

Tartu Ülikooli Eesti Mereinstituut

## Majanduslikult oluliste poolsiirdekalade koelmualade seisundi modelleerimine muutuvate keskkonnatingimuste ja survetegurite foonil

(Deliverable 4.3. Modelling the status of spawning grounds of commercially important facultatively anadromous fish under changing environmental parameters and human pressures.)

Teostatud projekti "Eesti mereala keskkonna ja loodusväärtuste hindamise ja seire  
innovaatilised lahendused" raames

Version 2, 24.10.2021

Leping: RITA1/02-60-07

Vastutav täitja: Georg Martin

Aruande koostajad: Mehis Rohtla, Jonne Kotta, Roland Svirgdsen,  
Markus Vetemaa

Tartu/Tallinn/Storebø 2021

## Sisukord

Executive summary .....	3
Sissejuhatus.....	5
Materjal ja meetodika.....	6
Uuringualad.....	6
Andmete kogumine .....	7
Modelleerimine.....	7
Tulemused.....	9
Modelleerimine.....	9
Mage ja riimveelisted veekogude koondmudel.....	10
Mageveeliste veekogude mudel .....	14
Kokkuvõtte ja järeldused.....	19
Kasutatud allikad.....	22

## Executive summary

Shallow coastal ecosystems are changing at an accelerating rate due to different types of human pressures. In recent decades, several coastal fish communities have experienced significant declines in abundance due to increased and diversified human impacts. A number of direct drivers of declines have been identified (including overfishing), but there is increasing evidence that factors directly linked to the functioning of reproduction areas (i.e. spawning and nursery grounds) may also be strongly behind the observed declines. However, fish reproduction areas are often found in areas where human impacts are most pronounced. To date, it is still unclear which environmental and human factors have the greatest influence on the functioning of spawning and nursery areas.

Spawning is the most important and critical stage for the sustainability of fish communities. Therefore, it is of utmost importance to assess the performance of different rearing areas in the context of the formation of the supplement. As marine ecosystems are highly dynamic, it is important to use complex statistical models to predict the performance of nursery areas under varying levels of environmental parameters and intensities of human impacts. In this report we identified the relationships between different environmental parameters, human impacts and the performance of fish nursery areas. Pike (*Esox lucius*) was chosen as a model species.

The most important factors describing the quality of reproduction areas were identified to be salinity, surface area of the waterbody, connectivity with the sea and the number of disemboing waterbodies. The human pressures (eutrophication, fishing pressure) and many remote-sensing parameters (e.g. vegetation cover percentage and diversity, bottom substrate type) included in the models were usually not among the most important factors describing the functioning of the studied spawning/nursery areas. While eutrophication is certainly an environmental challenge in each of the pilot sites, the most critical effects of eutrophication (hypoxia, habitat loss due to declining habitat volume) are more pronounced in mid- to late summer, when most of the young-of-the-year pike have already left the rearing areas.

This work has demonstrated that the quality of coastal freshwater rearing areas for freshwater spawning fish can be assessed using relatively simple field work settings. For an initial qualitative assessment, only minimal on-site observations during the spring-summer period (including aerial drone photography that enables to quantify most parameters) are needed to provide data for the models constructed in the present study. There is no need to collect data on more laborious and expensive parameters on the realized quality of the reproduction area (i.e. the dependent variables included into the models present herein). In this way, it will be possible to map the entire coastal sea and the connected freshwater bodies. All of this would provide a data-driven framework to assess whether and to what extent different areas would be suitable as facultatively anadromous fish` reproduction and/or restocking areas. In addition, the constructed models can be used as decision support tools to forecast the quality of reproduction areas under

different environmental parameters and human pressures. Output of the models (i.e. the range of dependent variable values indicating good reproduction area quality with respect to a set of independent variables) can be then used as one of the inputs in planning the restoration of fish reproduction areas.

## Sissejuhatus

Madalate rannikualade ökosüsteemid muutuvad kiirenevas tempos erinevat tüüpi inimõjude tõttu. Viimastel kümnenditel on järjest intensiivsema ja eripalgelisema inimõju tõttu mitme rannikumere kalaasurkonda arvukus oluliselt vähenenud. Otseseid arvukuse languse põhjustajaid on tuvastatud mitmeid (sh ülepuük), kuid järjest enam on tõendeid selle kohta, et arvukuse langust võivad tugevalt mõjutada ka faktorid, mis on otseselt seotud taastootmisalade (st kude- ja turgutusvalade) toimimisega (Ljunggren et al 2005). Kalade taastootmisalad on tihti aga kohad, kus inimõju avaldub kõige teravamalt. Samas on jätkuvalt ebaselge, millised keskkonna ja inimõjulised faktorid mõjutavad enim taastootmisalade toimimist.

Kudemine ja noorkalade esimene eluaasta on kalaasurkondade jätkusuutlikkuse jaoks kõige olulisem ja kriitilisem etapp. Seetõttu on äärmiselt oluline hinnata erinevate taastootmisalade toimimist just täiendi moodustumise kontekstis. Paraku on sellised madalaveelised ökosüsteemid väga keerulised ja dünaamilised ning nende modelleerimine seotud väga suurte väljakutsetega. Nimelt puuduvad meil tänini teadmised põhjuslikest seostest, kuidas erinevad looduslikud ja inimetekkelised tegurid üksi või interaktsioonidena mõjutavad kalade täiendi kujunemist. Selliseid põhjus-tagajärg seoseid on aga tulevikus võimalik täpselt määratleda asudes aktiivselt parandama osasid taastootmisalasid ning seejärel jälgides parandatud ökosüsteemide arengut teiste, muutmata veekogumite foonil.

Selleks, et saaksime juba praegu keerukaid ökosüsteeme kirjeldada, tuleb kasutada komplekseid intellektitehnika valdkonda kuuluvaid empiirilisi statistilisi mudeleid, mida iseloomustab suur andmekaevandamise efektiivsus ning millel on võime paindlikult arvestada sõltumatute tunnuste iseloomulikke kombinatsioone so. looduses väga sagedasti esinevaid interaktsioone. Toetudes varasemate seirete käigus kogutud treeningandmetele on selliste statistiliste mudelite abil võimalik ennustada taastootmisalade toimimist erinevate keskkonnaparameetrite tasemete ja inimõju intensiivsuse tingimustes. Veelgi enam, kuna meetod on suure üldistusjõuga, siis saame mudelit mõnevõrra rakendada ka väljapoole mudeli parameetrite määramiseks kasutatud treeningandmeid.

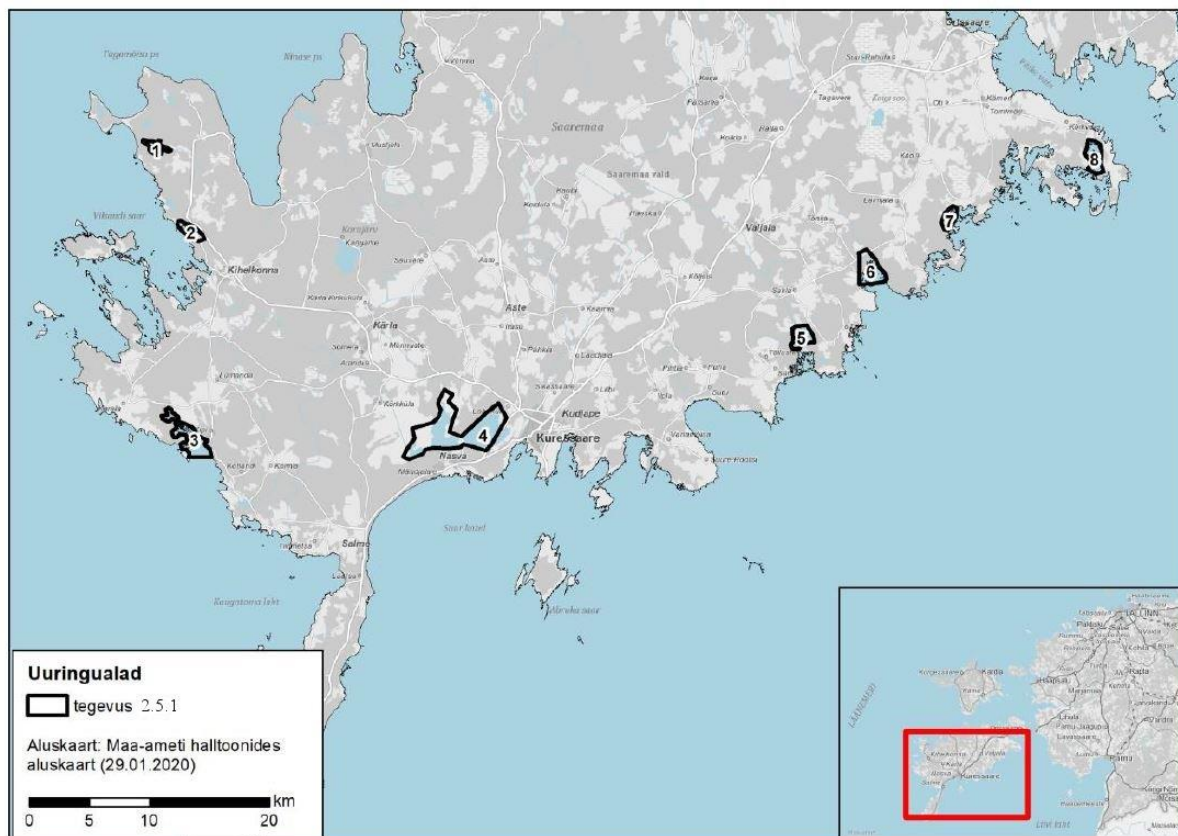
Käesoleva töö eesmärgiks oligi välja selgitada kvantitatiivsed seosed erinevate keskkonnaparameetrite, inimõju ja kalade taastootmisalade toimimise vahel ning salvestada parimad seosed andmemudelina. Sõltumatutest tunnustest pakkusid kõige suuremat praktilist huvi erinevate kaugseireparameetrite (Herkül jt. 2021) seos koelmu realiseerunud kvaliteediga (Rohtla jt. 2021b, Vasemägi jt. 2021). Sellistel andmemudelitel on vähemalt kaks praktilist väljundit. (1) Esiteks on võimalik suhteliselt lihtsasti kogutavate keskkonnaparameetrite abil koelmukvaliteeti ennustada. Selliselt on mõistlik mudeleid rakendada nende veealade peal, kus arvutuste sisendiks vajalik minimaalne keskkonnainfo on kogutud; kusjuures suurema töömahuga koelmu kvaliteedi näitajaid siis enam kvantifitseerima ei peaks, sest kogutud parameetrite seos koelmu kvaliteedi näitajatega on juba mudelis defineeritud. (2) Teiseks võimaluseks on kasutada andmemudelit stsenaariumipõhise otsustustoena (*decision support tool*) uuritava ala kvaliteedi määratlemisel. Näiteks saame sellistes stsenaariumiarvutustes

hinnata, et milliste keskkonnategurite kompleks (põhjataimestiku üldkatvus ja ruumiline mosaiiksus, vaba vee olemasolu, jne) tagab meile ühe või teise veekogu puhul hästi toimiva taastootmisala ning seejärel kasutada mudeli poolt ennustatud piirmäärasid taastootmisala parendamistööde sisendina. Mudelliigiks valiti käesolevas töös haug (*Esox lucius*).

## Materjal ja meetodika

### Uuringualad

Uuringualade (**Joonis 1**) põhjalikud kirjeldused on toodud MereRITA tegevuse 2.5.1 lõpparuandes (Rohtla jt. 2021).



**Joonis 1.** Uuringualad. 1 - Killatu järv; 2 – Pautsaare laht; 3 – Pilguse laht; 4 – Mullutu-Suurlaht; 5 – Oessaare laht; 6 – Kõiguste laht; 7 – Saastna laht; 8 – Arjulaht

## Andmete kogumine

Käesolevas töös kasutati MereRITA tegevuste 2.5.1, 2.6.1, 2.7.1 ja 3.4.1 käigus kogutud andmeid (Herkül jt. 2021; Rohtla jt. 2021a,b, Vasemägi jt. 2021).

Kuna efektiivse kudekarja absoluutse suuruse hinnangud polnud proovide vähesuse tõttu usaldusväärsed, siis kasutati konkreetse uuringuala kudekarja suuruse suhteliseks hindamiseks keskmist täisõvede (õdede-vendade) osakaalu uuritud proovide hulgas. Konkreetne parameeter korreleerub kudejate arvuga.

## Modelleerimine

Koelmuulade kvaliteedi modelleerimisel kasutati MereRITA projekti raames kogutud välitööde andmestikku (tegevused 2.5.1, 2.6.1, 2.7.1., 3.4.1), mis sisaldas indikaatoreid veekogude ja elupaikade iseloomu ning kalade kudemise edukuse kohta.

Modelleerimisel lähtuti parimast olemasolevast teabest mudelliigi ökoloogiast ning mudelitesse kaasati tunnused, millest on teada, et need mõjutavad uuritud mudelliigi kudemisedukust. Samuti arvestati mudelite loomisel varasemate teadmistega, kuidas erinevad keskkonnanäitajad potentsiaalselt mõjuvad kudemisedukuse indikaatoritele. Kuna tegemist on empiirilistel andmetel põhineva modelleerimisega, siis vaid ökoloogilises plaanis oluliste tunnuste lisamisel mudelitesse ning tunnuste vaheliste teoreetiliste seoste arvestamisel saame olla kindlad, et modelleerimistulemused peegeldavad reaalsust parimal võimalikul moel.

Keerukate süsteemide puhul, nagu loodus seda on, ei ole võimalik korruga saavutada täpsust, universaalsust 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). Kuna mudelites kasutatud vaatlusandmestik kattis eritüübilisi koelmuulasid, kasutasime oma modelleerimisel empiirilisi statistilisi mudeleid, mille vabadusastmeid piirasime olemasolevate teoreetiliste teadmiste abil (so. seoste suundade määratlemisega).

Modelleerimisel kasutasime intellektitehnikat ja statistilist analüüsi ühendavat uuenduslikku meetodit (võimendatud regressioonipuu meetod, Boosted Regression Trees, BRT). Tegemist on meetodiga, mis leiab ja kirjeldab väga efektiivselt keskkonna ja elustiku vaheliste seoste seaduspärasusi. Meetod on suure üldistusjõuga ja potentsiaalselt ekstrapoleeritav ka väljapoole mudeli parameetrite määramiseks kasutatud treeningandmeid. Selliseid mudeleid oleme oma

uuringutes edukalt kasutanud erinevates maailmameres sh. Läänemeres Eesti rannikumere tingimustes (Kotta et al., 2015, 2017).

Kuuludes intellektitehnika valdkonda, võimaldavad masinõppe meetodid lisaks parimale struktuurile otsida ka sobivaimat üldistustaset. Otsuste puud on laialdaselt kasutusel suuremahuliste kaugseire andmete töötlemises, kuna nende kasutus on arvutuslikult kiire. Otsuste puud ei sea eeldusi andmete tüübi ja statistilise jaotuse osas ja võimaldavad samaaegselt kasutada erinevates mastaapides kogutud lähteandmeid. Intellektitehnika meetodite eelised on nende (1) robustsus tunnuste tüüpide ja väärtuste jaotuste suhtes, (2) sõltumatus funktsioonitunnuse monotoonsetest teisendustest, (3) võime paindlikult arvestada argumenttunnuste iseloomulikke kombinatsioone so. interaktsioone ning (4) andmekaevandamise efektiivsus. Sellest tulenevalt on intellektitehnika meetodite rakendustel väga suur (kuid seni veel võrdlemisi kasutamata) potentsiaal reaalteadustes korraldatavates andmetöötlemises ja mudelprognoosides.

Sarnaselt teiste ruumianalüüsi meetoditega sisestatakse intellektitehnika puhul mudelisse suur hulk keskkonnamuutujaid ja lastakse mudeli algoritmil automaatselt valida mudeli ehitamiseks need keskkonnamuutujad, mis seostuvad paremini ennustatava bioloogilise muutujaga. Keskkonnamuutujate valik aga pole siin juhuslik. Kvaliteetse mudeli loomise eeltingimus on ökoloogiliselt olulisemate keskkonnategurite kaasamine ja hiljem modelleerimise käigus leitud seoste kuju sisuline mõistmine. Parima kirjeldava mudeli leidmiseks kasutasime parima prognoosi meetodit ehk prognoosivea minimeerimist. Mudelite ennustusvõime valideerimiseks kasutasime lineaarset regressioonianalüüsi. Regressioonianalüüsi käigus arvatud determinatsioonikordaja ( $r^2$ ) varieerub 0 ja 1 vahel; väärtus 0 näitab mudelennustuse täielikku juhuslikkust ja 1 ülitäpset ennustust. Mudelisse kaasatud sõltuvad ja sõltumatud tunnused on toodud **Tabelis 1**.

**Tabel 1.** Mudelitesse kaasatud sõltuvad ja sõltumatud tunnused.

Tunnus	Sõltuv või sõltumatu	Tunnuse tüüp	Tunnuse tasemed
Samasuviste arvukus	Sõltuv	Kvalitatiivne	Puudub, madal, keskmine, kõrge
Osakaal saakides	Sõltuv	Kvantitatiivne	Pidev tunnus
Kudekarja suurus	Sõltuv	Kvantitatiivne	Pidev tunnus
Siirdehaugi järglaste osakaal	Sõltuv	Kvantitatiivne	Pidev tunnus
Veekogu pindala	Sõltumatu	Kvantitatiivne	Pidev tunnus
Soolsus	Sõltumatu	Kvalitatiivne	Mage, soolane
Veekogu mosaiiksus	Sõltumatu	Kvalitatiivne	Madal, keskmine, kõrge
Ühendus merega	Sõltumatu	Kvalitatiivne	Halb, hea
Suubuvate veekogude arvukus	Sõltumatu	Kvalitatiivne	Puudub, $\leq 2$ , $\geq 3$
Põhjasubstraat	Sõltumatu	Kvalitatiivne	Lausaliselt pehme, valdavalt pehme



Muda keskmine katvus	Sõltumatu	Kvantitatiivne	Pidev tunnus
Põhjataimestiku keskmine katvus	Sõltumatu	Kvantitatiivne	Pidev tunnus
Taimestiku mitmekesisus	Sõltumatu	Kvalitatiivne	Mändvetika domineerimine, kuid vähearvukalt esines ka teisi liike; mändvetika domineerimine, kuid arvukalt esines ka teisi liike; domineerisid muud liigid kui mändvetikas
Vabavee keskmine sügavus	Sõltumatu	Kvantitatiivne	Pidev tunnus
Eutrofeerumise tase	Sõltumatu	Kvalitatiivne	Rohkem eutroofne, keskmiselt eutroofne, vähem eutroofne
Kalastussurve	Sõltumatu	Kvalitatiivne	Puudub, nõrk, keskmine, tugev
Haugi arvukus meres	Sõltumatu	Kvalitatiivne	Vähearvukas, keskmiselt arvukas, väga arvukas

## Tulemused

### Modelleerimine

Mudelid erinevate keskkonnanäitajate ja koelmualade kvaliteedi indikaatorite vahel olid väga head so. mudelid kirjeldasid ära suure osa indikaatorite varieeruvusest. Mudelitega kirjeldatud seosed olid üldjuhul keerulised ning mudelites kirjeldas koelmualade kvaliteedi varieeruvust samaaegselt suur hulk erinevaid keskkonnanäitajaid. Kõik loodud mudelobjektid on lisatud aruandele R tarkvara failiformaadis.

Selliseid mudelobjekte saab rakendada selliste taastootmisalade kvaliteedi hindamisel, kus kogutud on vaid mudelarvutuseks vajalik keskkonnainfo, kuid puuduvad teadmised koelmute kvaliteedinäitajate (so. oluliselt suuremat töömahtu nõudvate tunnuste) kohta. Lisaks saab selliseid andmemudeleid kasutada stsenaariumipõhise otsustustoena uuritava ala kvaliteedi määratlemisel erinevate looduslike tingimuste ja inimtegevuste survete tingimustes, kusjuures survetena on mudelitesse kaasatud mere eutrofeerumine ja kalapüügi intensiivsus. Sellist otsustustuge võib kasutada kui kulutõhusat analüüsivahendit ebarahuldavalt toimivatel taastootmisaladel leevendusmeetmete väljatöötamiseks.

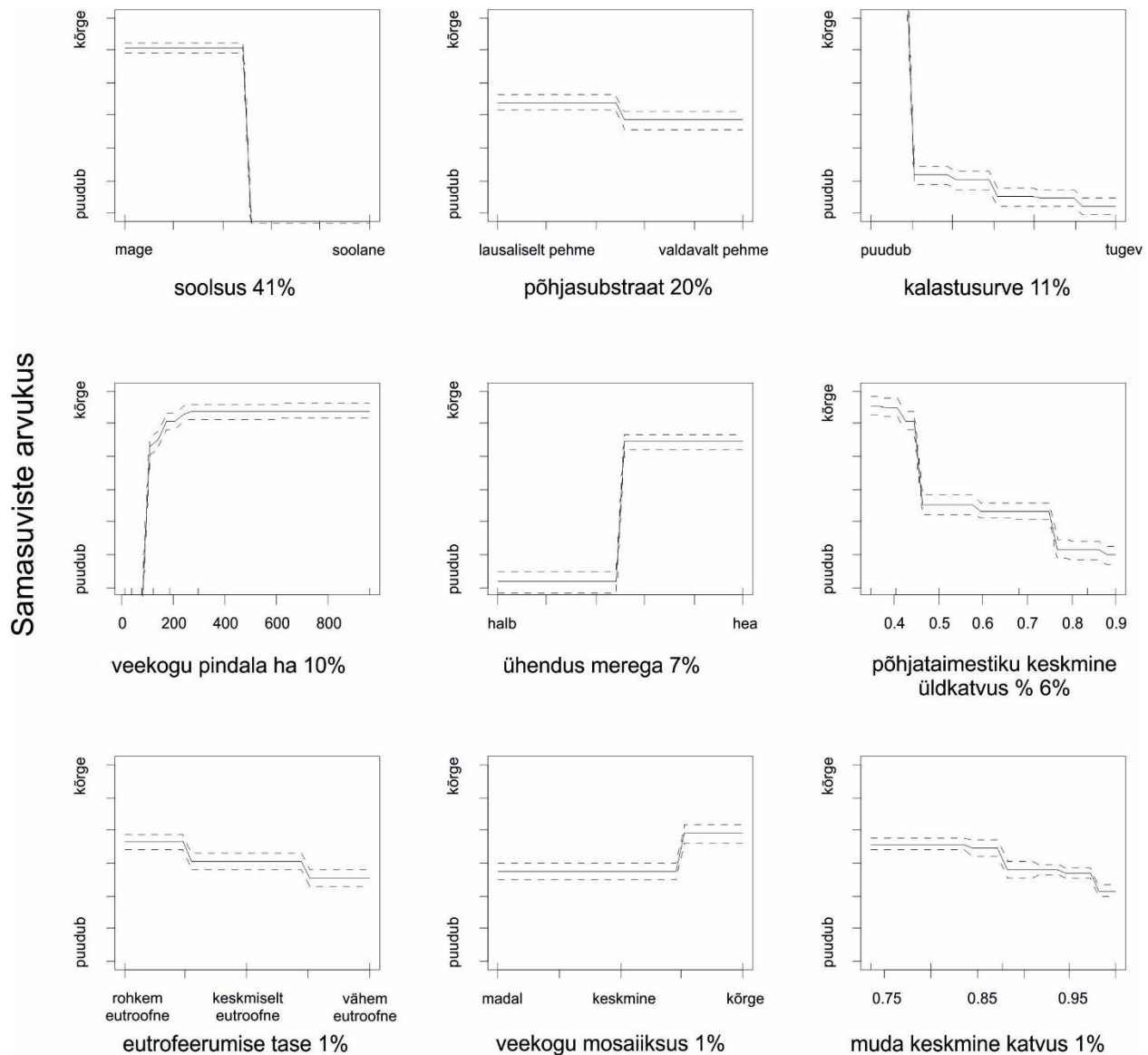
Oluline on aga silmas pidada, et tegemist on suhteliselt väikesel valimil ja korrelatiivsetel seostel põhinevate tulemustega. Täpsemate tulemuste saamiseks tuleks mõõtmisi teha suurema arvu veekogude puhul ja/või rohkematel aastatel. Põhjus-tagajärg seoste paremaks määratlemiseks

on aga vajalik teostada seiret aktiivselt parandatud taastootmisaladel ning võrrelda parandatud ökosüsteemide arengut teiste, muutmata veekogumite foonil. Selliste detailsemate andmete kogumise järel on võimalik andmemudeleid võrdlemisi väikese vaevaga uuendada ning selle läbi oluliselt parandada ka otsustustoe otsuste kvaliteeti.

## Mage ja riimveelistest veekogude koondmudel

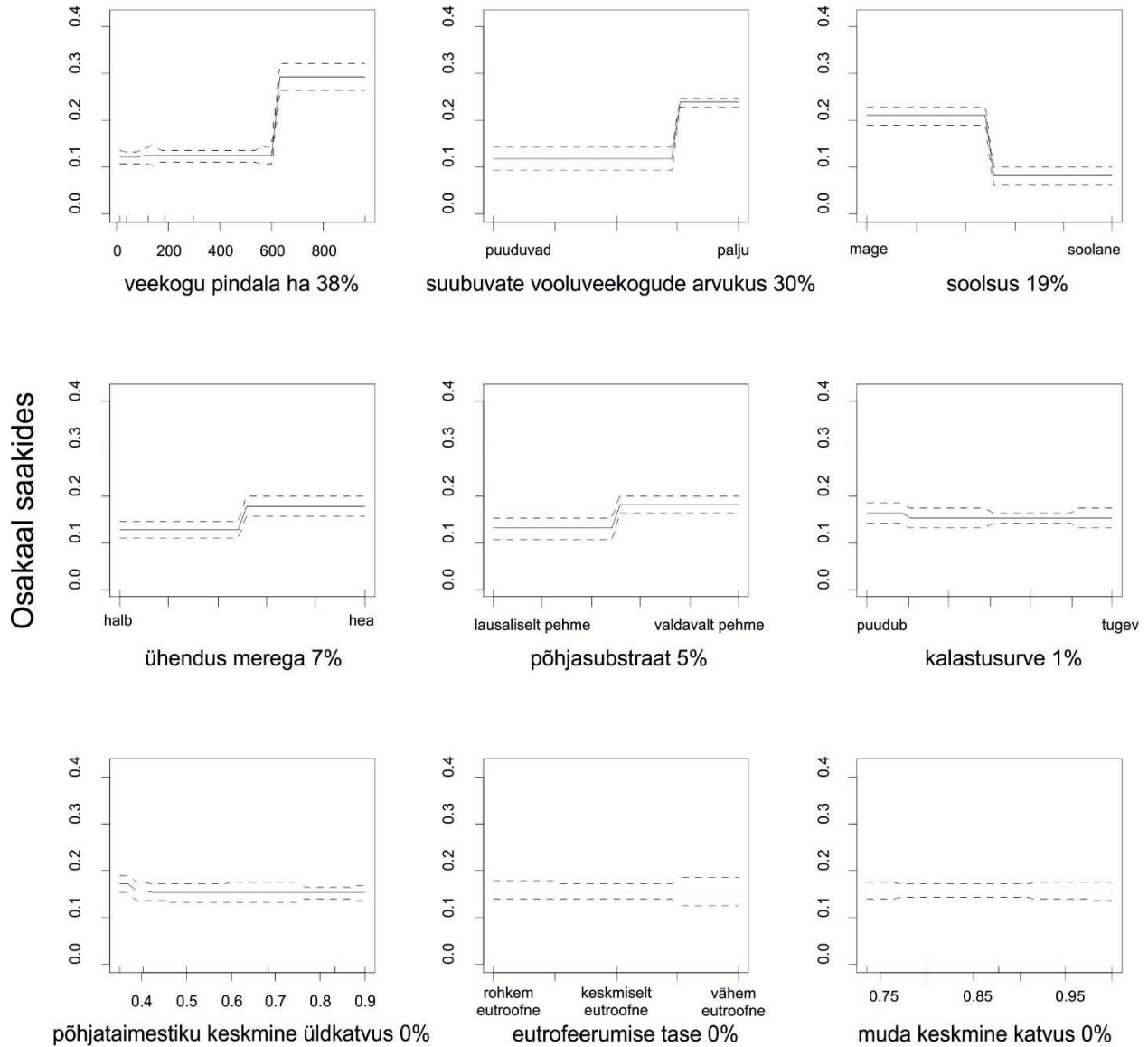
Käesolevas peatükis kirjeldame mudeleid, mille loomisel kasutati andmestikku nii magedaveelistest kui ka riimveelistest uurimisaladest.

Samasuviste haugide arvukust valitud pilootaladel mõjutas ootuspäraselt enim soolsus – magedaves on samasuviste arvukus üldjuhul keskmine või kõrge, samas kui riimvees on samasuviste haugide arvukus madal või olematu. Seda kinnitavad ka MereRITA tegevuse 2.5.1 tulemused. Samasuviste arvukust mõjutasid suurelt veel veekogu pindala ja ühendus merega – mida suurem veekogu ja mida parem ühendus merega, seda kõrgem oli samasuviste arvukus. Üllatavaks tulemuseks oli põhjasubstraadi ja põhjataimestiku keskmise üldkatvuse mõju samasuviste arvukusele. Samasuviste arvukusele mõjus pigem positiivselt mudaste alade esinemise rohkus. See aga ei tähenda seda, et haugid eelistavad kudemiseks mudaseid alasid – kudemine toimub reeglina veekogude kaldavööndis, luhtadel või vooluveekogudes, mida käesolevas uuringus ei käsitletud. Pilootalade mudaseid (taimestikurikkaid) alasid kasutavad noored haugid mõningal määral turgutusalsadena, kuid tõenäoliselt ei ole ala mudarohkus tunnus, mis on põhjuslikkus seoses samasuviste arvukusega pilootalal (st mudarohkus on tunnus, mis on korrelatiivses seoses miski teise, reaalselt olulise tunnusega, näiteks veekogu toitaineterohkusega ja noorkalade toidubaasi kvaliteediga). Suurema reaalse mõjuga on ka näiteks põhjataimestiku keskmine üldkatvus – mida hõredam taimestik (tõenäoliselt teatud piirini, mis mudelist välja ei tule), seda suurem samasuviste haugide arvukus. See on ka loogiline, sest väga tiheda taimestikuga aladel võib öösiti ilmnedada hapnikudefitsiit, mis aga ei mõju hästi kalastikule. Inimmõjudest oli suurima mõjuga kalastussurve – mida suurem kalastussurve pilootalal, seda väiksem samasuviste haugide arvukus (mõjutatud läbi otsese surve kudekarjale). Eutrofeerumise mõju oli oluline, kuid selle osatähtsus oli pigem väike (**Joonis 2**).



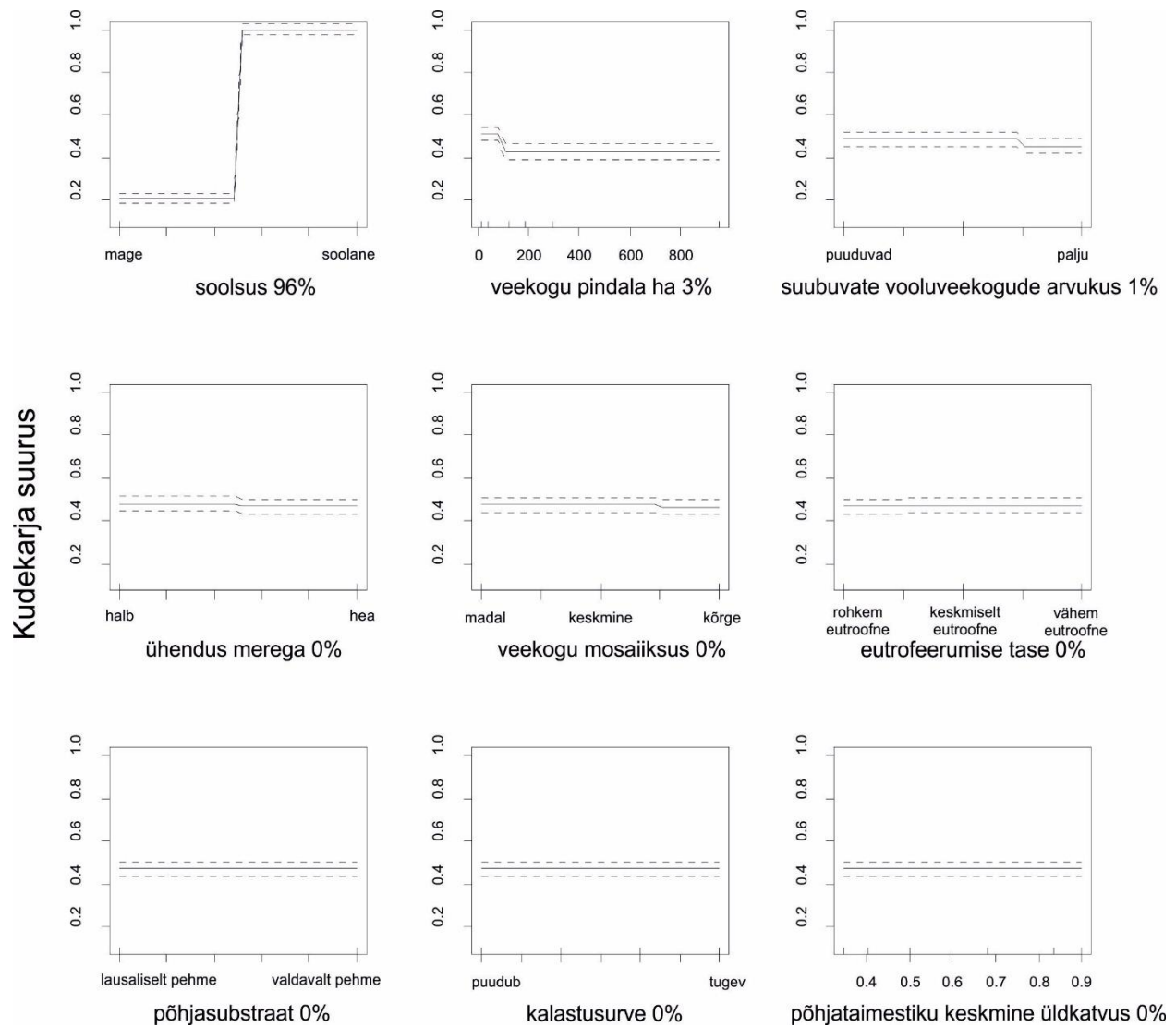
**Joonis 2.** Seosed keskkonnatingimuste ja samasuviste arvukuse vahel ( $r^2 = 0.809$ ). Iga joonise all on protsentuaalselt näidatud selle keskkonnanäitaja osatähtsus samasuviste suhtelise arvukuse kirjeldamisel.

Seda, millistest sõltumatutest tunnustest sõltub taastootmisalade panus rannikumere haugisaakidesse, kirjeldas kõige paremini pilootala pindala (mida suurem, seda suurem panus saakidesse), suubuvate vooluveekogude arvukus (mida rohkem, seda suurem panus saakidesse) ja soolsus (mida magedam, seda suurem panus saakidesse). Viimast kinnitavad ka MereRITA tegevuse 2.5.1 tulemused – magevees sündinud haugide osakaal Saaremaa lõuna- ja läänerannikul oli 90%. Osakaalu saakides mõjutas vähem mereühenduse kvaliteet ja põhjasubstraadi tüüp. Ainukese inimõjuna oli selles mudelis oluline kalastussurve, kuid selle osatähtsus oli pigem väike (**Joonis 3**).



**Joonis 3.** Seosed keskkonnatingimuste ja sõltuva tunnuse „osakaal mere haugisaakides“ (% väljendatuna kümnenendmurruna) vahel ( $r^2 = 0.929$ ). Iga joonise all on protsentuaalselt näidatud selle keskkonnanäitaja osatähtsus mere haugisaakide osakaalu kirjeldamisel.

Pilootalade haugi kudekarja suurus sõltus ülekaalukalt veekogu soolsusest, vähemal määral veekogu pindalast ja suubuvate vooluveekogude arvust (**Joonis 4**).

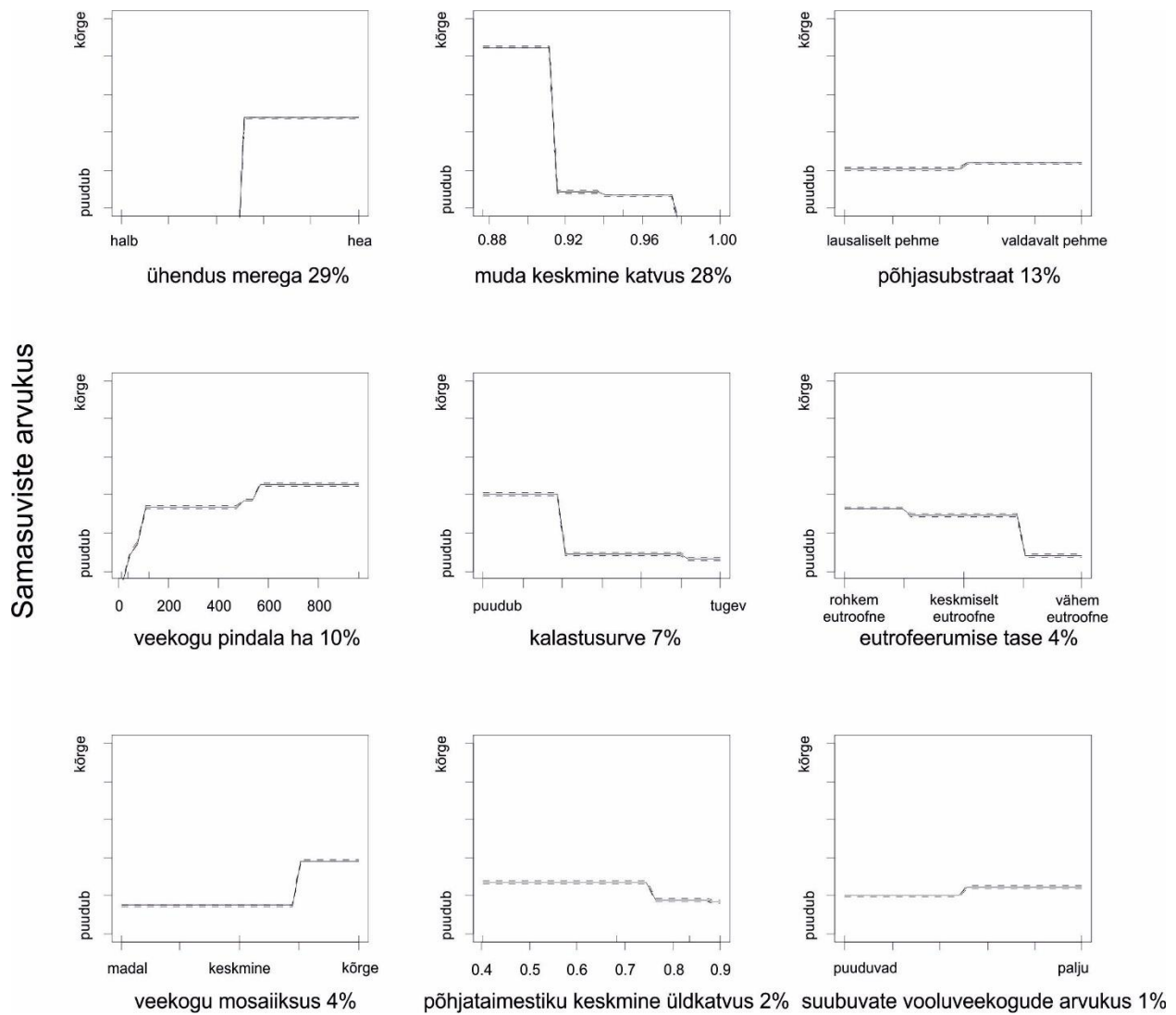


**Joonis 4.** Seosed keskkonnatingimuste ja haugi kudekarja suuruse vahel ( $r^2 = 0.933$ ). Kudekarja suurus on ühikuta suurus, mis on saadud erinevate geneetiliste parameetrite suhtena (mida väiksem väärtus, seda suurem kudekari). Iga joonise all on protsentuaalselt näidatud selle keskkonnanäitaja osatähtsus haugi kudekarja suuruse kirjeldamisel.

## Mageveeliste veekogude mudel

Koondmudelites kirjeldas soolsus enamasti ära suure osa erinevate koelmualade kvaliteeti kirjeldavate indikaatorite varieeruvusest. Selleks, et määratleda täpsemalt teiste keskkonnaindikaatorite potentsiaalselt mõju koelmualade kvaliteedile, jooksutasime lisaks läbi mudelid, millesse sai kaasatud vaid magedaveeliste uurimisalade andmestikku. Käesolevas peatükis kirjeldamegi selliseid mudeleid.

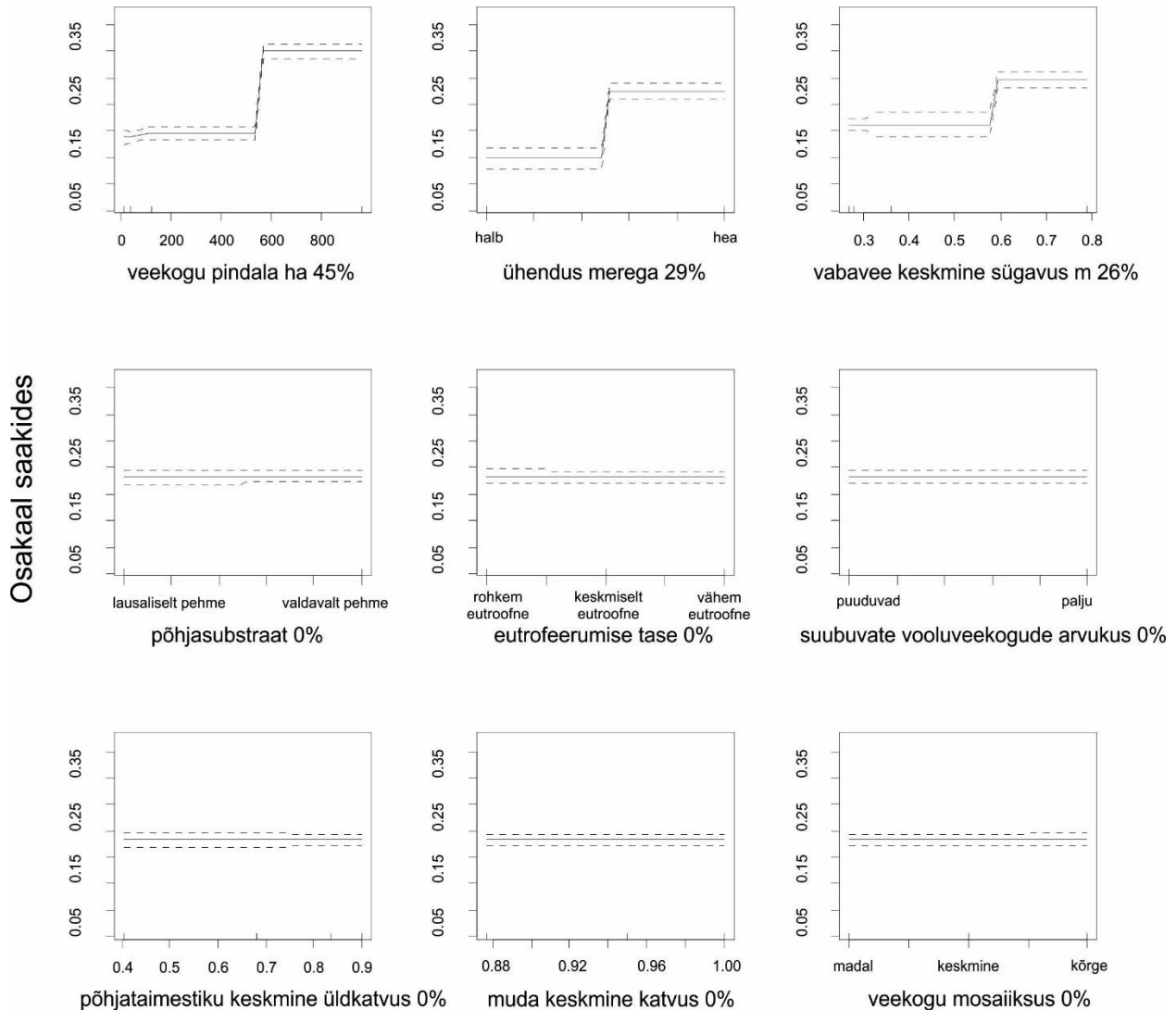
Samasuviste haugide arvukust valitud pilootaladel mõjutas (pärast soolsuse mõju eemaldamist) enim ühendus merega ja muda keskmine katvus – mida parem ühendus merega ja mida vähem muda, seda kõrgem samasuviste arvukus. Selgelt mõjutas samasuviste arvukust ka põhjasubstraat ja veekogu pindala. Ka mudelisse kaasatud kaks inimõju faktorit olid mõjusad. Vähem mõjutas samasuviste arvukust veekogu mosaiiksus, põhjataimestiku keskmine üldkatvus ja suubuvate veekogude arvukus (**Joonis 5**).



**Joonis 5.** Seosed keskkonnanäitajate ja samasuviste arvukuse vahel ( $r^2 = 0.426$ ). Iga joonise all on protsentuaalselt näidatud selle keskkonnanäitaja osatähtsus samasuviste suhtelise arvukuse kirjeldamisel.

Seda, millistest sõltumatutest tunnustest sõltub taastootmisalade panus rannikumere haugisaakidesse, kirjeldas kõige paremini pilootala suurus, mereühenduse kvaliteet ja üllatavalt ka vabavee keskmine sügavus. Viimati nimetatud parameetri suurt osatähtsust seletab tõenäoliselt selle korrelatiivne seos veekogu pindalaga - nimelt oli just Mullutu-Suurlaht kõige suurema pindalaga mageveekogu, kus oli ka vabavee sügavus kõige suurem. Samas näitab keskmisest suurem vabavee sügavus ka veekogu üldist kvaliteeti ja erisuguste elupaikade

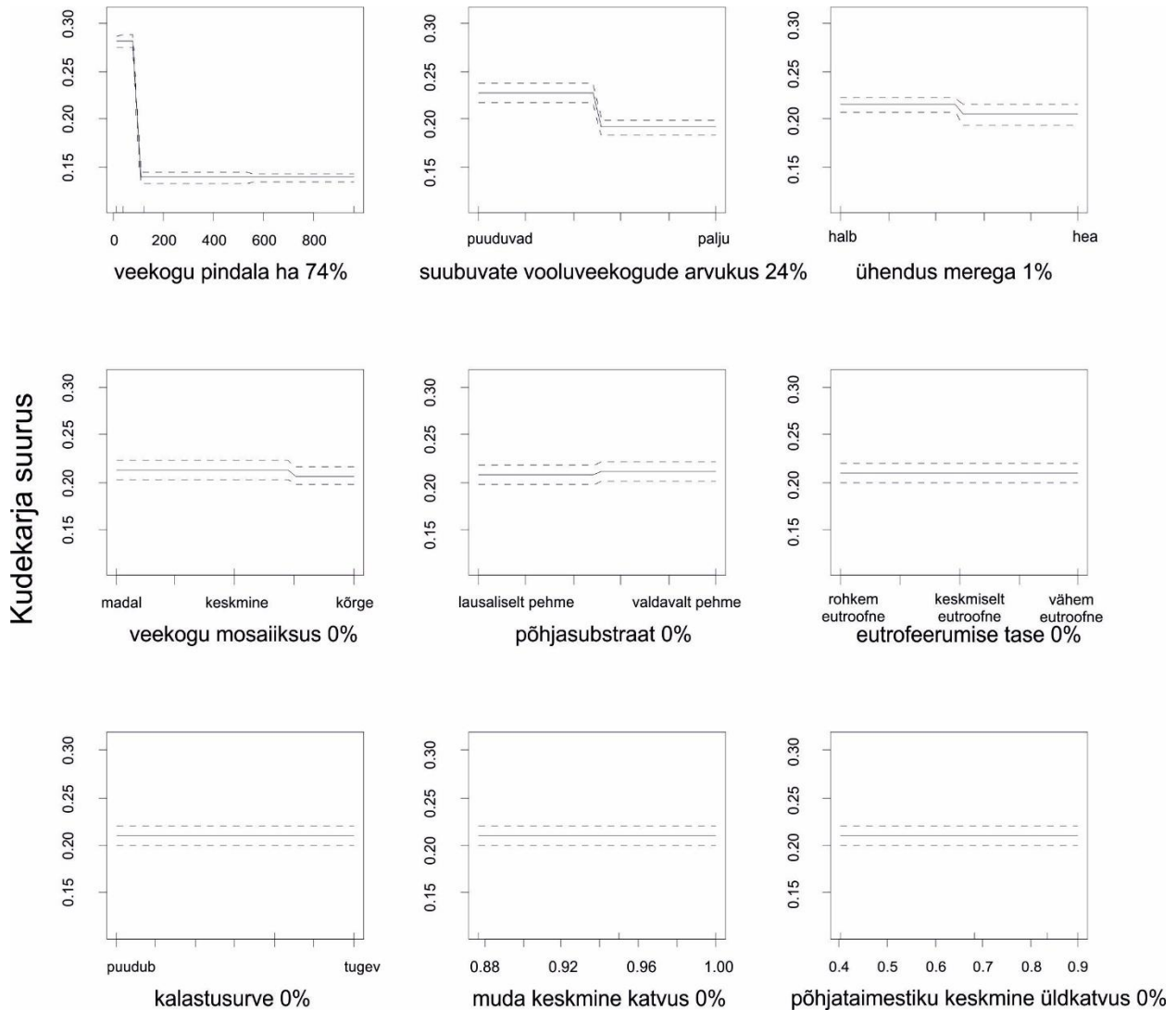
olemasolu, mis kindlasti mõjub positiivselt kalastikule. Kõik teised mudelisse kaasatud sõltumatud muutujad olid mitte-olulised (**Joonis 6**). Pindala ja merega ühenduse olulisus on väga loogiline, sest mida suurem on veekogu, seda rohkem võib sealt potentsiaalselt haige kooruda ning hea ühenduse korral ka merre siirduda.



**Joonis 6.** Seosed keskkonnatingimuste ja sõltuva tunnuse „osakaal mere haugisaakides“ (% väljendatuna kümneandmurruna) vahel ( $r^2 = 0.862$ ). Iga joonise all on protsentuaalselt näidatud selle keskkonnanäitaja osatähtsus mere haugisaakide osakaalu kirjeldamisel.

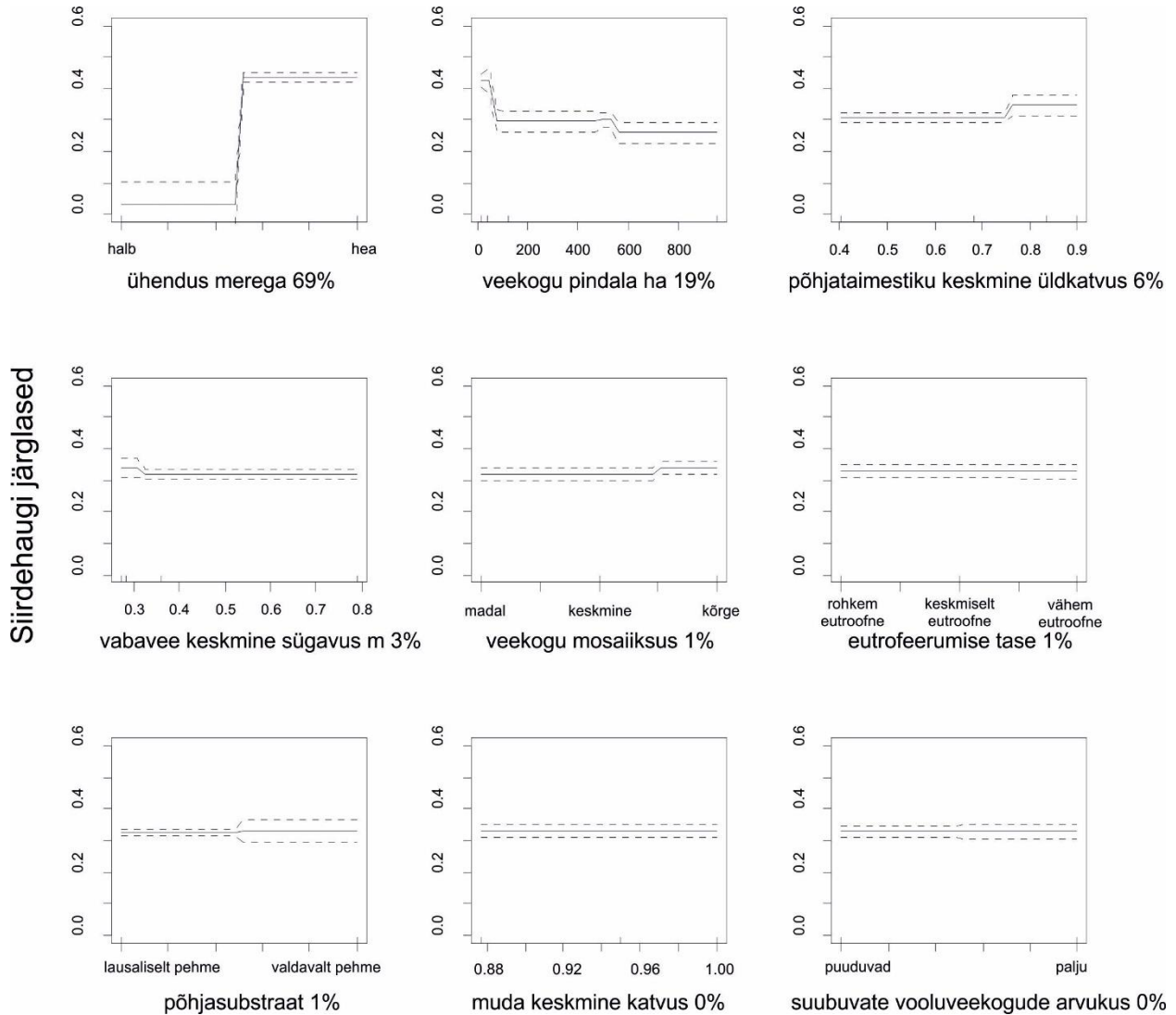


Pilootalade haugi kudekarja suurus sõltus ülekaalukalt veekogu suurusest, kuid ka suubuvate veekogude arvukusest, vähemal määral aga mereühendusest (Joonis 7). Jällegi on veekogu suuruse ja suubuvate vooluveekogude olulisus oodatav tulemus, sest mida suurem on veekogu, seda rohkem seal võiks potentsiaalselt kudejaid olla ning suubuvate veekogude rohkus tõstab veelgi võimalust, et nendest siirdub antud aladele veelgi kalasid kudema.



**Joonis 7.** Seosed keskkonnanäitajate ja haugi kudekarja suuruse vahel ( $r^2 = 0.853$ ). Kudekarja suurus on ühikuta suurus, mis on saadud erinevate geneetiliste parameetrite suhtena (mida väiksem väärtus, seda suurem kudekari). Iga joonise all on protsentuaalselt näidatud selle keskkonnanäitaja osatähtsus haugi kudekarja suuruse kirjeldamisel.

Siirdehaugide järglaste osakaalu pilootalade mõjutas enim ühendus merega, kuid ka veekogu suurus (Joonis 8). Ühendus merega olulisus on ka väga selgesti mõistetav, sest oleneb ju otseselt ühenduse kvaliteedist siirdehaugide ligipääs koelmule



**Joonis 8.** Seosed keskkonnatingimuste ja siirdehaugi järglaste osakaalu (%), kümnendmurruna väljendatuna) vahel ( $r^2 = 0.853$ ). Iga joonise all on protsentuaalselt näidatud selle keskkonnanäitaja osatähtsus siirdehaugi järglaste osakaalu kirjeldamisel.

## Kokkuvõte ja järeldused

**Seosed keskkonnanäitajate ja taastootmisalade kvaliteedi indikaatorite vahel:** Käesoleva töö tulemusel selgus, et rannikumeres elavate, kuid magevees sigivate kalade taastootmisalade kvaliteeti saab kvalitatiivsel tasemel hinnata suhteliselt lihtsasti kogutavate parameetrite abil. Kuigi mudelisse kaasati ka teisi, eelkõige kaugseire abil saadud sõltumatuid tunnuseid (nt taimestiku katvus ja mitmekesisus, põhjasubstraadi tüüp, vabavee sügavus), siis nende tunnuste seos koelmu kvaliteediga oli käesolevas töös kasutatud andmestiku järgi nõrk või olematu. Kaugseire väärtus poolsiirdekalade koelmuvalade kirjeldamisel ja kvaliteedi hindamisel oli erisugune – sellele viitasid ka MereRITA tegevuse 2.6.1 tulemused, kus leiti, et kõige otstarbekam on kasutada drooni abil kogutud andmeid, mis eeldavad iga uuritava ala eraldi külastust. Teised kaugseire meetodid (lennukilt tehtud ortofotod, hüperspektraalne spektromeeter, satelliidipildid) ei anna kalade taastootmisaladest nii detailset ülevaadet (Herkül jt 2021). Käesoleva töö tulemused näitasid täiendavalt, et kuigi drooniga kogutud erinevate parameetrite väärtus koelmuvalade kvaliteedi kirjeldajatena on erisugune (st on paremaid ja halvemaid parameetreid, mille seos taastootmisala kvaliteediga võib lisaks ka erineda uurimisalade vahel) leidub siiski ka lihtsaid üldkasutatavaid parameetreid, mille seos koelmuvalade kvaliteediga on üldjuhul tugev.

Koostatud mudelite lõikes olid koelmuvalade kvaliteeti (samasuviste arvukus, osakaal saakides, kudekarja suurus, siirdehaugide osakaal) kirjeldavate indikaatorite hulgas kõige suurema kirjeldusvõimega:

- 1) soolsus (mageveekogud on haugi taastootmisaladena kvaliteetsemad ja panustavad rohkem täiendisse)
- 2) veekogu pindala (suuremad veekogud panustavad rohkem täiendisse)
- 3) ühendus merega (püsiva mereühendusega alad on haugi taastootmisaladena kvaliteetsemad ja panustavad rohkem täiendisse)
- 4) vooluveekogude arvukus (mida rohkem suubuvaid vooluveekogusid, seda mitmekesisemad on kudemistingimused ning seda kvaliteetsem on taastootmisala, mille panus täiendisse suureneb oluliselt)

Väiksema kirjeldusvõimega olid:

- 5) põhjasubstraadi tüüp (mudasemad alad on haugi taastootmisaladena tihti kvaliteetsemad)
- 6) vabavee sügavus (suurema vabavee sügavusega alad on haugi taastootmisaladena tihti kvaliteetsemad ja panustavad rohkem täiendisse)
- 7) muda keskmine katvus (mudasemad alad on haugi taastootmisaladena tihti kvaliteetsemad)
- 8) kalastussurve (taastootmisalad, kus kalastussurve puudub või on madal, on haugi taastootmisaladena tihti kvaliteetsemad)

- 9) põhjataimestiku keskmine üldkatvus (keskmise põhjataimestiku üldkatvusega alad on haugi taastootmisaladena tihti kvaliteetsemad)
- 10) eutrofeerumise tase (rohkem eutroofsemad alad on haugi taastootmisaladena tihti kvaliteetsemad)

**Valitud survetegurite tähtsus andmemudelites:** Mudelitesse kaasatud inimõjud (eutrofeerumine, kalastussurve) ei olnud käesolevasse töösse kaasatud andmestiku põhjal kõige olulisemate faktorite hulgas, mis mõjutasid uuritud sõltuvaid tunnuseid. Kaasatud inimõjud võivadki uuritava küsimuse kontekstis olla vähemolulised kui näiteks ühendus merega ja veekogu pindala. Kuigi eutrofeerumine on kindlasti oluliseks probleemiks igas käesolevasse töösse kaasatud pilootalal, pole selle mõju tõenäoliselt nii akuutne haugi täiendi jaoks, kuna kriitilisemad eutrofeerumise mõjud (hüpoksia, elupaikade vähenemine alaneva vee tõttu) avalduvad tugevamalt kesk- ja hilissuvel, kui enamus samasuviseid hauge on taastootmisaladelt juba lahkunud. Lisaks on haug elupaiga tingimuste suhtes leplik kalaliik. Samas võib eutrofeerumine mõjutada haugi täienditekke protsesse ka juba varem ja seda kaudselt läbi ogaliklaste suurenenud arvukuse, mistõttu suureneb kisklus haugi marjateradele ja vastsetele (Nilsson 2006; Eklöf jt 2020). Ogaliklaste mõju rannikumere röövkalade täienditekke protsessidele tuleb tulevikus kindlasti ka Eestis uurida.

Lisaks ei saa välistada ka seda, et nimetatud survetegurite indikaatorid ei ole kvalitatiivsel tasemel üheselt kirjeldatavad ja eeldavad põhjalikumaid tööd nende täpse taseme määramiseks valitud pilootaladel. Kalastussurve taseme määramine on kvalitatiivsel tasemel lihtsam ning selle mõju tuli mudelites ka selgelt paremini välja.

**Andmemudelite kasutamine taastootmisalade kvaliteedi kaardistamisel:** Käesoleva töö käigus loodud andmemudeleid saab rakendada selliste taastootmisalade kvaliteedi hindamisel, kus kogutud on vaid mudelarvutuseks vajalik keskkonnainfo, kuid puuduvad teadmised koelmute kvaliteedinäitajate (so. oluliselt suuremat töömahtu nõudvate tunnuste) kohta. Seega, poolsiirdekaldade taastootmisalade kvaliteedile esmase kvalitatiivse hinnangu andmiseks piisab kohapealsetest minimaalsetest vaatlustest kevad-suvisel perioodil (sh drooniga tehtud aerofotod), mille käigus määratakse ära ala soolsus, mereühenduse kvaliteet, suubuvate vooluveekogude hulk ja kvaliteet ning veetaseme dünaamika. Nii on võimalik ära kaardistada kogu rannikumeri ja sellega otseselt seotud mageveekogud (vt ka MereRITA tegevuse 3.4.1 lõpparuannet; Rohtla jt. 2021b). See kõik oleks nõ raamistikuks, millest lähtuda, kui on vaja teavet selle kohta, kas ja kui suurel määral üks või teine ala oleks üldse sobilik (pool)siirdekaldade taastootmisalana eelpool nimetatud fundamentaalsete parameetrite järgi. See võiks olla ka üheks võimalikuks sisendiks elupaikade parendamise ja vajadusel ka kalade asustamise juures.

**Andmemudelite kasutamine taastootmisalade stsenaariumarvutuste läbiviimisel:** Lisaks saab töö käigus loodud andmemudeleid kasutada stsenaariumipõhise otsustustoena uuritava ala kvaliteedi määratlemisel erinevate looduslike tingimuste ja inimtegevuste survete tingimustes, kusjuures survetena on mudelitesse kaasatud mere eutrofeerumine ja kalapüügi intensiivsus.

Sellist otsustustuge võib kasutada kui kulutõhusat analüüsivahendit ebarahuldavalt toimivatel taastootmisaladel leevendusmeetmete väljatöötamiseks. Nimelt annavad sellised stsenaariumiarvutused meile keskkonnatingimuste väärtuste vahemiku, mille korral taastootmisalad toimivad hästi. Mudeli poolt ennustatud piirmäärasid saab seejärel kasutada taastootmisala parendamistöode ühe sisendina.

**Otsustustoe kvaliteedi parandamise võimalused:** Iga statistiline mudel on reaalsuse lihtsustus, samas kui madalaveelistes ökosüsteemides toimuvad protsessid on väga keerulised. Hästi toimiva mudeli eelduseks on põhjalikud andmed, sealhulgas esinduslikud aegread. Käesoleva töö näol on tegemist suhteliselt väikesel valimil ja korrelatiivsetel seostel põhinevate tulemustega. Varasemate seireandmete puudumise ja projekti ajaliste raamide tõttu kaasati käesolevas töös loodud mudelitesse ainult kahe aasta andmed. Seega saab käesolevas töös konstrueeritud mudeleid tulevikus oluliselt paremaks muuta lisades jooksvalt uusi alusandmeid. Mõõtmisi tuleks teha kas suurema arvu veekogude puhul ja/või rohkematel aastatel. Põhjus-tagajärg seoste paremaks määratlemiseks on aga vajalik teostada seiret aktiivselt parandatud taastootmisaladel ning võrrelda parandatud ökosüsteemide arengut teiste, muutmata veekogumite foonil. Selliste detailsemate andmete kogumise järel on võimalik projekti toel loodud andmemudeleid võrdlemisi väikese vaevaga uuendada ning selle läbi oluliselt parandada ka otsustustoe otsuste kvaliteeti.

On aga oluline meeles pidada, et kalade taastootmisalade toimimine on jätkusuutlike kalavarude aluseks – seega peaks tulevikus oluliselt suurendama just kudealade seiret ja mitte keskenduma iga-aastaselt ainult kudealade-välisetele turgutusaladele. See võimaldab muuhulgas suurendada alusandmete hulka, mis on vajalikud mudelite täiustamiseks ning lõppkokkuvõttes nende täiendavaks testimiseks ja rakendamiseks erinevate keskkonnaparameetrite tasemete ja inimõju survete tingimustes.

Kalade taastootmisalade reaalne toimimine konkreetses ajahetkes sõltub aga ka paljudest teistest faktoritest (nt kudekoondise arvukus, panus täiendisse, kalastussurve, kisklussurve, veekvaliteet, zoolplanktoni arvukus), mida kvalitatiivselt hinnata ei saa. Seega tuleks olukorrast täpsema ülevaate saamiseks täiendavalt kasutada ka erinevaid seire ja kvantitatiivse analüüsi meetodeid, mis võimaldaksid määratleda kalade taastootmisalade reaalse toimimise (MereRITA tegevused 2.5.1 ja 2.7.1; Rohtla jt 2021a, Vasemägi jt 2021). See annaks eelpool mainitud kvalitatiivsele raamistikule reaolukorralise sisu taastootmisalade kaupa.

Kuigi käesolevas töös valiti mudelliigiks haug, on töös väljaarendatud meetodika rakendatavad ka teistele poolsiirdekaladele (nt särg, säinas, luts), kes kasutavad samu veekogusid kude- ja turgutusaladena (kuigi täpsed kudealad veekogu sees võivad mingil määral erineda). Seega tunnused, mis olid olulised taastootmisala kvaliteedi kirjeldajad haugi puhul, on seda tõenäoliselt ka kõigi teiste poolsiirdekalade puhul – eriti aga kõige mõjusamate tunnuste puhul nagu soolsus, ühendus merega, veekogu pindala ja suubuvate veekogude arvukus.

## Kasutatud allikad

Eklöf, J.S., Sundblad, G., Erlandsson, M., Donadi, S., Hansen, J.P., Eriksson, B.K., Bergström, U. (2020). A spatial regime shift from predator to prey dominance in a large coastal ecosystem. *Communications Biology* 3: 459

Herkül, K., Rohtla, M., Svirgsden, R., Vahtmäe, E., Kutser, T., Kotta, J., Vetemaa, M. (2021). Optilise kaugseire kasutamine kalade kude- ja turgutusalade kaardistamisel. Projekti "Eesti mereala keskkonna ja loodusväärtuste hindamise ja seire innovaatilised lahendused" alamtegevuse lõpparuanne. [https://sisu.ut.ee/sites/default/files/mererita/files/2.6.1\\_aruanne\\_v3.pdf](https://sisu.ut.ee/sites/default/files/mererita/files/2.6.1_aruanne_v3.pdf)

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.

Kotta, J., Orav-Kotta, H., Jänes, H., Hummel, H., Arvanitidis, C., van Avesaath, P., Bachelet, G., Benedetti-Cecchi, L., Bojanic, N., Como, S., Coppa, S., Coughlan, J., Crowe, T., Dal Bello, M., Degraer, S., Juanes de la Pena, J. A., Fernandes de Matos, V. K., Espinosa, F., Faulwetter, S., Frost, M., Guinda, X., Jankowska, E., Jourde, J., Kerckhof, F., Lavesque, N., Leclerc, J-C., Magni, P., Pavloudi, C., Pedrotti, M. L., Peleg, O., Pérez-Ruzafa, A., Puente, A., Ribeiro, P., Rilov, G., Rousou, M., Ruginis, T., Silva, T., Simon, N., Sousa-Pinto, I., Troncoso, J., Warzocha, J., Weslawski, J. M. 2017. Essence of the patterns of cover and richness of intertidal hard bottom communities: a pan-European study. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 97, 525–538.

Nilsson, J. (2006). Predation of northern pike (*Esox lucius* L.) eggs: a possible cause of regionally poor recruitment in the Baltic Sea. *Hydrobiologia* 553: 161-169.

Ljunggren et al 2005. Rekryteringsproblem hos Östersjöns kustfiskbestånd. *Finfo Fiskeriverket Informerar*, 5, 1–45.

Remm, K., Remm, J., Kaasik, A. 2012. Ruumiliste loodusandmete statistiline analüüs. <http://hdl.handle.net/10062/26456>

Rohtla, M., Svirgsden, R., Vetemaa, M. (2021a). Otoliidi mikrokeemia meetodite kasutamine kalade täiendi tekkimise uurimisel. Projekti "Eesti mereala keskkonna ja loodusväärtuste hindamise ja seire innovaatilised lahendused" alamtegevuse lõpparuanne. [https://sisu.ut.ee/sites/default/files/mererita/files/2\\_5\\_1\\_methodological\\_approach\\_to\\_analyse\\_the\\_contribution\\_of\\_different\\_aruanne.pdf](https://sisu.ut.ee/sites/default/files/mererita/files/2_5_1_methodological_approach_to_analyse_the_contribution_of_different_aruanne.pdf)

Rohtla, M., Svirgsden, R., Vetemaa, M. (2021b). Koelmualade kvaliteedi hinnangud tüüpelupaikades. Projekti "Eesti mereala keskkonna ja loodusväärtuste hindamise ja seire innovaatilised lahendused" alamtegevuse lõpparuanne.

[https://sisu.ut.ee/sites/default/files/mererita/files/2\\_5\\_1\\_methodological\\_approach\\_to\\_analyse\\_the\\_contribution\\_of\\_different\\_aruanne.pdf](https://sisu.ut.ee/sites/default/files/mererita/files/2_5_1_methodological_approach_to_analyse_the_contribution_of_different_aruanne.pdf)

Vasemägi, A., Suarez, A.D., Gross, R., Kisand, V., Panksep, K., Haugjärv, K., Rohtla, M., Svirgsden, R., Vetemaa, M. (2021). DNA-põhise metoodika välja töötamine ja tõhususe hindamine haugi efektiivse kudekarja suuruse seiramiseks Saaremaa rannikumeres. Projekti "Eesti mereala keskkonna ja loodusväärtuste hindamise ja seire innovaatilised lahendused" alamtegevuse lõpparuanne.

[https://sisu.ut.ee/sites/default/files/mererita/files/2\\_5\\_1\\_methodological\\_approach\\_to\\_analyse\\_the\\_contribution\\_of\\_different\\_aruanne.pdf](https://sisu.ut.ee/sites/default/files/mererita/files/2_5_1_methodological_approach_to_analyse_the_contribution_of_different_aruanne.pdf)