



TÜ Eesti Mereinstituut

Ümarmudil Eesti rannikumeres: rakendusuring edasise meetmekava väljatöötamise aluseks, 2.osa

SA Keskonnainvesteeringute Keskuse projekt nr. 5028

LÖPPARUANNE

Lepingu vastutav täitja:

Kristiina Nurkse

TALLINN
2017

SISUKORD

1. SISSEJUHATUS.....	3
2. METOODIKA.....	5
2.1 Uurimisalade üldine iseloomustus	5
Muuga laht.....	6
Liivi laht.....	7
Haapsalu laht	8
2.2 Andmetöötlus	9
2.3 Keskkonnaandmete uurimismetoodika	9
2.3.1 Põhjataimestik ja põhjaloomastik.....	9
2.3.2 Hüdrokeemia ja vee läbipaistvus	10
2.4 Röövkalade toitumise uurimismetoodika	10
2.5 Ümarmudila toitumise uurimismetoodika.....	11
2.6 Ümarmudila asustustiheduse uurimismetoodika	11
2.7 Ümarmudila kodupiirkonna ja invasioonipotentsiaali uurimismetoodika.....	11
3. TULEMUSED	13
3.1 Keskkonnaandmed.....	13
3.1.1 Põhjataimestiku- ja loomastiku muutused	13
3.1.2. Veekeskkonna muutused.....	14
3.2 Röövkalade toitumine	16
3.2.1 Ahven	16
3.2.2 Koha	20
3.2.3 Haug.....	21
3.3 Ümarmudila toitumine	23
3.4 Ümarmudila tihedus	27
3.4.4 Hinnang ümarmudila tihedusele Eesti rannikumeres	30
3.5 Ümarmudila kodupiirkond ja invasioonipotentsiaal	32
3.6 Hinnang ümarmudila mõjust rannikumere ökosüsteemi toimimisele tänapäevase ja tuleviku kliima tingimustes	35
4. KOKKUVÕTE	39
KASUTATUD KIRJANDUS.....	40

1. SISSEJUHATUS

Eesti rannikumeres on ennast edukalt sisse seadnud ümarmudil (*Neogobius melanostomus*) (Joonis 1), keda peetakse üheks Läänemere kõige invasiivsemaks võõrliigiks (Kornis jt., 2012). Ponto-Kaspia päritoluga ümarmudil on tänu intensiivistunud rahvusvahelisele laevaliiklusele edukalt levinud nii Põhja-Ameerika Suur järvistusse kui ka üle kogu Läänemere (Kotta jt., 2016). Läänemeres leiti liiki esmakordselt 1991. aastal (Skõra ja Stolarski, 1993) ja 2015. aastaks on liik levinud üle terve Läänemere (Kotta jt., 2016). Eesti rannikumeres leiti liiki esmakordselt 2002. aastal Pärnu lahest ja 2005. aastal Muuga lahest. Ümarmudila populatsioon hakkas hüppeliselt suurenema 2009. aastal Muuga lahes. Samal aastal hakkasid oluliselt suurenema ümarmudila leiud ülejäänud Eesti rannikumeres ning aastaks 2015 on liik levinud praktiliselt üle kogu Eesti rannikumere.



Joonis 1. Ümarmudil (*Neogobius melanostomus*).

Ümarmudil on põhjalise eluviisiga kala, kes kuulub ahvenaliste *Perciformes* seltsi ja mudillaste *Gobiidae* sugukonda. Eesti vetes on ümarmudila suurim registreeritud pikkus 25 cm, mis on tunduvalt suurem kui Põhja-Ameerika Suur järvistus. Liik toitub põhiliselt põhja- ja põhjalähedase eluviisiga selgrootutest (karbid, teod, hulkharjasussid, vähilised jt.), kuid on võimeline toituma ka väiksematest kaladest (nt. ogalik) ja kalamarjast (nt. räimemari). Liigil puudub eelistus toiduobjektide suhtes ja peale dominantse saaklooma eemaldamist sööb ta suure tõenäosusega ära ka kõik ülejäänud liigid (Nurkse jt., 2016).

Ökosüsteemi seisukohalt on tegemist väga agressiivse põhjakalaga, kes on võimeline mõjutama olulisi töõnduskalu (nii kiskja kui ka toiduobjekt), põhjaselgrootute kooslusi, aga ka kaudselt kogu ümbritsevat keskkonda. Kerge saakloomana võib see kala suurendada röövtoiduliste kalade (haug, koha, ahven) populatsioonide arvukust ja individuaalset kasvukiirust. Uue ja väga efektiivse kiskja lisandumine on mõjutamas nii põhja- kui ka pelaagilise süsteemi toimimist ja selle tasakaalu. Ümarmudil toitub aplalt rannakarpidest, mille oluline vähenemine mõjutab vee läbipaistvust ning keskkonnaseisundit. Karpidel on oluline roll kogu ökosüsteemi toimimisel ja veekeskonna isepuhastamisel. Nad filtreerivad mereveest välja hõljumit ning selle kaudu vähendavad eutrofeerumisprotsesside ilminguid Läänemeres. Rannakarpide eemaldamine ökosüsteemist võib aga põhjustada vee läbipaistvuse drastilist vähenemist, niitjate merevetikate vohamist sh. olulise töõnduskala, räime, kudealade kvaliteedi langemist. Samuti mõjutab agressiivne liik teiste oluliste rannikumere kalade sh. lesta toidubaasi ja elupaiku.

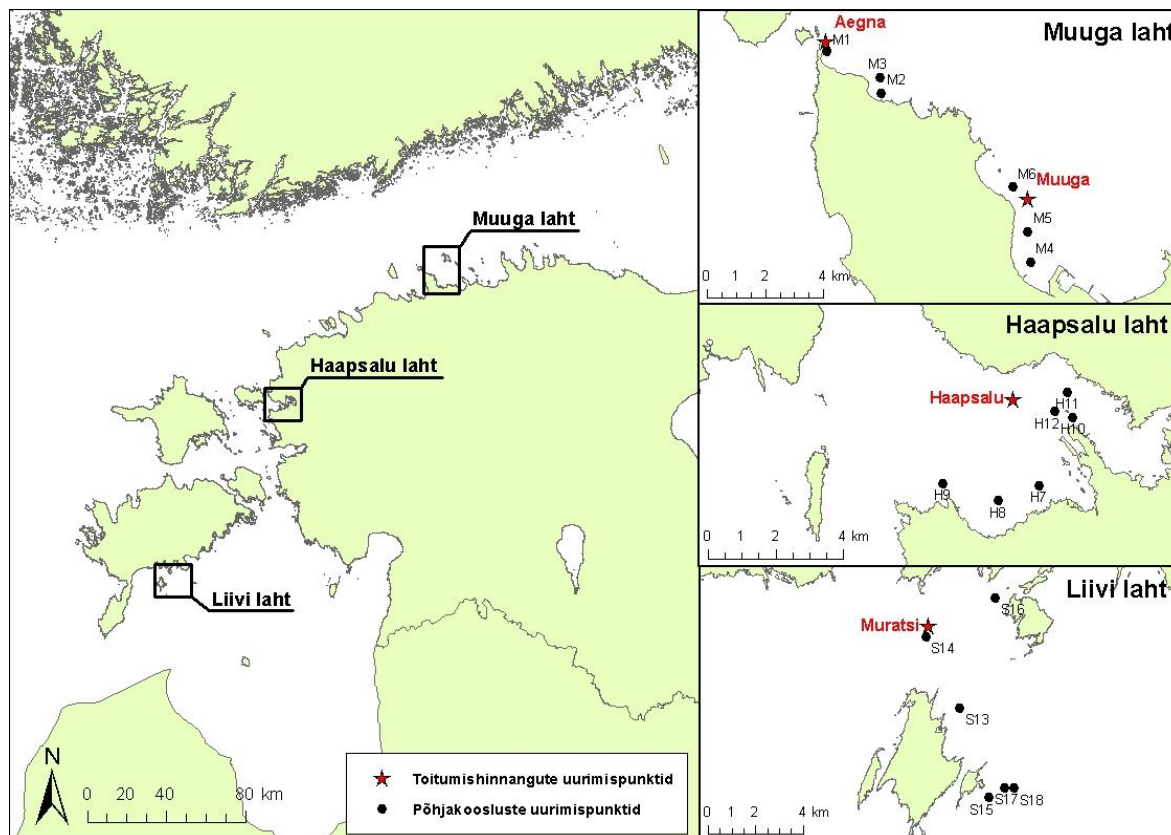
Põhja-Ameerika Suur järvistusse levis liik Läänemerega samaaegselt, kuid invasiooniprotsess on võimalike järjestikuste invasioonide tõttu Ameerikas olnud kordades kiirem. Praeguseks

hetkeks domineerib liik kõikides Suur järvistu järvedes. Selleks, et ennetada sarnast olukorda Läänemeres, tuleb võimalikult kiiresti selgitada välja ümarmudila roll toiduahelas (osakaal röövkalade toitumises, toitumine põhjaelustikust), invasioonipotentsiaal ja arvukus meres ning välja töötada ja koheselt rakendada preventiivsed meetmed. Ümarmudila asustustihedus, tähtsus ja mõju Eesti rannikumeres on teadmata, küll tuleb pidevalt meedia ja rannakalurite kaudu teateid massilistest ümarmudila esinemistest püünistes. Põhjalise eluviisiga kala arvukuse määramine traditsiooniliste meetoditega on ebatäpne, mistõttu antud projekti raames määratakse ümarmudila arvukust erinevate meetoditega (lõkspüünised, allveevideo, sukelduja hinnang). Projekti esimeses pooles tehakse kindlaks parim meetod või meetodite kombinatsioon, millega erinevates elupaigatüüpides on võimalik ümarmudila täpset arvukust määrata. Saadud hinnangute põhjal modelleeritakse projekti teises pooles erinevaid keskkonna parameetreid, kasutades ümarmudila suhtelist asustustihedust Eesti rannikumeres.

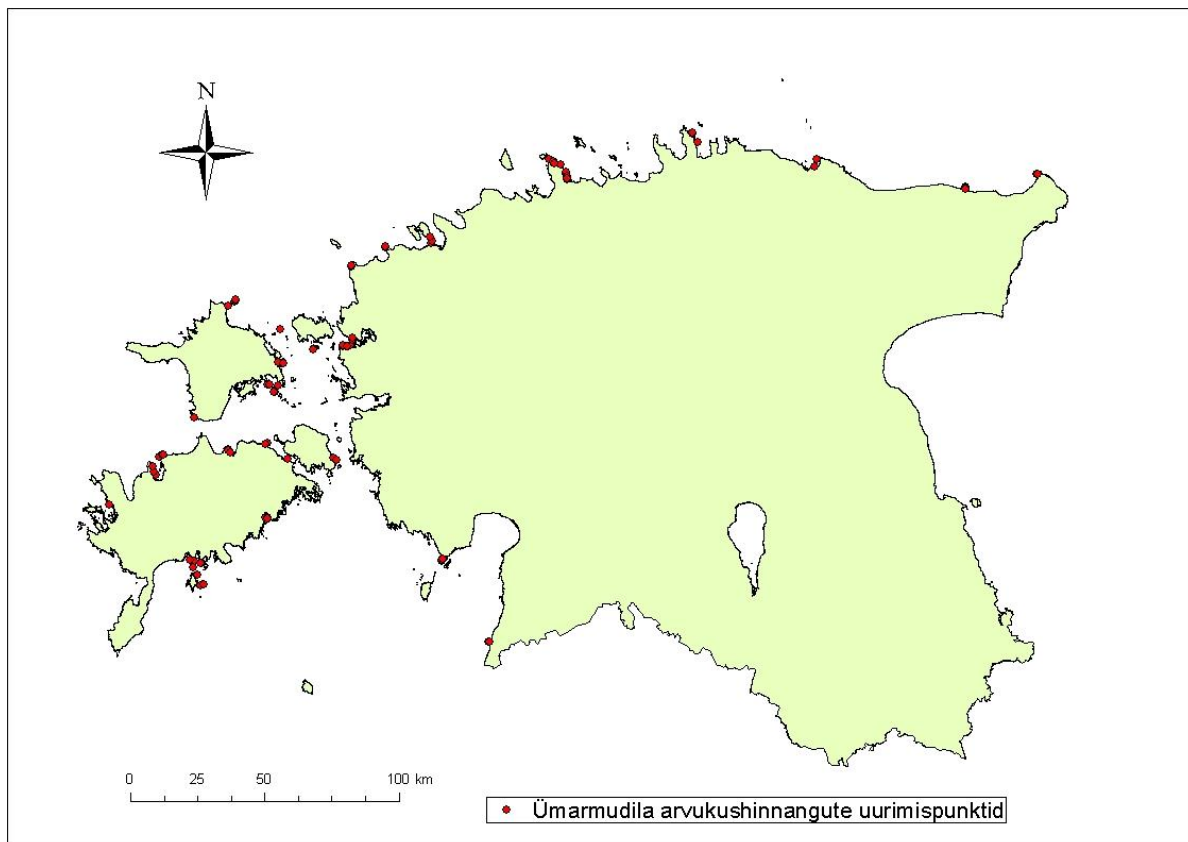
2. METOODIKA

2.1 Uurimisalade üldine iseloomustus

Põhi-uurimisalad hõlmasid kolme piirkonda - Muuga, Liivi ja Haapsalu lahte. Igas piirkonnas asus 6 uurimispunkti põhjakoosluste, vee parameetrite ja ümarmudila tiheduse sesoonseks hindamiseks (Joonis 2). Ümarmudila, ahvena, haugi ja koha toitumishinnanguteks ning populatsiooni parameetrite uuringuteks kasutati vastavalt Liivi lahes ja Haapsalu lahes ühte uurimispunkti ja Muuga lahes kahte uurimispunkti (Joonis 2). Ümarmudila tihedust hinnati 2016. aasta suvel lisaks üle Eesti rannikumere kokku 79-s punktis (Joonis 3).



Joonis 2. Uurimisalade asukoha kaart.



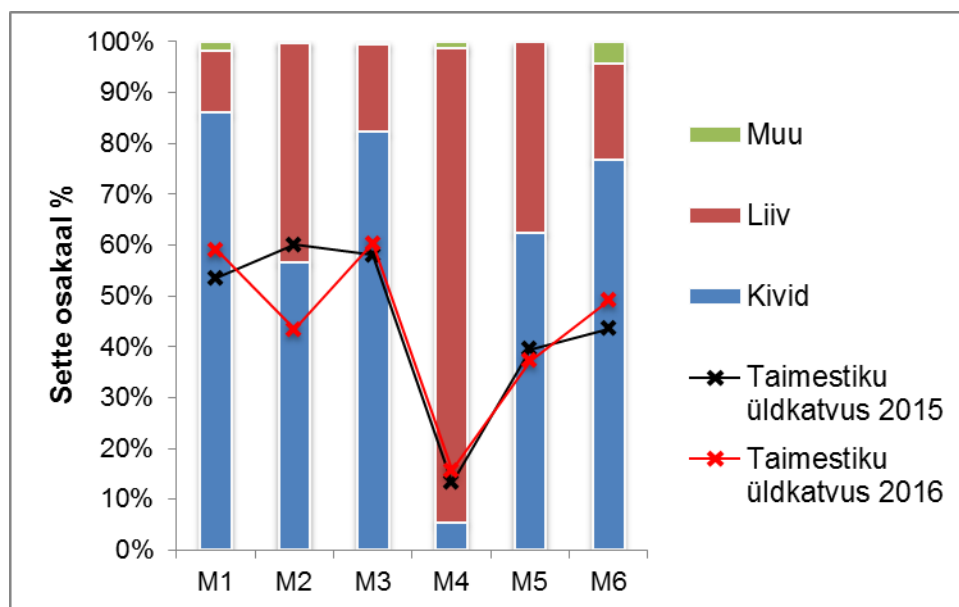
Joonis 3. Ümarmudila asustustiheduse hindamise punktid Eesti rannikumeres.

Muuga laht

Muuga laht on piiratud Viimsi poolsaarega läänest, Tahkumäe neeme ja Aksi saarega idast ning Prangli saarega põhjast. Muuga lahe kogupindala on 34km². Mandri ja saarte rannikunõlv on üsna järsk – sügavused rannast avamere suunas kasvavad küllalt kiiresti. Lahe keskosas asub Karbi madal, mille nõlvad on samuti järsud. Muuga laht ja sellega külgnevad lahed jäävad domineerivate lääne-ida suunaliste hoovuste tee. Piirkonnale on seetõttu iseloomulikud piki randa kulgevad tugevad hoovused. Lisaks hoovustele on poolsaare madalaveelised piirkonnad lainetuse tugeva mõju all. Muuga lahe põhjalähedase vee soolsus varieerub vahemikus 5–8‰. Suvel on 5–10 m sügavusel põhjalähedaste veekihtide temperatuur harilikult 10–18°C. Madalamas vees lahustunud hapniku sisaldus ei ole reeglina elustikule limiteerivaks teguriks. Veepiirist kuni 10 m sügavuseni on merepõhi kaetud valdavalt savi, kruusa, liiva ja kividega. Kõrgem toitelus suurendab planktoni ja põhjavetikate produktsiooni ning selle kaudu taimestikutoiduliste põhjaloomade sh. põhjakalade toiduobjektide arvukust.

Keskmine sügavus Muuga lahe uurimispunktides oli 4,15 meetrit, minimaalne 2,76 m (M4) ja maksimaalne 4,78 m (M5). Pooled punktid asusid tugevamatele tuultele avatud piirkonnas (M1, M2, M3), pooled tuulte ja lainetuse mõjude eest varjatud piirkondades (M4, M5, M6) (Joonis 2). Mõlemas avatuse piirkonnas uuriti nii pehme põhjatüübiga (M4), kõva- ja segu põhjatüübiga (M1, M2, M3, M5, M6) elupaigatüüpe (Joonis 4). Avatud piirkondades asuvates punktides oli taimestiku katvus suurem, ulatudes 60 protsendini (Joonis 4). Muuga lahes oli 2015. aasta

vaatlusperioodi jooksul taimestiku üldkatvus suurim juulis ja madalaim septembris. 2016. aastal oli üldkatvus suurim maikuu ja madalaim oktoobris.

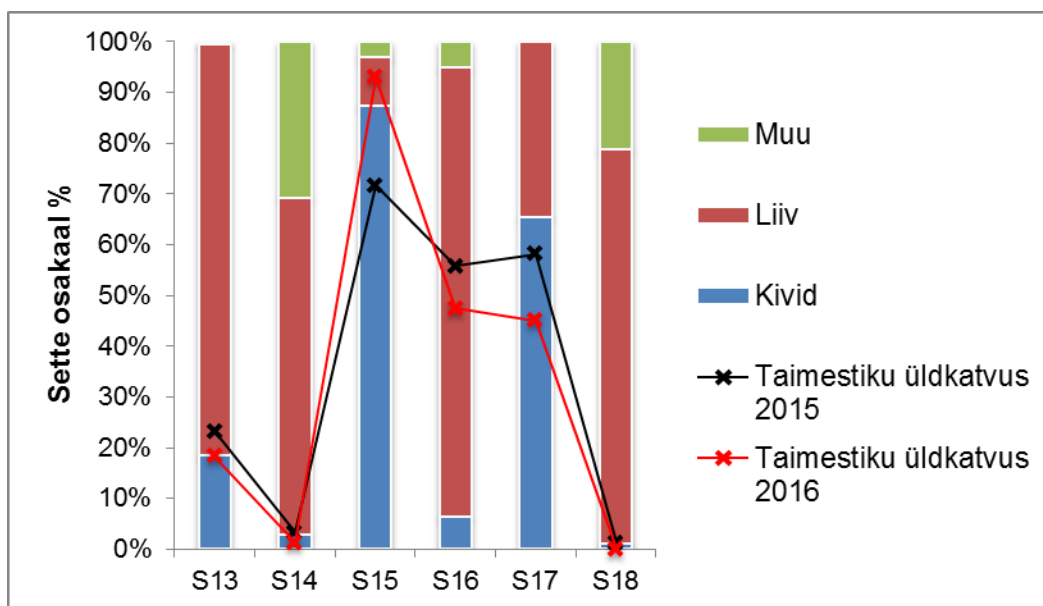


Joonis 4. Settetüüpide osakaalud ja põhjataimestiku üldkatvus Muuga lahe punktides 2015–2016. aastal. kivid = suured kivid, väiksed kivid, kruus, paeplaat; liiv = peenliiv, keskmine liiv, jämeliiv; muu = savi, muda, kõdu, saviplaat.

Liivi laht

Liivi lahe uurimisala paiknes Saaremaa lõunarannikul, Sepamaa lahe, Muratsi lahe ja Abruka saare vahelisel merealal (Joonis 2). Liivi laht on poolsuletud veekogu pindalaga 16 330 km² ja ruumalaga 424 km³, mis moodustab kogu Läänemere pindalast ja ruumalast vastavalt 3,9% ja 2,1%. Liivi lahes seguneb jõevesi Läänemere riimveega (soolsus ~ 8‰), mille tulemusel on pinnakihi vee soolsus vahemikus 5,2–6,4‰ ja põhjakihi vee soolsus üle 7‰. Kevadeti võib pinnakihi vee soolsus jääda alla 2‰. Liivi lahe vesi on sügisel ja talve jäävabadel perioodidel tänu tuulele enamasti kuni põhjakihtideni hästi segunenud. Aprillist oktoobri keskpaigani takistab hooajaline termiline kihistumine vertikaalset veevahetust, soodustab hapnikusisalduse vähenemist ja toitainete akumulereerumist vee põhjakihis, kuni kogu veesammas sügisel uuesti seguneb.

Liivi lahe uurimispunktides Saaremaa lõunarannikul oli keskmine sügavus 5,50 meetrit, minimaalne 3,34 m (S16) ja maksimaalne 8,95 m (S18). Pooled punktid asusid tugevamatele tuultele avatud piirkonnas (S15, S17, S18), pooled tuulte ja lainetuse mõjude eest varjatud piirkondades (S13, S14, S16) (Joonis 2). Avatud piirkonnas uuriti pehme settetüübiga (S18), segu settetüübiga (S17) ja kivise settetüübiga (S15) elupaigatüüpe (Joonis 5). Varjatud piirkondade punktides oli valdavalt pehme sete koos kividega (S13), põhjataimestikuga (S16) või ilma taimestikuta (S14) (Joonis 5). Taimestiku katvus oli suurim 2015. aasta juulikuus ja 2016. augustikuus.

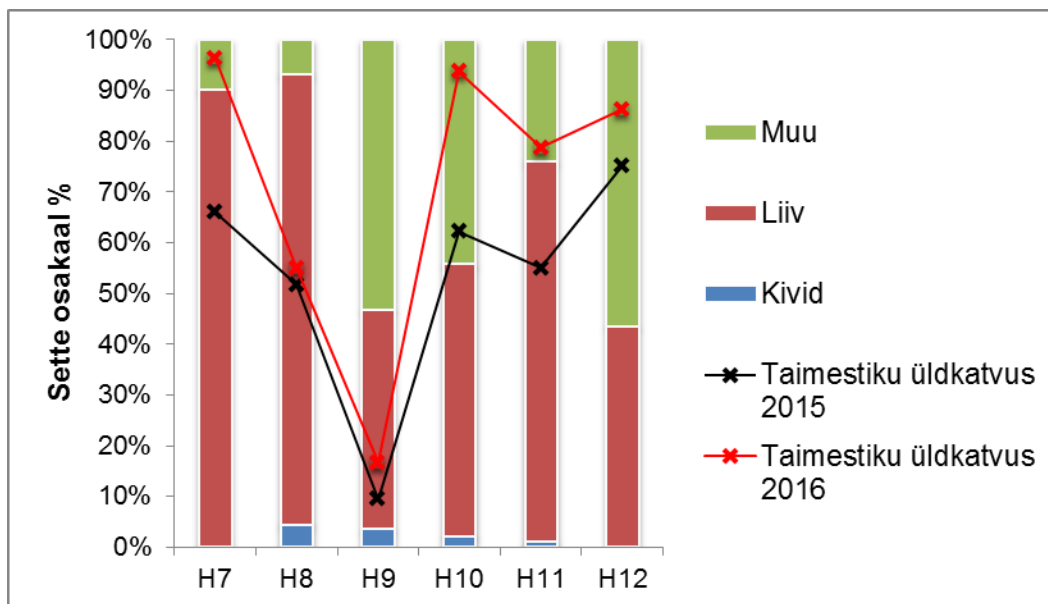


Joonis 5. Settetüüpide osakaalud ja põhjataimestiku üldkatvus Liivi lahe punktides 2015–2016. aastal. kivid = suured kivid, väiksed kivid, kruus, paeplaat; liiv = peenliiv, keskmine liiv, jämeliiv; muu = savi, muda, kõdu, saviplaat

Haapsalu laht

Haapsalu lahe kogupindala on 50 km². Lahe maksimumsügavus jääb alla 5 meetri ning keskmine sügavus on vaid 1,5–2 meetrit. Madalast veest tingituna puudub lahes vertikaalne temperatuurigradiend ja kihistumine. Haapsalu Eeslaht on suhteliselt avatud ja hea veevahetusega veekogu. Seevastu Haapsalu Tagalaht on poolsuletud madalaveeline mereosa, mis asub linna (elanike arv ~11 000) heitvete mõjupiirkonnas. Magevesi siseneb lahte idaosa kaudu, suurim sissevool Taebla jõest valguga 107 km². Need tingimused loovad suhteliselt järsu soolsuse gradiendi Väinamere (6–7‰) ja Haapsalu lahe idaosa vahel (1–3‰). Haapsalu lahe vee kvaliteet sõltub suures osas linna heitvetest, kuid ka suletud laheossa akumulatsioonid toidainetest.

Keskmine sügavus Haapsalu lahe uurimispunktides oli 2,14 m, minimaalne 1,6 m (H8 ja H11), maksimaalne 3,78 m (H9). Tugevamatele tuultele avatud piirkonnas asuvates punktides (H7, H8, H9) (Joonis 2) domineeris liivane settetüüp väikeste kividega (H9), väikeste kivide ja taimestikuga (H8) ja taimestikuga (H7) (Joonis 6). Tuulte ja lainetuse eest varjatud piirkondade punktides (H10, H11, H12) (Joonis 2) oli suurem osakaal mudal ja savil (Joonis 6). Lahe varjatud punktides oli põhjataimestiku katvus suurem, varieerudes 48% ja 71% vahel. Taimestikuga katvus oli 2015. ja 2016. aastal suurim juulikuus ja madalaim septembris.



Joonis 6. Settetüüpide osakaalud ja põhjataimestiku üldkatvus Haapsalu lahe punktides 2015–2016. aastal. kivid = suured kivid, väiksed kivid, kruus, paeplaat; liiv = peenliiv, keskmine liiv, jämeliiv; muu = savi, muda, kõdu, saviplaat

2.2 Andmetöötlus

Statistiline andmetöötlus ja ruumiline modelleerimine viidi läbi programmide Statistica 7 ja R-Studio ja ArcMap abil. Koosluse analüüsid teostati programmi PRIMER abil. Joonised koostati ja viimistleti programmides CoreIDRAW7 ja MS Excel.

2.3 Keskkonnaandmete uurimismetoodika

2.3.1 Põhjataimestik ja põhjaloomastik

2015. aastal koguti Haapsalu lahe, Muuga lahe ja Liivi lahe veekogumist liivase settega proovipunktidest (H7, H8, H9, H10, H11, H12, jne) proovid Ekman tüüpi põhjaammutajaga (ammutiava 0,023m²) ja kivise settega proovipunktidest (S15, M4 jne) kasutati proovide kogumiseks taimeraame (20x20cm). Proovid pesti nailonsõelal, mille avade läbimõõt oli 0,25 mm. Välitöödel pakiti proovid kilekottidesse, varustati etiketiga ning säilitati -20°C juures kuni nende laboratoorse analüüsini. Kõikides jaamades määrati põhjaloomastiku ja põhjataimestiku liigiline koosseis, liikide arvukus ja kuivkaal 1 m² kohta. Kuivkaalu leidmiseks kuivatati loomi 60°C juures 48 tundi ja taimi kaks nädalat. Laboratoorsed tööd toimusid Eesti Akrediteerimiskeskuse poolt akrediteeritud Tartu Ülikooli Eesti Mereinstituudi katselaboris registreerimisnumbriga L179. Igast proovipunktist (kokku 18 punkti kolme lahe kohta) koguti proove üks kord kuus viie kuu jooksul juunist oktoobrini kolmes korduses (kokku 270 proovi). Juuni, juuli ja augusti põhjal hinnati suviseid põhjakooslusi ning septembri ja oktoobri põhjal sügiseid põhjakooslusi. Seoses projekti hilisema algusega ei saanud hinnata kevadisi põhjakooslusi ja neid hinnatakse projekti teises pooles 2016. aasta välitööde põhjal. 2016. aastal koguti proove kõikidelt uurimisaladelt mais, juulis ja septembris (kokku 162 proovi), mille põhjal hinnati vastavalt kevadisi, suviseid ja sügiseid põhjakooslusi.

Lisaks koguti igast proovipunktist 2015. aastal korra kuus juunist oktoobrini ja 2016. aastal mais, juulis ja septembris videomaterjali (kokku 144 videot). Allveevideote kestus oli kolm minutit ning nende põhjal hinnati põhjataimestiku katvust (üldkatvust ja liigilist koosseisu), sette tüüpi ja ümarmudilate arvukust (ainult 2015. a.).

2.3.2 Hüdrokeemia ja vee läbipaistvus

Hüdrokeemia

2015–2016. aastal koguti hüdrokeemia proove pinnakihist (1m). Haapsalu, Liivi ja Muuga lahe vastavates proovipunktides koguti juunist kuni oktoobrini proovid nitraatse lämmastiku (NO_x-N), fosfaatse fosfori (PO₄-P), räni (SiO₄-Si), üldlämmastiku (TN) ja -fosfori (TP) määramiseks. Kokku analüüsiti vaatlusperioodi jooksul 144 veekeemia proovi.

Toitainete analüüsides aluseks olid vastavad rahvusvahelised ISO ja EN standardmeetodid ning analüüsid teostati „Skalari” firma automaatanalüsaatoril San⁺⁺. Tartu Ülikooli Eesti Mereinstituudi Merebioloogia osakonna labor on Eesti Akrediteerimiskeskuse poolt akrediteeritud ning akrediteerimisulatus hõlmab kõiki kasutatud analüüsimeetodikaid (akrediteering nr. L179).

Temperatuur

Merevee temperatuuri mõõtmiseks kasutati CTD/STD sonde mudelid SD204 ja YSI 6600V2. Merevee temperatuuri mõõdeti kõikidelt uurimisaladelt korra kuus juunist oktoobrini 2015. ja 2016. aastal mais, juulis ja septembris, kokku 144 korda.

Vee läbipaistvus

Vee läbipaistvust mõõdeti Secchi ketta abil kõikides proovipunktides korra kuus juunist oktoobrini 2015. ja 2016. aastal mais, juulis ja septembris, kokku 144 korda.

2.4 Röövkalade toitumise uurimismetoodika

Röövkalade (ahven, haug, koha) toitumise analüüsiks koguti kord kuus (kevadest sügiseni) (Joonis 2) üks juhuslik proov töenduslikest mörripüükidest. Aastal 2015 koguti proove Aegna, Muuga ja Muratsi punktides ning 2016. aastal ainult Muuga ja Muratsi mõrdadest, sest Aegna mõrd ei olnud 2016. aastal töös (Joonis 2). Proovi suurus varieerus vastavalt kala liigile ja kättesaadavusele: ümarmudilat oli proovis ca 50 isendit, ahvenat ca 30, haugi ja koha kumbagi 3–5 isendit. Ahvena, koha ja haugi isendid analüüsiti vahetult pärast proovivõttu.

Kõik kogutud kalad analüüsiti bioloogiliselt, st kalal mõõdeti tüve- (SL, cm) ja täispikkus (TL, cm) ja täiskaal (TW, g), määrati kala sugu ja suguküpsus, s.o. gonaadi histoloogiline seisund kuueastmelisel skaalal (Anon, 2007). Olenevalt kala liigist koguti kõigilt isenditelt vanust registreerivad struktuurid: ahvenal vasakpoolne lõpuskaaneluu (Tesh 1971), haugil ja kohal ülalpool seljauime algust soomuseid (Thoresson 1993). Struktuurid pakendati, lasti kuivada ja hiljem määrati nende järgi kala vanus. Maod eemaldati ja sisu analüüsiti binokulaari all, kogu sisu loendati ja määrati võimalusel liigi täpsuseni (vastavalt seedumisastmele). Loendamisel hinnati selgrootute toiduobjektide või kalaliikide suurusklassi ja määrati arvutuslik biomass

vastavalt Tartu Ülikooli Eesti Mereinstituudi andmebaasis fikseeritud liigi- ja suurusklassi-põhistele keskmistele biomassidele.

2.5 Ümarmudila toitumise uurimismetoodika

Ümarmudila proove koguti kord kuus kevadest sügiseni rannakalurite mõrdadest (avameremõrd) Muuga lahest ja Liivi lahest Saaremaa lõunarannikult (Joonis 2). 2015. aastal koguti proove Aegna, Muuga ja Muratsi punktides ja 2016. aastal ainult Muuga ja Muratsi mõrdadest (Joonis 2).

Kasutades juhusliku valiku meetodit, varieerus ühe proovi suurus, vastavalt kala kättesaadavusele konkreetsest mõrrast 50–100 isendini. Kalad külmutati ja transporditi Tartu Ülikooli Eesti Mereinstituudi katselaborisse. Kaladel mõõdeti tüve- (SL, cm) ja täispikkus (TL, cm) ja täiskaal (TW, g), määrati kala sugu ja suguküpsus, s.o. gonaadi histoloogiline seisund kuueastmelisel skaalal (Anon, 2007). Kalade maod eemaldati ja sisu analüüsiti binokulaari all. Maod eemaldati ja sisu analüüsiti binokulaari all, kogu sisu loendati ja määrati võimalusel liigi täpsuseni (vastavalt seedumisastmele). Loendamisel hinnati selgrootute toiduobjektide või kalaliikide suurusklassi ja määrati arvutuslik biomass vastavalt Tartu Ülikooli Eesti Mereinstituudi andmebaasis fikseeritud liigi- ja suurusklassi-põhistele keskmistele biomassidele.

2.6 Ümarmudila asustustiheduse uurimismetoodika

Igas proovipunktis (18tk) teostati kadiska-tüüpi lõkspüünistega (45x60x30 cm, sõlmevahe 10 mm) ümarmudila püüki 2015. aastal kord kuus juunist oktoobrini ja 2016. aastal mais, juulis ja septembris. Igas proovipunktis asetati jadana 5 lõksu merepõhja 48-ks tunniks, lõksude omavaheline kaugus oli keskmiselt 10m ja keskmine lõks asus alati samas asukohas. Lõksudesse lisati söödaks üks keskmise suurusega räim.

Põhilistes proovipunktides (M1, M2, M3, M4, M5, M6, H7, H8, H9, H10, H11, H12; S13, S14, S15, S16, S17, S18) teostati sukeldumisi 2015. aastal juulist oktoobrini ja 2016. aastal mais, juulis ja septembris kord kuus. Lisaks teostati lisasukeldumisi 2016. aastal üle Eesti kaheksakümnes punktis (Joonis 3). Sukelduja hindas ümarmudilate keskmist arvukust igas proovipunktis 10-s kuni 20-s 1 m² suurusel juhuslikult valitud loendusruudus. Igas prooviruudus hinnati väikeste (TL <5cm), keskmiste (TL 5<13cm) ja suurte (TL >13cm) isendite arvu. Lisaks kirjeldas sukelduja iga sukeldumise juures erinevate settefraktsioonide ja taimestiku katvust. Vaatluste ajal mõõdeti lisaks vee temperatuuri ja Secchi kettaga vee läbipaistvust.

Lisaks hinnati põhilistes proovipunktides videomaterjali põhjal ümarmudila arvukust 2015. aastal üks kord kuus viie kuu jooksul juunist oktoobrini. 2016. aastal hinnati allveevideote põhjal ainult sette katvust ja taimestiku katvust.

2.7 Ümarmudila kodupiirkonna ja invasioonipotentsiaali uurimismetoodika

Ümarmudila liikumise, kodupiirkonna ja invasioonipotentsiaali uurimiseks kasutati kala liikumise aktiivset jälgimist akustilise telemeetria abil. Selleks sisestati kalasse kiip, mis aktiivselt väljastab heli ehk akustilist signaali ja signaali võtavad vastu merepõhja paigutatud hüdrofoonid ehk vastuvõtjad. Iga kalasse sisestatud kiip saadab välja iga 90 sekundi tagant helisignaali koos

unikaalse ID numbriga, mille abil on võimalik saada täpset infot kala asukohast millisekundi täpsusega. Andmed salvestuvad vastuvõtjates ja peale failide allalaadimist töödeldakse andmeid MS Excelis ja MS Accessis ning analüüsitakse tulemusi programmiga VUE ja statistika programmiga R.

Projekti esimeses pooles viidi läbi kaks pilootkatset vastuvõtjate asukoha (kaugus, sügavus, keskkond jne) parimaks planeerimiseks ja andmete töötluks vajalike põhimõtete selgitamiseks.

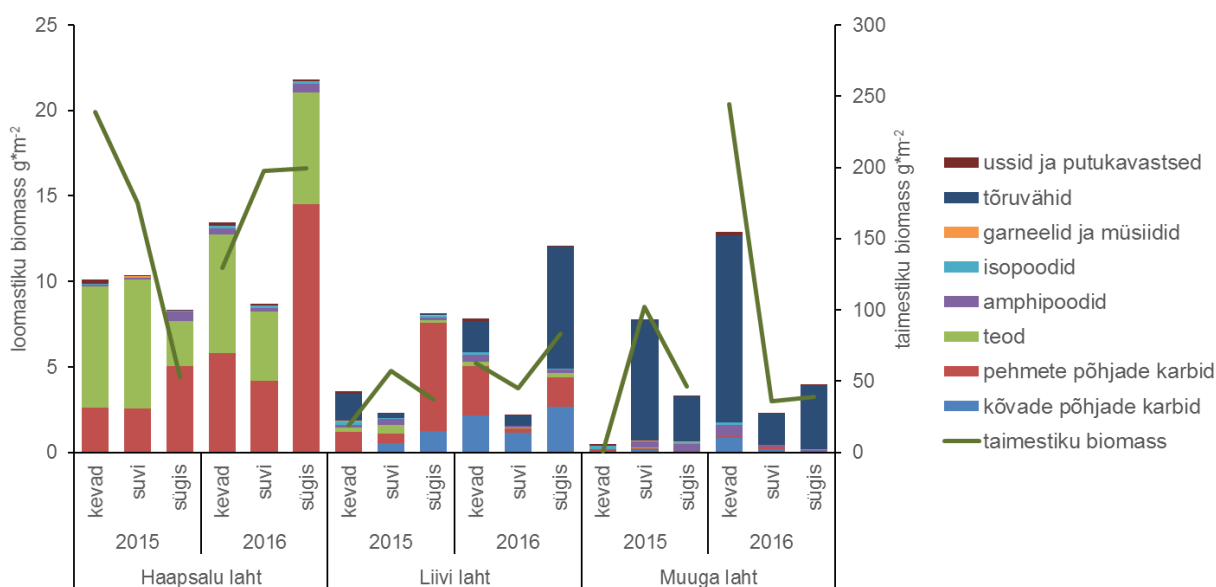
2016 aasta kevadel ja suvel viidi läbi ümarmudila liikumise uuringu katse Kõiguste lahes paiknevas suletud akvatooriumis ja 2016 aasta suvel Jaagarahu lahes paiknevast suletud akvatooriumis.

3. TULEMUSED

3.1 Keskkonnaandmed

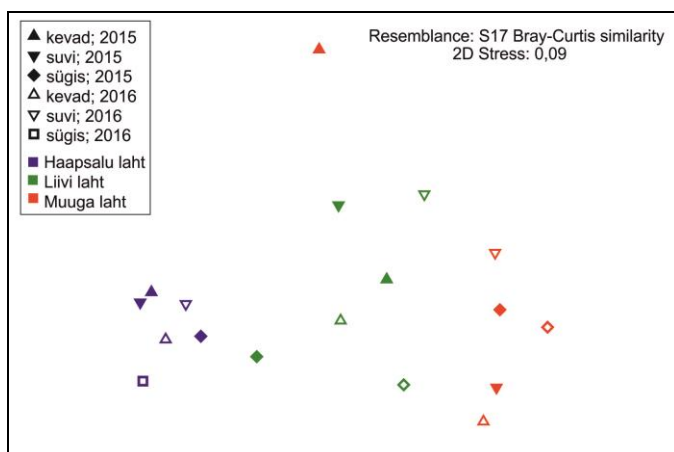
3.1.1 Põhjataimestiku- ja loomastiku muutused

Uurimisala põhjaloomastiku proovides esinenud liigid jagati vastavalt ümarmudila toitumises eristatud rühmadele (Joonis 7). Põhjaloostiku üldbiomass ja selles domineerivad rühmad varieerusid piirkonniti. Haapsalu lahes domineerivad biomassis pehmete põhjade krabid ja teod, Liivi lahe uurimisalal on lisaks pehmete põhjade karpidele olulised ka kõvade põhjade krabid ja tõruvähid ning Muuga lahes on põhjaloomastikus domineerivad tõruvähid. Taimestiku biomass on suurim Haapsalu lahes ja taimestiku biomass on suure sesoonse muutlikkusega Haapsalu ja Muuga lahes (Joonis 7).



Joonis 7. Põhjataimestiku (jooned) ja põhjaloomastiku (tulbad) suuremate rühmade biomasside erinevused uurimisaladel 2015. ja 2016. aastal. Põhjaloostiku biomass on väga väike Liivi ja Muuga lahe uurimispunktides, kus ümarmudila asustustihedus on väga suur.

Eri piirkondade põhjaloomastiku kooslused eristusid statistiliselt ($p=0,005$). Kõik kolm piirkonda paigutuvad mitmemõõtmelise skaleerimise graafikul eraldi ning omavahel on sarnasemad Haapsalu ja Liivi laht ning Liivi ja Muuga laht (Joonis 8). Haapsalu ja Muuga lahe erinevustesse panustasid kõige rohkem teod ja pehmete põhjade krabid ning Liivi ja Muuga laht eristusid tõruvähkide ja pehmete põhjade karpide biomasside poolest.

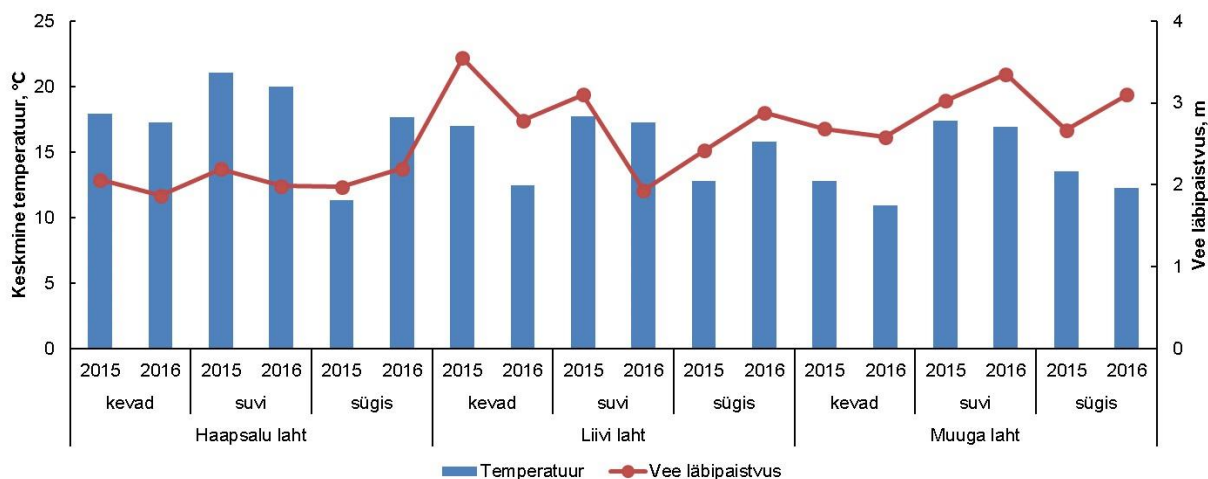


Joonis 8. Põhjaloostiku koosluste eristumine mitmemõõtmelise skaleerimise graafikul (MDS).

3.1.2. Veekeskkonna muutused

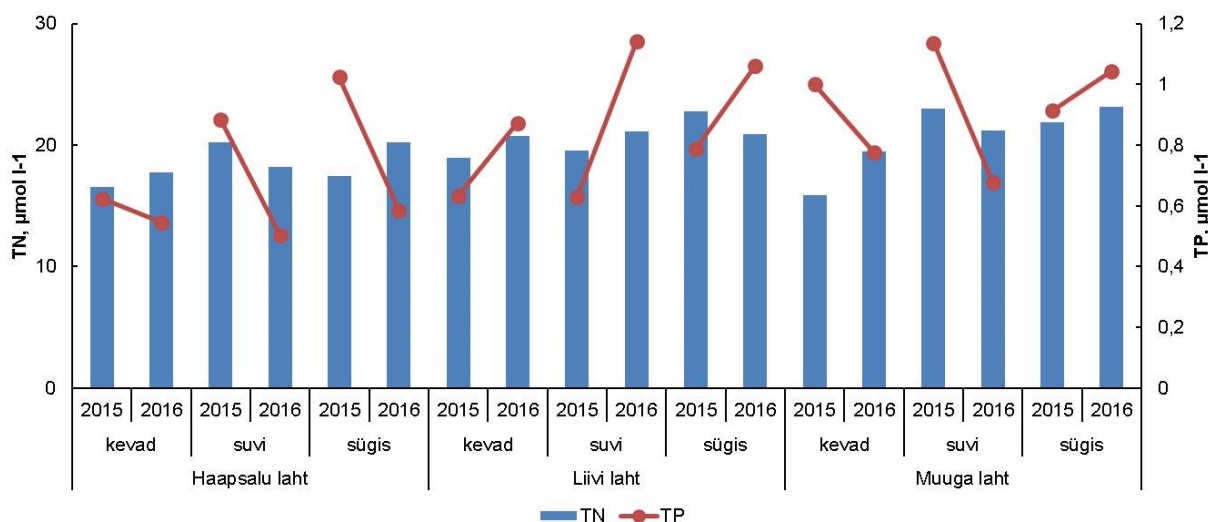
Erinevate uurimisalade keskmine merevee temperatuur varieerus vähesel määral (Joonis 9). Kõige soojem merevesi oli Haapsalu lahes nii 2015. kui ka 2016. aasta suvel ning kõige jahedam vesi Muuga lahes nii kevadel kui ka suvel. Sesoniti oli kõige suurem temperatuuride kõikumine Muuga lahes. Haapsalu lahes toimus sügisene temperatuuri langus kiiremini 2015. aastal kui 2016. aastal.

Haapsalu lahe merevee läbipaistvus oli kogu vaatlusperioodi jooksul suhteliselt muutmatu (Joonis 9). Liivi lahe merevee läbipaistvus varieerus nii aastate vahel kui ka sesooniti, parim veeläbipaistvus oli kevadisel perioodil nii 2015. aastal kui ka 2016. aastal. Muuga lahes oli vastupidiselt Liivi lahe uurimisalale kõige halvem merevee läbipaistvus kevadel, kuid võrreldes Liivi lahega sesooniti stabiilsem.



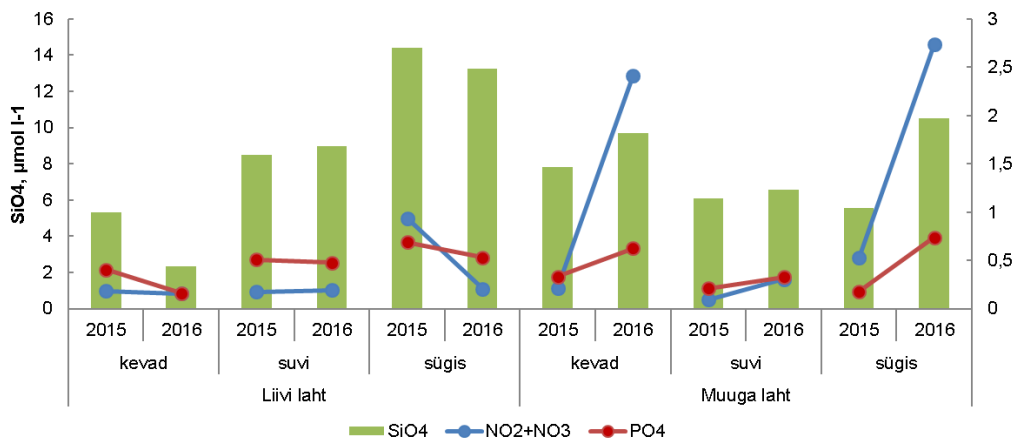
Joonis 9. Haapsalu, Kuressaare ja Muuga lahe punktide keskmine temperatuur (°C) ja keskmine merevee läbipaistvus (m) 2015. ja 2016. aasta vaatlusperioodi jooksul erinevatel uurimisaladel.

Merevee üldlämmastiku ja -fosfori sisaldused uurimisaladel olid valdavalt stabiilsed ja suuri ekstreemumeid uurimisperioodi jooksul ei registreeritud (Joonis 10). Haapsalu lahes oli üldlämmastiku kontsentratsioon merevees aastati ja sesooniti suhteliselt stabiilne, seevastu üldfosfor näitas tõusvat trendi 2015. aasta kevadest sügiseni, kuid trend puudus 2016. aastal. Liivi lahe uurimisalal üldlämmastiku kontsentratsioonides suuri kõikumisi ei esinenud, üldfosfori kontsentratsioon oli 2016. aastal kõrgem kui 2015. aastal. Muuga lahes oli üldlämmastiku kontsentratsioon madalaim 2015. aasta kevadel ja üldfosforis oli suurim kõikumine 2015. aasta ja 2016. aasta suve kontsentratsioonide vahel.



Joonis 10. Üldlämmastiku (TN, µmol l⁻¹) ja üldfosfori (TP, µmol l⁻¹) keskised kontsentratsioonid 2015. ja 2016. aasta vaatlusperioodi jooksul erinevatel uurimisaladel.

Ränioksiidi kontsentratsioon mereveel oli kõrgeim Liivi lahes nii 2015. aasta kui ka 2016. aasta sügisel (Joonis 11). Fosforoksiidi kontsentratsioon oli ühtlane kogu uurimisperioodi jooksul. Lämmastikoksiidi kontsentratsioonid olid valdavalt stabiilsed, 2016. aastal esines kevadel ja sügisel tavapärasest kõrgemaid kontsentratsioone.



Joonis 11. Keskmised räni-, lämmastik- ja fosforoksiidi kontsentratsioonid 2015. ja 2016. aasta vaatlusperioodi jooksul Liivi ja Muuga lahes.

3.2 Röövkalade toitumine

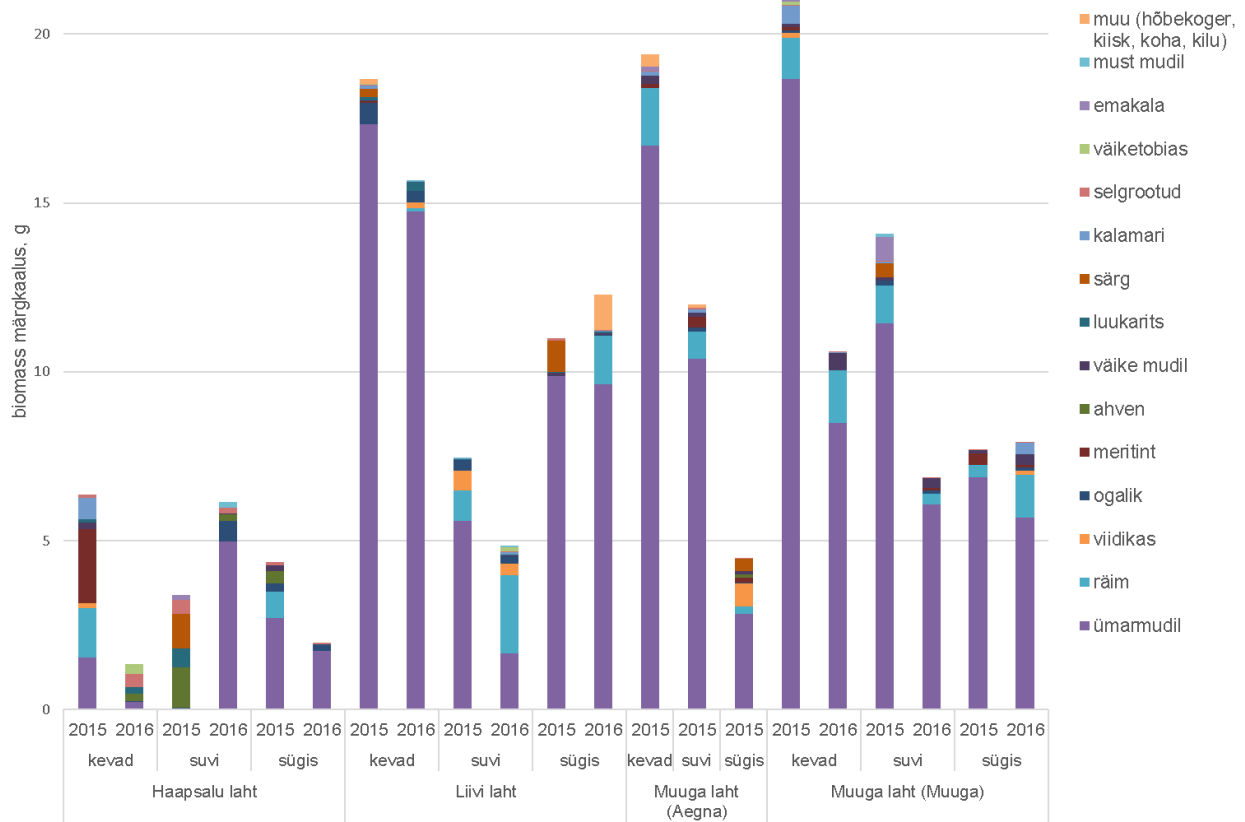
3.2.1 Ahven

Ahvenat koguti kutseliste kalurite mõrdadest võimalusel kord kuus (aprillist oktoobrini) kolmest lahest (Joonis 2). Proovi suurus varieerus vastavalt kala olemasolule püünises. Kalade suurus varieerus proovide kaupa. Proovide keskmised kogupikkused varieerusid proovivõtukohtade ja aastaegade vahel (Tabel 1). Kõikides proovides domineerisid emased isendid.

Maosisude analüüsi põhjal on näha suurt ümarmudila suurt osakaalu ahvena toitumises Liivi ja Muuga lahes (Joonis 12). Haapsalu lahes on ümarmudilate tarbimine tõusvas trendis, olles ligikaudu kolm korda kõrgem sügisel kui kevadel. Suvel oli ümarmudilast toitumine madal, mis võib olla seotud kõrgema temperatuuriga Haapsalu lahes (Joonis 9). Ahven on oportunistlik toituja, kes on alati orienteeritud haarama maksimaalselt suurt saaki, see võib olla ka põhjuseks, miks ahven tarbib rohkem ümarmudilat kui teisi väiksemaid mudila liike.

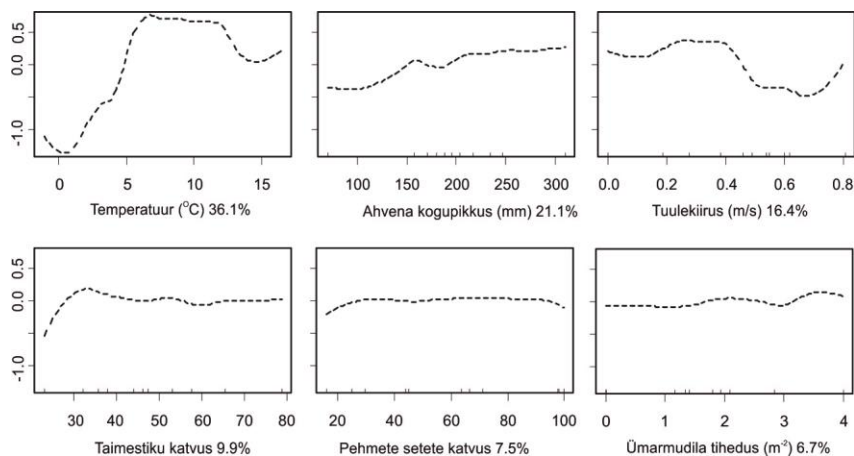
Tabel 1. Ahvena keskmine toitumine ja populatsiooni parameetrid uurimispiirkondades (Liivi laht (LL), Muuga laht (ML), Haapsalu laht (HL)) erinevatel kuudel 2015–2016. aastal.

Punkt	Aasta	Kuu	N	emased, %	isased, %	pikkus, mm	kaal, g	vanus	sugu- küpsumus	toitunud, %	mõõdetud toiduga %		
Haapsalu (HL)	2015	4	30	96,7	3,3	219	141,9	4,4	3,9	20,0	13,3		
		5	41	68,3	31,7	197	96,4	3,9	3,7	36,6	36,6		
		6	26	84,6	15,4	184	77,7	3,7	4,5	69,2	69,2		
		7	27	66,7	33,3	197	106,2	2,9	2,9	40,7	33,3		
		8	28	85,7	14,3	243	171,7	4,8	2,0	96,4	57,1		
		9	36	75,0	25,0	238	180,4	4,6	3,0	100,0	66,7		
		10	29	62,1	37,9	203	105,2	3,3	2,9	72,4	51,7		
	2016	4	31	54,8	45,2	193	80,5	3,9	4,0	41,9	22,6		
		6	28	96,4	3,6	178	56,2	3,1	2,0	100,0	82,1		
		7	26	61,5	38,5	240	180,3	5,0	2,0	84,6	76,9		
		8	38	78,9	21,1	229	159,7	4,4	3,1	92,1	68,4		
		9	30	86,7	13,3	248	188,6	5,0	4,0	86,7	63,3		
		Muratsi (LL)	2015	4	34	97,1	2,9	190	84,9	3,4	2,5	64,7	55,9
				6	50	84,0	16,0	221	145,5	4,7	3,4	90,0	78,0
7	34			88,2	11,8	229	165,7	4,9	2,6	85,3	79,4		
8	35			88,6	11,4	203	101,7	3,5	2,0	68,6	60,0		
10	29			69,0	31,0	201	109,9	3,2	3,0	100,0	69,0		
2016	5		30	93,3	6,7	246	203,0	5,3	4,7	86,7	76,7		
	6		41	70,7	29,3	210	120,4	4,2	4,6	100,0	82,9		
	7		47	78,7	21,3	205	107,5	3,9	2,1	91,5	74,5		
	8		41	70,7	29,3	188	79,6	2,8	2,4	85,4	61,0		
	9		30	76,7	23,3	217	129,7	3,9	2,8	90,0	60,0		
Aegna (ML)	2015	10	28	78,6	21,4	186	94,1	2,9	2,5	89,3	64,3		
		6	42	76,2	23,8	186	85,1	3,3	3,2	85,7	85,7		
		7	23	73,9	26,1	196	95,8	3,4	3,1	73,9	73,9		
		8	81	76,5	23,5	210	139,2	3,8	2,5	84,0	45,7		
		9	80	80,0	20,0	197	109,2	3,2	2,5	82,5	63,8		
Muuga (ML)	2015	10	27	85,2	14,8	198	107,7	3,2	2,6	85,2	51,9		
		6	71	90,1	9,9	184	84,5	3,2	3,0	85,9	77,5		
		7	66	84,8	15,2	188	86,9	3,2	3,0	74,2	63,6		
	2016	10	34	70,6	29,4	176	70,9	2,7	2,4	82,4	38,2		
		5	52	94,2	5,8	181	72,0	3,1	2,7	90,4	73,1		
		6	36	77,8	22,2	190	79,5	3,5	3,6	88,9	66,7		
		7	62	74,2	25,8	140	38,8	1,5	2,1	75,8	48,4		
		8	46	69,6	30,4	172	73,3	2,2	2,5	37,0	19,6		
		9	39	69,2	30,8	184	86,5	2,8	2,4	97,4	79,5		



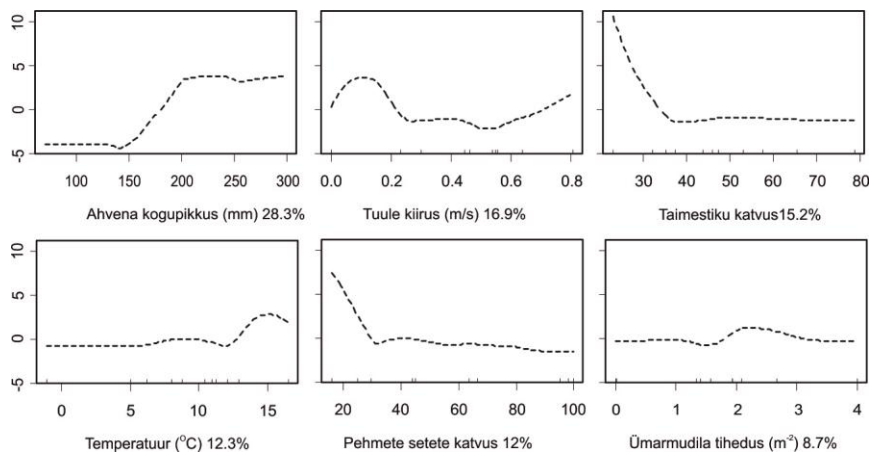
Joonis 12. Toitunud ahvenate keskmine mõõdetavate toiduobjektide biomass vaatlusperioodil.

Ahvenate toitumine on mõjutatud erinevatest keskkonnateguritest. Masinõppealgoritmidel põhinev modelleerimine näitas, et ahvenate üldine toitumise alustamine on seotud pigem abiootilise keskkonnaga (temperatuur ja tuule kiirus) ja kala enda suurusega kui toiduobjektide olemasoluga (Joonis 13).



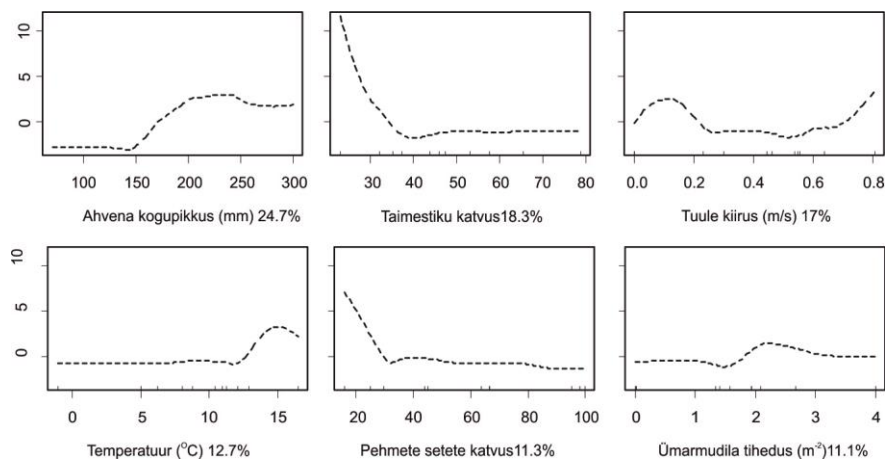
Joonis 13. Kõikide analüüsitud ahvenate üldist toitumist mõjutavad keskkonnategurid ja nende seos ahvena toitumisega.

Toitunud ahvenate tarbitud toidukogust mõjutab kõige rohkem kala suurus, kus suuremad kalad toituvad rohkem. Abiootilistest keskkonnatingimustest mõjutab ahvena toiduhulka tuule kiirus (madalate tuulekiiruste juures tarbitakse rohkem) ning biotilisest keskkonnast suurtaimestiku katvus (seal kus suurtaimestiku katvuse jääb alla 40%, on ahvena toiduhulk suurem) (Joonis 14).



Joonis 14. Ahvena kogu tarbitud biomassi (g, märgkaalus) mõjutavad keskkonnategurid ja nende seos ärasõõdud toiduhulgaga.

Toitunud ahvenate ümarmudilast toitumist mõjutavad põhiliselt ahvena enda suurus, kusjuures suuremad kalad söövad ümarmudilat rohkem (Joonis 15). Olulised on ka nähtavust mõjutavad tegurid ehk taimestiku katvus ja tuule kiirus. Ümarmudila tihedus mõjutab ahvena toitumist ümarmudilast ainult vähesel määral. Nõrga seose taga võib olla asjaolu, et ümarmudila asustustihedused on Eesti rannikumeres juba sedavõrd suured, et need ei piira ahvena toitumist. Samuti võib seost hägustada ümarmudila asustustiheduse suur ajaline ja ruumiline kõikumine. Lisaks on ahvenale iseloomulik suur toitumispiirkond ning projekti käigus kasutatud ümarmudila arvukuse hindamismetoodikatega ei ole võimalik ahvenale kättesaadavat ümarmudila kogust õigesti hinnata.



Joonis 15. Ahvena tarbitud ümarmudila kogust mõjutavad keskkonnategurid ja nende seos ärasõõdud ümarmudila biomassiga.

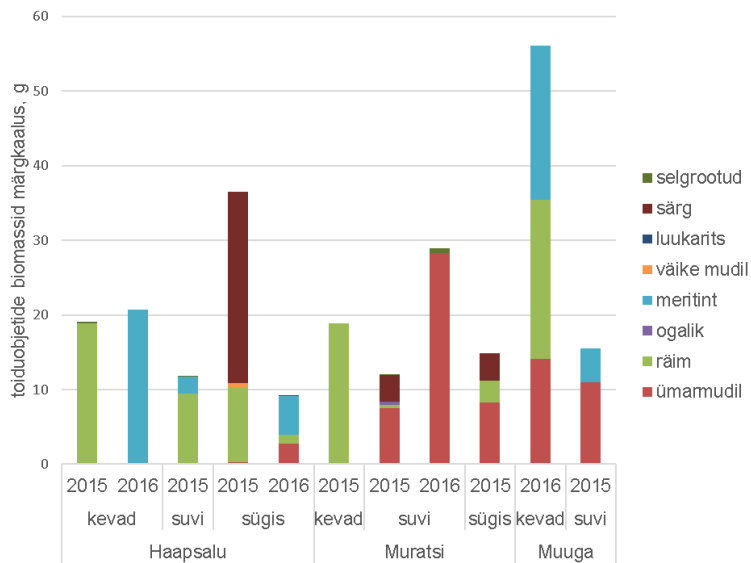
3.2.2 Koha

Koha koguti kutseliste kalurite mõrdadest võimalusel kord kuus (aprillist oktoobrini) kolmest lahest (Joonis 2). Proovi suurus varieerus vastavalt kala olemasolule püünises. Kalade suurus varieerus proovide kaupa. Proovide keskmised kogupikkused varieerusid proovivõtukohtade ja aastaegade vahel (Tabel 2).

Tabel 2. Koha keskmine toitumine ja populatsiooni parameetrid uurimiskiirkondades (Liivi laht (LL), Muuga laht (ML), Haapsalu laht (HL)) erinevatel kuudel 2015–2016. aastal.

Punkt	Aasta	Kuu	N	Emased, %	Isased, %	Pikkus, mm	Kaal, g	Vanus	Sugu- küpsus	Toitunud, %	Mõõdetud toiduga, %
Haapsalu (HL)	2015	6	5	60,0	40,0	388	472,8	3,0	5,2	80,0	60,0
		7	3	66,7	33,3	332	330,0	2,7	5,0	100,0	66,7
		8	3	100,0	0,0	435	659,7	3,0	2,0	100,0	33,3
		9	3	33,3	66,7	400	504,1	3,0	2,7	100,0	66,7
		10	8	62,5	37,5	366	394,4	3,0	3,0	100,0	75,0
	2016	3	3	33,3	66,7	467	748,6	4,0	4,0	66,7	33,3
Muratsi (LL)	2015	6	2	0,0	100,0	314	264,3	2,0	2,0	100,0	50,0
		7	9	66,7	33,3	309	276,2	2,2	2,3	88,9	66,7
		8	9	66,7	33,3	347	358,9	2,3	2,3	66,7	55,6
		10	11	36,4	63,6	336	343,8	2,6	2,6	100,0	90,9
	2016	7	2	50,0	50,0	346	343,8	2,5	2,0	100,0	50,0
Muuga (ML)	2015	7	1	0,0	100,0	431	670,2	3,0	3,0	100,0	100,0
	2016	6	2	50,0	50,0	518	1081,0	4,0	4,0	100,0	100,0

Ümarmudilal oli oluline roll koha toitumisel nii Liivi lahes kui ka Muuga lahes. Keskmiselt moodustas ümarmudil koha toidus 54% Muuga lahes ja 48% Liivi lahes ning Haapsalu lahes ainult 6%. Liivi lahes oli näha nii suvel kui ka sügisel olulist ümarmudila rolli koha toitumises (Joonis 16). Haapsalu lahes ümarmudil esines koha toidus vähesel määral sügisel.



Joonis 16. Toitunud koha keskmised toiduobjektide biomassid.

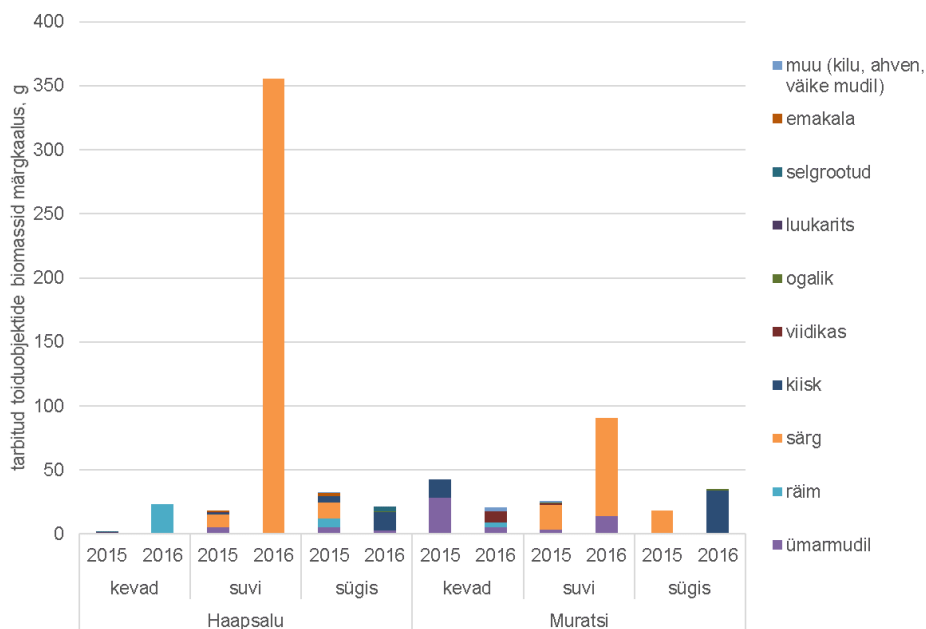
3.2.3 Haug

Haugi koguti kutseliste kalurite mõrdadest võimalusel kord kuus (aprillist oktoobrini) kolmest lahest (Joonis 2) Proovi suurus varieerus vastavalt kala olemasolule püünises. Kalade suurus varieerus proovide kaupa. Proovide keskmised kogupikkused varieerusid proovivõtukohtade ja aastaegade vahel (Tabel 3).

Tabel 3. Haugi keskmine toitumine ja populatsiooni parameetrid uurimispiirkondades (Liivi laht (LL), Muuga laht (ML), Haapsalu laht (HL)) erinevatel aastaaegadel 2015–2016. a.

Punkt	Aasta	Kuu	N	emased, %	isased, %	pikkus, mm	kaal, mm	vanus	suguküpsus	Toitunud, %	Mõõdetud toiduga, %
Haapsalu (HL)	2015	6	4	50,0	50,0	425	464,1	3,0	4,0	50,0	50,0
		7	7	28,6	71,4	402	399,4	3,0	3,1	57,1	57,1
		8	3	66,7	33,3	495	834,9	3,3	3,0	100,0	66,7
		9	6	0,0	100,0	409	463,9	2,8	3,3	100,0	83,3
		10	8	25,0	75,0	415	448,0	3,0	3,0	50,0	37,5
	2016	3	1	100,0	0,0	551	1136,7	4,0	4,0	100,0	100,0
		4	4	25,0	75,0	505	775,5	4,0	5,5	25,0	25,0
		8	1	100,0	0,0	623	3014,2	4,0	3,0	100,0	100,0
		9	5	40,0	60,0	433	529,9	3,0	3,0	100,0	80,0
Muratsi (LL)	2015	6	2	50,0	50,0	538	1177,1	4,5	4,0	100,0	100,0
		7	3	66,7	33,3	555	1210,1	4,3	3,0	100,0	100,0
		8	5	40,0	60,0	458	661,5	2,8	3,0	100,0	100,0
		10	1	100,0	0,0	438	644,3	3,0	3,0	100,0	100,0
	2016	5	3	33,3	66,7	402	505,3	3,7	2,7	66,7	66,7
		6	3	0,0	100,0	397	490,9	3,3	2,0	66,7	66,7
		7	1	0,0	100,0	417	549,0	3,0	2,0	100,0	100,0
		8	1	100,0	0,0	443	628,1	3,0	3,0	100,0	100,0
		9	1	100,0	0,0	578	1254,9	5,0	3,0	100,0	100,0
		10	1	0,0	100,0	296	177,1	2,0	3,0	100,0	100,0

Haugi toidukoosseisus oli ümarmudilat vähem kui ahvena või koha toidus, põhiliselt tarbiti särge, räime ja kiiska (Joonis 17). Põhjuseks võib olla üleüldine haugide väike valim, mis ei võimalda adekvaatselt hinnata haugide toitumist ümarmudilast uurimiseladel.



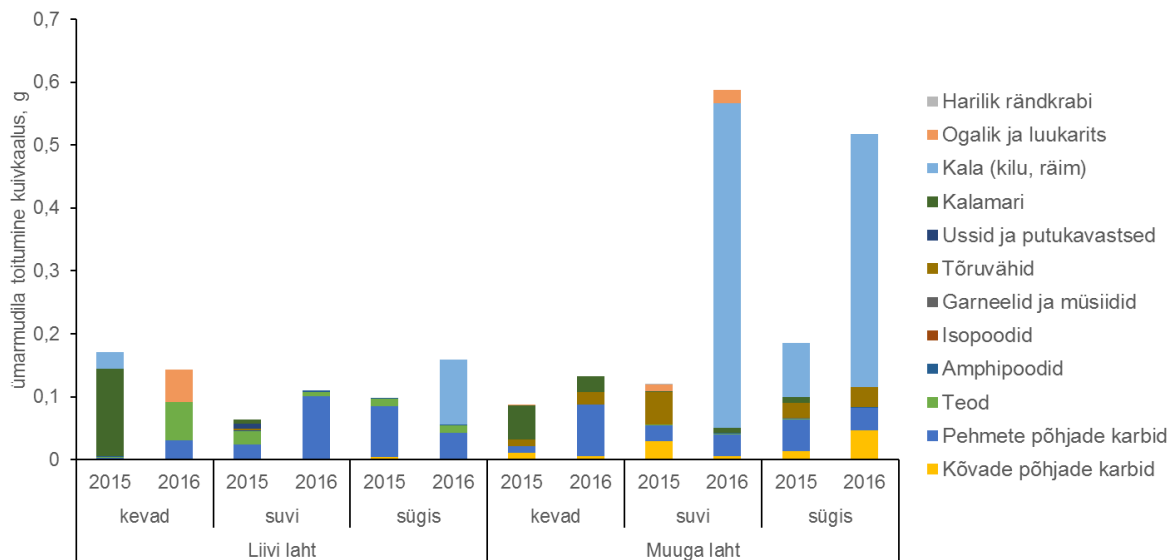
Joonis 17. Toitunud haugide keskmine toidu koosseis protsentuaalselt kogu tarbitud biomassist.

3.3 Ümarmudila toitumine

Kokku analüüsiti 2015–2016. aastal Liivi ja Muuga lahes kokku 1733 ümarmudilat (Tabel 4). Kõikide ümarmudilate keskmine pikkus oli 146.2 mm, kaal 53,9 g ja domineerisid isased isendid (77,6%). Keskmine toitumus oli 41,1%. Muuga lahes oli kõige suurem toitunud isendite osakaal kevadel ja Liivi lahes suvel.

Tabel 4. Ümarmudila populatsiooni parameetrid uurimispiirkondades (Liivi laht (LL), Muuga laht (ML)) kevadel, suvel ja sügisel 2015. ja 2016. aastal.

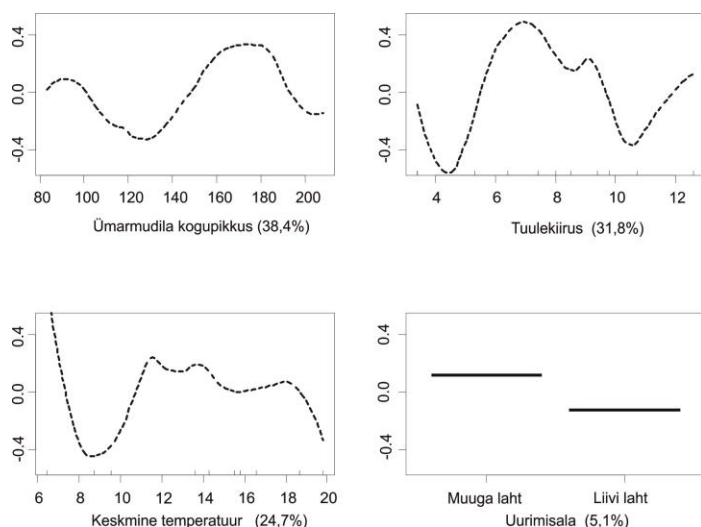
Punkt	Ala	Aasta	Aastaaeg	N	Isased, %	Emased, %	Pikkus, mm	Kaal, g	Suguküpsus	Toitunud, %	Toit mõõdetud, %
Muratsi	LL	2015	kevad	153	88,2	11,8	144	48,6	3,4	51,0	25,5
			suvi	209	85,6	14,4	146	48,0	3,1	44,5	21,1
			sügis	49	85,7	14,3	150	63,8	2,9	61,2	34,7
		2016	kevad	168	93,5	6,5	164	74,1	3,0	47,6	39,3
			suvi	54	94,4	5,6	153	56,1	2,4	18,5	27,8
			sügis	127	92,1	7,9	161	76,5	2,9	30,7	7,9
Aegna	ML	2015	kevad	87	85,1	14,9	140	45,6	3,3	43,7	49,4
			suvi	40	72,5	27,5	160	63,5	3,0	62,5	35,0
			sügis	83	61,4	38,6	141	52,0	3,0	56,6	10,8
Muuga	ML	2015	kevad	92	60,9	39,1	143	48,2	3,5	40,2	28,3
			suvi	210	65,7	34,3	128	36,3	3,4	35,7	42,9
			sügis	141	58,2	41,8	136	45,7	2,8	52,5	20,6
		2016	kevad	122	51,6	48,4	143	49,9	3,2	24,6	47,5
			suvi	97	89,7	10,3	141	42,7	2,9	24,7	26,8
			sügis	101	79,2	20,8	143	57,6	2,9	21,8	17,8



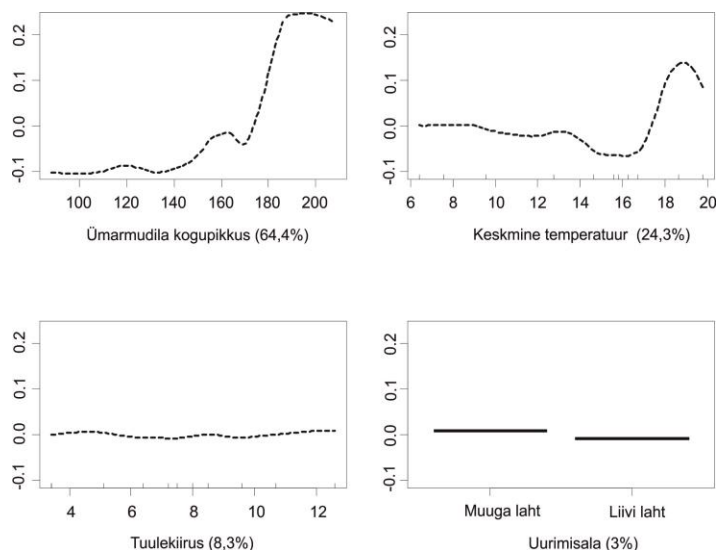
Joonis 18. Toitunud ümarmudilate põhiliste toiduobjektide keskmine biomass magudes.

Ümarmudila toitumises ei esinenud olulisi piirkondlikke statistilisi erinevusi Liivi ja Muuga lahe vahel (Joonis 18). Kui uuritud piirkonnad eristusid selgelt põhjaloomastiku koosluste alusel (Joonis 8), siis ümarmudila toitumises sarnaseid mustreid ei erinenud. Suure tõenäosusega on ümarmudil oma toitumises äärmiselt oportunistlik ja ei toitunud ainult domineerivatest toiduobjektidest. Suure kala sh. kilu ja räime suur osakaal ümarmudila toidus 2016. aasta suvel ja sügisel võib olla tingitud tormisest ilmast uurimisaegadel, mis ei võimaldanud ümarmudilatel aktiivselt toitu otsida ja sundis neid mõrras olevat kilu ja räime tavapärasest rohkem süüa. Kilu ja räime eemaldamisel statistilistest analüüsides ei võimaldanud endiselt ümarmudila toitumises piirkondlikke erinevusi tuvastada.

Ümarmudila toitumise modelleerimine näitab, et ümarmudilate toitumine on peamiselt määratletud ümarmudila suurusel. Kõige enam on toitunud ümarmudilaid 140–190 millimeetrise kogupikkusega isendite seas (Joonis 19). Keskkonnateguritest mõjutab ümarmudila toitumist temperatuur ja vee läbipaistvus. Mõõdukate tuulekiiruste juures toitutakse rohkem kui vaiksete või tormiste ilmade puhul. Vee temperatuuri tõusul üle 10°C oluliselt suureneb toitunud ümarmudila osakaal populatsioonis (Joonis 19). Toitunud isendite tarbitud toidukoguse analüüsist selgub, et suuremad kalad söövad koguseliselt rohkem ning kõrgematel temperatuuridel on samuti ümarmudila toiduvajadus suurem (Joonis 20). Tuule kiirus ja uurimisala oluliselt tarbitud toidukogust ei mõjuta (Joonis 20).



Joonis 19. Ümarmudila toitumist mõjutavad tegurid. Loodud mudel kirjeldab 31% mudila toitumise koguvarieeruvust.

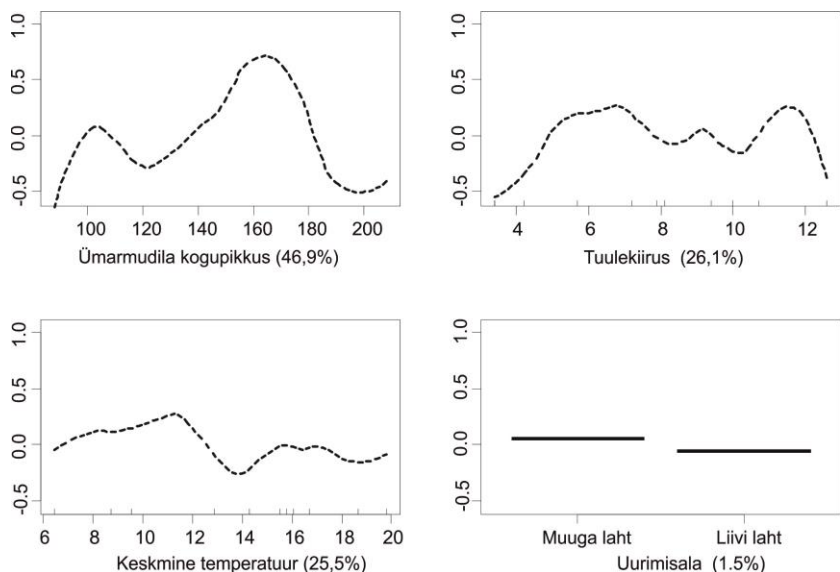


Joonis 20. Toitunud ümarmudilate kogutarbimist (mao sisu biomass) mõjutavad tunnused. Loodud mudel kirjeldab 32% koguvarieeruvust.

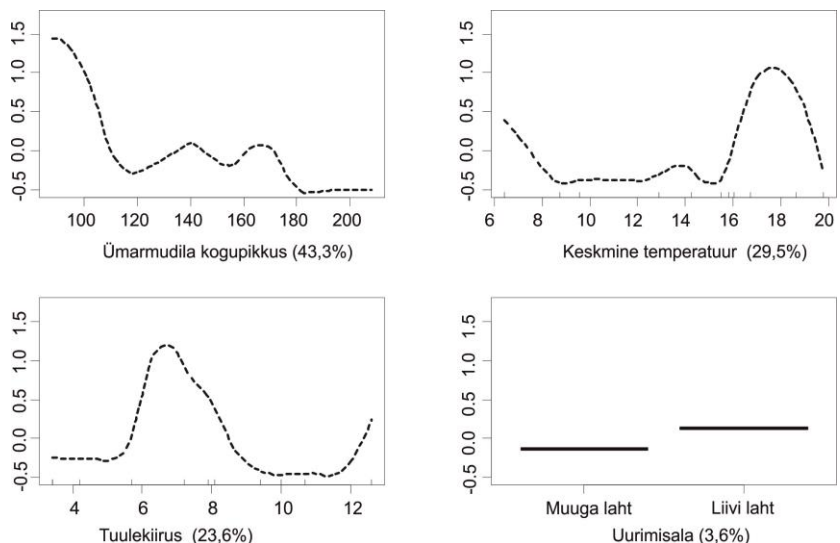
Erinevate toiduobjektide hulk ümarmudila maos on määratletud erinevate keskkonnategurite poolt. Näiteks ei olnud ümarmudila toitumine väheliikuvatest toiduobjektidest (karbid, teod, tõruvähid) mõjutatud tuulekiirusest (Joonis 21), kuid liikuvaid toiduobjekte tarbiti rohkem keskmiste tuulekiiruste juures (Joonis 22). Liikuvatest toiduobjektidest toituti rohkem kevadel kui teistel sesoonidel (Joonis 23).

Loodud ennustuslike mudelite tulemuste interpreteerimisel on oluline hinnata ka mudeli üldist ennustusvõimet. Ümarmudila toitumise mudelid on suhteliselt madala kirjeldusvõimega, mis annab alust eeldada, et ümarmudila toitumises on väga suur osa juhusel või ümarmudila toitumist mõjutavad väga suurel määral meile veel teadmata/mõõtmata faktorid (liigisisene konkurents, isendi spetsiifiline konditsioon, jne). Varasemad eksperimendid on näidanud, et ümarmudilil on oma toitumiskäitumises pigem oportunist. See annab alust arvata, et parema

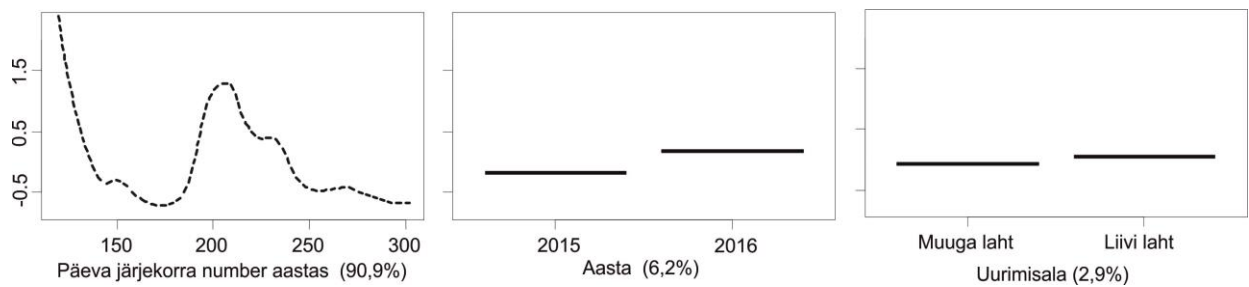
kirjeldusvõimega mudeleid ongi keeruline luua, kuna väga üldiseid toitumismustreid looduses tõenäoliselt ei esine. Toitumises ei osutunud oluliseks faktoriks piirkond, mis lükkab ümber ka esialgse tööhüpoteesi, mille alusel ümarmudila toitumine sõltub sellest, kui kaua on liik piirkonnas elanud.



Joonis 21. Erinevate tunnuste mõju ümarmudila toitumisele väheliikuvast toidust (karbid, teod, tõruvähid). Loodud mudel kirjeldab 25% koguvarieeruvust.



Joonis 22. Erinevate tunnuste mõju ümarmudila toitumisele liikuvast toidust (kirpvähilised, kakandilised, krevetid, lõhkjalalised). Loodud mudel kirjeldab 48% koguvarieeruvust.



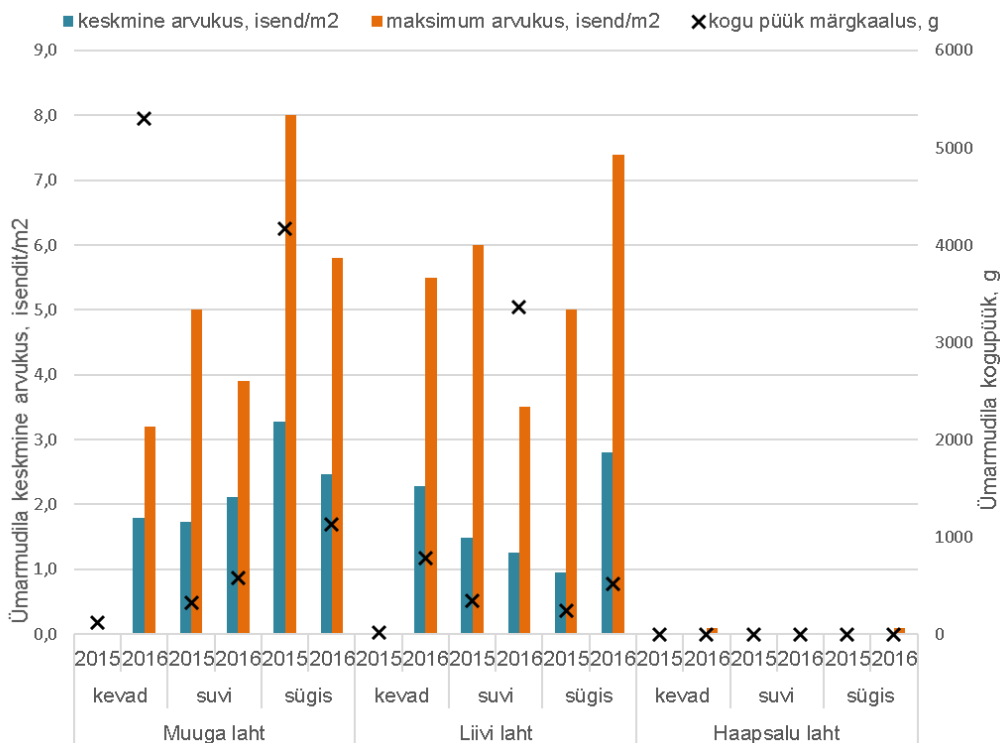
Joonis 23. Erinevate tunnuste mõju ümarmudila toitumisele liikuvast toidust (kirpvähilised, kakandilised, krevetid, lõhkjalalised). Loodud mudel kirjeldab 45% koguvarieeruvust.

3.4 Ümarmudila tihedus

2015. aastal hinnati ümarmudila tihedust nii lõkspüüniste, allveevideote ja sukelduja hinnangute põhjal. Projekti esimeses poole eesmärgiks oli katsetada erinevaid meetodikaid, selleks et anda võimalikult täpseid ümarmudila asustustiheduse hinnanguid. Projekti teises poole välitööde teostamisel ja planeerimisel lähtuti esimese poole tulemustest ja korrigeeriti püügivahendite kasutamiste ja proovipunktide asukohti. Sukeldumisi teostati 2015. aastal ainult suvel ja sügisel seoses projekti planeeritust hilisema algusega.

Parimaks meetodikaks ümarmudila tiheduse määramisel osutus sukelduja hinnang. Nii videomaterjali analüüs kui ka lõkspüünistega püüdmine oli liigselt mõjutatud välistest keskkonnatingimustest, näiteks tormiga liigub kala vähem ja ei sattu püünisesse ning videokvaliteet ei võimalda ka mõõduka tuule ja sette resuspensiooni olemasolul usaldusväärse täpsusega ümarmudila isendeid loendada. 2016. aastal hinnati sukeldumiste ja lõkspüünistega kord sesooni jooksul ümarmudila arvukust kõikidel uurimisaladel.

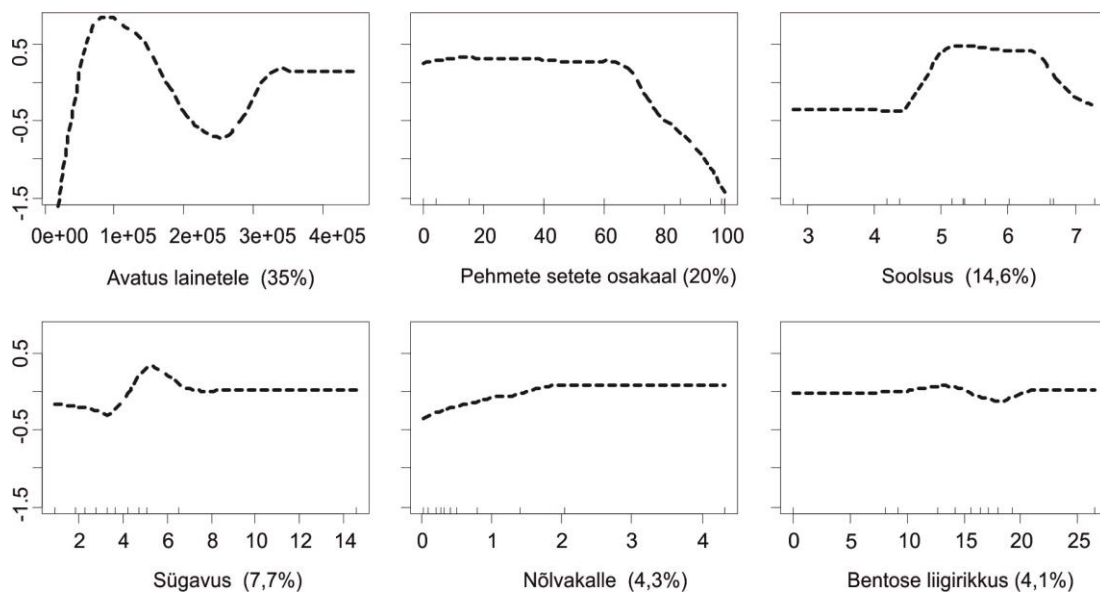
Ümarmudilate asustustihedus oli uurimisalades erinev (Joonis 24). Keskmise arvukus on arvatud kuue uurimispunkti põhjal, millest igas punktis loendati 10 juhuslikku ruutu. Maksimaalne keskmine arvukus proovipunktis, 8 ümarmudilat ühe ruutmeetri kohta, registreeriti Muuga lahes 2015. aastal, 2016. aastal oli kõrgeim arvukus Liivi lahes. Keskmise arvukuse maksimumid olid uurimisaladel sarnased kõikudes 3 isendi ümber m^2 kohta. Arvukuse sesoonsed kõikumised näitavad, et arvukus on madalaim suvel ja kõrgem sügisel. Tõenäoliselt liiguvad kalad suvel soojemast veest sügavamatele aladele ja selline käitumine on eriti tugev Liivi lahes. Lisaks on sukeldumiste põhjal selge, et isegi väiksel uurimisalal võivad ümarmudila arvukused tugevalt varieeruda. See annab alust eeldada, et ka näiteks röövkalade kisklus ümarmudilast on seotud suure juhuslikkusega ja on määratletud sellest, et kas röövkala satub kõrge arvukusega ümarmudila alale või mitte.



Joonis 24. Ümarmudila arvukused ja kogupüük uurimisaladel 2015. ja 2016. aastal.

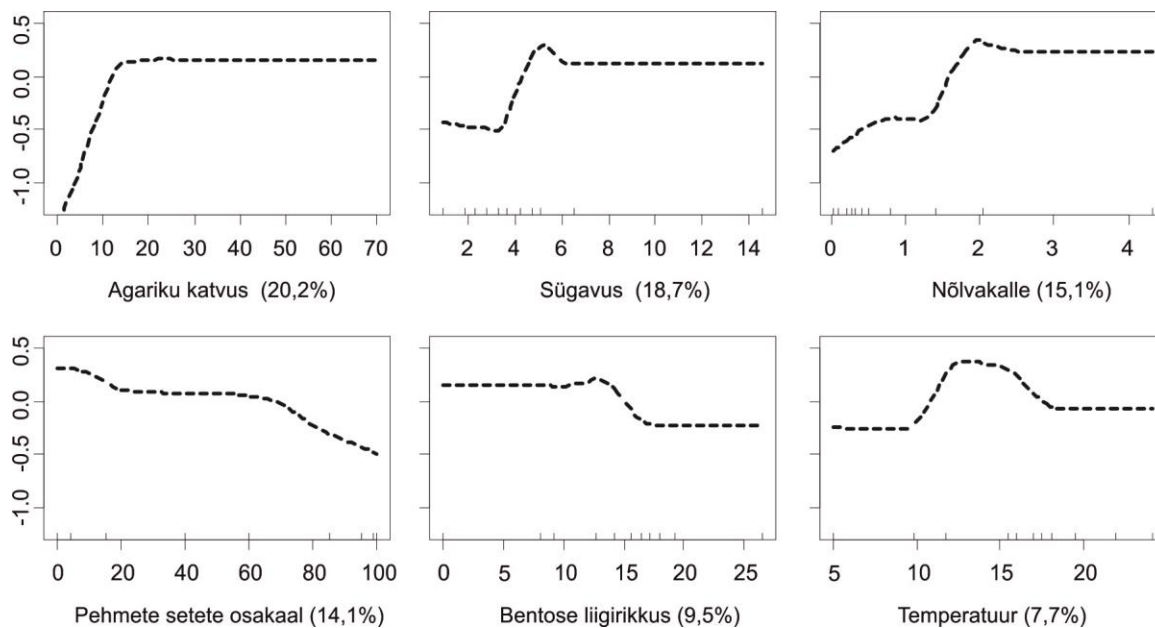
Ruumilisi modelleerimismetodeid kasutades hinnati ümarmudila üldist esinemist, arvukust ja biomassi kogu Eesti rannikumeres. Samade mudelite abil määratleti ka mudila arvukuse sõltuvus erinevatest eluta ja elusa keskkonna tingimustest. Kõikides mudelites sisaldus 11 ümarmudilale eriti olulist keskkonnatunnust (avatus lainetele, sügavus, nõlvakalle, soolsus, temperatuur, pehmete setete osakaal, agariku katvus, bentose liigirikkus, söödava rannakarbi katvus, kõrgemate taimede katvus ja põisadru katvus). Joonistel on välja toodud kuus kõige parema kirjeldamisvõimega keskkonnamuutujat iga mudeli kohta. Kokku kasutati mudelite loomisel 209 üle-Eestilist vaatlust ja tingituna olemasolevast andmestikust kirjeldavad saadud mudelid ümarmudila asustustihedust veepiirist kuni 20m sügavuseni (Joonis 2, Joonis 3).

Kasutatud keskkonnatunnused kirjeldasid ära 72% ümarmudila esinemissageduse varieeruvusest. Olulisemateks tunnusteks olid avatus lainetele, pehmete setete osakaal ja soolsus (Joonis 25). Suurem ümarmudilate esinemise tõenäosus on piirkondades, mis on varjatud ja avatuse kasvades esinemistõenäosus väheneb oluliselt. Piirkondades, kus pehmeid setteid on üle 75% ehk kivisus on väga madal, väheneb esinemistõenäosus oluliselt. Kõrgem esinemistõenäosus on 5–6,5 soolsuse juures, kuid antud vaatluste valim ei sisaldanud magevett, kust on Eestis juba leitud ümarmudilat (Verliin jt. 2017).



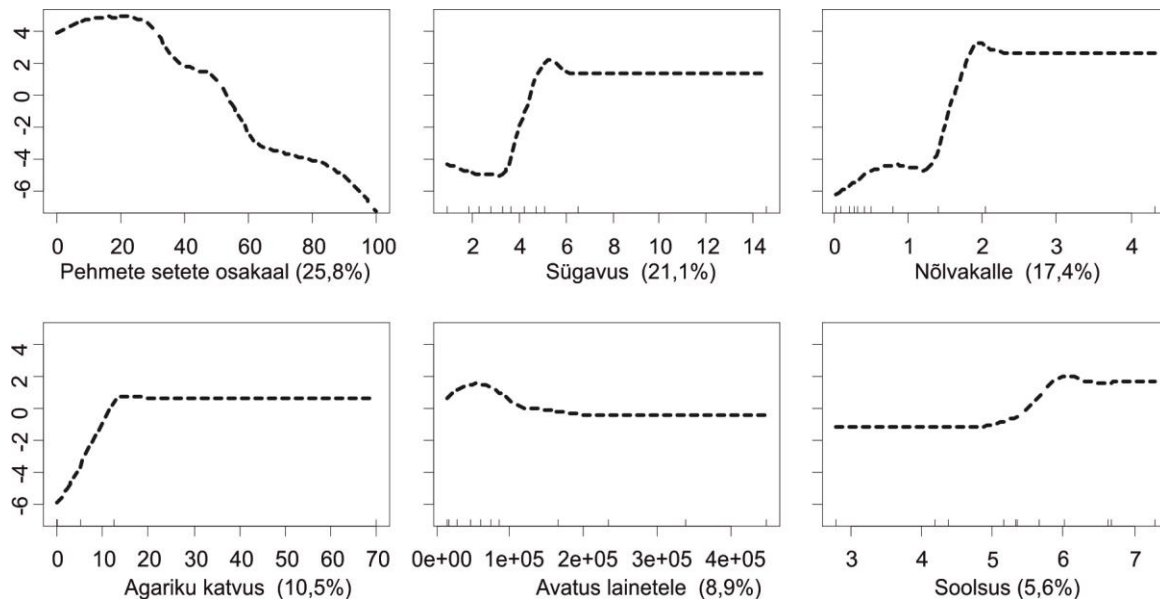
Joonis 25. Ümarmudila esinemissagedust mõjutavad keskkonnatunnused ja nende kirjeldusvõime mudelis.

Ümarmudila arvukuse mudel kirjeldas 73% koguvarieeruvusest (Joonis 26). Uuritud keskkonnatunnustest kirjeldas ümarmudila arvukust kõige rohkem agariku katvus. Nimelt väga madalate agariku katvuste juures oli ümarmudila arvukus oluliselt madalam ja juba 10–20% agariku katvuste juures ümarmudila arvukus suurenes märkimisväärselt. Lisaks mõjutab ümarmudila arvukust sügavus ning üldiselt jäid suurema ümarmudila asustustihedusega alad sügavamale kui 4m. Kõrgem ümarmudila arvukus on iseloomulik ka piirkondadele, kus pehmeete setete osakaal on madal. Pehmeete setete osakaalu suurenemine üle 65% oluliselt vähendab ümarmudila arvukust.



Joonis 26. Ümarmudila arvukust (isend m^{-2}) mõjutavad keskkonnatunnused ja nende kirjeldusvõime mudelis.

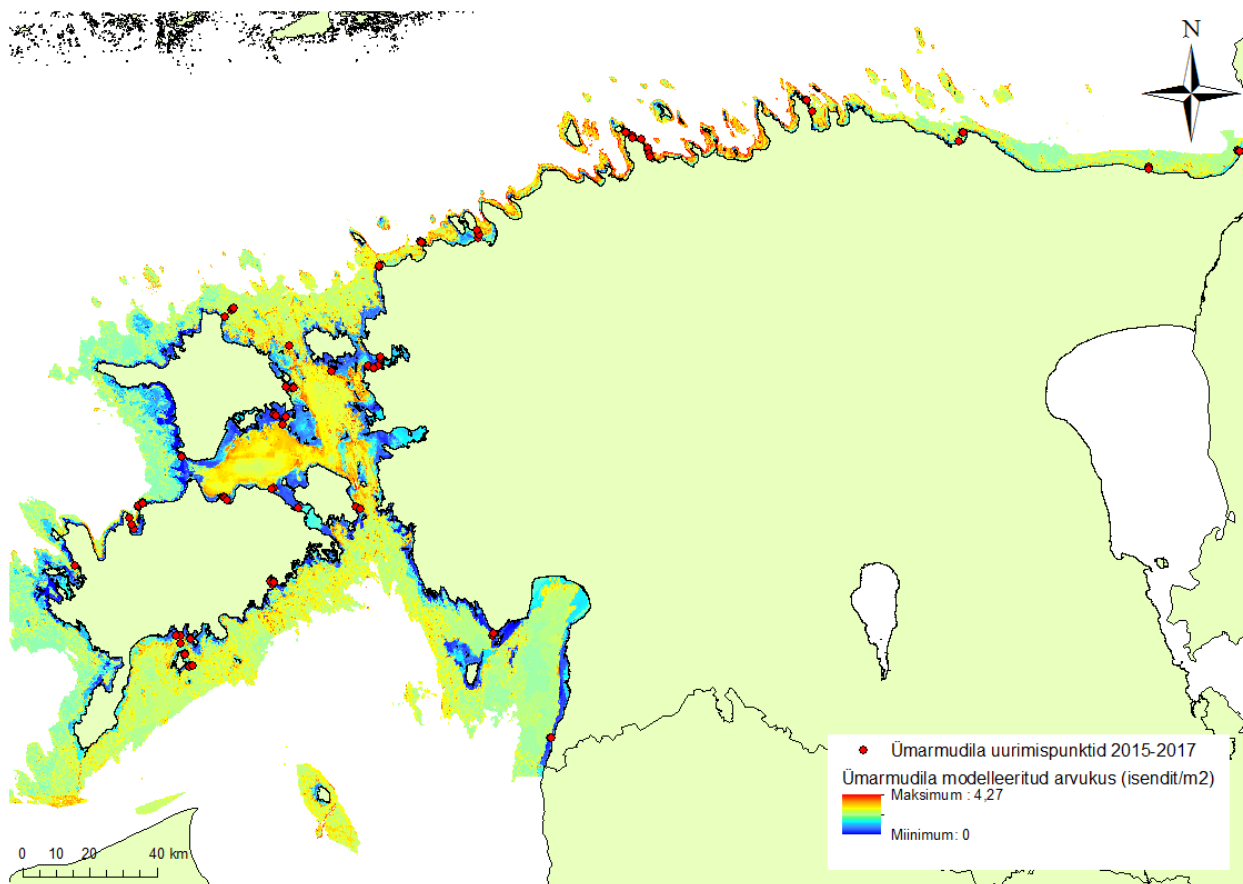
Ümarmudila biomassi mudel kirjeldas 65% koguvarieeruvusest (Joonis 27). Olulisem keskkonnatunnus on siin sette struktuur, kus kõrgem ümarmudila biomass on seotud alla 50% pehmete setete osakaaluga ehk liivasemates piirkondades elavad valdavalt väiksemad ümarmudilad ja kivisematel aladel on suurem suurte mudilate osakaal.



Joonis 27. Ümarmudila biomassi (g/m^2) mõjutavad faktorid ja nende kirjeldusvõime mudelis.

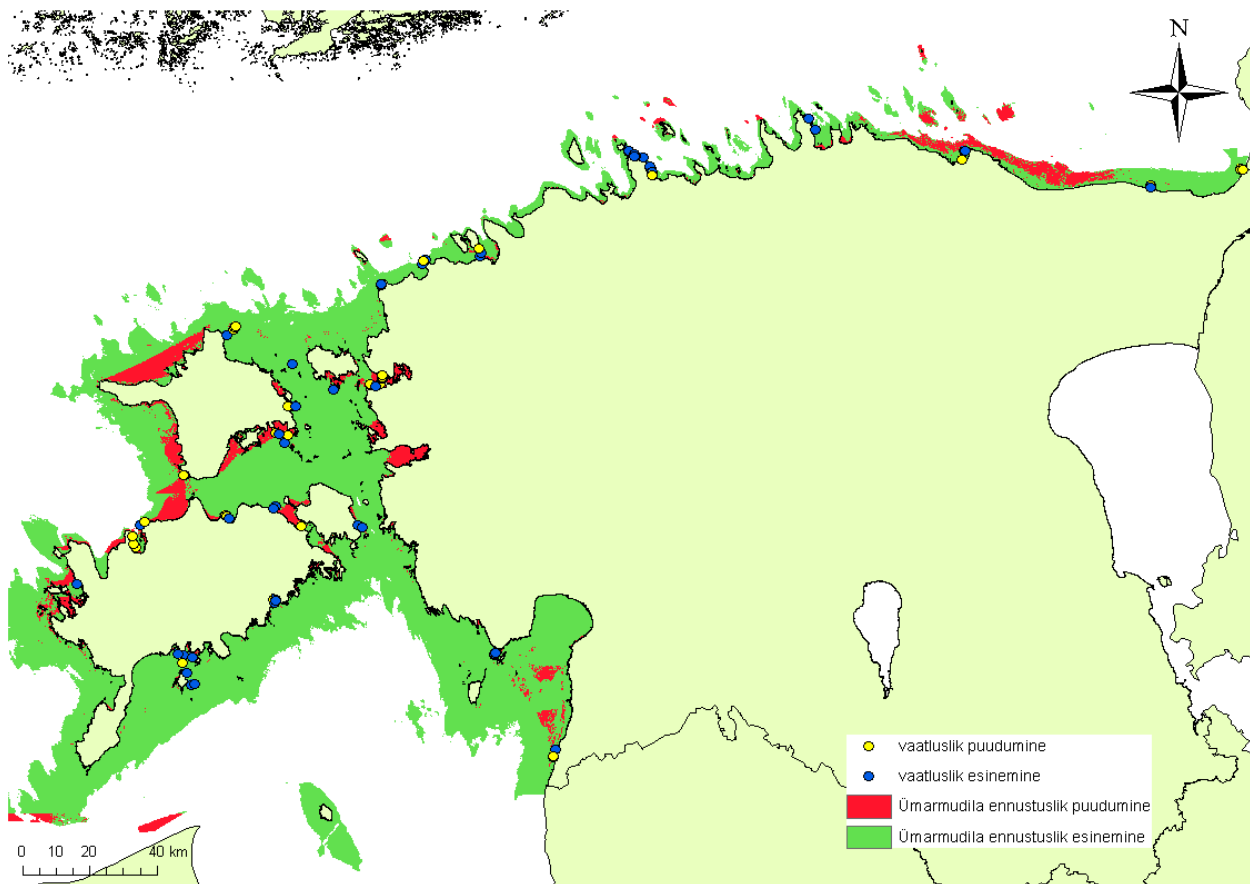
3.4.4 Hinnang ümarmudila tihedusele Eesti rannikumeres

Kasutades 2015–2016. aastal kogutud arvukushinnanguid (Joonis 28, kaardil punased punktid) ja ruumilisi modelleerimismeetodeid arvatati kogu Eesti rannikumere piirkonna jaoks ümarmudila ennustuslikud arvukushinnangud 50m x 50m ruumilises mastaabis (Joonis 28, värvitud ala). Kaardilt on näha, et ümarmudila arvukus Eesti rannikumeres on paljudes piirkondades kõrge. Piirkondades, kus on rohkem reaalseid vaatlusi ehk punaseid punkte, on ka mudeli täpsus kõige parem. Ümarmudila invasioon Eesti rannikumeres on endiselt käimas ja mitmetes piirkondades pole realselt mõõdetud arvukused veel vastavuses tegeliku keskkonna kandevõimega. Sellele vaatamata on tegemist usaldusväärse ruumiennustusega, kuna kaardi aluseks olevad funktsioonid kirjeldavad üle 70 % mudila arvukuse koguvarieeruvusest (Joonis 26). Kaarti võib osalt käsitleda ka ümarmudila potentsiaalsete arvukuse hinnanguna ning sellele toetudes võib lähiaastatel eeldada ümarmudila arvukuse järsku kasvu näiteks Väinamere sügavamates piirkondades ja samuti Eesti rannikumere avatud lääneosa kivisemates piirkondades, kus hetkel on registreeritud vaid marginaalne kogus ümarmudilat.



Joonis 28. Ümarmudila modelleeritud arvukushinnangud Eesti rannikumeres.

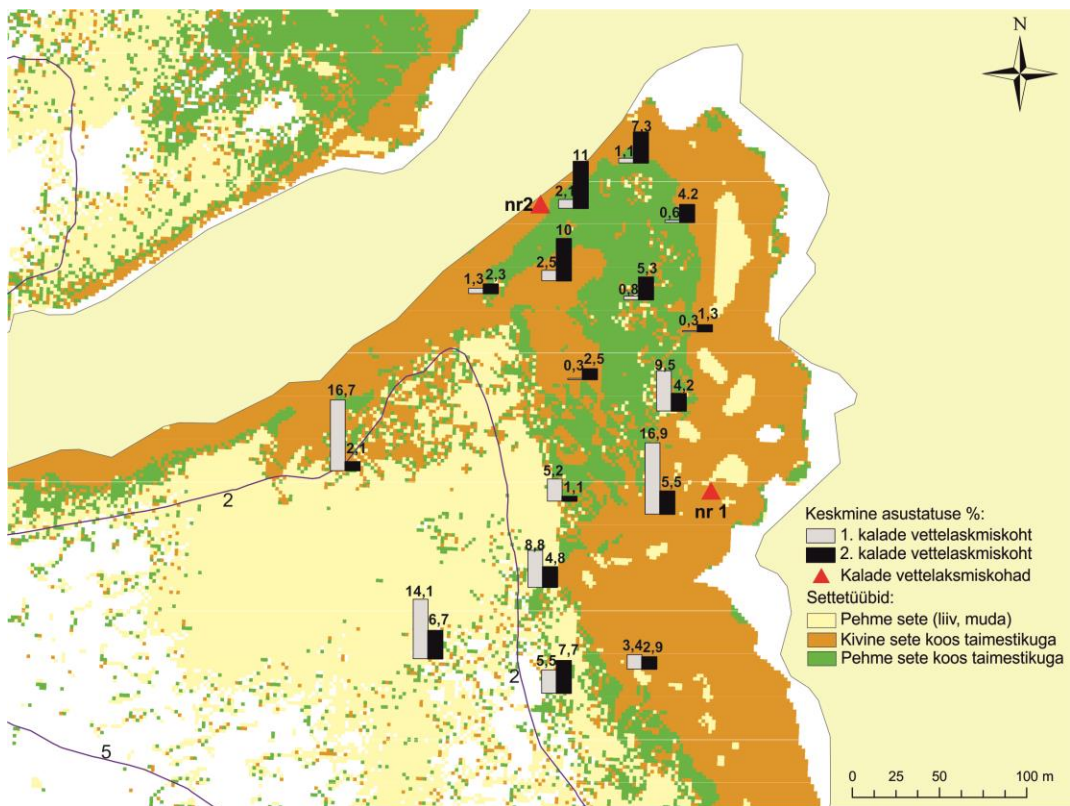
Ümarmudila esinemissagedust kirjeldav modelleerimisennustus näitab, et ümarmudil võib elada suures osas Eesti rannikumeres. Seda toetavad ka reaalsed vaatlused, mille alusel saab öelda, et Eesti rannikumeres ümarmudilal füsioloogilisi piiranguid elupaiga suhtes tõenäoliselt ei esine (Joonis 29). Kuid piirkondades, kus ümarmudila ennustuslik arvukus on kõrge (Joonis 28), avaldab võõrliik suure tõenäosusega olulist mõju kohalikule põhjaelustikule ja toiduahelatele üldisemalt.



Joonis 29. Ümarmudila modelleeritud esinemishinnangud Eesti rannikumeres.

3.5 Ümarmudila kodupiirkond ja invasioonipotentsiaal

2016. aastal viidi läbi mudila kodupiirkonna ja invasioonipotentsiaali hindamise uuringud Kõiguste lahe suletud akvatooriumis. Akvatooriumi piiritlet ühest küljest kallas ja teisest küljest merepõhja kinnitatud võrkaed kogupikkusega umbes 400m. Akvatooriumisse paigutati 18-st hüdrofonist koosnev võrgustik ja 15 signaali saatvat kiipi hüdrofonide ajalise nihke ja signaali detektsiooni sageduse ja kauguse kalibreerimiseks. Akvatooriumisse vabastati 19 ümarmudila isast isendit, pooled kalade vettelaskmis kohast nr 1 ja pooled vettelaskmiskohast nr 2 (Joonis 30). Kalade liikumistrajektoore Kõiguste lahes kirjeldab Joonis 31. 2016. aasta augustis teostati sarnane katse Jaagarahu lahe suletud akvatooriumis (Joonis 32).

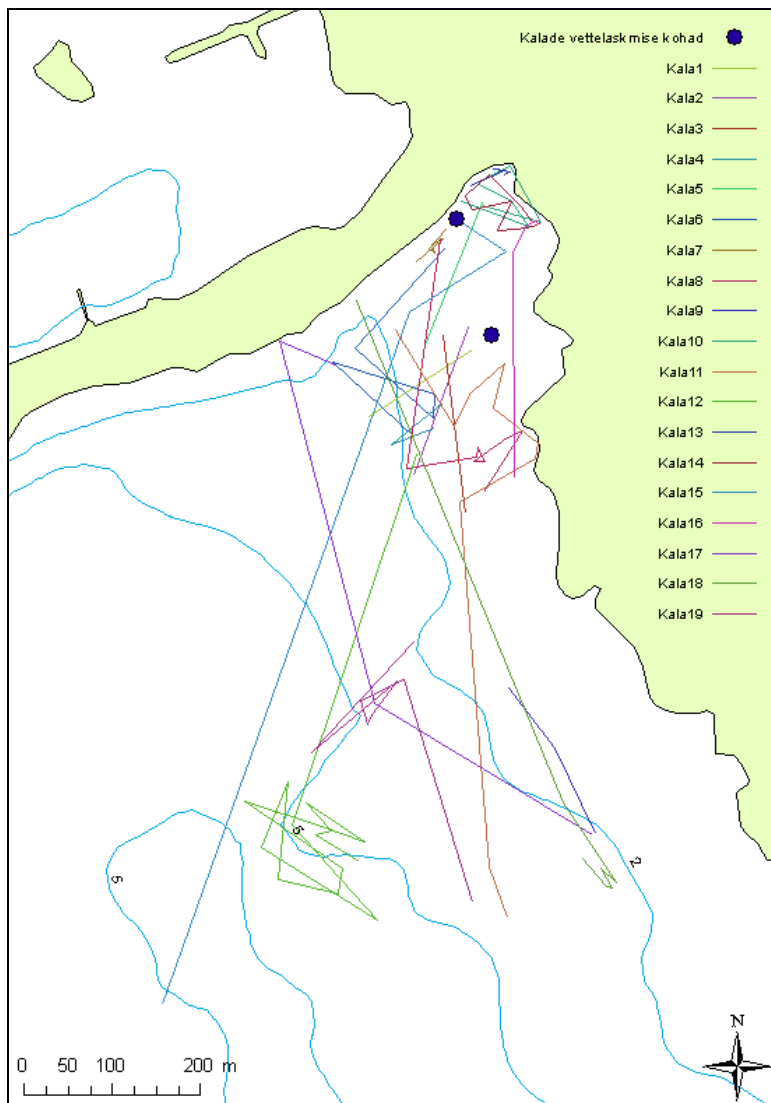


Joonis 30. Ümarmudila liikumise jälgimise katsepiirkond Kõiguste lahes. Elupaigatüübid ja keskmine kalade asustustihedus hürdofonide piirkonnas.

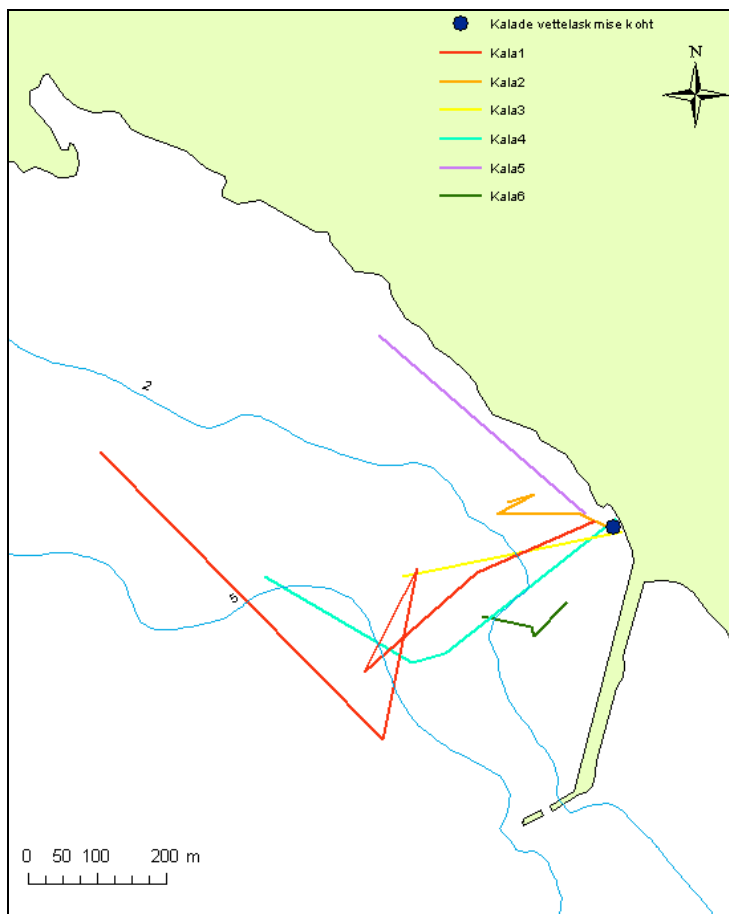
Kõiguste lahes läbiviidud katse tulemuste põhjal võib järeldada, et eelnevalt 5m² suuruseks hinnatud ümarmudila kodupiirkond (Ray ja Corcum 2001) on tegelikkuses tunduvalt suurem. Peale algset vettelaskmist toimus intensiivsem liikumine paari päeva jooksul ja siis jäid kalad paiksemaks liikudes päevas keskmiselt 100 m raadiuses. Uurimistulemused annavad alust järeldada, et ümarmudila hinnanguline kodupiirkonna suurus ületab 2000 ruutmeetrit. Ümarmudila liikumisvõimekus ööpäevas on samuti oluliselt suurem kui kirjanduse põhjal on eelnevalt väidetud. Keskmiselt liikusid kalad esimese kahe päeva jooksul 430 meetrit päevas, mis näitab et kalad võivad vajadusel teha ka pikemaid rändeid. Ümarmudila elupaigaeelistus mõjutab oluliselt kala liikumist (Joonis 30). Joonis näitab keskmist kala asustustihedust eri hürdofonide piirkondades ning teatud hürdofonide piirkondi asustavad mudilad enam. Seega näitavad meie uurimistulemused ka seda, et kalad, kes lasti vette neile mitte sobivates elupaigatüüpides (pehme mudane sete), liikusid enam katsealal ringi kui kalad, kes lasti vette neile eelistatud elupaikades (segusete kivide ja liivaga).

Kalade poolt keskmiselt päeval liigutatud vahemaade sõltuvust erinevatest keskkonnateguritest modelleeriti mittelineaarsete mudelitega. Kõiguste lahe suviste liikumiste mudelist olulisema osa kirjeldas taimestiku üldkatvus, punavetikate üldkatvus ja mudasus. Tulemustest saab järeldada, et elupaiga kvaliteet on ümarmudila jaoks oluline, kuid täpsete liikumismustrite väljaselgitamiseks on oluline vaadata ümarmudila pikaajalisemat liikumist. Jaagarahu lahes (Joonis 32) pakuti ümarmudilale kvaliteetsemat, suurema kiviste setete osakaaluga elupaika (Kõiguste lahe uurimisalal domineerisid enam mudased ja liivased piirkonnad), kuid kalad ei

liikunud eelistatud elupaigas ööpäevas oluliselt vähem kui Kõiguste lahes. Tõenäoliselt mõjutavad kalade liikuvust peale elupaigakvaliteedi ka muud faktorid. Siiski võime järeldada, et sobiva elu- või toitumispaiga puudumine võib suurendada ümarmudila liikumisaktiivsust ja kalad võivad vajadusel läbida veelgi pikemaid distantse kui mõõdetud käesolevas uuringus. Isegi sobiva elupaiga olemasolul liiguvad täiskasvanud ümarmudilad ringi väga suurel alal (vähemalt 2000 m²), mis näitab, et tegemist on väga suurt invasioonipotentsiaali omava kalaliigiga.



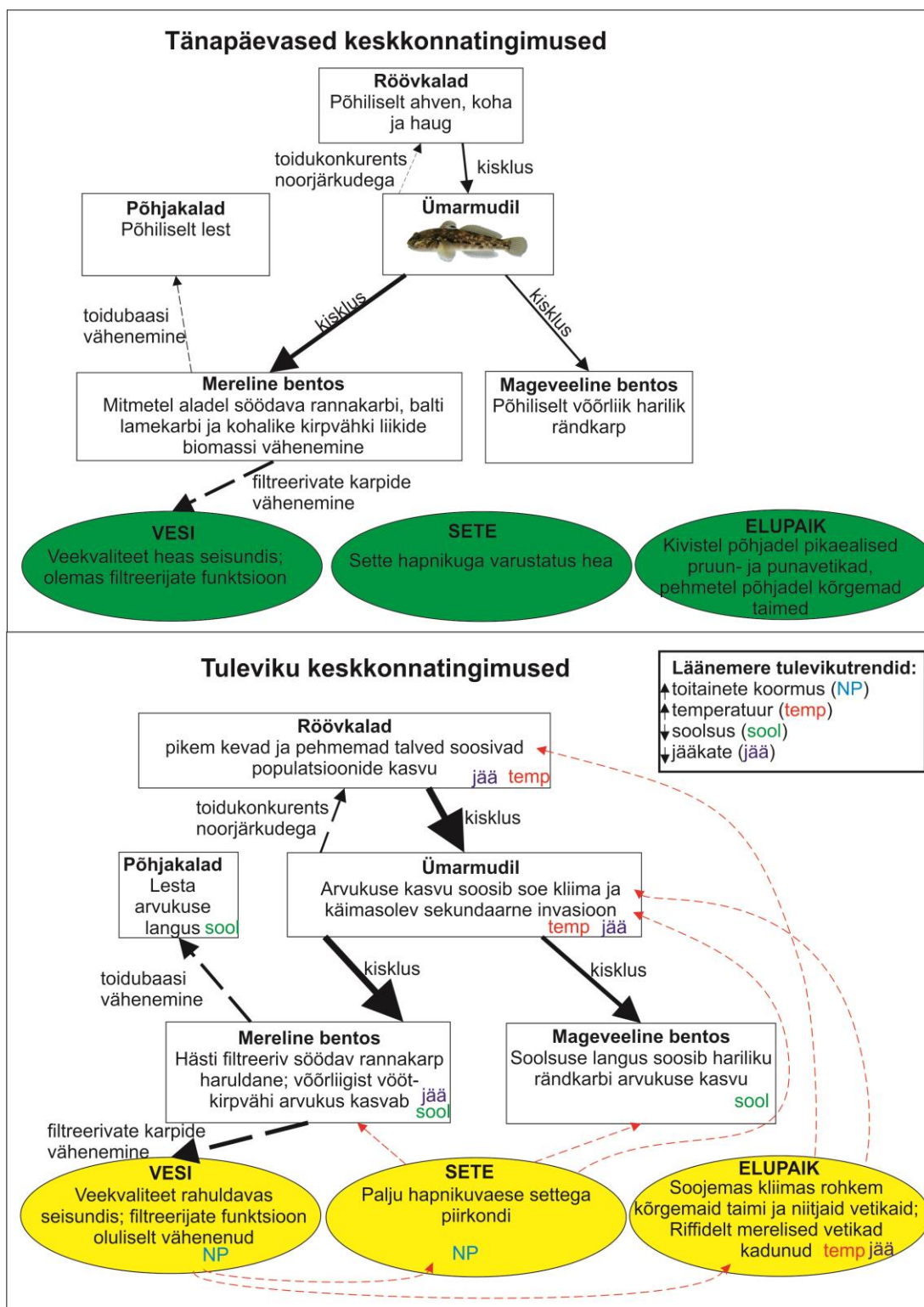
Joonis 31. Kõiguste lahes kiibistatud ümarmudilate registreeritud liikumine.



Joonis 32. Jaagarahu lahes kiibistatud ümarmudilate registreeritud liikumine.

3.6 Hinnang ümarmudila mõjust rannikumere ökosüsteemi toimimisele tänapäevase ja tuleviku kliima tingimustes

Ümarmudil mõjutab Eesti rannikumere ökosüsteemi toimimist väga erinevates aspektides ja ajamastaapides (Joonis 33). Mitmed suuremad mõjud ilmnevad alles pikema aja möödudes ning koosmõjus muude protsessidega sh. kliimamuutustega. Antud projekti käigus ei täheldatud veekvaliteedi näitajates olulisi muutusi, kuid mitmetes piirkondades, kus ümarmudil on arvukas, oli juba projekti alguseks oluliselt vähenenud merelise päritoluga söödava rannakarbi (*Mytilus trossulus*) arvukus. Tegemist on Läänemere ühe juhtliigiga, mis tänu oma heale vee filtreerimise võimele tagab meil vee isepuhastusvõime. Filtreerijate rolli vähenemine toob kaasa vee keskkonnaseisundi olulise halvenemise ja sellest tulenevalt praegu hea keskkonnaseisundiga hinnatud veekogumid võivad lähiaastatel „kukkuda“ rahuldava veekvaliteedi klassi.



Joonis 33. Ümarmudila roll ökosüsteemis tänapäevase ja tuleviku keskkonnatingimustes. Mustad jooned näitavad ümarmudila mõjusid („-“ otsesed mõjud; „-“ kaudsed mõjud; joone paksus mõju suhtelist olulisust) ja punased jooned keskkonnamuutustest tingitud mõjusid. Komponente mõjutavad kliimamuutused on märgitud vastavate värviliste sümbolitega. Kastide suurus on võrdelised loomarühma suhtelise olulisusega.

Ümarmudila poolt tingitud söödava rannakarbi ja balti lamekarbi arvukuse langus mõjutab kaudselt ka põhjakalade nt. lesta toidubaasi, mis koosmõjul muutuvate kliima tingimustega, soolsuse vähenemine ja tugevate tuulte sagenemisega rannikualadel, vähendavad oluliselt lesta populatsiooni tulevikus (Joonis 33). Lisaks vähendab ümarmudil ka oluliselt kohalike kirpvähkide arvukust, kelle populatsioone mõjutab negatiivselt kliimamuutuste põhjustatud merevee magestumine. See annab eelise võõrliigist kirpvähile (*Gammarus tigrinus*), võimaldades liigi levikut ja arvukuse kasvu. Hetkel mõjutab ümarmudil läbi kisklussurve rohkem merelisi kui mageveelise päritoluga selgrootuid liike. Antud erinevus on tingitud sellest, et ümarmudila populatsioonid on veel vähearvukad piirkondades, kus esineb ohtralt mageveelisi liike (nt *Dreissena polymorpha*, *Gammarus tigrinus*), kuid invasiooni jätkudes suureneb ka ümarmudila mõju neis piirkondades.

Ümarmudilat mõjutavad kohalikud röövkalad hetkel vähesel määral (Joonis 33). Mudelitest selgus, et suurema ümarmudila arvukuse korral ei tarbita ümarmudilat rohkem ja röövkalade (ahven, koha, haug) toitumine on seotud pigem muudest keskkonnateguritest. Ümarmudil mõjutab röövkalasid kaudselt läbi toidukonkurentsi röövkalade noorjärkudega. Antud kaudne negatiivne mõju röövkaladele võib oluliselt tugevneda, kui ümarmudila arvukus suureneb. Tuleviku kliimatingimustes soosivad pikem kevadine sesoon ja pehmemad talved soojalembeliste kalaliikide (ahven) arvukuse kasvu, mis oluliselt suurendab röövkalade poolt tarbitud ümarmudilate hulka. Pole aga kindel, kas sellisel juhul suudaksid röövkalad hakata ümarmudila populatsiooni ka oluliselt piirama.

Tuleviku kliimatingimustes võime eeldada ümarmudila arvukuse olulist kasvu Eesti rannikumere mitmetes piirkondades. Kasvu soosib nii soojem kliima kui ka tormidest mõjutatud ökosüsteemide vastuvõtlikum olek. Mida arvukam on ümarmudila populatsioon, seda tugevamad on kõik ülalpool kirjeldatud mõjud erinevatele ökosüsteemi komponentidele. Mudelite põhjal võib öelda, et praegustes keskkonnatingimustes ei sõltu ümarmudila populatsioon olulisel määral keskkonnakvaliteedist. Samas tuleviku kliimastenaariumite kohaselt on oodata väga suuri muutusi nii põhjasetete iseloomus kui ka elustiku/elupaikade levikumustrites ning ümarmudila arvukuse mustrid võivad olulised muutuda. Toitainete koormuse suurenedes võivad ajutiselt suurenedes selgrootutest põhjaloomastiku biomassid, kuid kiirenev eutrofeerumine põhjustab hapnikuvaeste setetega alade suurenemist. Kuna ümarmudilal puudub ujupõis ja nad ei saa vee sambas ujuda, siis sellistes hapnikuvabades piirkondades on ümarmudila populatsioonid tugevalt häiritud. Lisaks mõjutab ümarmudilat ka kliimamuutustega kaasnevad muutused elupaikade mustrites. Soojemas, toitelisemas, aga ka olulisemalt magedamas merevees esineb pehmed põhjalistes elupaikades rohkem ümarmudilale head varjepiirkonda pakuvaid kõrgemaid taimi ja ka niitjaid vetikaid. Suurema magestumise tagajärjel on aga kiviste elupaikade elustik vaesustunud ning pakub ümarmudilale vähest varjevõimalust ning toidubaasi. Juhul, kui võõrliigist rändkarp suudab oma levilat tuleviku kliimatingimustes laiendada, siis võivad negatiivsed mõjud ümarmudila jaoks puududa. Nii ehk teisiti suudab oportunistlik ümarmudil kohaneda väga eritüübiliste elupaikadega ning toituda väga erinevatest toiduobjektidest. Eelpool kirjeldatud elupaigakvaliteedi muutused võivad negatiivselt mõjutada pigem röövkalu, vähendades oluliselt nende sigimisedukust.

Käesoleval hetkel on teadmised ümarmudila pikemajalistest rännetest veel väga puudulikud. Projekti käigus sai selgeks, et ümarmudil liigub jäävabal perioodil rannikumere madalamas piirkonnas ööpäevaselt palju rohkem kui algselt arvatud. Uurimist vajab ümarmudila liikumine ja toitumine talvisel perioodil, eriti just sügavamatel aladel ning millist mõju avaldab ümarmudil sügavamate merepiirkondade põhjaloomastikule ja kalade toidubaasile.

Kuna tegemist on väga suurt ökosüsteemset mõju avaldava kalaga, siis on tulevikus oluline jälgida ümarmudila asustustiheduse mustrite muutusi. Projekti käigus väljatöötatud sukeldumismetoodika põhjal on võimalik hakata rutiinselt läbi viima ümarmudila seiret, mille alusel saab hinnata invasiivse liigi asustustihedust erinevates Eesti rannikumere piirkondades. Lisaks on oluline jälgida põhjaloomastiku koosluste muutusi ajas, et selgitada välja, milline on pikemas perspektiivis reaalne ümarmudila otsene mõju ning ümarmudila ja kliimamuutuste koosmõju kogu ökosüsteemile. Ümarmudila arvukuse vähendamine või arvukuse kasvu pidurdamine on hetkel võimalik ainult intensiivse väljapüügiga. Tegemist on väärtusliku toidukalaga, keda kasutatakse Eestis ainult väga vähesel määral. Seega on oluline määratleda läbi asustustiheduse ja kasvu-uuringute ümarmudila tõenduslik kasutuspotentsiaal Läänemere põhjaosas.

4. KOKKUVÕTE

Ümarmudil on aastaks 2017 levinud üle kogu Eesti rannikumere ning paljudes merepiirkondades on selle invasiivse liigi asustustihedus väga suur. Suured asustustiheduse näitajad on iseloomulikud ka merealadele, kuhu liik sattus esmakordselt alles viis aastat tagasi. Samuti on lähiajal ette näha invasioonilainet sellistesse rannikumere piirkondadesse, mis põhjatüübi ja elupaiga poolest ei ole ümarmudilale väga sobiv (nt. Väinameri).

Ümarmudila toitumine oli kõikides uurimispiirkondades sarnane ja olulist erinevust piirkondade vahel ei esinenud. Põhilised toiduobjektid olid nii kõvade põhjade karbid (nt. söödav rannakarp), pehmete põhjade karbid (nt balti lamekarp), kirpvähilised, teod ja kakandilised. Kuna põhjaloomastik erines oluliselt uuritud merepiirkondade vahel, võib sellest järeldada, et ümarmudila toiduspekter on lai. Ümarmudil on oma toitumises äärmiselt oportunistlik ja piirkonna-spetsiifilisi toitumise erisusi esineb vähe. Toitumine on seotud rohkem ilmastikuga (nt. tormid) kui elupaikade iseloomuga.

Kõik uuritud röövkala liigid (ahven, koha, haug) toitusid olulisel määral ümarmudilast. Ahvena toidubaasi koostise uurimine näitas, et toitumine on mõjutatud rohkem keskkonnateguritest (tormid, temperatuur, jne), kui ümarmudila arvukuse muutustest. Suur ümarmudila tarbimine võrreldes teiste toiduobjektidega on pigem seotud ahvena käitumiseseärasustega, kus ahven haarab alati võimalikult suurt toiduobjekti, mistõttu ümarmudil on eelistatum saak võrreldes näiteks väiksemate mudila liikidega. Kuigi hetkeolukorras ümarmudila arvukus oluliselt ei mõjuta tema osakaalu röövkalade toidus, siis tuleviku kliima tingimustes, kus röövkalade arvukus on kõrgem, võivad röövkalad hakata piirama ümarmudila populatsiooni.

Vastupidiselt üldlevinud arvamusele näitas käesolev projekt, et ümarmudila sekundaarne invasioonipotentsiaal ja kodupiirkond on väga suur. Kalade liikumine sõltub oluliselt eelistatud põhjaelupaikade olemasolust, kusjuures sobilike elupaikade puudumine suurendab rännete intensiivsust. Ulatuslikes rännetes osalevad ka täiskasvanud isendid, kes selliste rännete kaudu märkimisväärselt mõjutavad põhjakooslusi väga suurtel aladel.

Käesoleval ajal kujundavad arvukad ümarmudila populatsioonid ümber Eesti rannikumere ökosüsteemi. Paljudel merealadel on oluliselt vähenenud söödava rannakarbi, loodusliku isepuhastamisvõime tagaja, arvukused. Ehkki veekeemia näitajates ei ole hetkel veel selget toitainete suurenemise trendi näha (põhjuseks veekeemia näitajate väga suur looduslik varieeruvus), on lähiaastatel oodata eutrofeerumisnäitajate sümptomite süvenemist. Positiivse poole pealt on ümarmudil juba muutunud meie röövkaladele oluliseks toiduobjektiks ning selle kaudu võib võõrliik lähitulevikus suurendada selliste väärtuslike röövkalade saagikust.

KASUTATUD KIRJANDUS

Anon 2007. Manual for the Baltic International Trawl Surveys. International Council for the Exploitation of the Sea. March 2007, Rostock, Germany: 9–10.

Kornis, M.S., Mercado-Silva, N. and Vander Zanden, M.J., 2012. Twenty years of invasion: a review of round goby *Neogobius melanostomus* biology, spread and ecological implications. *Journal of Fish Biology*, 80(2), pp.235-285.

Kotta, J., Nurkse, K., Puntila, R. and Ojaveer, H., 2016. Shipping and natural environmental conditions determine the distribution of the invasive non-indigenous round goby *Neogobius melanostomus* in a regional sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 169, pp.15-24.

Nurkse, K., Kotta, J., Orav-Kotta, H. and Ojaveer, H., 2016. A successful non-native predator, round goby, in the Baltic Sea: generalist feeding strategy, diverse diet and high prey consumption. *Hydrobiologia*, 777(1), pp.271-281.

Ray, W.J. and Corkum, L.D., 2001. Habitat and site affinity of the round goby. *Journal of Great Lakes Research*, 27(3), pp.329-334.

Skóra, K.E. and Stolarski, J., 1993. New fish species in the Gulf of Gdansk, *Neogobius* sp.[cf. *Neogobius melanostomus* (Pallas 1811)]. *Bulletin of the sea Fisheries Institute*, 1(128), pp.83-84.

Tesch, F. W. 1971. Age and growth. In: (ed.) Ricken W. E. *Methods for assessment of fish production in fresh waters*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK, pp.98-130.

Thoreson, G., 1993. *Guidelines for coastal monitoring: fishery biology*.

Verliin, A., Kesler, M., Svirgsden, R., Taal, I., Saks, L., Rohtla, M., Hubel, K., Eschbaum, R., Vetemaa, M. and Saat, T., 2017. Invasion of round goby to the temperate salmonid streams in the Baltic Sea. *Ichthyological Research*, 64(1), pp.155-158.