

TÜ Eesti mereinstituut

KASSARI LAHE TÖÖNDUSLIKU PUNAVETIKAVARU UURING 2023. AASTAL

LEPING nr. 4-1/23/84_01.06.2023

LÕPPARUANNE

T. Paalme (vastutav täitja)

K. Herkül

SISUKORD

SISSEJUHATUS	3
TÖÖ PÕHITÄITJAD	5
1. TÖÖNDUSLIKU PUNAVETIKAVARU SEIRE 2023	6
1.1. MATERJAL JA METOODIKA	6
1.2. TULEMUSED	9
2. MUUTUSED KASSARI LAHE PUNAVETIKAKOOSLUSES 2009 – 2023	13
3. VIDEOMEETODI RAKENDAMINE KASSARI LAHE KINNITUMATA PUNAVETIKAKOOSLUSE LEVIKUMUSTRITE UURIMISEL	20
3.1. MATERJAL JA METOODIKA	20
3.2. TULEMUSED	24
4. VÄLJAPÜÜGI SOOVITUSED 2024 JA 2025. AASTAKS	28
5. KASSARI PUNAVETIKAVARU 2023. A SEIRE TULEMUSTE KOKKUVÕTE	30
6. KASUTATUD KIRJANDUS	31
LISA 1	32
LISA 2	34
LISA 3	36

SISSEJUHATUS

Kassari lahes Väinameres levib mereveega üle ujutatud liivamadalatel (EL Loodusdirektiivi mereelupaigatüüp 1110) kogu maailmas ainulaadne punavetikakooslus, mis moodustub peamiselt kahe punavetika liigi – *Furcellaria lumbricalis* ja *Coccolytus truncatus* kinnitumata vormidest. Lahtise punavetikakoosluse ökoloogiline tähtsus Kassari lahe keskosas on suur: suurendab oluliselt elupaiga liigirikkust, sest agarik on substraadiks epifüütsetele vetikatele, pakub elupaika taimestikulembestele selgrootutele loomadele ja on ka oluliseks kudesubstraadiks räimele. Lahtise vetikakoosluse kadumisel jääks Kassari lahe keskosa praktiliselt taimestikuvabaks, sest sügavus on liiga suur – kehvad valgustingimused kõrgemate taimede kasvuks.

Punavetikas *F. lumbricalis* ehk agarik on Läänemeres ainsaks töenduslikult kasutatavaks vetikaliigiks, olles väärtuslikuks tooraineks geelistuvate polüsahhariidide (karrageenaani) tootmisel, mida kasutatakse tänapäeval laialdaselt eelkõige toiduainete, kosmeetika ja farmaatsiatööstuses. Karrageenaani tootmise toormena on agarikku kogutud (traalpüük ja tormiheidised) Kassari lahest 1950ndate lõpust alates. Agarik sisaldab aga ka arvestatavates kogustes punast pigmenti fükoeütriini, mida võib lugeda üheks suurima väärtusega biomolekuliks, mida punavetikatest eraldada saab. Aastatel 2014–2020 Tallinna Ülikoolis läbi viidud rakendusuuringud näitasid, et *F. lumbricalis* biomassis on fükoeütriini sisaldus maksimaalselt ~0,6% vetika kuivamassist ja seda on võimalik suures mahus ka vetikast ekstraheerida ning saadud pigment sobib eelkõige toiduainetööstuse kvaliteediga fükoeütriini tootmiseks (Saluri, Kaldmäe ja Tuvikene, 2019).

Uute tehnoloogiate arendamise ja kasutusele võtmisega on kasvanud huvi tooraine (agarik) järele ning lähitulevikus võib tekkida vajadus agariku püügimahtude korrigeerimiseks. Püügimahtude suurendamine selliselt, et oleks tagatud punavetikakoosluse säilumine selle looduslikul kasvualal, nõuab võimalikult täpset varude hindamist ning regulaarset koosluse ökoloogilise seisundi seiret. Agariku efektiivse ent samas merekeskkonda võimalikult vähe häiriva ja muutva väljapüügi läbiviimiseks on oluline teada töenduslikuks kasutamiseks sobiva vetikavaru võimalikult täpset ruumilist paiknemist ja kogust (biomassi) Kassari lahe lahtises punavetikakoosluses. Samuti on vajalik olemasoleva agarikuvaru säästlikuks kasutamiseks ja kogu maailmas ainulaadse punavetikakoosluse säilumiseks hinnata lisaks töenduslike varude suurusele ka võimalike muutuste suunda punavetikakoosluse struktuuris, biomassis ja levikupindalas.

Agariku varude ja punavetikakoosluse ökoloogilise seisundi hindamisel rakendati lisaks traditsioonilisele punktipõhisele seiremetoodikale (ajalooliselt väljakujunenud proovipunktidest kogutud biomassiproovide laboratoorse analüüsi ja sukelduja vaatluste põhjal agariku kasvukohas, antakse hinnang koosluse seisundile ja varu paiknemisele) ka 2019-2020. aastal katsetatud videomeetodit Kassari lahe punavetikakoosluse levikumustrite, s.o katvuse määramiseks.

Uuringu eesmärgid:

1. Hinnata Kassari lahe töendusliku kinnitumata punavetikakoosluse hetkeseisu võttes aluseks kooslust iseloomustavad bioloogilised näitajad ja nende ruumilise varieeruvuse ning koosluse kasvukeskkonda iseloomustavad füüsikalised parameetrid;

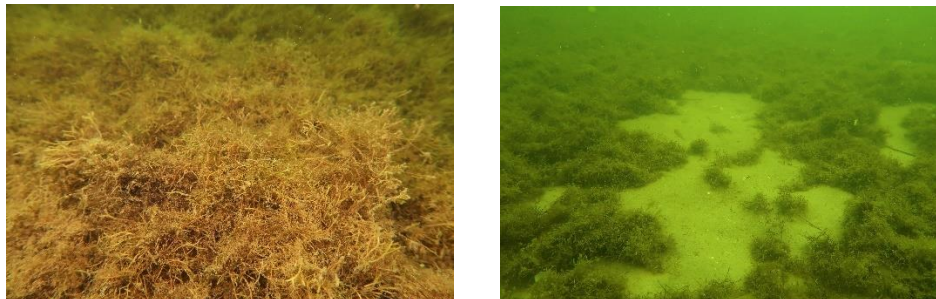
2. Selgitada välja, kas vetikate traalimine mere põhjalt tekitab/on tekitanud vetikavalle, põhjustades vetikakihi alumises osas hapnikupuudust.
3. Anda püügimahtude soovitusel uuringule järgneval kahel aastal, s.o 2024. ja 2025. aastal
4. Hinnata kalapüügieeskirja (KPE) paragrahv 25 lõike 1 punktis 5 defineeritud lubatud püügialade sobivust püügiks uuringule järgneva kahe aasta jooksul
5. Arendada videomeetodit Kassari lahe punavetikakoosluse levikumustrite, s.o katvuse määramiseks, et oleks edaspidi võimalik täpsemalt hinnata lahtise punavetikakoosluse levikupiire ja -mustrit (katvust) ning läbi selle anda ka täpsemaid varu hinnanguid.

TÖÖ PÕHITÄITJAD

Tiina Paalme, PhD	Vastutav täitja; aruandlus
Kristjan Herkül, PhD	Videomeetodi arendus ja rakendus; aruandlus
Kaire Kaljurand, MSc	Välitöödeks vajamineva varustuse ettevalmistus (sukeldumis- varustus, paadid, mõõtetehnika); välitööd (sukeldumine);
Greta Reisalu, MSc	Välitöödeks vajamineva varustuse ettevalmistus (sukeldumis- varustus, paadid, mõõtetehnika);
Arno Põllumäe, PhD	Keskonnaparameetrite mõõtmine (sondeerimine)
Andres Kalk	Keskonnaparameetrite mõõtmine (sondeerimine)
Georg Martin, PhD	Välitööd (sukeldumine)
Martin Teeveer	Välitööd (sukeldumine)
Remo Torn	Välitööd (sukeldumine)
Hanna Eliise Luts	Välitööd (sukeldumine)
Kätlin Jeedas	Välitööde käigus kogutud materjali laboratoorne töötlus
Romi Neerot	Välitööde käigus kogutud materjali laboratoorne töötlus
Vivian Tamm	Välitööde käigus kogutud materjali laboratoorne töötlus
Grete Tarkin	Välitööde käigus kogutud materjali laboratoorne töötlus
Katerin Martin	Välitööde käigus kogutud materjali laboratoorne töötlus
Carolin Mesikäpp	Välitööde käigus kogutud materjali laboratoorne töötlus
Maria Siidi Randaru	Andmesisestus

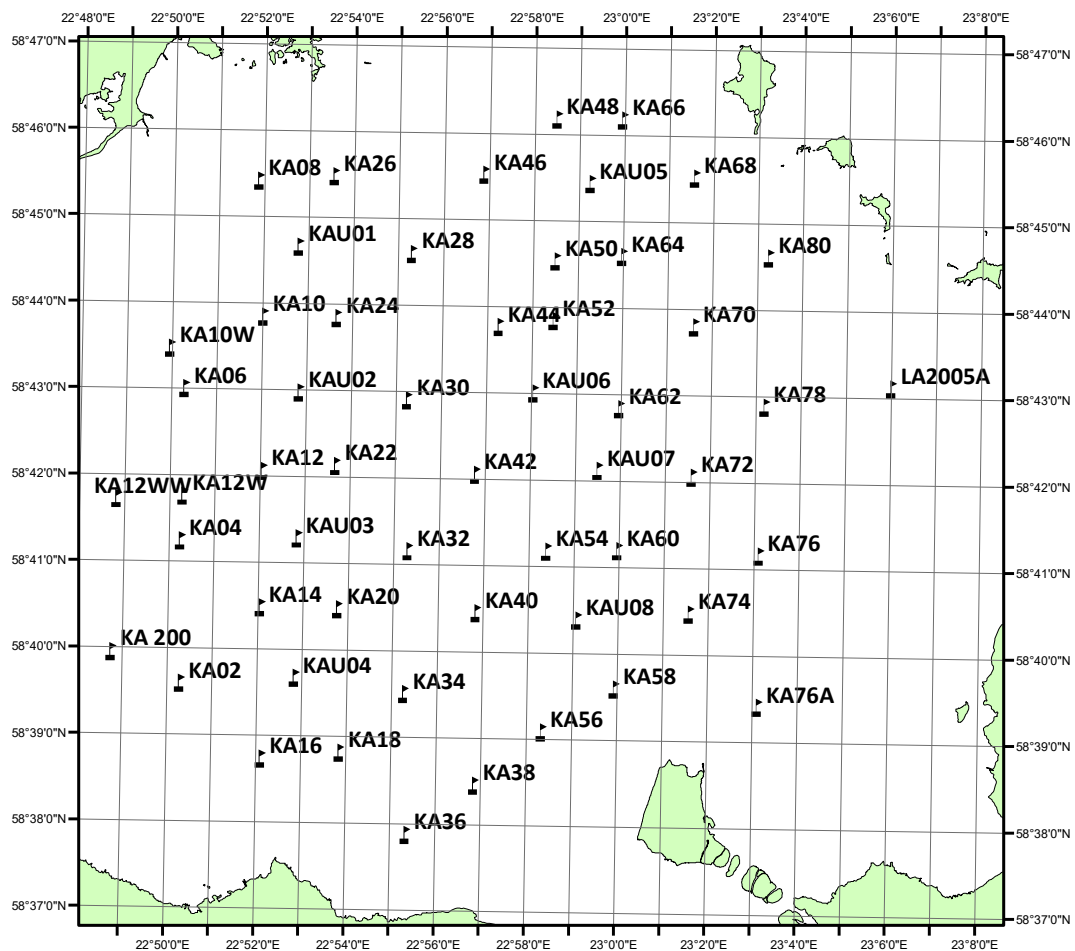
1. TÖÖNDUSLIKU PUNAVETIKAVARU SEIRE 2023

1.1. MATERJAL JA METOODIKA



Joonis 1.1.1. Kinnitumata punavetikakoosus Väinameres Kassari lahes (fotod K. Kaljurand)

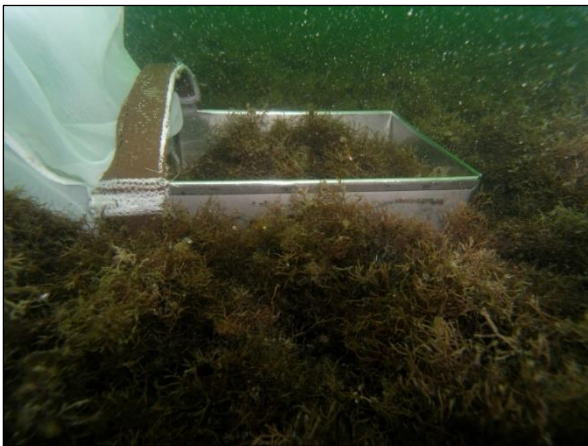
2023. a. juulis Kassari lahes läbiviidud välitööde käigus koguti punavetikakoosluse (Joonis 1.1.1) levikualal kvantitatiivsed proovid 54st seirejaamast (Joonis 1.1.2).



Joonis 1.1.2. Töendusliku punavetikavaru seirejaamade paiknemine 2023. a. Kassari lahes.

Agariku proovide kogumiseks Kassari lahest saadi Regionaal- ja Põllumajandusministeeriumilt eripüügiluba nr 10-1/23/48-2. Proovipunktide täpne asukoht määrati GPS-navigaatori abil vastavalt proovivõrgustiku koordinaatidele (Lisa 1). Uuringuid teostati 2009. aastal Kassari lahe punavetikaseire jaoks täiendatud proovivõrgustiku jaamades, kus varasematel aastatel kasutuses olnud traditsioonilistele seirejaamadele (joonistel tähistus "KA") lisandus 8 uut jaama (joonistel tähistus „KAU“), et tagada uurimisala ühtlasem katvus jaamadega, mis võimaldab punavetikakoosluse ja seda iseloomustavate bioloogiliste näitajate ning erinevate parameetrite täpsemat interpoleerimist levikukaartide koostamisel.

Kvantitatiivsete biomassiproovide kogumiseks sukelduja poolt kasutati standardse suurusega (20 x 20 cm) taimeraami (Joonis 1.1.3).



Joonis 1.1.3. Punavetikakooslusesse asetatud taimeraam kvantitatiivsete vetikaproovide kogumiseks ja biomassiproovi kogumine sukelduja poolt (TÜ Eesti mereinstituudi fotokogu).

Igas proovipunktis kirjeldati ja registreeriti sukelduja poolt järgmised punavetikakooslust ja selle kasvukeskkonda iseloomustavad parameetrid:

- vetikakihi paksus (cm)
- punavetikakoosluse üldkatvus (%)
- põhjasette tüüp
- kivide olemasolu

Paralleelselt kvantitatiivsete proovide kogumisega mõõdeti kõikides proovipunktides järgmised füüsikalised parameetrid:

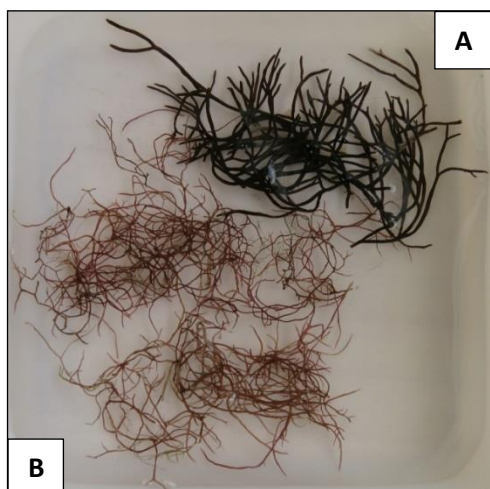
- merevee temperatuur põhjalähedases veekihis (°C)
- merevee läbipaistvus meetrites (Secchi kettaga)
- hapniku kontsentratsioon põhjalähedases veekihis (mg l⁻¹)

Proovipunktis sukelduja poolt põhja asetatud taimeraami (Joonis 1.1.3) sisse jäänud taimed ja loomad koguti kokku, pakendati kilekotti, markeeriti ja säilitati kuni laboratoorse analüüsi teostamiseni jahedas (termokastis) ja pimedas. Kõik kogutud kvantitatiivsed proovid analüüsiti vahetult pärast kogumist neid eelnevalt sügavkülmutamata, et tagada märgkaalu võimalikult täpne määramine.

Vetikamaterjali laboratoorse analüüsi käigus eraldati proovist punavetikakoosluse põhiliigid - agarik *Furcellaria lumbricalis* ja *Coccotylus truncatus* (Joonis 1.1.4) ning ülejäänud vetikamaterjalis esinenud

loomad ja taimed. Edasi määrati raamiproovis esinenud punavetikakoosluse põhiliikide (s.o eraldi *F. lumbricalis* ja *C. truncatus*) ja teiste makrovetikate ja -zoobentose liikide (tähistatud joonistel „muu“) märgkaalud. Saadud tulemuste põhjal arvutati välja punavetikakoosluse biomass (g m^{-2}), agariku ja *C. truncatus* ning teiste makrovetikate ja -zoobentose liikide osakaal (%) eraldi igas punavetikakoosluse proovipunktis, võttes arvesse üldkatvuse väärtusi. Alates 2006. aastast on igas proovis lisaks *F. lumbricalis* märgkaalule eraldi määratud ka tema kaasdominandi *C. truncatus* märgkaal ning arvutatud osakaal – pidades silmas viimase potentsiaalset võimalikku töenduslikku kasutamist tulevikus

(Tuvikene et al., 2009).



Joonis 1.1.4. Kassari lahe punavetikakoosluses domineerivad suurvetikaliigid: kinnitumata agarik *Fucellaria lumbricalis* (A) ja *Coccotylus truncatus* (B).

Punavetikavaru põhimassi levikualana käsitletakse käesolevas uuringus Kassari lahe piirkonda, kus kinnitumata punavetikakooslust moodustavate vetikaliikide katvus merepõhjas on vähemalt 10% ning põhiliigi *F. lumbricalis* osakaal moodustab enam kui 5% koosluse kogubiomassist. Seda kriteeriumit on peetud silmas nii kogu koosluse kui selle erinevate komponentide keskmiste biomasside ning -osakaalu, vetikakihi keskmise paksuse ja üldkatvuse arvutamisel. Levikukaartide koostamisel on arvestatud kõikidest uurimisala jaamadest (54) registreeritud parameetreid. Kaartidel on levikupiiriks määratud 5m sügavusjoon (v.a uurimispiirkonna Soela väina poolne osa).

Koosluse levikukaartide koostamisel on kasutatud ruumilist interpoleerimist, kasutades arvutitarkvara ArcGIS 10.1 aplikatsioone ArcMap ja Spatial Analyst.

Töenduslikuks tooraineks sobivaks punavetikamassiks loetakse vetikamaterjali, kus agariku osakaal on vähemalt 70% (märgkaalus). Lisaks arvestatakse vetikate väljapüügiks sobivate piirkondade määramisel kriteeriumiks agariku keskmist biomassi – reeglina $> 1000\text{g m}^{-2}$ ja koosluse üldkatvust – 100% (erandina $\geq 95\%$, kui agariku osakaal ja biomass on kõrged).

1.2. TULEMUSED

Kassari lahe punavetikakoosluse 54st seirejaamast viies (KA12WW, KA70, KAU05, LA2005A, KA200) oli punavetikakoosluse üldkatvus $\leq 5\%$ ja kahes jaamas (KA08 ja KA76A) agariku osakaal $< 10\%$ – seetõttu eelpool nimetatud seitsme seirejaama andmeid ei kasutatud Kassari lahe punavetikakooslust (koosluse põhimassi) iseloomustavate keskmiste näitajate arvutamisel.

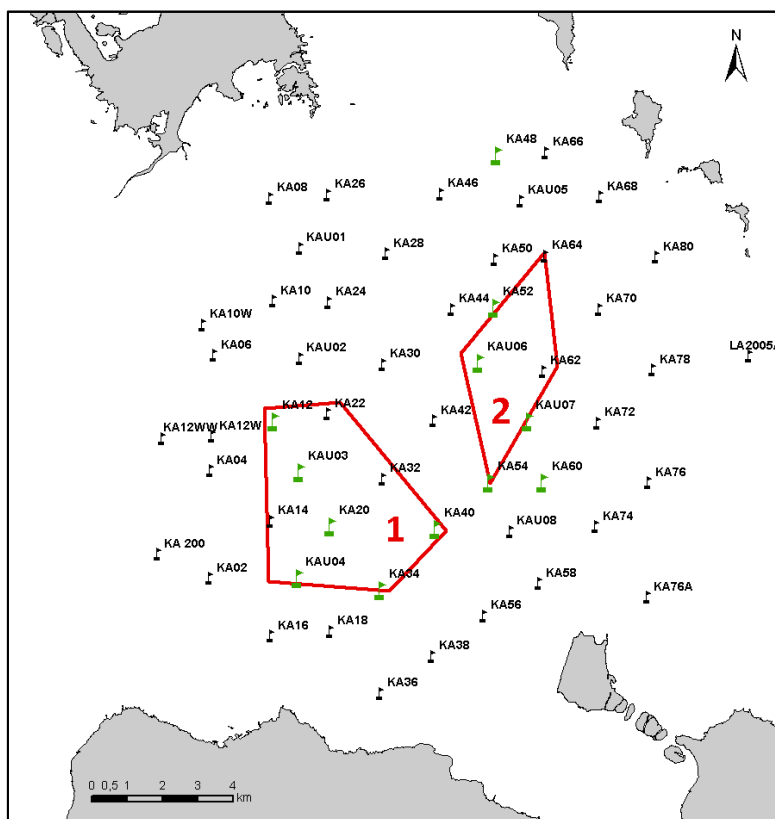
Kassari lahe lahtist punavetikakooslust 2023. a. iseloomustavad põhinäitajad on esitatud tabelis 1.2.1 eri seirejaamu iseloomustavad keskmised kvantitatiivsed näitajad on esitatud Lisas 2.

Tabel 1.2.1 Kassari lahe punavetikakooslust iseloomustavad bioloogilised näitajad 2023. a. Nooltega $\uparrow\downarrow$ on tähistatud muutuste suund võrreldes 2021. a seireandmetega.

	keskmine	maksimum
Üldkatvus (%)	74,0 \downarrow	100
Vetikakihi paksus (cm)	5,2 \uparrow	7,0 \downarrow
Koosluse biomass (g m^{-2})	901,9 \downarrow	2267,3 \downarrow
Agariku osakaal (%)	60,7 \downarrow	86,7 \downarrow
<i>C. truncatus</i> osakaal (%)	20,9 \uparrow	60,8 \uparrow
Muu osakaal (%)	18,4 \uparrow	88,4 \uparrow
Loomad (%)	9,1 \uparrow	29,1 \uparrow
Taimed (%)	9,3 \downarrow	74,5 \uparrow
Agariku biomass (g m^{-2})	582,1 \downarrow	1732,6 \downarrow
<i>C. truncatus</i> biomass (g m^{-2})	210,5 \uparrow	788,4 \uparrow
Muu biomass (g m^{-2})	109,3 \uparrow	266,6 \downarrow
Loomad biomass (g m^{-2})	75,3 \uparrow	209,3 \uparrow
Taimed biomass (g m^{-2})	34,0 \downarrow	210,9 \downarrow

Punavetikate *Furcellaria lumbricalis* ja *Coccotylus truncatus* lahtise koosluse põhimass paiknes 2023. a Kassari lahes 5,5–8,2 m sügavusel, hinnanguliselt ca 145 km² alal. Kassari lahe kinnitumata punavetikakoosluse kogubiomassiks saadi 2023. aastal arvutuslikult ligikaudu 131 000 t märgkaalus, millest ligikaudu 88 000 t moodustas agarik.

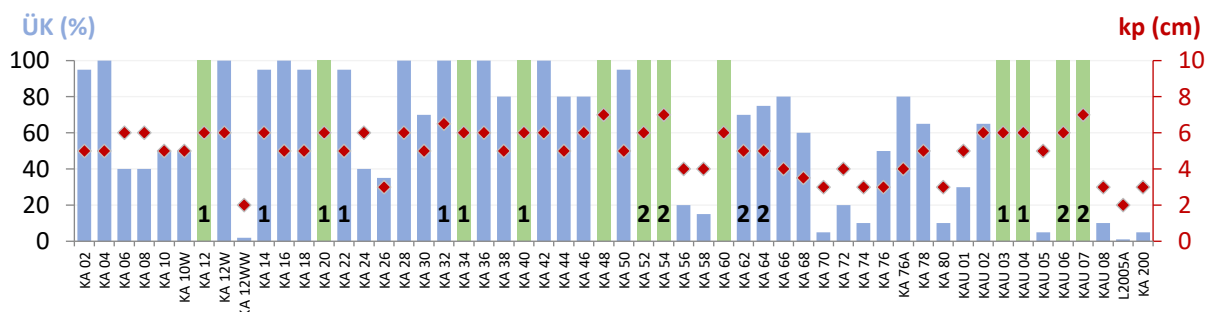
Töõnduslikuks väljapüügi kriteeriumitele vastav vetikamass, kus agariku osakaal on $\geq 70\%$ ning vetikakoosluse üldkatvus 100% määrati 2023. a ainult 12st jaamast: KA12, KA20, KA34, KA40, KA48, KA52, KA54, KA60, KAU03, KAU04, KAU06 ja KAU07 (joonis 1.2.1), kusjuures nimetatud jaamadest kahes oli biomass $< 800 \text{ g m}^{-2}$.



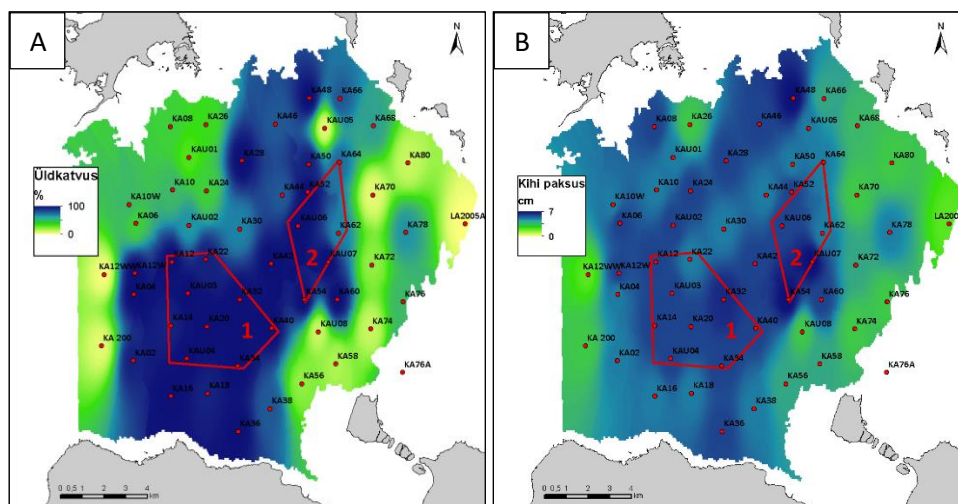
Joonis 1.2.1. Töendusliku väljapüügi kriteeriumitele vastavate jaamade – tähistatud roheliste lipukestega – paiknemine Kassari lahes 2023. a. KPE püügialad on tähistatud vastavalt numbritega „1“ ja „2“.

2023. a juulis oli Kassari lahe punavetikakoosluse keskmine üldkatvus 74,0%, kusjuures 100% üldkatvus määrati 19 seirejaamas (joonis 1.2.2, 1.2.3A, tabel 1.2.1).

Vetikakihi paksus varieerus erinevates seirejaamades vahemikus 3,0 kuni 7,0 cm, keskmiseks paksuseks arutati 5,2 cm (joonis 1.2.2, 1.2.3B, tabel 1.2.1). Vetikakihi keskmine paksus kalapüügieeskirja (KPE) § 25 lõige 1 punktis 5 määratletud kahel püügialal (edaspidi tekstis „KPE_P1“ ja „KPE_P2“) oli 6,0 cm.



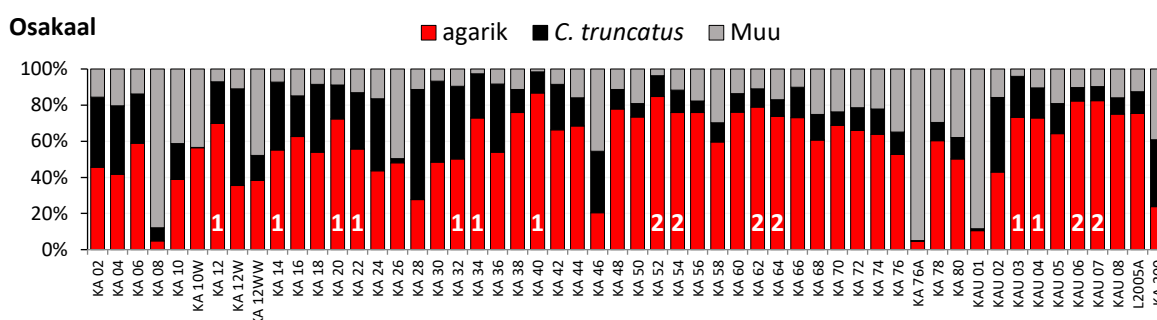
Joonis 1.2.2. Kassari lahe lahtise punavetikakoosluse üldkatvus (ÜK) ja vetikakihi paksus (kp) seirejaamades; Töendusliku väljapüügi kriteeriumitele vastavad jaamad: helerohelised tulbad; püügialasid KPE_P1 ja KPE_P2 iseloomustavad seirejaamad on tähistatud vastavalt numbritega „1“ ja „2“.



Joonis 1.2.3. Kassari lahe kinnitumata punavetikakoosluse üldkatvus (A) ja vetikakihi paksus (B) 2023.a. KPE püügi alad on tähistatud vastavalt numbritega „1“ ja „2“.

Kassari lahe punavetikakoosluse keskmine ja maksimaalne biomass olid vastavalt 901,9 g m⁻² ja 2267,3 g m⁻² märgkaalus (tabel 1.2.1). Punavetikakoosluse biomassid erinevates seirejaamades on esitatud joonistel 1.2.5. ja 1.2.6A.

Agariku (*F. lumbricalis*) osakaal vetikamatis (tabel 1.2.1) moodustas keskmiselt 60,7% (maksimaalselt 86,7%) ning punavetika *C. truncatus* osakaal 20,9% (maksimaalselt 60,8%) punavetikakoosluse kogubiomassist (tabel 1). Teiste makrovetikate ja -zoobentose liikide osakaal punavetikakoosluses oli kokku keskmiselt 18,4% (tabel 1.2.1). Agariku, punavetika *C. truncatus* ning teiste makrovetikate ja -zoobentose liikide (Muu) osakaal Kassari lahe lahtises punavetikakoosluse seirejaamades 2023. a on esitatud joonistel 1.2.4.

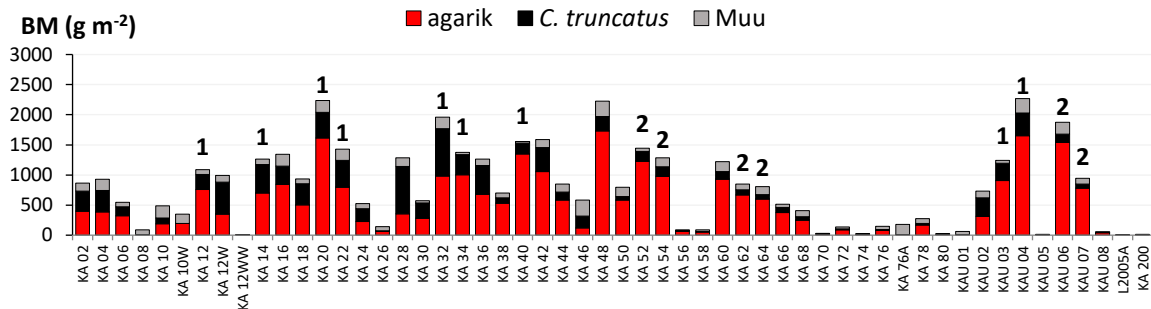


Joonis 1.2.4. Agariku, punavetika *Coccotylus truncatus* ning teiste makrovetikate ja -zoobentose liikide (Muu) osakaal Kassari lahe lahtises punavetikakoosluse seirejaamades 2023. a; püügi alad KPE_P1 ja KPE_P2 iseloomustavad seirejaamad on tähistatud vastavalt numbritega „1“ ja „2“.

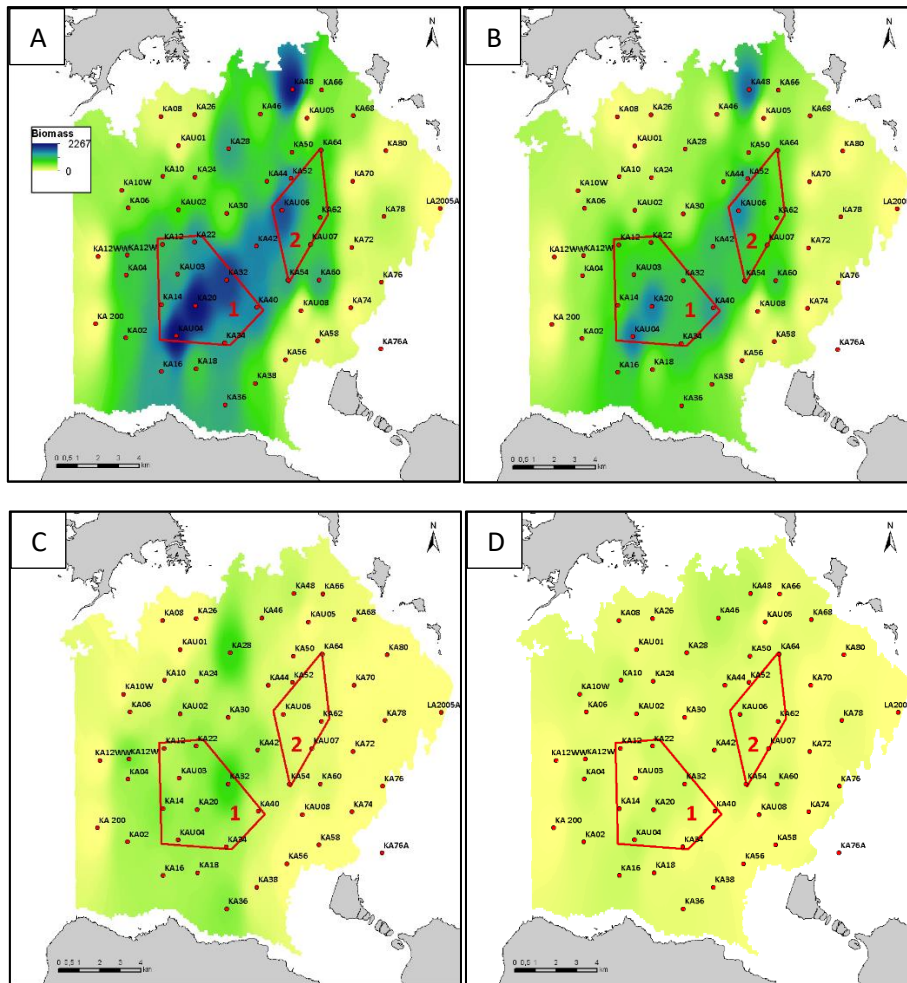
2023. a oli agariku keskmine biomass põhjajühiku kohta lahtise punavetikakoosluse põhimassi paiknemisalal 582,1 g m⁻² märgkaalus (tabel 1), varieerudes erinevates seirejaamades 6,4 ja 1732,6 g m⁻² vahel (joonis 1.2.5). Punavetika *C. coccotylus* ning teiste punavetikakoosluses leiduvate makrovetikate ja -zoobentose liikide keskmine biomass oli vastavalt 210,5 ja 109,3 g m⁻² märgkaalus (tabel 1.2.1). Agariku, punavetika *C. truncatus* ning teiste makrovetikate ja -zoobentose liikide (Muu)

biomassid Kassari lahe lahtises punavetikakoosluse seirejaamades 2023. a on esitatud joonisel 1.2.5 ja 1.2.6B, 1.2.6C ja 1.2.6D.

Agariku keskmine biomass püügi alade KPE_P1 ja KPE_P2 seirejaamades oli vastavalt 1085 g m⁻² ja 965 g m⁻² ning osakaal punavetikakoosluse kogubiomassist vastavalt 68% ja 80%. Kõik KPE püügi alad iseloomustavad näitajad on esitatud tabelis 4.1.



Joonis 1.2.5. Agariku, punavetika *Coccotylus truncatus* ning teiste makrovetikate ja -zoobentose liikide (Muu) biomass Kassari lahe lahtises punavetikakoosluse seirejaamades 2023. a; püügi alad KPE_P1 ja KPE_P2 on tähistatud vastavalt numbritega „1“ ja „2“.



Joonis 1.2.6. Kassari lahe punavetikakoosluse kogubiomassi (A) ning agariku (B), *C. truncatus* (C) ja teiste makrovetikate ja -zoobentose liikide (D) biomasside paiknemine 2023. a; püügi alad KPE_P1 ja KPE_P2 on tähistatud vastavalt numbritega „1“ ja „2“.

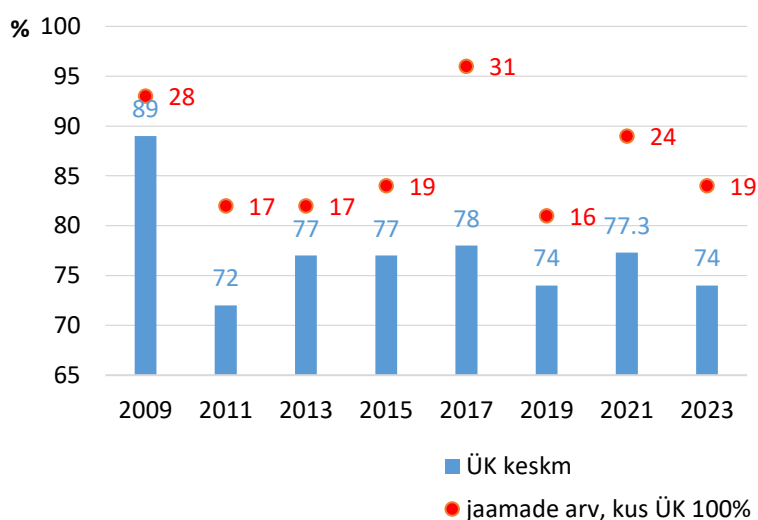
2023. a juulis läbi viidud Kassari lahe punavetikavaru seire ajal varieerus merevee läbipaistvus erinevates seirepunktides vetikaproovide kogumise päeval 1,5 ja 4,2 m vahel. Veetemperatuur põhjalähedases kihis varieerus vahemikus 18,5 ja 19,8°C ning vees lahustunud hapniku sisaldus 7,9 ja 9,3 mg l⁻¹ (Lisa 3). Registreeritud näitajad ei viita hapnikupuudusele põhjalähedases kihis.

Andmed merepõhja sobivuse kohta traalpüügiks (kivide olemasolu/puudumine) ja põhjasette tüüp on esitatud lisas 1. Traalimise tagajärjel tekkinud vetikavalle sukeldumiste käigus ei tuvastatud.

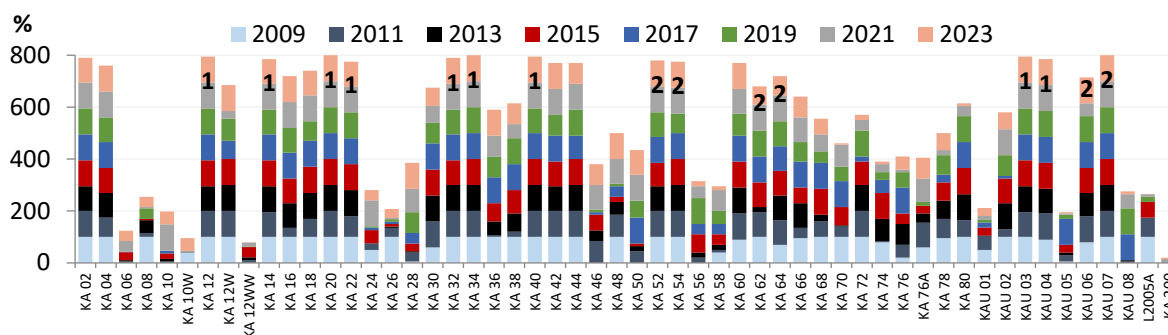
2. MUUTUSED KASSARI LAHE PUNAVETIKAKOOSLUSES 2009 – 2023

Kassari lahe punavetikakoosluses ajavahemikus 2009–2023 läbiviidud seire (viidi läbi ainult paarituurvulistel aastatel, s.o kokku kaheksal seireaastal) tulemuste võrdlus näitab teatavaid muutusi erinevate kooslust iseloomustavate põhinäitajate osas.

2023. a oli punavetikakoosluse keskmine üldkatvus (ÜK) võrreldes 2013, 2015, 2017 ja 2021. aastale iseloomulikule suhteliselt kõrgele tasemele (77-78%) sarnaselt 2019. aastaga mõnevõrra madalam. Samas oli 19 seirejaamas ÜK 100% (joonis 2.1). Joonisel 2.2 on esitatud muutused ÜK väärtustes erinevates seirejaamades viimasel kaheksal seireaastal (2009 – 2023).

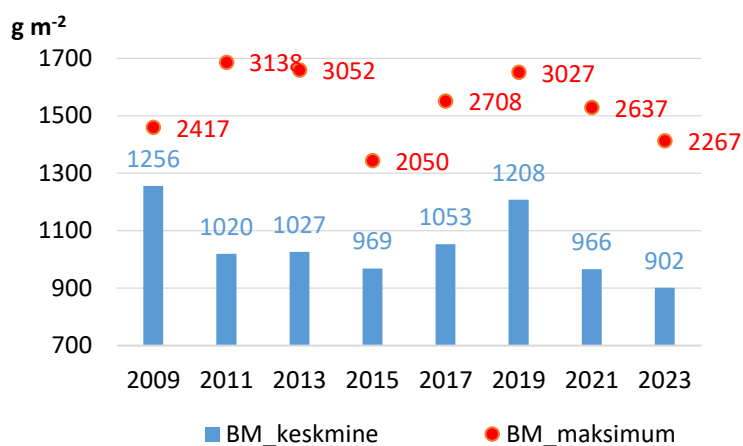


Joonis 2.1. Muutused Kassari lahe punavetikakoosluse keskmises üldkatvuses ja seirejaamade arvus, kus registreeriti üldkatvuseks 100%, aastatel 2009–2023.

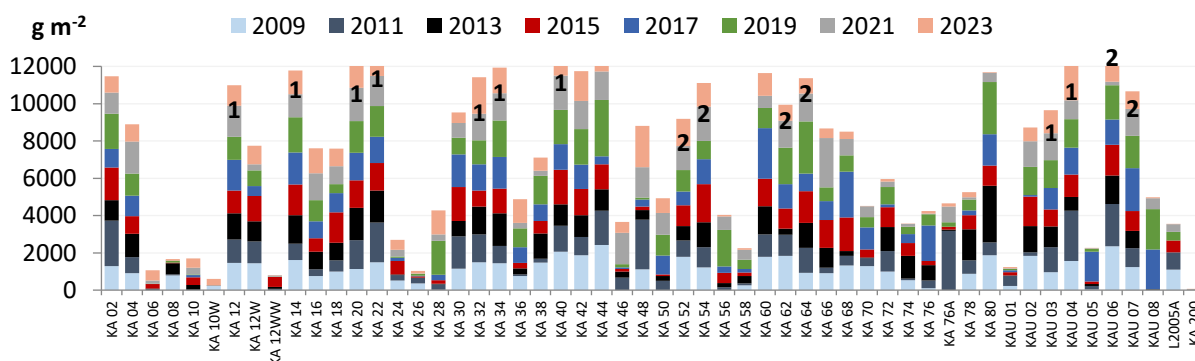


Joonis 2.2. Üldkatvus (%) Kassari lahe punavetikakoosluse seirejaamades aastatel 2009–2023. Püügialadesse KPE_P1 ja KPE_P2 jäävad seirejaamad on tähistatud vastavalt numbritega „1“ ja „2“.

2023. a jätkus langus Kassari lahe punavetikakoosluse keskmises biomassis, jõudes kogu võrdlusperioodi (2009 – 2023) madalaimale tasemele (joonised 2.3 ja 2.4).



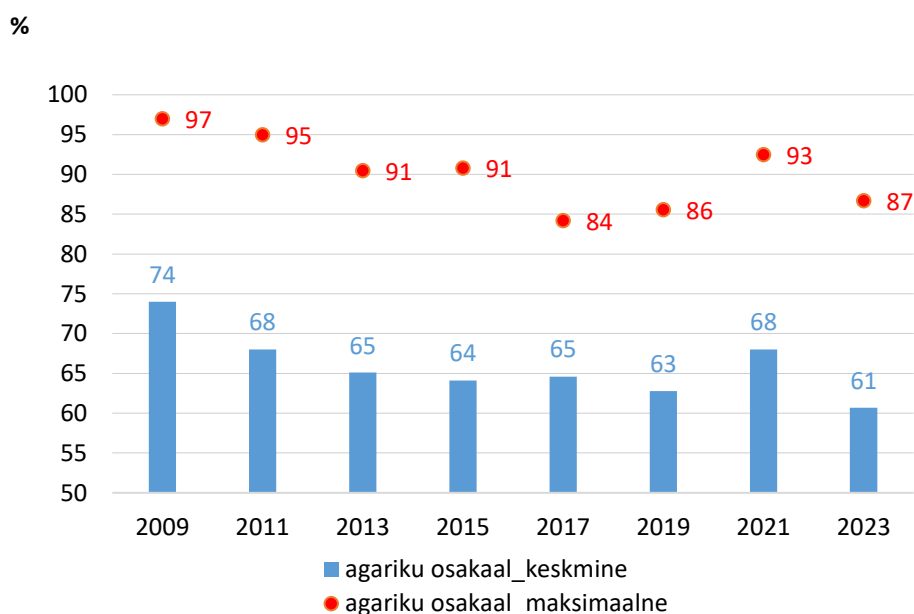
Joonis 2.3. Muutused Kassari lahe punavetikakoosluse keskmises ja maksimaalses biomassis aastatel 2009–2023.



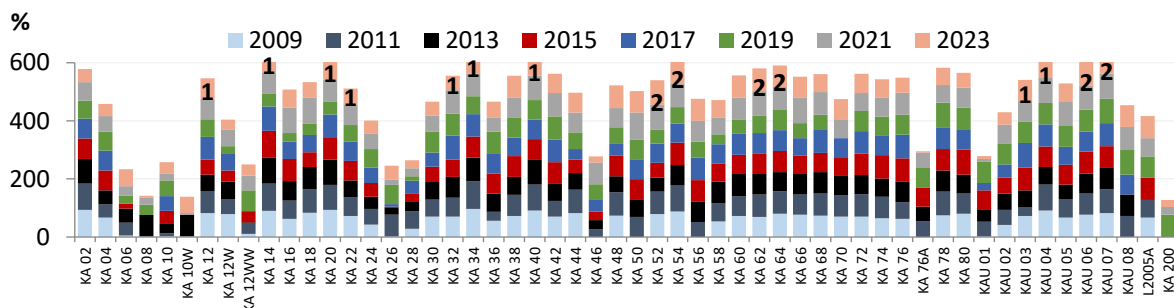
Joonis 2.4. Koosluse keskmine biomass (g m^{-2}) Kassari lahe punavetikakoosluse seirejaamades aastatel 2009–2023. Püügialadesse KPE_P1 ja KPE_P2 jäävad seirejaamad on tähistatud vastavalt numbritega „1“ ja „2“.

Agariku keskmine osakaal punavetikakoosluses on 2023. a võrreldes 2021. a seireandmetega märkimisväärselt langenud ja on ka kogu võrdlusperioodi madalaim (joonis 2.5). 2023. a jääb maksimaalne agariku osakaal < 90%, kusjuures ainult neljas seirejaamas ületas agariku osakaal 80% (2021. a 12 seirejaamas). Joonisel 2.6 on esitatud muutused agariku osakaalu väärtustes erinevates seirejaamades.

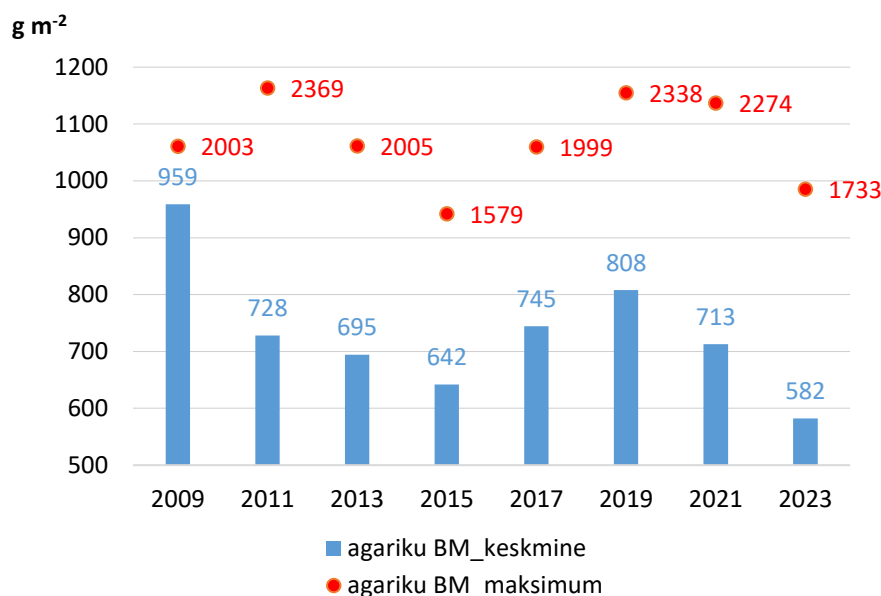
Märkimisväärselt, võrreldes 2019. aastaga on kahel viimasel seireaastal (2021 ja 2023) langenud ka agariku keskmine biomass punavetikakoosluse levikualal (joonis 2.7). Agariku biomasside erinevused erinevatel seireaastatel on -jaamade lõikes esitatud joonisel 2.8.



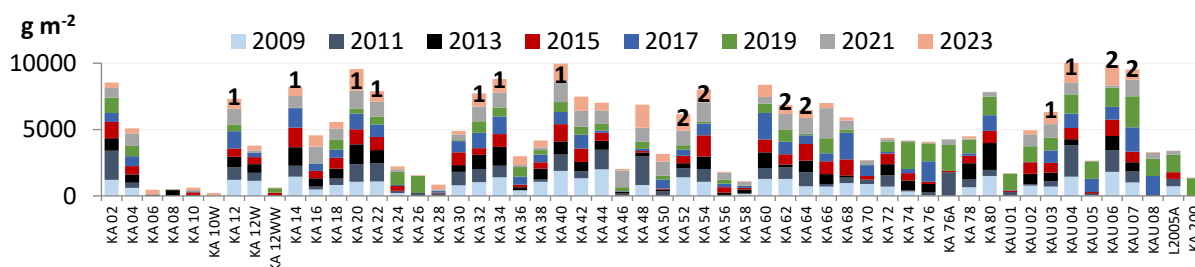
Joonis 2.5. Muutused agariku keskmises ja maksimaalses osakaalus Kassari lahe punavetikakoosluse kogubiomassist aastatel 2009–2023.



Joonis 2.6. Agariku osakaal (%) Kassari lahe punavetikakoosluse erinevates seirejaamades aastatel 2009–2023. Püügialadesse KPE_P1 ja KPE_P2 jäävad seirejaamad on tähistatud vastavalt numbritega „1“ ja „2“.



Joonis 2.7. Muutused agariku keskmises ja maksimaalses biomassis Kassari lahe punavetikakoosluses aastatel 2009–2023.

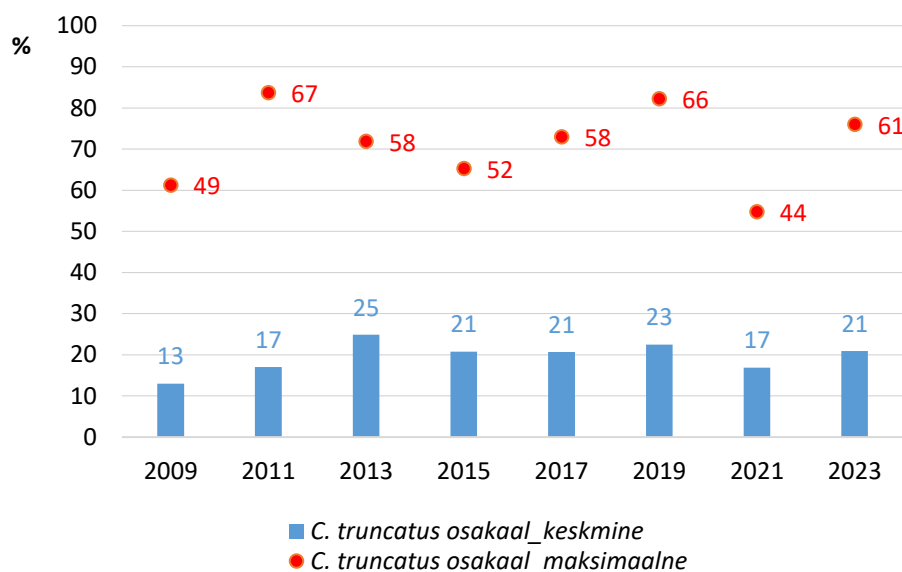


Joonis 2.8. Agariku keskmine biomass (g m⁻²) Kassari lahe punavetikakoosluse seirejaamades aastatel 2009–2023. Püügialadesse KPE_P1 ja KPE_P2 jäävad seirejaamad on tähistatud vastavalt numbritega „1“ ja „2“.

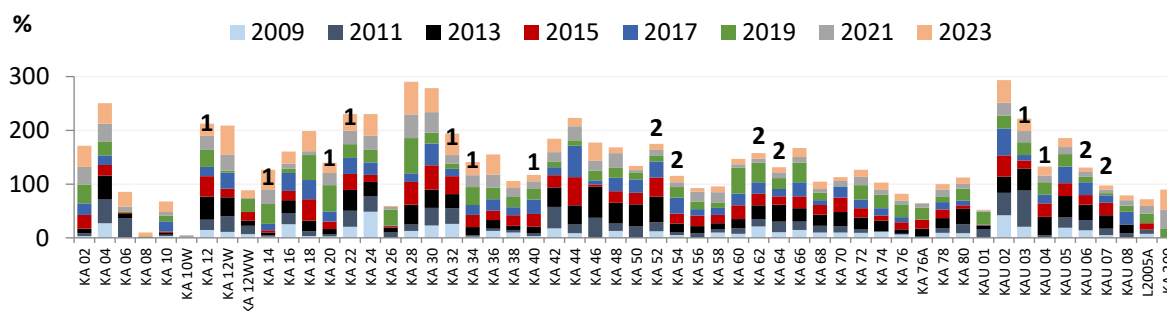
Kassari lahe kinnitumata punavetikakoosluse teise põhiliigi *C. truncatus* keskmine osakaal koosluses, erinevalt agariku osakaalust, on 2023. a võrreldes 2021. a tõusnud, s.o sarnaselt 2013, 2015, 2017 ja 2019 aastaga taas >20% (joonis 2.9). *C. truncatus* osakaalu muutused erinevates seirejaamades perioodil 2009–2023 on esitatud joonisel 2.10.

Ka muude punavetikakoosluses esinevate liikide (suurvetikad ja makrozoobentos) osakaal on võrreldes kogu eelneva võrdlusperioodiga (2009–2021) tõusnud (joonis 2.11). Joonisel 2.11 on esitatud teiste suurvetika- ja makrozoobentose liikide summaarne osakaal kogubiomassist erinevates seirejaamades (joonis 2.12).

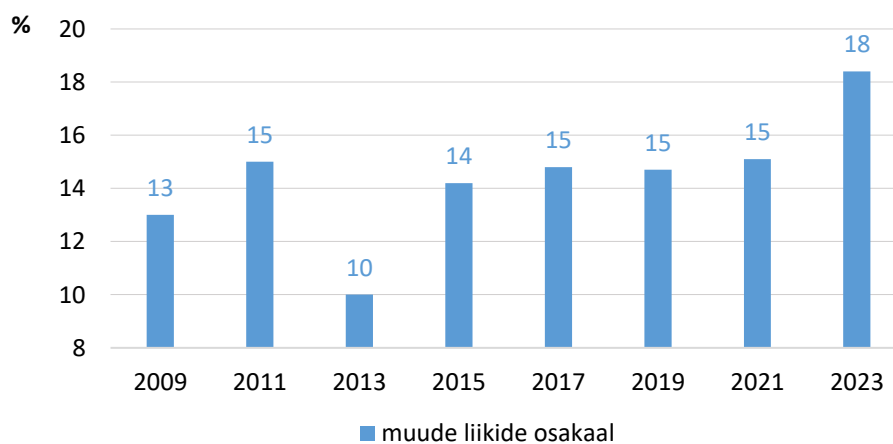
Võrreldes kahe eelneva seireaastaga (2019 ja 2021) on Kassari lahe punavetikakoosluse keskmine paksus jäänud praktiliselt samale tasemele (joonis 2.13). Vetikakihi paksuse erinevused jaamade lõikes aastatel 2009–2023 on esitatud joonisel 2.14.



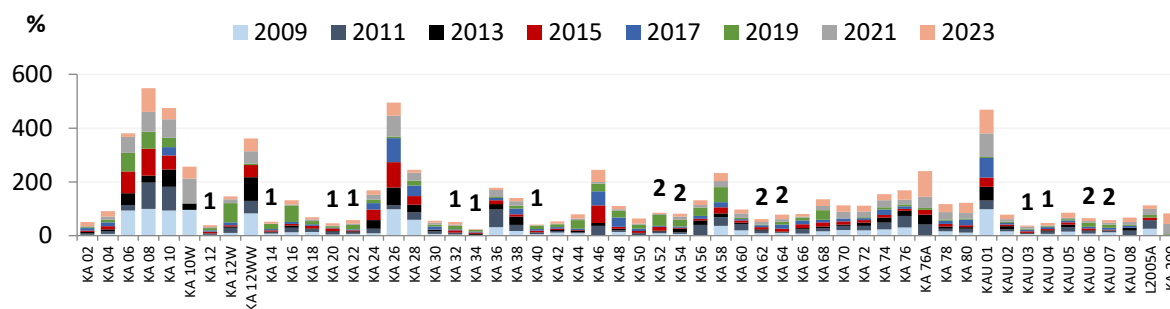
Joonis 2.9. Muutused *C. truncatus* keskmises ja maksimaalses osakaalus Kassari lahe punavetikakoosluse kogubiomassist aastatel 2009–2023.



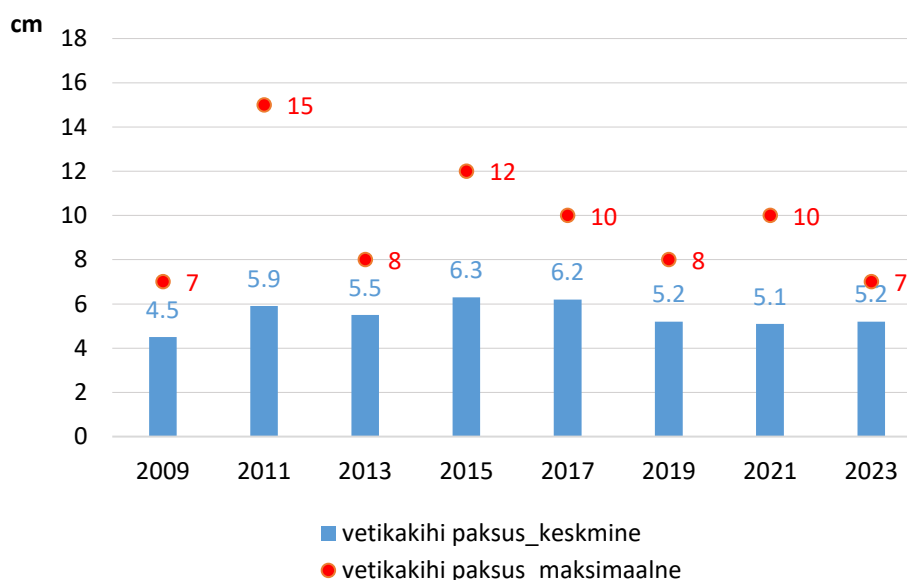
Joonis 2.10. *C. truncatus* osakaal (%) kogubiomassist Kassari lahe punavetikakoosluse seirejaamades aastatel 2009–2023. Püügialadesse KPE_P1 ja KPE_P2 jäävad seirejaamad on tähistatud vastavalt numbritega „1“ ja „2“.



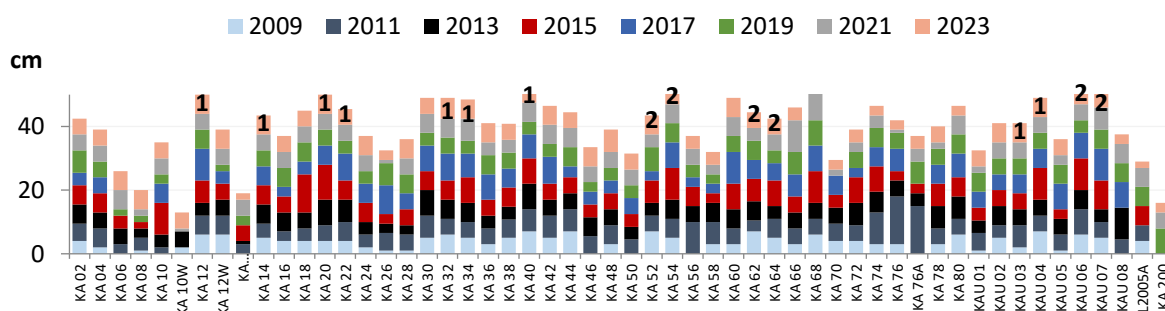
Joonis 2.11. Muutused teiste suurvetika- ja makrozoobentose liikide (muud liigid) summaarses osakaalus (%) Kassari lahe punavetikakoosluse kogubiomassis aastatel 2009–2023.



Joonis 2.12. Teiste suurvetika- ja makrozoobentose liikide osakaal kogubiomassist (%) Kassari lahe punavetikakoosluse erinevates seirejaamades aastatel 2009–2023. Püügialadesse KPE_P1 ja KPE_P2 jäävad seirejaamad on tähistatud vastavalt numbritega „1“ ja „2“.

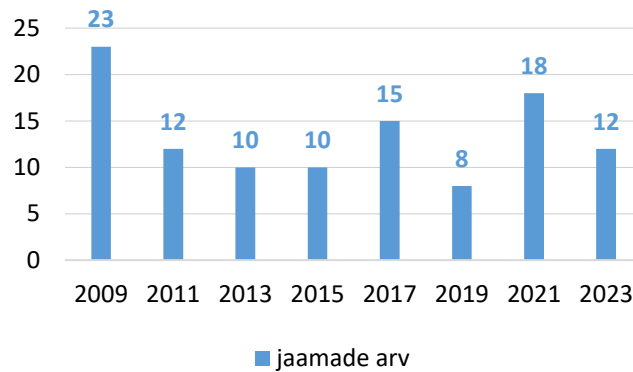


Joonis 2.13. Muutused Kassari punavetikakoosluse keskmises ja maksimaalses paksuses (cm) aastatel 2009–2023.

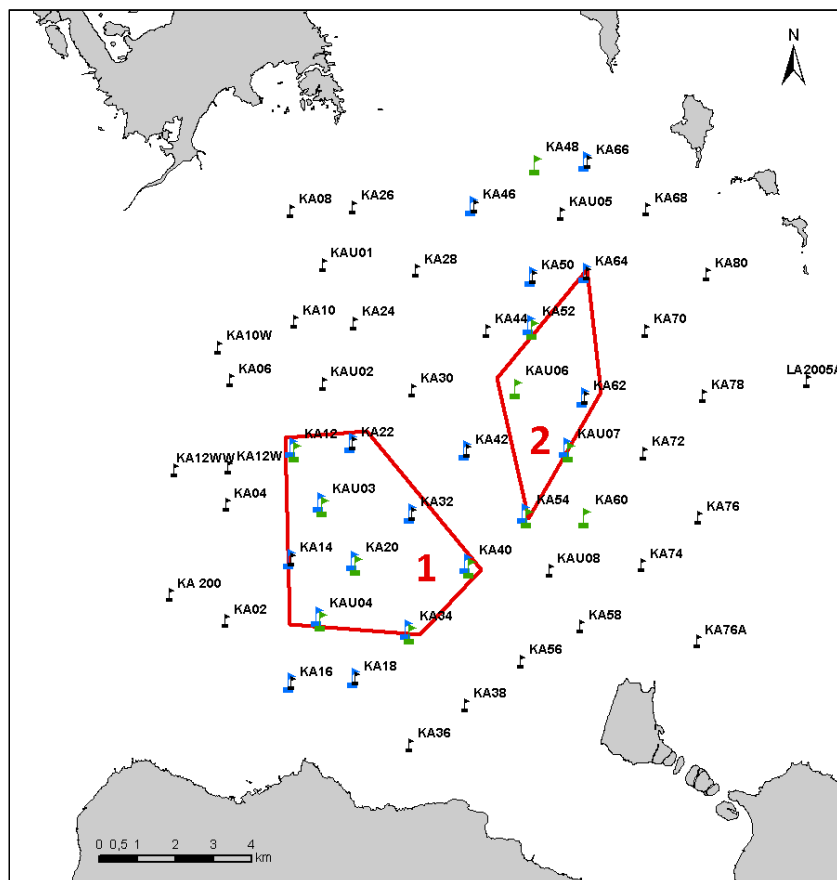


Joonis 2.14. Kassari lahe punavetikakoosluse paksus (cm) erinevates seirejaamades aastatel 2009–2023. Püügialadesse KPE_P1 ja KPE_P2 jäävad seirejaamad on tähistatud vastavalt numbritega „1“ ja „2“.

Töendusliku väljapüügi kriteeriumitele vastav vetikamass, kus agariku osakaal on $\geq 70\%$ ning vetikakoosluse üldkatvus 100% tuvastati 2023. aastal 12 jaamas, mis on märkimisväärselt madalam 2021. a saadud tulemusest (joonis 2.15). Töendusliku väljapüügi kriteeriumitele vastavate jaamade paiknemine Kassari lahe punavetikakoosluse levikualal aastatel 2021 ja 2023 esitatud joonisel 2.16. Väljapüügi kriteeriumitele vastavate jaamade arvu langus võrreldes 2021. a on ilmselt eelkõige seotud agariku osakaalu vähenemisega punavetikakoosluses (joonis 2.5), samuti jaamade arvu vähenemisega, kus ÜK on 100% (2021: 24 jaama \rightarrow 2023: 19 jaama; vt joonis 2.1).



Joonis 2.15. Töendusliku väljapüügi kriteeriumitele vastavate seire jaamade arv aastatel 2009–2023.



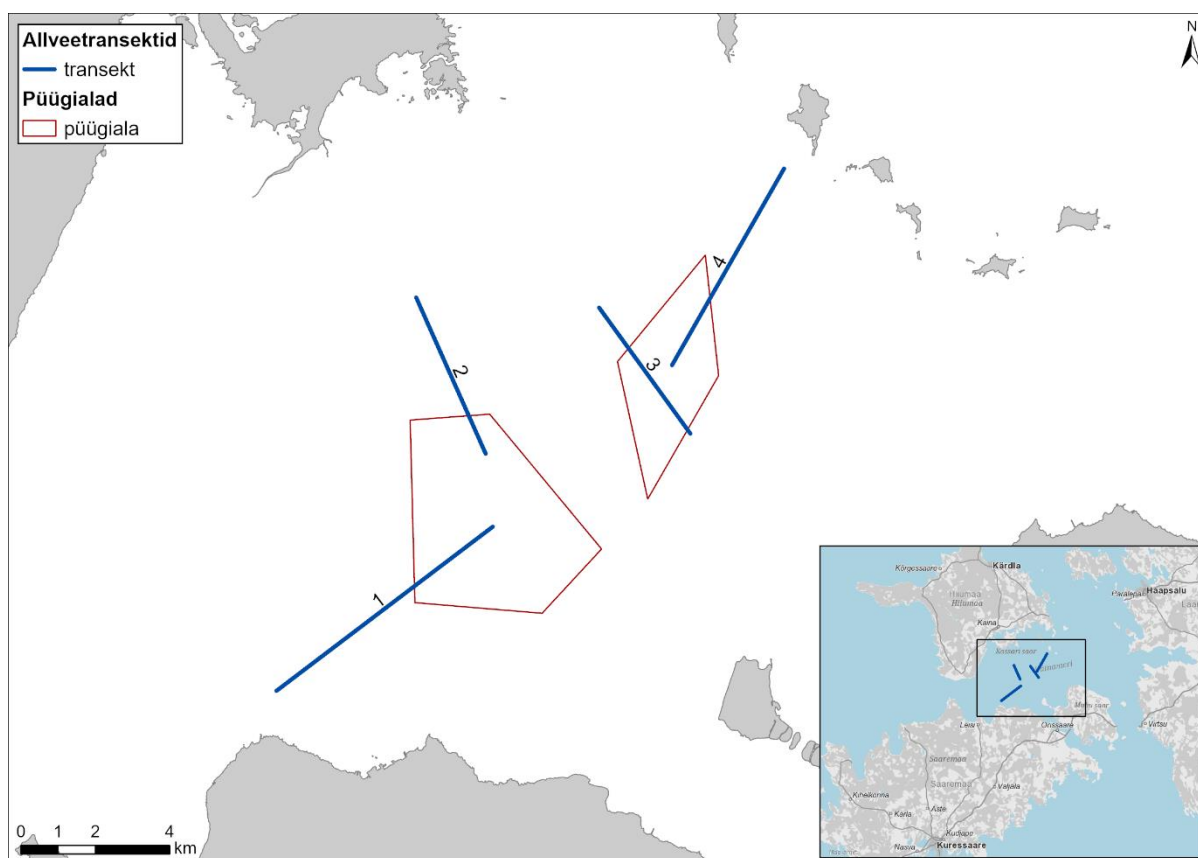
Joonis 2.16. Töendusliku väljapüügi kriteeriumitele vastavate jaamade paiknemine Kassari lahe punavetikakoosluse levikualal aastatel 2021 (sinised lipud) ja 2023 (rohelised lipud). KPE püügialad (punane piirjoon) on tähistatud vastavalt numbritena „1“ ja „2“.

3. VIDEOMEETODI RAKENDAMINE KASSARI LAHE KINNITUMATA PUNAVETIKAKOOSLUSE LEVIKUMUSTRITE UURIMISEL

3.1. MATERJAL JA METOODIKA

2019. – 2020. aastal teostatud uuringus „Kassari lahe töendusliku punavetikavaru uuringud ning kombineeritud meetodika väljatöötamine“ (TÜ Eesti Mereinstituut 2020) katsetati hüdroakustilisi ja allveevideo meetodeid lahtise punavetikakoosluse levikupiiride ja koosluse üldkatvuse täpsemaks määramiseks. Käesolevas töös rakendati nimetatud uuringu tulemustena välja pakutud soovitusi allveevideo ja -fotomaterjali kogumiseks, et täpsustada koosluse levikupiire ja üldkatvuse mustreid.

Allveevideo- ja fotoülesvõtted teostati kokku neljal transektil Kassari lahes (joonis 3.1.1). Transektid olid paigutatud selliselt, et nende abil oleks võimalik tuvastada lahtise punavetikakoosluse leviku piire, koosluse katvust ja võimalikke traalimise mõjusid püügialadel. Transektide pikkused ja otspunktide koordinaadid on toodud tabelis 3.1.1. Transektide summaarne kogupikkus oli 22,2 km.



Joonis 3.1.1 Transektide paiknemine. Transektide geograafilised koordinaadid ja pikkused on toodud tabelis 3.1.1. Aluskaart: Maa-ameti halltoonides aluskaart, 12.11.2023.

Tabel 3.1.1. Kassari lahe lahtise punavetikakoosluse levikupiiride ja koosluse üldkatvuse hindamise transektid. Geograafilised koordinaadid on toodud WGS84 koordinaatsüsteemis kümnendkraadidena.

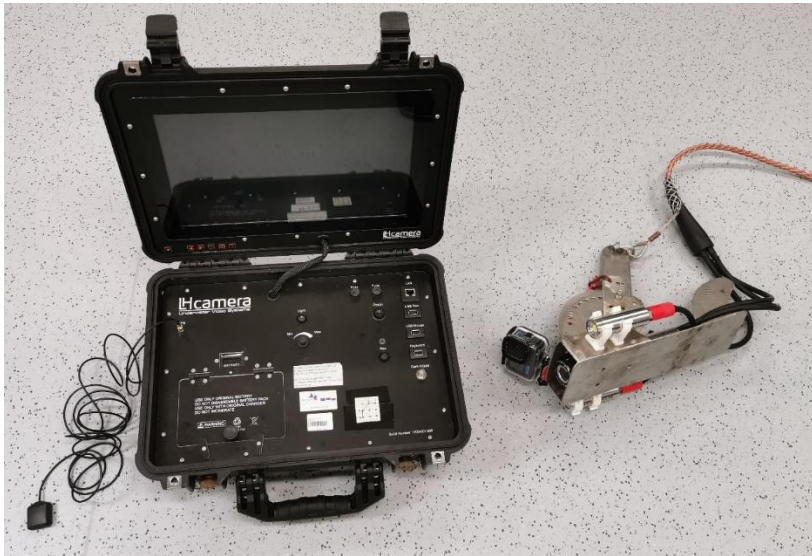
Transekti number	Pikkus (km)	Otspunkt 1, põhjalaius (°)	Otspunkt 1, idapikkus (°)	Otspunkt 2, põhjalaius (°)	Otspunkt 2, idapikkus (°)
1	7,3	58,63629	22,80355	58,67676	22,90245
2	4,6	58,73166	22,86515	58,69430	22,89857
3	4,2	58,72996	22,95005	58,69990	22,99332
4	6,1	58,76413	23,03497	58,71633	22,98429

Välitöid teostati 25. juulil ning 13. – 14. augustil 2023. aastal. Juulis toimus välimeetodite katsetamine ja augustis toimus allveevideo ja -fotoülesvõtete teostamine transektidel.

Kõikidel transektidel teostati kogu nende ulatuses samaaegne allveevideo ja foto salvestamine liikuvast mootorpaadist. Merepõhja reaajas video oli välitööl vajalik eelkõige kaamera liikumise jälgimiseks ja sügavuse reguleerimiseks. Videomaterjal ka salvestati varukoopia eesmärgil. Lahtise punavetikakoosluse katvuse hindamiseks kasutati videoga sama-aegselt kogutud merepõhja fotomaterjali. Allveekaamerate vedamise kiiruseks oli ligikaudu 2 sõlme ehk 1 m s^{-1} . Kiirus valiti selline, mis võimaldas mootorpaadiga liikumist pidevalt käiku sees hoides minimaalse kiirusega samas tagades ka piisava nähtavuse video- ja fotomaterjalis. Mootorpaadis rakendati transektil püsivuse kursi hoidmiseks autopiloodi tehnikat. Kaamerate kõrgus merepõhjast oli ligikaudu 1 – 2 m. Vee läbipaistvus ei olnud ilmastikuolude tõttu ideaalne ja seetõttu teostati ülesvõtted suhteliselt põhja lähedalt, sest kaameraid põhjast kõrgemale tõstes ei olnud merepõhjas lahtise punavetika laigud taustast enam piisavalt hästi eristatavad.

Merepõhja videoülesvõtted teostati allveevideosüsteemiga (nn *drop*-kaamera), mis koosnes veealusest videokaamerast ning paadi pardal olevast salvestusseadmest ja ekraanist (joonis 3.1.2). Kaamera on varustatud ka valgustitega, mis on vajalikud eelkõige sügavas vees või pimedal ajal töötamiseks. Käesolevas töös ei olnud valgustite kasutamine otstarbekas, sest ei parandanud ülesvõtete kvaliteeti. Merepõhja videosalvestuse tegemiseks lastakse veekindel roostevabast terasest konstruktsiooniga ümbritsetud kaamera kaabli otsas merepõhja kohale. Videopilt on reaajas jälgitav ekraani vahendusel ja video on võimalik talletada salvestusseadme kõvakettale digitaalse videofailina. Kaamerasüsteemi tootjaks oli *LH Camera ApS* (Taani) ja selle kaamera resolutsiooniks oli 1920×1080 pikslit. Säriaeg, valgustundlikkus ja valge tasakaal olid automaatrežiimil. Videosüsteemil oli ka GPS-vastuvõtja moodul, mis võimaldas geograafiliste koordinaatide, kiiruse ja liikumise suuna salvestamist videopildi peal. Kaamerat veeti vee all paadi järel vaatega sõidu suunas. Vaatenurk vee all oli seatud ligikaudu 45° nurgaga allapoole horisonti. Ettepoole vaade oli vajalik ohutuse tagamiseks, et takistuse märkamisel oleks võimalik kiiresti kaamera põhjast kõrgemale tõsta.

Merepõhja fotod teostati *drop*-kaamera veealuse raami külge kinnitatud kaameraga *GoPro Hero 11 Black* (USA, joonis 3.1.3). Kaamera vaatenurk oli seatud 90° kraadi horisondist allapoole ehk vaatega otse alla merepõhjale. *GoPro* kaamera oli seadistatud tegema fotosid intervallvõtte režiimis (*time lapse*) 1-sekundilise sammuga. Fotode tegemisel olid säriaeg, valgustundlikkus ja valge tasakaal automaatrežiimis ning fotod salvestati sensori maksimaalse resolutsiooniga 5568×4872 pikslit. *GoPro* kaameraga kogutud fotode alusel teostati hiljem transekti klassifitseerimine lahtise punavetikakoosluse katvuse klassideks.



Joonis 3.1.2. LH Camera allveevideosüsteem. Vasakul on ekraaniga varustatud salvestus- ja juhtimisseade. Paremalt on roostevabast terasest raami sees kaamera ja külgedel on valgustid. Raami esiosa külge on kinnitatud täiendavalt GoPro kaamera (vt joonis 3.1.3).



Joonis 3.1.3. GoPro kaamera kinnitatud LH Camera allveevideosüsteemi kaamera raamile.

Transektidel liikumise trajektoore georefereerimiseks kasutati *Trimble R1* seadet. Tegemist on GNSS-vastuvõtjaga¹, mis võimaldab kasutada GPS, GLONASS, Galileo ja BeiDou satelliidisüsteeme ning täiendavalt ka veel nii satelliidipõhiseid asukoha täpsuse parandamise süsteeme (SBAS, *satellite-based augmentation systems*) kui maapealseid tugijaamade süsteeme (RTK, *real-time kinematic*). Kuna SBAS tagas ligikaudu 0,5 m ruumilise täpsuse, siis kasutati käesolevas töös seda süsteemi. SBAS eeliseks on see, et teenus ei vaja pidevat internetiühendust nagu RTK. Kuna *Trimble R1* on ainult vastuvõtja, siis seda tuleb kasutada koos väliarvutiga. *R1* väliarvutina kasutati veekindlat nutitelefoni *CAT41*, mis liidestub *R1*-ga *Bluetooth* abil. *R1* seadistamine ja juhtimine toimus *Trimble* tarkvara GNSS

¹ GNSS (*global navigation satellite system*) – üldine termin satelliidipõhisele navigatsioonisüsteemile; katab üldise terminina erinevaid süsteeme nagu GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou jt.

*Status*² abil. Liikumistrajektoride salvestamine toimus nutitefonis vabavaralise tarkvara *GPSLogger*³ abil, mis muu hulgas võimaldab seada asukohapunktide salvestamise intervalli (antud töös kasutati 3 sekundit). Punktid salvestatakse koos kellaajaga tabeli kujul ja salvestamise ajal saab lisada annotatsioone (tekstimärkmeid).

GoPro kaamera abil kogutud fotod klassifitseeriti arvuti ekraanilt visuaalselt hinnates kolme klassi:

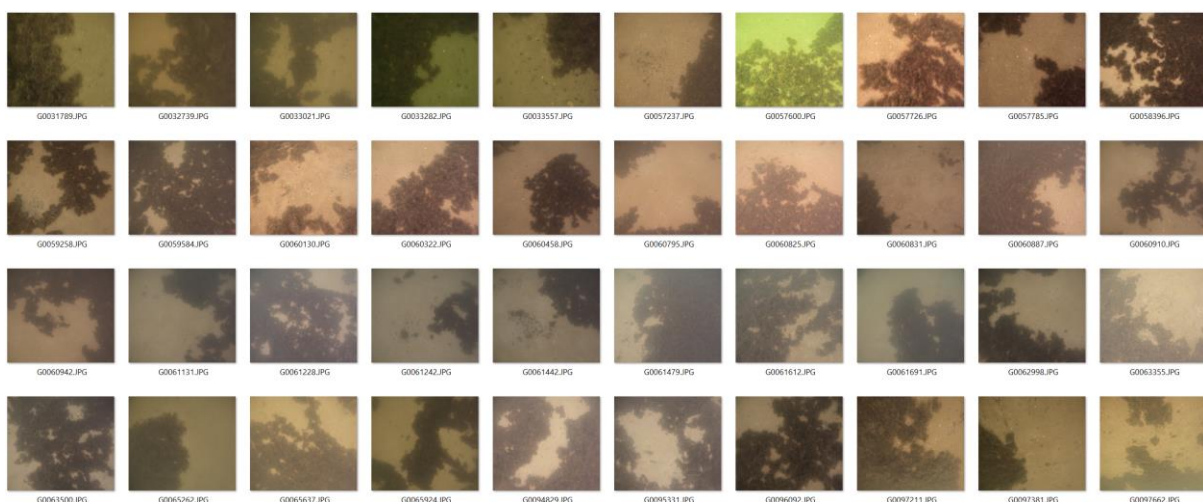
- kooslus puudub või on väga hõre (katvus alla 10%);
- laiguline kooslus, kus katvus on vahemikus 10 kuni 75%;
- lausaline kooslus, kus katvus ületab 75%.

Antud klassid töötati välja varasemas töös (TÜ Eesti Mereinstituut 2020). See skaala valiti, et optimeerida ajakulu seoses visuaalse analüüsiga ja tagada samal ajal peamiste koosluse piirkondade – koosluse puudumine või väga hõre kooslus, laiguline servaala, lausaline – eristamine. Näited vastavate klasside fotodest 2023. aastal kogutud materjali põhjal on toodud joonisel 3.1.4.

A



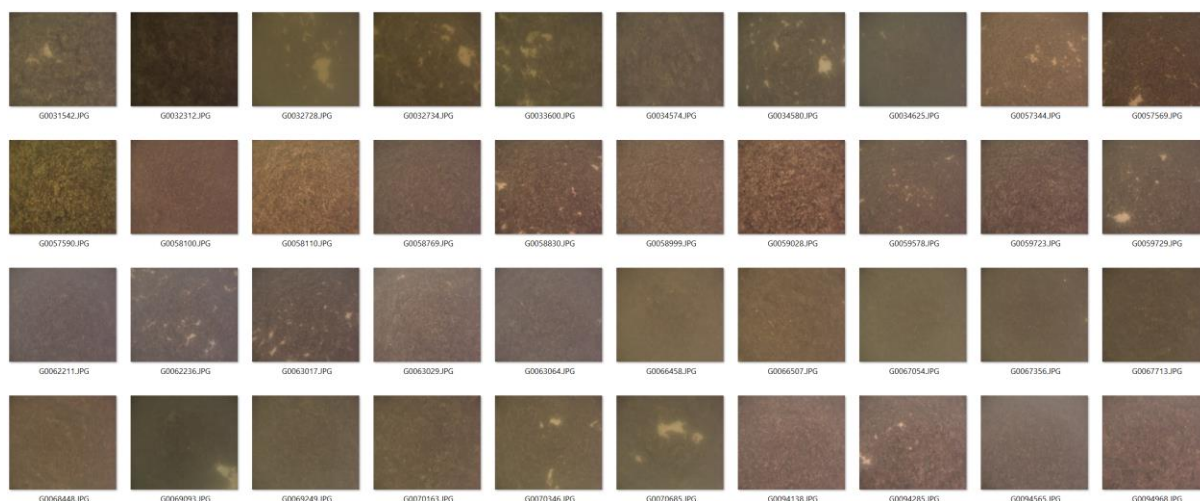
B



² GNSS Status, Trimble Inc., <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.trimble.mcs.gnssstatus>

³ GPSLogger for Android: A battery efficient GPS logging application, <https://gpslogger.app/>

C

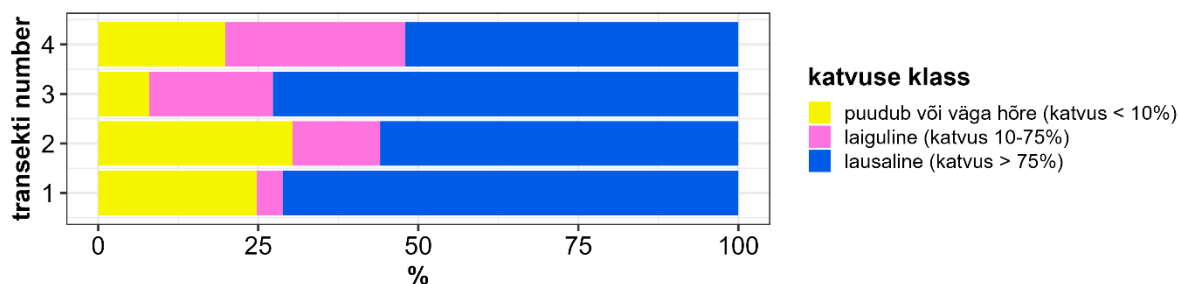


Joonis 3.1.4. Näited allveefotodest klassifitseerituna kolme klassi: A – kooslus puudub või on väga hõre (katvus alla 10%); B – laiguline kooslus, kus katvus on vahemikus 10 kuni 75%; C – lausaline kooslus, kus katvus ületab 75%. Fotod on tehtud 2023. a. välitöödel kaameraga *GoPro Hero 11 Black*.

Allveefotode sidumine transektidel liikumise asukohalogidega toimus kuupäeva ja kellaaja põhjal. Fotode EXIF andmetest loeti foto jäädvustamise kuupäev ja kellaeg *ExifTool* tarkvara abil (Harvey 2023). Saadud kuupäeva ja kellaaja kaudu leiti igale transekti trajektoori geograafiliste koordinaatide logi punktile vastav foto. Fotode georeferentseerimisega seotud protseduurid viidi läbi *R* programmeerimiskeeles (*R Core Team* 2023) arenduskeskkonnas *RStudio* (*RStudio Team* 2023). Lisaks *R* baasfunktsionaalsusele kasutati järgmisi pakette: *tidyverse* (Wickham et al 2019) tabelarvutusteks, *sf* (Pebesma 2018) geograafiliste vektorandmete töötlemiseks. Kaardid loodi tarkvaras *ArcGIS Pro* (ESRI 2023).

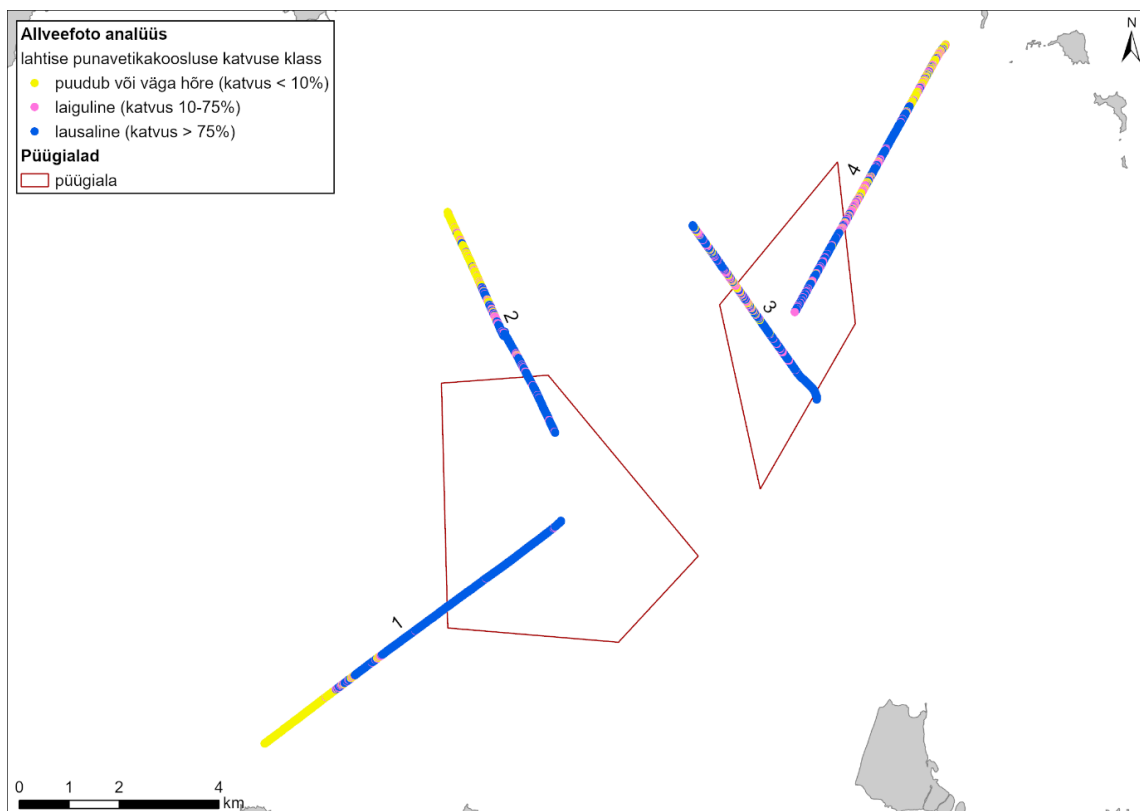
3.2. TULEMUSED

Üle kõigi nelja transekti oli kõige sagedamini esinev lahtise punavetikakoosluse katvuse klass „lausaline“, mida esines 62,3% transektide trajektoori logi punktides. Osakaalult järgnesid „puudub või väga hõre“ 21,2% ja „laiguline“ 16,4%. Transektid 1 ja 3 olid mõnevõrra kõrgema lausalise koosluse osakaaluga kui transektid 2 ja 4. Lahtise punavetikakoosluse katvuse klasside jaotus kõigil transektidel on toodud joonisel 3.2.1.

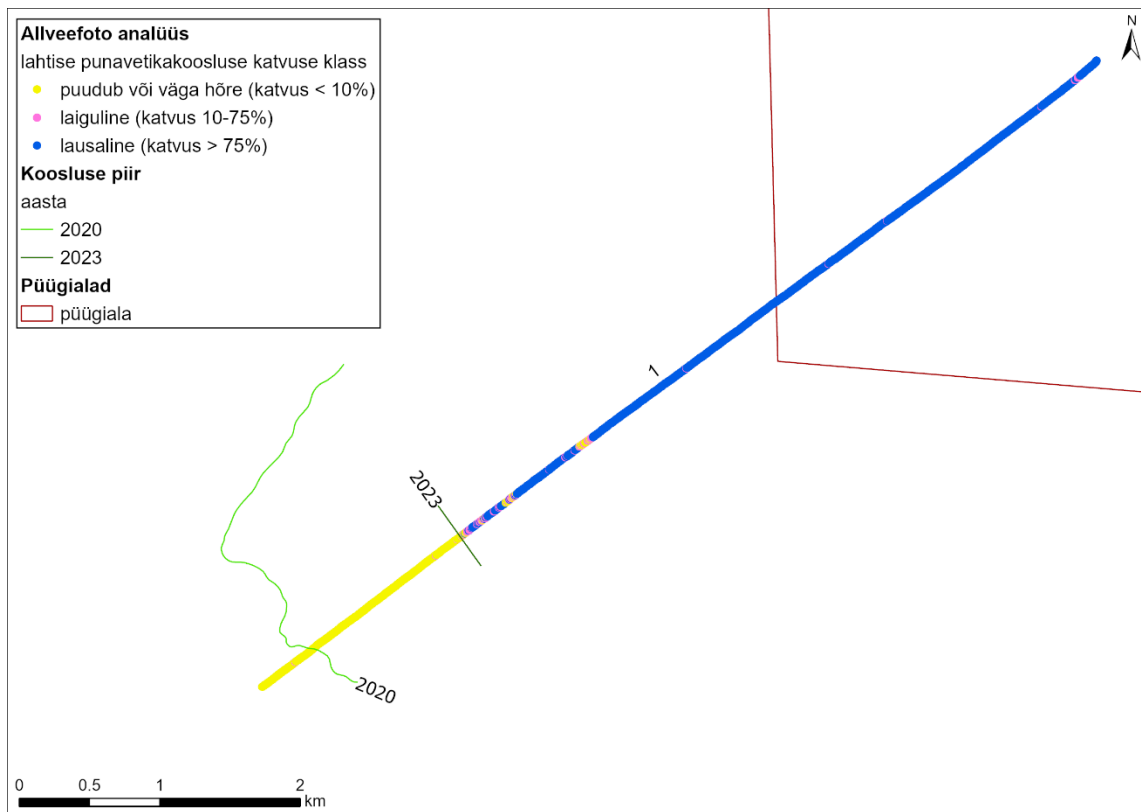


Joonis 3.2.1. Lahtise punavetikakoosluse katvuse klasside jaotus transektidel.

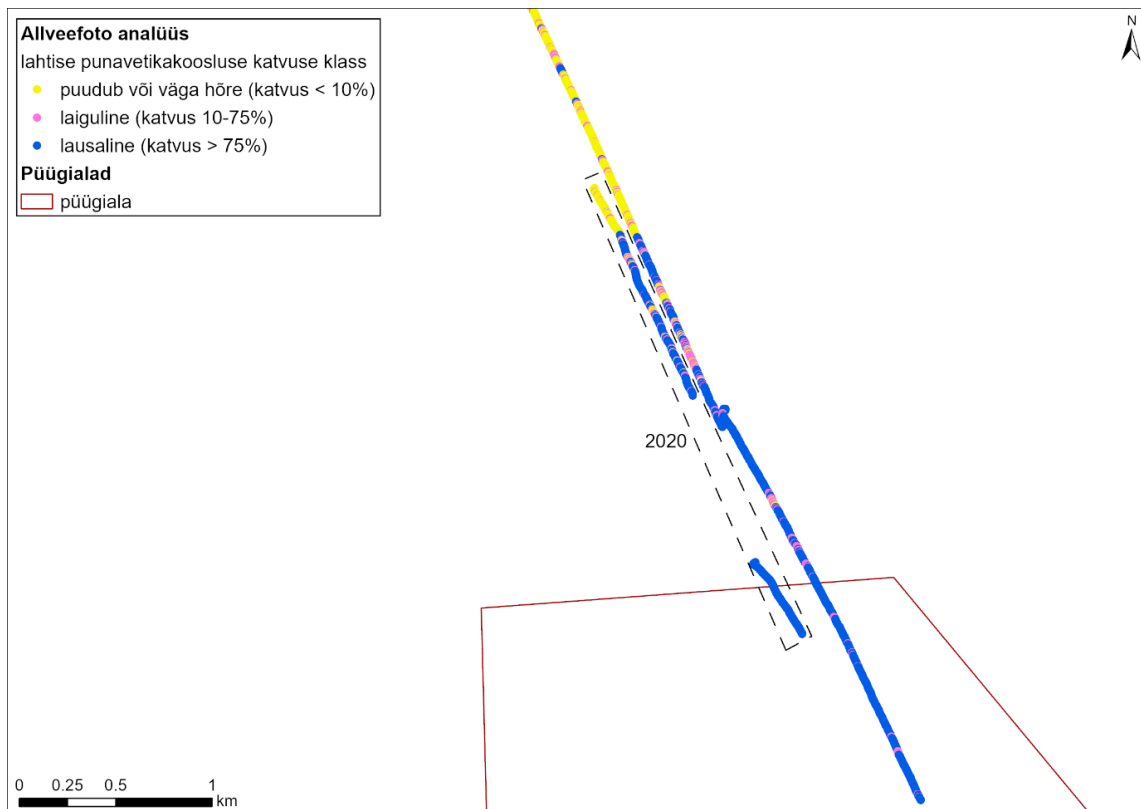
Joonisel 3.2.2 on toodud lahtise punavetikakoosluse katvuse klasside levik kõigil transektidel. Transektil 1 joonistus kõige selgepiirilisemalt välja punavetikakoosluse leviku piir (joonis 3.2.3). Ka 2019-2020 läbi viidud uuringus, kus kasutati nii hüdroakustilist meetodit (mitmekiireline sonar) kui ka allveevideot, leiti selles piirkonnas väga selgelt eristuv punavetikakoosluse piir. Võrreldes 2020. aastaga on koosluse piir transekti 1 piirkonnas 2023. aastal nihkunud 1,3 km võrra ida poole (joonis 3.2.3). Transekti 2 puhul oli 2023. aastal lausalise koosluse leviku piir sarnane 2020. a. piirile (joonis 3.2.4). Transekti 4 idapoolne ots oli nii 2020. kui ka 2023. aastal tugevalt varieeruva iseloomuga, kuid 2023. a. tulemus näitab mõnevõrra madalamat punavetikakoosluse katvust selles piirkonnas (joonis 3.2.5).



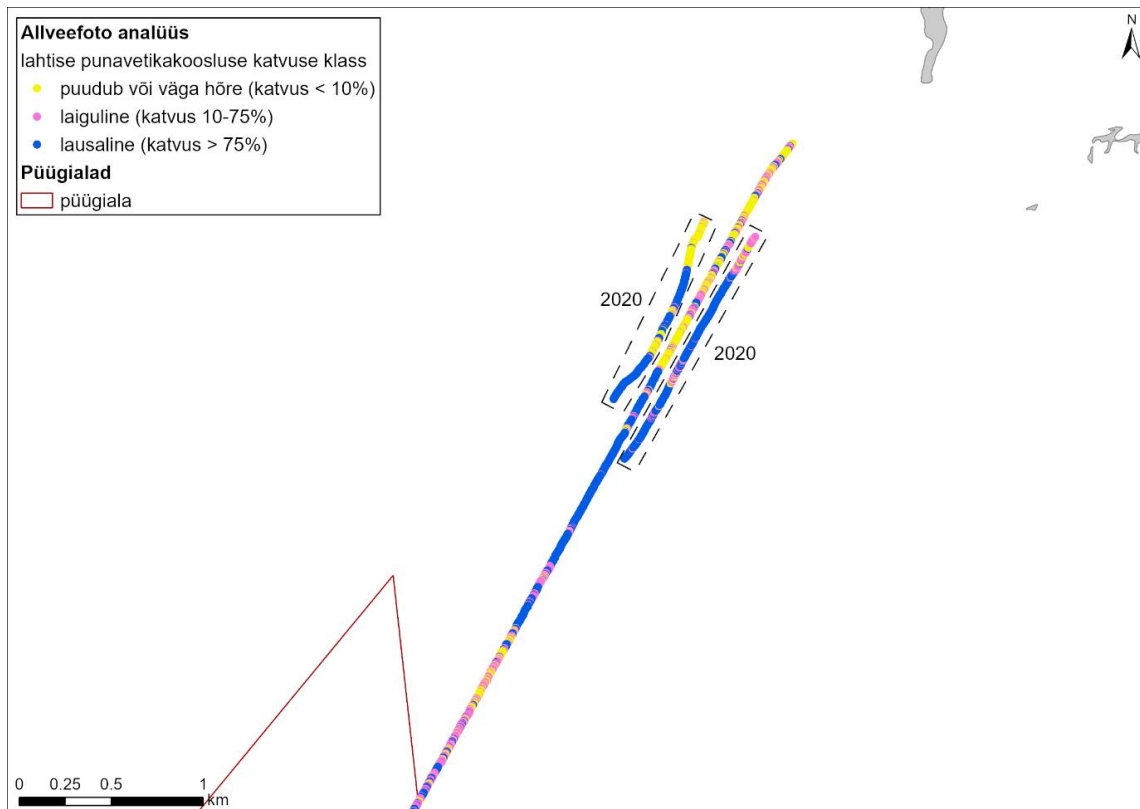
Joonis 3.2.2. Lahtise punavetikakoosluse katvuse klasside levik transektidel. Number näitab transekti numbrit.



Joonis 3.2.3. Lahtise punavetikakoosluse katvuse klasside levik transektil 1. Näidatud on koosluse leviku piir 2020. ja 2023. aastal (tähistatud vastavalt helerohelise ja tumerohelise joonega).



Joonis 3.2.4. Lahtise punavetikakoosluse katvuse klasside levik transektil 2. Katkendjoonega on ümbritsetud 2020. aasta allveevaatluste tulemus.



Joonis 3.2.5. Lahtise punavetikakoosluse katvuse klasside levik 4. transekti idapoolses otsas. Katkendjoonega on ümbritsetud 2020. aasta allveevaatluste tulemus.

Foto/videotransektide rakendamine näitas, et antud meetod võimaldab täpselt tuvastada koosluse levikupiire ja üldkatvuse levikumustreid, sest erinevalt punktipõhisest lähenemisest, kus punktide vahekaugused ulatuvad kilomeetritesse, annab videomeetod ruumiliselt pidevaid andmeid. Ajas korratavad transektid võimaldavad tuvastada koosluse levikupiiride ja üldkatvuse mustri muutuseid. Transektipõhised katvushinnangud võimaldavad tuvastada koosluse laigulisust ja võimalikke traalimise või muude negatiivsete mõjude tagajärgi ka punktidevahelisel alal ning seejuures väga kõrge ruumilise lahutusega.

4. VÄLJAPÜÜGI SOOVITUSED 2024 JA 2025. AASTAKS

Vastavalt kalapüügieeskirjale (KPE §25 p. 5) võib alates 2024. aastast agarikku Kassari lahes püüda kahel eeskirjas fikseeritud püügi alal (vt joonis 1.2.1, 2.16, kus KPE püügi alad tähistatud numbritega 1 ja 2). Vastavalt KPE-le on keelatud püüda agarikku tragiga väljaspool ala (KPE_P1), mis on piiritletud koordinaatidega 58°42.120'N, 22°51.780'E; 58°39.480'N, 22°52.020'E; 58°39.360'N, 22°55.560'E; 58°40.320'N, 22°57.180'E; 58°42.240'N, 22°54.000'E, ja väljaspool ala (KPE_P2), mis on piiritletud koordinaatidega 58°43.020'N, 22°57.540'E; 58°42.840'N, 23°0.360'E; 58°44.580'N, 22°59.940'E; 58°41.040'N, 22°58.440'E. [RT I, 29.11.2023, 1 - jõust. 01.01.2024]

2023. a punavetikavarude seire käigus hinnati eraldi KPE püügi alade sobivust agariku väljapüügiks. Punavetikakooslust iseloomustavad näitajad on esitatud tabelis 4.1.

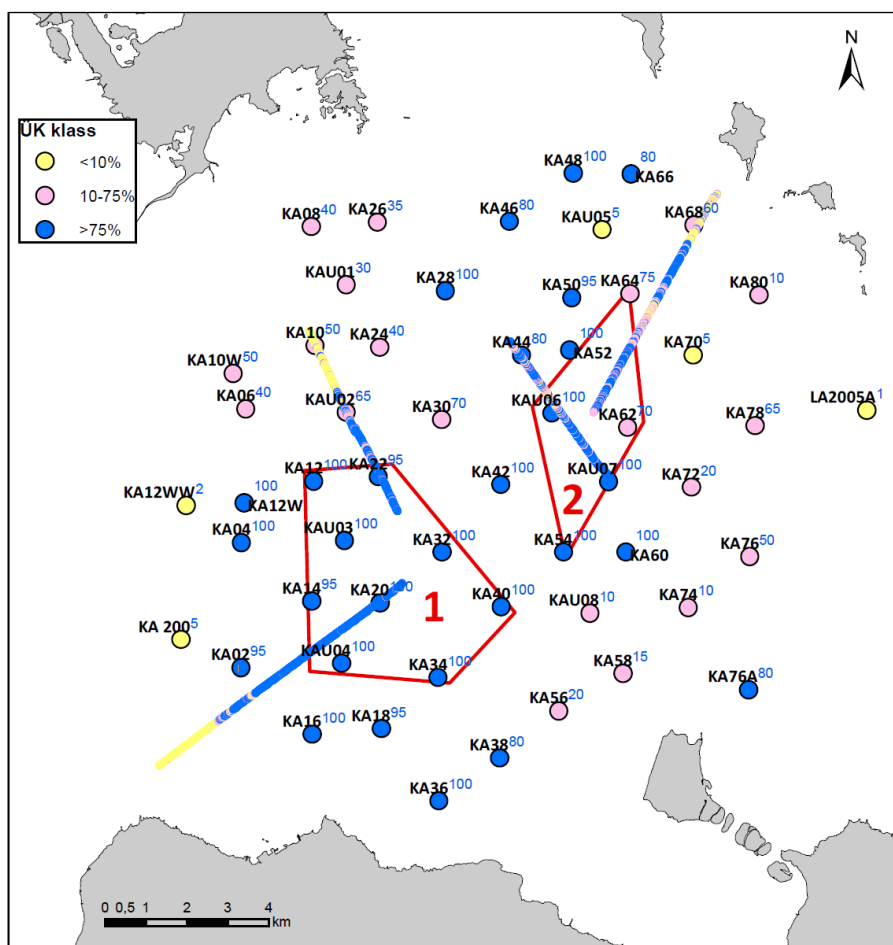
Tabel 4.1. KPE püügi alade punavetikakooslust iseloomustavad näitajad 2023. a. Nooltega ↑↓ on tähistatud muutuste suund võrreldes 2021. a seireandmetega (punaste nooltega on tähistatud kriitilised muutused agariku töenduslikuks väljapüügiks sobivuse kriteeriumites).

KPE püügi alala	keskmine KPE_P1/KPE_P2	maksimum KPE_P1/KPE_P2	miinimum KPE_P1/KPE_P2
Üldkatvus (%)	99↓/91↓	100/100	95/70
Vetikakihi paksus (cm)	6,0↑/6,0↑	6,5/7,0	5,0/5,0
Koosluse biomass (g m ⁻²)	1602↑/1201↓	2267/1874	1087/809
Agariku osakaal (%)	68↓/80↓	87/85	50/74
<i>C. truncatus</i> osakaal (%)	25↑/10↑	40/12	12/7
Muu osakaal (%)	7↑/11↑	11/17	2/1
Loomad (%)	6↑/7↑	12/12	0,3/3
Agariku biomass (g m ⁻²)	1085↓/965↓	1651/1543	697/597
<i>C. truncatus</i> biomass (g m ⁻²)	396↑/116↑	788/164	183/73
Muu biomass (g m ⁻²)	121↑/120↑	239/194	25/55
Loomad biomass (g m ⁻²)	103↑/85↑	188/167	5/37

Tabelist 4.1. ilmneb, et püügi alade vahel esineb märkimisväärsed erinevusi bioloogilistes näitajates, mille alusel hinnatakse sobivust töenduslikuks väljapüügiks (vt kriteeriumid aruande alapeatükis 1.1 lk 8). Kui punavetikakoosluse keskmine üldkatvus püügi alal 1 (KPE_P1) oli arvutuslikult 99%, siis püügi alal 2 (KPE_P2) oli see 91%, mis on madalam töendusliku väljapüügi kriteeriumist. Erinevuste üldkatvustes kahe püügi alala vahel viitasid ka videomeetodil saadud katvushinnangud (joonis 4.1). Samas jääb agariku keskmine osakaal KPE_P1s < 70%, mis on märkimisväärselt madalam võrreldes püügi alalaga KPE_P2, kus keskmine agariku osakaal koosluses oli suhteliselt kõrge, s.o 80%. Agariku madalam osakaal KPE_P1s oli eelkõige tingitud suhtelisest kõrgest punavetika *C. truncatus* osakaalust (keskmiselt 25%) punavetikakoosluses, olles 2,5 korda kõrgem kui vastav keskmine näitaja KPE_P2s.

Seega, võttes aluseks 2023. a punavetikaseire tulemused, paikneb nn kvaliteetsem (kõrgem agariku ja madalam *C. truncatus* osakaal biomassis) agariku biomass püügi alal 2 (KPE_P2). Samas, kuna koosluse

üldkatvus on KPE_P2s madalam, siis keskmine agariku biomass märgkaalus pinnaühiku kohta võib jääda $< 1000 \text{ g m}^{-2}$.



Joonis 4.1. Üldkatvus (ÜK) Kassari lahe punavetikakoosluse levikualal ja KPE püügi aladel; ÜK klassid on tähistatud vastavalt videomeetodile; siniste numbritega on tähistatud punktipõhise (traditsioonilise) meetodiga saadud ÜK väärtused (%).

Arvestades püügi alade teatavat erinevust punavetikakooslust iseloomustavate põhinäitajate osas (üldkatvus, agariku ja *C. truncatus* osakaal) ning praeguse punavetikaseire strateegiat, kus seiret viiakse läbi üle aasta ja püügisoovitused tuleb anda seetõttu kaheks seirele järgneva aastaks, soovime 2024. ja 2025. a agarikku püüda mõlemal püügi alal. Kuna praegune seirestrateegia ei võimalda täpselt prognoosida võimalikke muutusi püügi alade punavetikakoosluses, s.o eelkõige agariku osakaalus ja biomassis, siis tuleks agariku väljapüüki planeerides arvestada sellega, et kvaliteetne (s.o töendusliku väljapüügi kriteeriumitele vastav) vetikamaterjal ei ole KPEs kehtestatud püügi alal/del jaotunud ühtlaselt. KPE püügi alade seire peaks toimuma igal aastal.

Kassari lahe lahtises punavetikakoosluses ja KPE kehtestatud püügi aladel esinevaid muutusi ja hetkeseisundit (eelkõige agariku osakaalu ja biomassi vähenemist nii lahtise punavetikakoosluse levikualal kui KPEs kehtestatud püügi piirkondades) arvesse võttes teeme ettepaneku mitte tõsta väljapüügilimiiti ning kehtestada 2024 ja 2025. aastal töendusliku vetikavaru väljapüügilimiidiks **2000 tonni märgkaalus** segus teiste vetikatega.

5. KASSARI PUNAVETIKAVARU 2023. A SEIRE TULEMUSTE KOKKUVÕTE

- 2023. a. levis Kassari lahe kinnitumata punavetikakooslus kogubiomassiga hinnanguliselt 131 000 tonni ligikaudu 145 km² alal.
- Kassarilahe lahtise punavetikakoosluse levikupiir Soela väina piirkonnas on nihkunud võrreldes 2020. a 1,3 km ida poole.
- 2023. a oli Kassari lahe punavetikakoosluse keskmine üldkatvus 74,0%, kusjuures 100% üldkatvus määrati 19 seirejaamas.
- Vetikakihi keskmiseks paksuseks tööndusliku punavetikakoosluse levikualal mõõdeti 5,2 cm. Traalimise tagajärjel tekkinud vetikavalle ei tuvastatud.
- 2023. a jätkus langus punavetikakoosluse keskmises biomassis, jõudes kogu võrdlusperioodi (2009 – 2023) madalaimale tasemele, s.o 902 g m⁻²märgkaalus.
- Agariku (*F. lumbricalis*) keskmine osakaal punavetikakoosluses on võrreldes 2021. a seireandmetega märkimisväärselt langenud, jäädes ka seireperioodi 2009 – 2023 madalaimaks. 2023. a jääb maksimaalne agariku osakaal koosluses < 90%, kusjuures ainult neljas seirejaamas ületas agariku osakaal 80%. Märkimisväärselt, võrreldes 2019. aastaga on kahel viimasel seireaastal (2021 ja 2023) langenud ka agariku keskmine biomass punavetikakoosluse levikualal (2019:808 g m⁻²→2023:582 g m⁻²).
- *C. truncatus* keskmine osakaal punavetikakoosluses tõusis > 20%. Märkimisväärselt tõusis võrreldes eelnevate seireaastatega ka muude punavetikakoosluses esinevate liikide (suurvetikad ja makrozoobentos) keskmine osakaal (18%-ni).
- Töönduslikuks väljapüügi kriteeriumitele vastav vetikamass, kus agariku osakaal on ≥70% ning vetikakoosluse üldkatvus 100% määrati 2023. a ainult 12st jaamast.
- KPE püügi alade vahel leiti märkimisväärsed erinevusi bioloogilistes näitajates, mille alusel hinnatakse sobivust töönduslikuks väljapüügiks, s.o koosluse üldkatvuses ja agariku osakaalus koosluses.
- Tööndusliku vetikavaru soovituslikuks väljapüügilimiidiks 2024-2025. aastaks määrati 2000 tonni märgkaalus.

6. KASUTATUD KIRJANDUS

ESRI 2023. ArcGIS Pro. <http://esri.com>

Kassari lahe tööndusliku punavetikavaru uuringud ning kombineeritud metoodika väljatöötamine. 2020. TÜ Eesti merinstituut. Leping nr 4-1/19/47_10.04.2019.

Harvey P (2023) ExifTool by Phil Harvey: Read, write and edit meta information. <https://exiftool.org>

Pebesma EJ (2018) Simple features for R: standardized support for spatial vector data. The R Journal 10(1), 439-446. <https://journal.r-project.org/archive/2018/RJ-2018-009/RJ-2018-009.pdf>

R Core Team (2023) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>

RStudio Team (2023) RStudio: Integrated Development Environment for R. RStudio, PBC, Boston, MA. <https://posit.co/products/open-source/rstudio/>

Saluri, M., Kaldmäe, M., Tuvikene, R. 2019. Extraction and quantification of phycobiliproteins from red alga *Furcellaria lumbricalis*, Algal Research, 37, 115–123.

Wickham H et al (2019) Welcome to the Tidyverse. Journal of Open Source Software 4(43), 1686. <https://joss.theoj.org/papers/10.21105/joss.01686>

LISA 1

Kassari lahe töendusliku punavetikavaru uuringu seirejaamade koordinaadid, sügavused ja põhja iseloom 2023. a.

Jaam	N	E	sügavus	Põhjasete ja kivid (%)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
KA 02	58°39,517'N	22°50,287'E	8,0	peenliiv (30), savi (70)
KA 04	58°41,164'N	22°50,251'E	8,0	peenliiv (90), savi (10)
KA 06	58°42,927'N	22°50,299'E	8,2	savi (9), peenliiv (90), väikesed kivid (1)
KA 08	58°45,338'N	22°51,878'E	6,1	peenliiv (20), savi (49), keskmine liiv (20), suured kivid (5), väikesed kivid (1), kruus (5)
KA 10	58°43,77'N	22°52,024'E	8,2	peenliiv (30), savi (70)
KA 10W	58°43,391'N	22°49,96'E	7,3	savi (60), peenliiv (30), suured kivid (5), kruus (5)
KA 12	58°41,986'N	22°52,049'E	8,0	savi (19), peenliiv (80), suured kivid (1)
KA 12W	58°41,686'N	22°50,296'E	7,9	peenliiv (30), savi (70)
KA 12WW	58°41,642'N	22°48,823'E	8,1	savi (100)
KA 14	58°40,409'N	22°52,048'E	8,1	peenliiv (15), savi (85)
KA 16	58°38,655'N	22°52,112'E	7,6	peenliiv (80), savi (20)
KA 18	58°38,741'N	22°53,854'E	7,7	savi (40), peenliiv (60)
KA 20	58°40,397'N	22°53,77'E	8,0	peenliiv (10), savi (90)
KA 22	58°42,058'N	22°53,678'E	8,0	savi (80), peal peenliiv (20)
KA 24	58°43,764'N	22°53,654'E	8,3	savi (100)
KA 26	58°45,409'N	22°53,554'E	7,3	peen liiv (55), savi (35), keskmine liiv (10)
KA 28	58°44,522'N	22°55,304'E	7,9	savi (80), keskmine liiv (20)
KA 30	58°42,828'N	22°55,253'E	8,2	peenliiv (20), savi (50), suured kivid (5), väikesed kivid (5), jäme liiv (20)
KA 32	58°41,083'N	22°55,316'E	8,1	savi (100)
KA 34	58°39,43'N	22°55,269'E	7,7	savi (70), peenliiv (30)
KA 36	58°37,804'N	22°55,346'E	5,9	peenliiv (90), savi (10)
KA 38	58°38,383'N	22°56,85'E	6,0	peenliiv (80), savi (20)
KA 40	58°40,377'N	22°56,844'E	7,8	peenliiv (40), savi (60)
KA 42	58°41,983'N	22°56,782'E	7,5	peenliiv (30), savi (70)
KA 44	58°43,691'N	22°57,258'E	7,6	peenliiv (20), savi (80)
KA 46	58°45,451'N	22°56,89'E	7,2	peenliiv (70), savi (30)
KA 48	58°46,104'N	22°58,489'E	7,3	savi (50), peenliiv (50)
KA 50	58°44,462'N	22°58,499'E	7,0	peenliiv (60), savi (40)
KA 52	58°43,771'N	22°58,471'E	7,5	savi (70), peenliiv (30)
KA 54	58°41,106'N	22°58,39'E	7,2	peenliiv (90), savi (10)
KA 56	58°39,014'N	22°58,333'E	5,8	peenliiv (80), savi (20)
KA 58	58°39,523'N	22°59,938'E	5,6	peenliiv (80), savi (20)
KA 60	58°41,121'N	22°59,969'E	6,6	peenliiv (100)
KA 62	58°42,762'N	22°59,965'E	6,8	peenliiv (54), väikesed kivid (5), keskmine liiv (20), suured kivid (1), savi (10)
KA 64	58°44,524'N	22°59,975'E	7,0	Peenliiv (79), savi (20), suured kivid (1)
KA 66	58°46,104'N	22°59,958'E	6,8	peenliiv (60), savi (20), väikesed kivid (20)
KA 68	58°45,44'N	23°1,569'E	6,6	peenliiv (90), savi (10)
KA 70	58°43,724'N	23°1,597'E	6,5	peenliiv (19), savi (80), suured kivid (1)
KA 72	58°41,984'N	23°1,596'E	6,0	peenliiv (95), savi (5)
KA 74	58°40,402'N	23°1,571'E	5,8	peenliiv (70), savi (30)
KA 76	58°41,084'N	23°3,103'E	5,5	peenliiv (95), suured kivid (5)
KA 76A	58°39,331'N	23°3,114'E	4,2	peenliiv (90), suured kivid (10)
KA 78	58°42,807'N	23°3,189'E	5,5	peenliiv (100)
KA 80	58°44,53'N	23°3,242'E	6,5	peenliiv (99), kruus (1)

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
KAU 01	58°44,585'N	22°52,782'E	7,7	peenliiv (15), savi (65), kruus (5), suured kivid (5), jäme liiv (10)
KAU 02	58°42,899'N	22°52,836'E	8,2	peenliiv (45), savi (20), keskmine liiv (15), kruus 10, suured kivid (5)
KAU 03	58°41,213'N	22°52,846'E	7,9	peenliiv (10), savi (90)
KAU 04	58°39,596'N	22°52,83'E	7,8	savi (80), peenliiv (19), kruus (1)
KAU 05	58°40,311'N	22°59,082'E	7,2	savi (30), peenliiv (50), jäme liiv (20)
KAU 06	58°42,047'N	22°59,501'E	7,5	peenliiv (10), savi (90)
KAU 07	58°42,931'N	22°58,045'E	6,8	peenliiv (95), savi (5)
KAU 08	58°45,36'N	22°59,249'E	6,6	peenliiv (70), savi (30)
L2005A	58°43,035'N	23°6,005'E	5,4	peenliiv (94), väikesed kivid (1), keskmine liiv (5)
KA 200	58°39,87'N	22°48,759'E	8,0	savi (99), suured kivid (1)

LISA 2

Kassari lahe kinnitumata punavetikakooslust iseloomustavad kvantitatiivsed näitajad 54s
proovijaamas 2023. a.

Jaam	Üldkatvus (%)	Kihi paksus (cm)	Koosluse biomass (g/m ²)	Agariku osakaal (%)	Agariku biomass (g/m ²)	<i>C. truncatus</i> osakaal (%)	Muu osakaal (%)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
KA 02	95	5	867	45,6	395	38,8	15,6
KA 04	100	5	931	41,8	389	37,8	20,4
KA 06	40	6	548	58,9	323	27,3	13,8
KA 08A	40	6	86	4,8	4	7,4	87,8
KA 10	50	5	485	38,8	188	20,0	41,2
KA 10W	50	5	350	56,4	197	0,2	43,5
KA 12	100	6	1087	69,9	759	23,1	7,0
KA 12W	100	6	990	35,5	351	53,6	10,9
KA 12WW	2	2	7	38,3	3	13,8	47,9
KA 14	95	6	1265	55,1	697	37,7	7,2
KA 16	100	5	1346	62,6	842	22,5	14,9
KA 18	95	5	936	53,9	504	37,6	8,5
KA 20	100	6	2234	72,4	1617	18,9	8,8
KA 22	95	5	1429	55,6	795	31,2	13,1
KA 24	40	6	525	43,6	229	39,9	16,5
KA 26	35	3	143	48,1	69	2,3	49,7
KA 28	100	6	1286	27,7	357	60,8	11,4
KA 30	70	5	574	48,4	278	44,8	6,8
KA 32	100	6,5	1959	50,2	982	40,2	9,6
KA 34	100	6	1376	72,8	1002	24,5	2,7
KA 36	100	6	1263	53,9	681	37,7	8,4
KA 38	80	5	698	76,0	531	12,8	11,3
KA 40	100	6	1556	86,7	1348	11,7	1,6
KA 42	100	6	1590	66,4	1055	25,2	8,4
KA 44	80	5	849	68,5	582	15,6	15,9
KA 46	80	6	585	20,5	120	34,0	45,6
KA 48	100	7	2223	77,9	1733	10,8	11,3
KA 50	95	5	796	73,3	584	7,5	19,2
KA 52	100	6	1446	84,8	1226	11,4	3,8
KA 54	100	7	1286	76,0	977	12,4	11,7
KA 56	20	4	91	75,8	69	6,4	17,8
KA 58	15	4	88	59,6	53	10,7	29,7
KA 60	100	6	1220	76,1	929	10,3	13,6
KA 62	70	5	849	78,9	670	10,0	11,0
KA 64	75	5	809	73,9	597	9,1	17,0
KA 66	80	4	515	73,2	377	16,7	10,1
KA 68	60	3,5	409	60,7	248	14,1	25,2
KA 70	5	3	29	68,8	20	7,4	23,7
KA 72	20	4	136	65,9	90	12,7	21,4
KA 74	10	3	24	63,9	15	13,9	22,2
KA 76	50	3	146	52,7	77	12,5	34,8
KA 76A	80	4	177	4,8	8	0,3	94,9
KA 78	65	5	277	60,3	167	10,1	29,6
KA 80	10	3	27	50,3	14	11,9	37,8
KAU 01	30	5	60	10,6	6	1,0	88,4
KAU 02	65	6	733	42,9	314	41,4	15,7

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
KAU 03	100	6	1242	73,2	909	22,8	4,0
KAU 04	100	6	2267	72,8	1651	16,7	10,5
KAU 05	5	5	8	64,3	5	16,7	19,0
KAU 06	100	6	1874	82,3	1543	7,4	10,3
KAU 07	100	7	944	82,4	778	7,8	9,8
KAU 08	10	3	55	75,1	41	8,9	16,0
L2005A	1	2	0	75,3	0	12,0	12,7
KA 200	5	3	15	23,7	4	37,1	39,1

LISA 3

Secchi läbipaistvus, veetemperatuur ja hapniku sisaldus põhjakihis Kassari lahe punavetikakoosluse levikuala erinevates seirejaamades 2023.a.

Jaam	Secchi läbipaistvus (m)	Vee temperatuur (°C)	O ₂ sisaldus põhjakihis (mg/l)
(1)	(2)	(3)	(4)
KA 02	3,6	19,0	9,2
KA 04	3,9	19,0	9,1
KA 06	3,8	19,2	8,0
KA 08A	4,5	19,3	8,1
KA 10	3,0	19,7	8,0
KA 10W	3,8	19,2	7,9
KA 12	3,8	19,1	9,1
KA 12W	4,0	19,0	9,1
KA 12WW	3,1	19,0	9,1
KA 14	3,8	19,2	9,2
KA 16	2,3	19,5	9,2
KA 18	2,3	19,5	9,2
KA 20	3,2	19,2	9,2
KA 22	4,2	19,7	9,3
KA 24	3,0	19,7	7,9
KA 26	3,1	19,5	7,9
KA 28	2,9	19,7	7,9
KA 30	2,6	19,8	8,1
KA 32	2,9	19,5	9,2
KA 34	2,1	19,5	9,2
KA 36	1,9	19,5	9,2
KA 38	2,0	19,5	9,1
KA 40	2,4	19,4	9,1
KA 42	2,7	19,5	9,2
KA 44	2,4	19,7	8,0
KA 46	2,5	19,6	7,9
KA 48	2,7	19,8	7,9
KA 50	2,2	19,7	8,0
KA 52	2,2	19,7	8,0
KA 54	3,3	19,4	9,2
KA 56	1,5	19,5	9,2
KA 58	1,9	19,5	9,2
KA 60	1,9	19,5	9,2
KA 62	2,0	19,7	8,1
KA 64	2,2	19,7	8,0
KA 66	2,5	18,5	8,5
KA 68	2,0	19,6	8,0
KA 70	1,9	19,6	8,1
KA 72	1,7	19,5	9,2
KA 74	1,7	19,4	9,3
KA 76	1,9	19,4	9,3
KA 76A	1,6	19,4	8,5
KA 78	1,6	19,5	8,1
KA 80	1,8	19,5	8,1
KAU 01	2,9	19,7	8,0
KAU 02	2,1	19,8	8,0

(1)	(2)	(3)	(4)
KAU 03	4	19,3	9,3
KAU 04	3,1	19,2	9,1
KAU 05	2,2	19,6	7,9
KAU 06	2,1	19,7	8,0
KAU 07	2,5	19,6	9,2
KAU 08	1,8	19,5	9,3
L2005A	1,7	19,2	8,1
KA 200	3,3	19,1	9,1