvatusalad on sellised, kus on tagatud karpide suur kasvukiirus, samas kui karbikasvatusele negatiivselt mõjuvate tegurite roll on minimiseeritud.

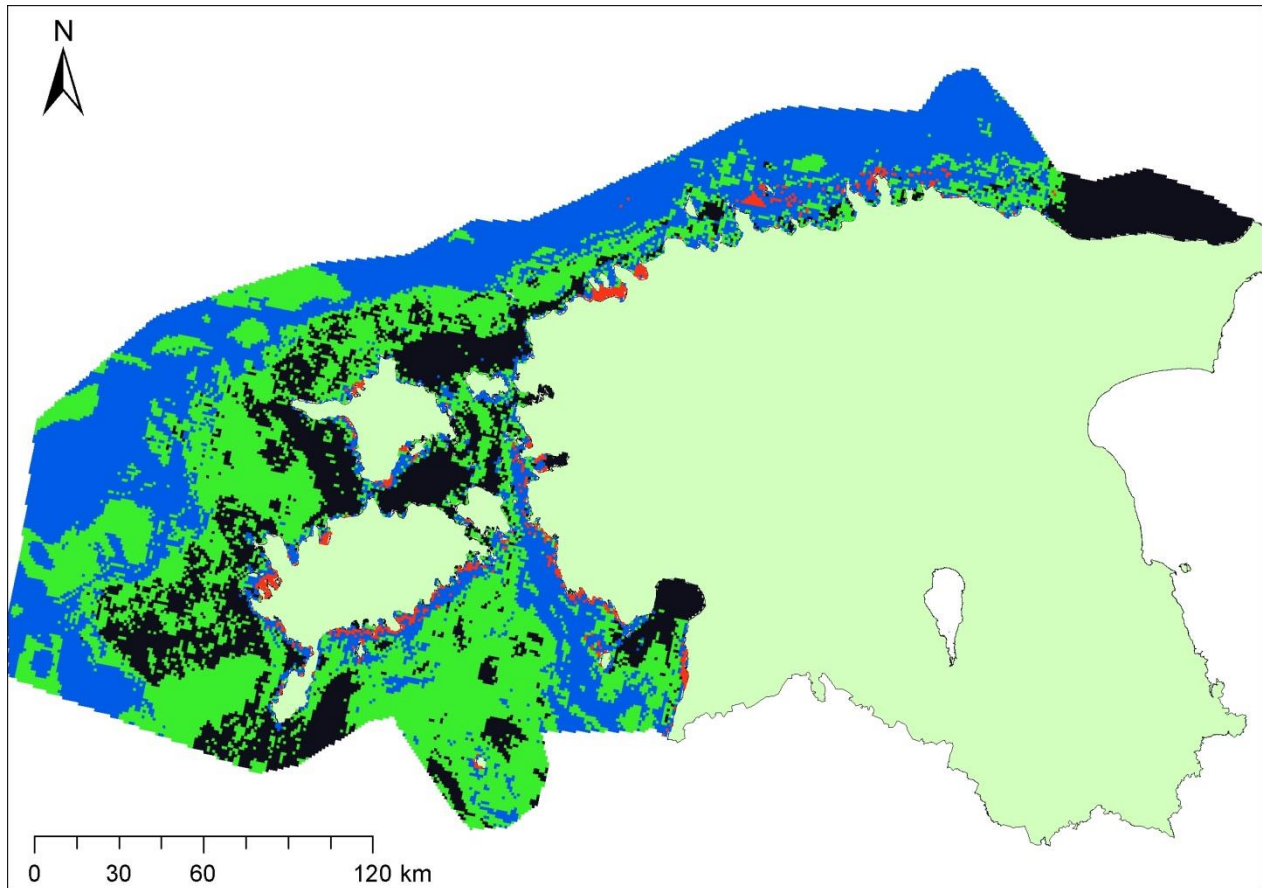
Söödava rannakarbi kasvupotentsiaali määratlemine

BRT mudel näitab uuritud keskkonnaandmete mõju söödava rannakarbi *Mytilus trossulus* kasvupotentsiaalile (Joonis 3). Kõige enam mõjutab söödava rannakarbi kasvukiirust toidu (hõljumvetikate) olemasolu, mis sisaldub mudelis erinevate muutujatena: klorofüllis sisaldus (mikrovetikate hulk veesambas), avatus lainetusele (veesamba segunemine, mis viib toidu pinnalt merepõhja suunas) ning hoovuste liikumise kiirus (protsess, mis toob toitu merealadelt, kus rannakarpe pole). Oluline muutuja mudelis on ka merevee soolsus. Söödava rannakarp on mereline liik ning soolsuse vähenemisel karpide kasvukiirus väheneb (kasvuks minev energia kulutatakse kehasse tunginud mageda vee väljapumpamisele). Soolsuse langemisel teatud piirväärtuseni, ei suuda rannakarbid enam ellu jääda ja sellistel merealadel pole ka rannakarbi

kasvandused võimalikud. Leitud seoseid kasutati, et hinnata rannakarbi kasvukiirust üle kogu Eesti mereala (Joonis 4). Mudelennustused näitavad, et söödava rannakarbi kasvupotentsiaal on kõrge ainult suhteliselt piiratud rannikumere aladel. Kasvukiirused on pigem suuremad Lääne-Eestis kui Soome lahes. Samas on jooniselt näha karpide kasvukiiruses väga suured piirkondlikud erinevused. Selline variatiivsus on peamiselt tingitud taimse hõljumi sisalduse ning lainetuse iseloomu suurest ruumilisest varieeruvusest.



Joonis 3. Seosed uuritud keskkonnaandmete ja söödava rannakarbi *Mytilus trossulus* kasvukiiruse vahel.



Joonis 4. Ennustatud söödava rannakarbi kasvupotentsiaal Eesti merealal. Punane tähistab Eesti rannikumere suurimaid võimalikke kasvukiirusi (karpide kasvukiirus 75-100% Eesti maksimaalsest karbikasvu potentsiaalist), roheline keskmiseid võimalikke kasvukiirusi (karpide kasvukiirus 50-74% Eesti maksimaalsest karbikasvu potentsiaalist), sinine väga väikeseid võimalikke kasvukiirusi (karpide kasvukiirus 1-49% Eesti maksimaalsest karbikasvu potentsiaalist) ning mustaga on rannakarbi jaoks ebasobivad kasvukohad. Avamere suurem karbikasvu potentsiaal on tingitud suurematest soolsuse väärtusest ning suhteliselt kõrgetest klorofüllü sisaldusest võrrelduna rannikumeres mõõdetud väärtustega. Liivi lahe rannikumere suur karbikasvu potentsiaal on tingitud vee suurest klorofüllü sisaldusest ning keskmiselt kõrgemast veetemperatuurist. Soome lahes paiknevad soodsamad rannakarbi kasvupiirkonnad rannikule lähemal just järsema rannanõlva tõttu (suurem süvavee kergete ehk soolase vee sissevoolu tõenäosus).

Täiendavad uuringud

Käesolevas töös on vesiviljeluseks sobivatest liikidest analüüsitud üksnes söödavad rannakarbi kasvupotentsiaali Eesti merealal. Vesiviljeluseks sobilike alade määratlemiseks oleks aga vajalik

hinnata kõikide teiste vesiviljeluseks sobilike liikide kasvupotentsiaali erinevates mereala piirkondades.

Lisaks on oluline hinnata erinevate vesiviljelustegevuste mõju hajureostuse eemaldajana ning sellest teadmisest tulenevalt määratleda vesiviljeluseks vajalike alade pindala, et tagada rannikumere veekogumites hea keskkonnaseisund.

Täiendavalt tuleks vesiviljeluseks sobilike alade määramisel kindlasti arvestada reaalseid jääolusid ja lainetust. Jää kujundab oluliselt madala rannikumere elupaiku ning sõltuvalt merealast ja merepõhja morfoloogiast võib jää kulutustegevuse tagajärgi näha kuni 5–6 m sügavuseni. Teatud juhtudel võib merejää saada piiravaks teguriks vesiviljelussektorite arendamisel. Jää teiseks tähtsaks mõjuku võib lugeda selle varjutavat toimet, kuna jääkatte perioodil halvenevad valgusetingimused ning piiratud on ka vee liikumine. Avatus lainetusele on selline keskkonnategur, mis eelkõige iseloomustab keskkonna dünaamilisust. Olemasolevate tehnoloogiate puhul pole võimalik vesiviljelusega tegeleda lainetusele liiga avatud merepiirkondades. Samuti on ka kulud logistikale avatud merepiirkondades oluliselt suuremad.

Merelinnud võivad piirkonniti eemaldada umbes 50% karbikasvanduste saagist. Käesoleval hetkel puuduvad teadmised lindude rollist Eesti rannikumeres kultiveeritavatele söödava rannakarbi populatsioonidele.

KIRJANDUS

- Asokan, P. (2009). Present status of mussel farming-Winter School on Recent Advances in Breeding and Larviculture of Marine Finfish and Shellfish.
- Bendtsen, J.; Gustafsson, K.E.; Söderkvist, J.; Hansen, J.L.S. (2009). Ventilation of bottom water in the North Sea–Baltic Sea transition zone. *Journal of Marine Systems*, 75, 138–149.
- Buschmann, A.H.; Gomez, P. (1993). Interaction Mechanism between *Gracilaria chilensis* (Rhodophyta) and Epiphytes. *Hydrobiologia*, 260/261, 345–351.
- Goedkoop, W.; Naddafi, R.; Grandin, U. (2011). Retention of N and P by zebra mussels (*Dreissena polymorpha* Pallas) and its quantitative role in the nutrient budget of eutrophic Lake Ekoln, Sweden. *Biological Invasions*, 13, 1077–1086.
- Herkül, K.; Kotta, J.; Kutser, T.; Vahtmäe, E. (2013). Relating remotely sensed optical variability to marine benthic biodiversity. *PlosOne*, 8 (2), e55624, journal.pone.0055624.
- Kotta, J.; Kutser, T.; Teeveer, K.; Vahtmäe, E.; Pärnoja, M. (2013). Predicting species cover of marine macrophyte and invertebrate species combining hyperspectral remote sensing, machine learning and regression techniques. *PlosOne*, 8 (6), e63946, journal.pone.0063946.

- Kotta, J.; Oganjan, K.; Lauringson, V.; Pärnoja, M.; Kaasik, A.; Rohtla, L.; Kotta, I.; Orav-Kotta, H. (2015). Establishing functional relationships between abiotic environment, macrophyte coverage, resource gradients and the distribution of *Mytilus trossulus* in a brackish non-tidal environment. *PlosOne*, 10 (8), e0136949, journal.pone.0136949.
- Kuschel, F.A.; Buschmann, A.H. (1991). Abundance, Effects and Management of Epiphytism in Intertidal Cultures of *Gracilaria* (Rhodophyta) in Southern Chile, *Aquaculture*, 92, 7–19.
- McLaughlan, C.; Aldridge, D.C. (2013). Cultivation of zebra mussels (*Dreissena polymorpha*) within their invaded range to improve water quality in reservoirs. *Water Research*, 47, 4357–4369
- Nikolopoulos, A.; Isæus, M. (2008). Wave exposure calculations for the Estonian coast. *AquaBiota Water Research*.
- Öst, M.; Kilpi, M. (1997). A recent change in size distribution of blue mussels (*Mytilus edulis*) in the western part of the Gulf of Finland. In *Annales Zoologici Fennici*, 31–36. Helsinki: Suomen Biologian Seura Vanamo.
- Remm, K.; Remm, J.; Kaasik, A. (2012). Ruumiliste loodusandmete statistiline analüüs. <http://hdl.handle.net/10062/26456>
- Titlyanov, E.A.; Titlyanova, T.V. (2010). Seaweed Cultivation: Methods and Problems. *Russian Journal of Marine Biology*, 36, 227–242.
- Tuvikene, R.; Truus, K.; Robal, M.; Pehk, T.; Kailas, T.; Vaher, M.; Paalme, T. (2009). Structure and thermal stability of pyruvated carrageenans from the red alga *Coccotylus truncatus*. *Carbohydrate Research*, 344(6), 788–794.
- Wallentinus, I. (1984). Partitioning of nutrient uptake between annual and perennial seaweeds in a Baltic archipelago area. *Hydrobiologia*, 116, 363–370.