



# Tallinna Tehnikaülikool

**Tellija: Keskkonnaministeerium**

## **Merre lubatava maksimaalse reostuskoormuse arvutus jõgede ja merealade kaupa**

**Aruanne**

Ekspertgrupp: Urmas Lips, Stella-Theresa Stoicescu, Germo Väli

Projekti referentsid: KÄSUNDUSLEPING nr 4-1/22/53

Versioon: 28.02.2023

## Sisukord

1. Sissejuhatus.....	3
2. Meetodid.....	5
2.1. Töös kasutatud koormuste hindamise ja analüüsi meetoodika .....	5
2.2. Numbriline mudel .....	8
2.2.1. Mudeli seadistus .....	10
2.2.2. Alternatiivide kirjeldus .....	11
3. Tulemused.....	14
3.1. Koormusallikad, sh vooluveekogud .....	14
3.2. Koormuste ajaline muutus.....	18
3.3. Mudeltulemused.....	26
3.3.1. Horisontaalse võrgusammu valik .....	27
3.3.2. Füüsilised tingimused .....	28
3.3.3. Bioloogilised tingimused .....	29
3.3.4. Alternatiivide võrdlus.....	30
4. Arutelu ja kokkuvõte .....	39
Viited .....	45
Lisa 1. ....	47

## 1. Sissejuhatus

Siiani läbi viidud Eesti rannikumere ökoloogilise seisundi ja Eesti merealasse jääva avamere osade keskkonnaseisundi hindamised on näidanud, et Eesti mereala seisund on eutrofeerumise valdkonnas kesine (Keskkonnaministeerium, 2022) või mitte-hea (Keskkonnaministeerium, 2019). Samuti on Eestist lähtuvad lämmastiku ja fosfori koormused Läänemerele ja selle alambasseinidele suuremad, kui on kokku lepitud Läänemere tegevuskava raames (HELCOM, 2022a). Teisest küljest on olemas järjest suurem huvi rajada Eesti rannikumerre kalakasvatust, mis potentsiaalselt suurendaksid toitainete koormust veelgi. Kalakasvatuse arendamiseks Eesti merealal puuduvad kvantitatiivsed hinnangud, mis näitaksid kui suurt toitainete koormust konkreetset merealad (kuhu kalakasvatust kavandatakse) taluvad.

HELCOM ACTION projekti raames teostatud analüüs näitas, et HELCOM toitainete koormuse lagede saavutamiseks peaksid Eesti jõgedes, mis suubuvad Läänemerele, olema toitainete kontsentratsioonid madalamad, kui Eestis kehtestatud hea/kesise ökoloogilise seisundi piirile vastavad kontsentratsioonid (HELCOM ACTION, 2021a). Samas puuduvad praegusel ajahetkel Eestis piisava usaldusväärsusega arvutused ja põhjendused, et Läänemere tegevuskava eesmärkide ümbervaatumist kiirendada. Samuti tulenevalt täpsete andmete puudumisest ei ole siseriiklikult selge, kui palju meie erinevad merealad tegelikult maismaalt ja muudest allikatest pärit toitainete koormusi taluda suudavad. Senised keskkonnamõjude hinnangud kalakasvatuste rajamiseks on olnud objektipõhised, võttes arvesse peamiselt ühe kavandatava kalakasvatuse toitainete koormust. Ühe objekti mõju hinnates ei ole võimalik hinnata vajalikul tasemel, kas ja kuidas see objekt mõjutab hea keskkonnaseisundi või rannikuveekogumi hea ökoloogilise seisundi saavutamist. Vahe- ja lokaalne mõju on üldjuhul vähene. Kuid mitme kalakasvatuse summaarne mõju võib olla oma kogu reostuskoormuse poolest määrav, et mitte võimaldada saavutada meres head vee seisundit.

Käesoleva teadus-arendustöö eesmärgiks oli määrata maksimaalsed lubatud toitainete koormused valitud rannikuveekogumites (eelkõige nendes, kuhu on kavandatud kalakasvatused, sh Soela väina veekogum ja selle osana Tagalaht), mis ei muudaks mere keskkonnaseisundit halvemaks; eristada jõgede koormuse ja teistest Läänemere alambasseinidest pärineva toitainete voo mõju rannikumererele; analüüsida konkreetseid koormuse vähendamise meetmeid, keskendudes eeskätt koormuse vähendamisele maismaalt; hinnata kavandatavate kalakasvatuste summaarset mõju ja analüüsida, kas kalakasvatustest lähtuv potentsiaalne koormus muudaks mere keskkonnaseisundi hinnangut eutrofeerumise kontekstis (toitainete puhul); töötada välja meetodika Eesti merealade maksimaalse lubatava reostuskoormuse hindamiseks, sh koostada meetodika, mis kirjeldab merealade taluvust arvestades kõiki erinevaid toitainete allikaid; läbi viia põhjendatud arvutused koos maksimaalse lubatud koormuse hindamisega Soela väina rannikuveekogumi kohta, kus koormus on allikatest lähtuvalt (jõed, otselaskmed, seireta alad, koormus inimtegevusest veekogumi piires, veekogumi naaberbasseinidest lähtuvad vood) eristatud.

Nimetatud eesmärkide täitmiseks analüüsiti siiani kasutatud meetodikaid ja tehti ettepanekud nende täiendamiseks, et teha jõgede/vooluveekogude kohta suurema usaldusväärsusega arvutused, sh seiramata alade ja merevalgalade koormuste arvutamine ning arvutusmeetodika koostamine (sealjuures kaasates vajadusel mudelit EstModel) ja testimine Soela väina veekogumi näitel. On viidud läbi analüüs ja prognoos koormuste kohta, tehtud ettepanekud mereala taluvuspiiride määratlemiseks ning hinnatud vajadust jõgede ja mereala normide ajakohastamiseks Soela väina veekogumi ja naaberbasseinide kohta. Nimetatud meetodika avalikustamiseks on plaanis korraldada avalikud arutelud. On hinnatud kogureostuskoormust kalakasvatuste kohta, mille rajamiseks on esitatud hoonustusloataotlused (eelkõige

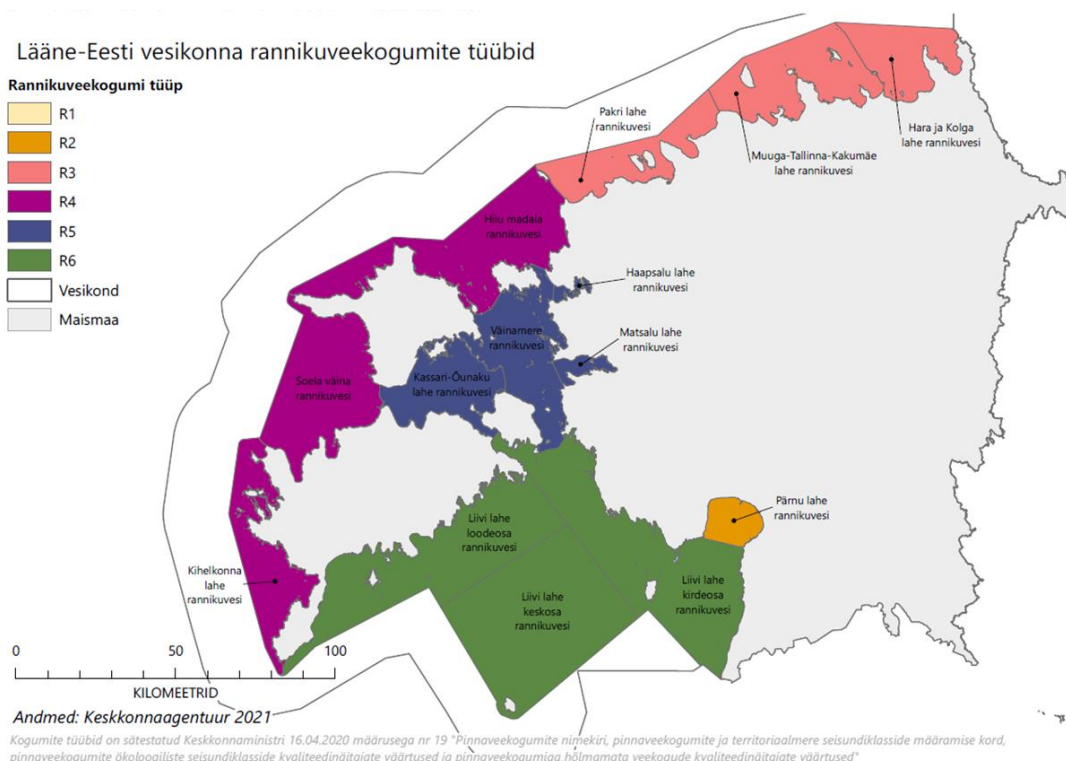
Soela väina veekogum, sh Tagalaht) ja kalakasvatustest tulenevat maksimaalset lubatud toitainete koormust, st kumulatiivse mõju, mille puhul veekogumi seisund ei halvene (toitainete kontsentratsioonide ja klorofüllisalduse mõttes). Kalakasvatustest lähtuva koormuse ja sellel mõju on võrreldud avamerelt pärineva toitainete vooga ja selle mõjuga.

## 2. Meetodid

Toitainete allikate ja koormuste analüüsiks on käesolevas töös kasutatud veemajanduskavade 2022-2027 koostamise raames kogutud andmeid (<https://envir.ee/veemajanduskavad-2022-2027>), Eesti looduse infosüsteemis (EELIS) kajastatud keskkonnaandmeid (<https://eelis.ee/>), keskkonnaportaali infot (<https://register.keskkonnaportaal.ee/register>), keskkonnalubade registri andmeid infosüsteemis KOTKAS ([https://kotkas.envir.ee/permits/public\\_index](https://kotkas.envir.ee/permits/public_index)), EstModel'i abil arvatud vooluhulkade ja koormuste andmeid vooluveekogudes (<https://estmodel.app/en/#/estimates>), jõgede hüdrokeemilise seire andmeid keskkonnaseire infosüsteemist KESE (<https://kese.envir.ee/kese>) ning HELCOM PLC raames Eestist ja teistest riikidest esitatud andmeid ([https://nest.su.se/helcom\\_plc/](https://nest.su.se/helcom_plc/)). Toitainete koormuse mõju merekeskkonna seisundile erinevate stsenaariumite põhjal on hinnatud kasutades kogu Läänemere ja spetsiaalselt peamisele uuringute piirkonnale rakendatud numbrilisi mudeleid GETM ja ERGOM (vt ptk 2.2).

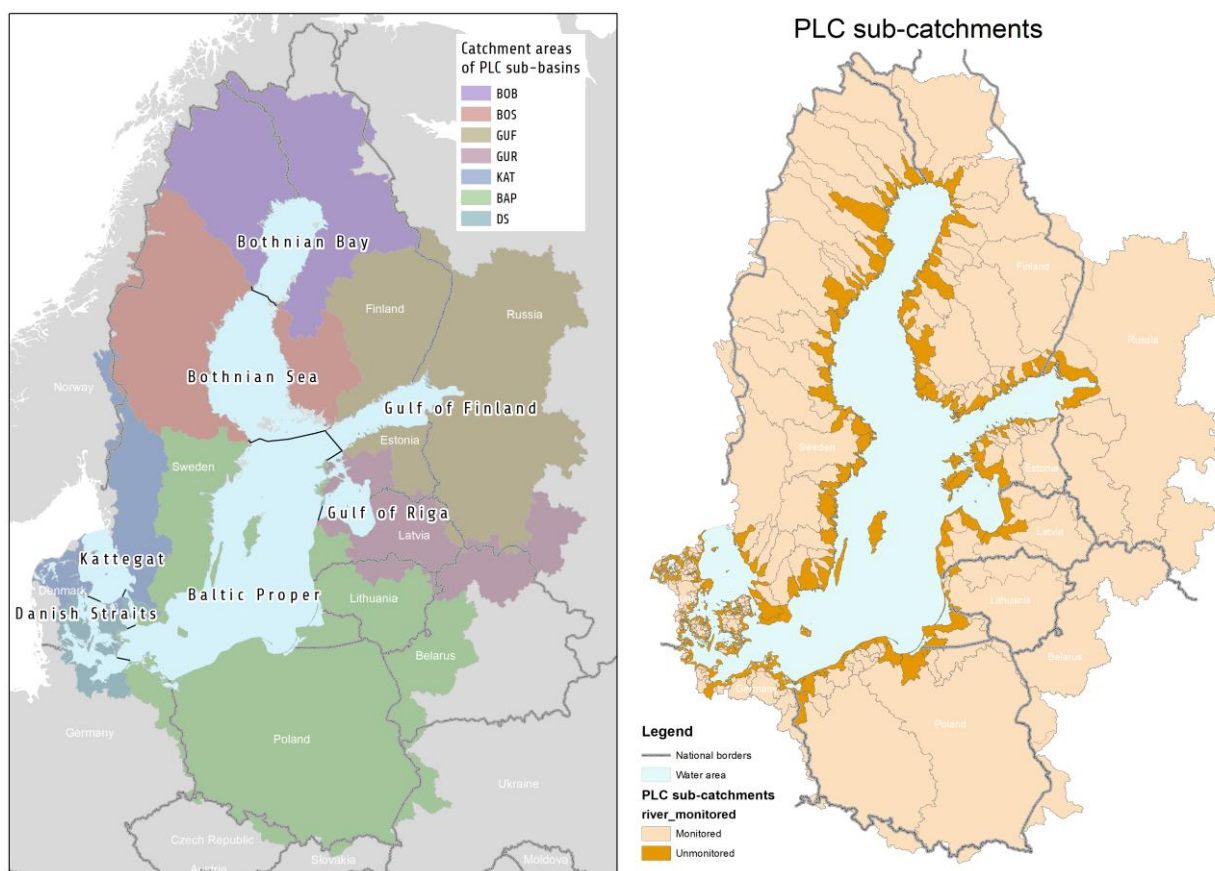
### 2.1. Töös kasutatud koormuste hindamise ja analüüsi meetodika

EstModel'i abil võib leida kõikide mudelis kirjeldatud vooluveekogude vooluhulkade ja toitainete koormuste hinnangud. Käesolevas analüüsis oleme keskendunud peamiselt Soela väina veekogumile (joonis 2.1). Kogukoormusi on analüüsitud Läänemere avaosa (liites kokku koormused Kihelkonna lahe, Soela väina ja Hiiu madala rannikuvete ulatuses), Lääne-Eesti vesikonna ja kogu Eesti ulatuses.



Joonis 2.1. Eesti rannikuveekogumid ja nende tüübid Lääne-Eesti vesikonnas (Keskkonnaministeerium, 2022. Lääne-Eesti vesikonna veemajanduskava 2022-2027, Lisa 4).

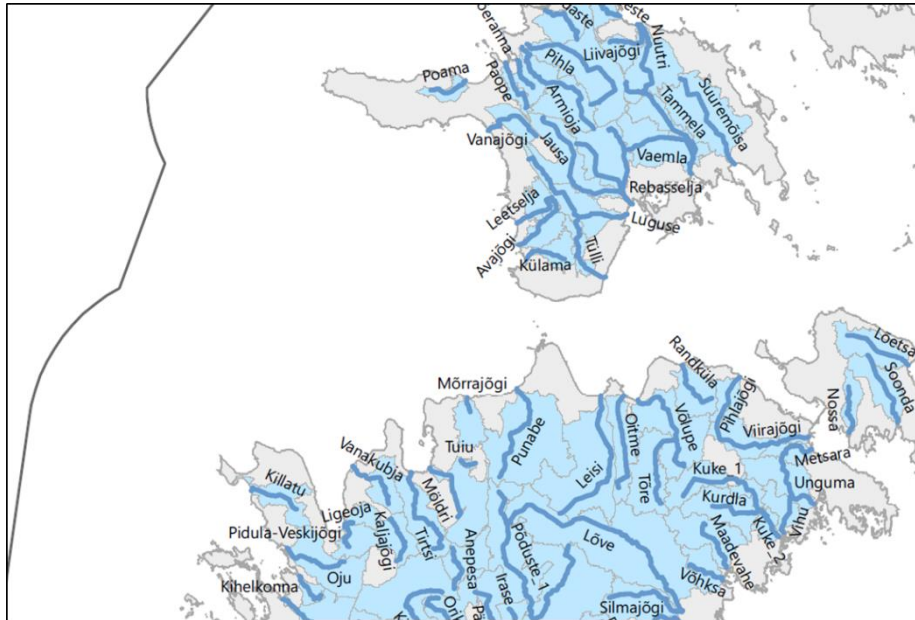
Hüdroloogilise seire jaamades on vooluhulgad arvatud mõõtmisandmete põhjal, ülejäänud vooluveekogudes analoogia põhjal arvestades sama alamvesikonna seireandmeid või nende puudumisel kogu vesikonna seireandmeid. Toitainete koormused on hinnatud mõõtmiste põhjal hüdrokeemilise seire jaamades ja analoogia põhjal seiratud jõgede suudmetes ja muudel seiramata aladel. Eesti rannikuveekogumite piirid ja HELCOM PLC alambasseinide piirid kogu ulatuses ei kattu (joonis 2.2). Näiteks on PLC hinnangutes Hiiumaa kirdeosa, kogu Vormsi saar ja Läänemaa loodeosast suur ala Liivi lahe koormuste hulgas. Seiramata alade proportsioon on Lääne-Eesti vesikonnas suhteliselt suur (joonis 2.2). Hiiumaa ja Saaremaa on kogu ulatuses seiramata alad sarnaselt teistele Läänemere saartele (Gotland, Öland jt). Erinevus on selles, et näiteks Rootsist tulebki Läänemere avaosale tunduvalt suurem osa koormuselt Rootsi mandriosast, kuid Eestis on kogu Läänemere avaosas koormus hinnatud seiramata aladelt.



Joonis 2.2. Läänemere alambasseinid ja nende valgalad (vasakpoolne kaart) ning koormuste hindamiseks seiratud ja seiramata piirkonnad (parempoolne kaart; HELCOM, 2022b).

Toitainete koormusi Soela väina veekogumile on hinnatud kõikide EstModel'i süsteemiga seotud vooluveekogude jaoks ja seiramata ala jaoks. Detailsemalt on analüüsitud survet ja koormusi järgmiste vooluveekogude jaoks: Avajõgi, Külama, Leetselja, Ligeoja, Mörrajõgi, Möldri (Küdema laht), Pidula-Veskijõgi, Punabe, Tirtsu, Vanajõgi ja Vanakubja (joonis 2.3). Nendest neli asuvad Hiiumaal ja seitse

Saaremaal. Hiiumaa neljast vooluveekogust on ainult üks looduslik, teised on kas tugevasti muudetud või tehiseveekogud. Saaremaa analüüsitud vooluveekogudest on kõik looduslikud veekogud.



Joonis 2.3. Vooluveekogud ja nende valgald Hiiumaal ja Saaremaal (Keskkonnaministeerium, 2022; Lisa 4).

Heitveelaskmete info on kogutud Keskkonnaportaalist. Otse Soela väina veekogumisse suubuvad heitveelaskmeid on kaks – Tohvri (Sihtasutus Hiiu Maakonna Hooldekeskus Tohvri) ja Veere kalatööstus (Veere Vesi MTÜ). Sõru sadeveepuhasti vesi suubub Kassari-Õunaku lahe veekogumisse (Soela väina lähedal). Soela väina veekogumisse suubuvate vooluveekogude valgaldal paikneb Keskkonnaportaali andmetel kolm heitvee väljalasku – Mustjala reoveepuhasti väljalask, mille suublaks on Mustjala kraav (asub Tirtsu jõe valgaldal), Kuumiraba settetiigi väljalask, mis suubub Lussu kraavi (Möldri jõe valgaldal) ja Pähklisalu septik, mille suublaks on Kitsa kraav (mis suubub merre – Haldi ja Külaküla ranna meri, mis on Soela väina veekogumi osaks).

Olemasolevate ja kavandatud kalakasvatuste jaoks on toitainete koormused leitud keskkonnalubadest ja hoonestusloa taotlustest. Maksimaalsed lubatud/taotletud koormused on toodud tabelis 2.1. Ühe eksisteeriva (Redstorm OÜ), ühe väljastatud keskkonnaloaga (Aquafarms OÜ) ja KMH protsessis oleva kalakasvatuse (Saaremere Kala AS; Tagalahe kalakasvatuse) koormused on maksimaalselt 172 870 kg lämmastikku ja 10 580 kg fosforit. Lisades kaks hoonestusloa taotluse järgus olevat kalakasvatust (KMH programmid on tunnustatud nõuetele vastavaks detsembris 2022), millest üks jääb Soela väina veekogumi piiridesse ja teine vahetusse lähedusse, oleksid maksimaalseteks lubatud koormusteks 351 970 kg lämmastikku ja 22 080 kg fosforit aastas (Tabel 2.1).

Tabel 2.1. Olemasolevate ja Soela veekogumisse või selle vahetusse lähedusse kavandatavate kalakasvatuste koormused ja hinnanguline toodang.

Nimi	Staatus	N koormus (kg aastas)	P koormus (kg aastas)	Toodang (tonni aastas)
Õsel Aquafarms OÜ (Kesknõmme)	Keskkonnaluba väljastatud	89600	4600	4500
Redstorm OÜ	Keskkonnaluba väljastatud	4500	400	180
Saaremere Kala AS (Tagalaha suue)	KMH aruanne valminud	78770	5580	2180
Saaremere Kala AS (Hiiu mereala PV4)	Hoonestusloa taotlus esitatud, KMH programm nõuetele vastavaks tunnistatud	87800	5000	2180
Õsel Harvest OÜ (Hiiu mereala PV3)	Hoonestusloa taotlus esitatud, KMH programm nõuetele vastavaks tunnistatud	91300	6500	2500
Kokku		351970	22080	11 540

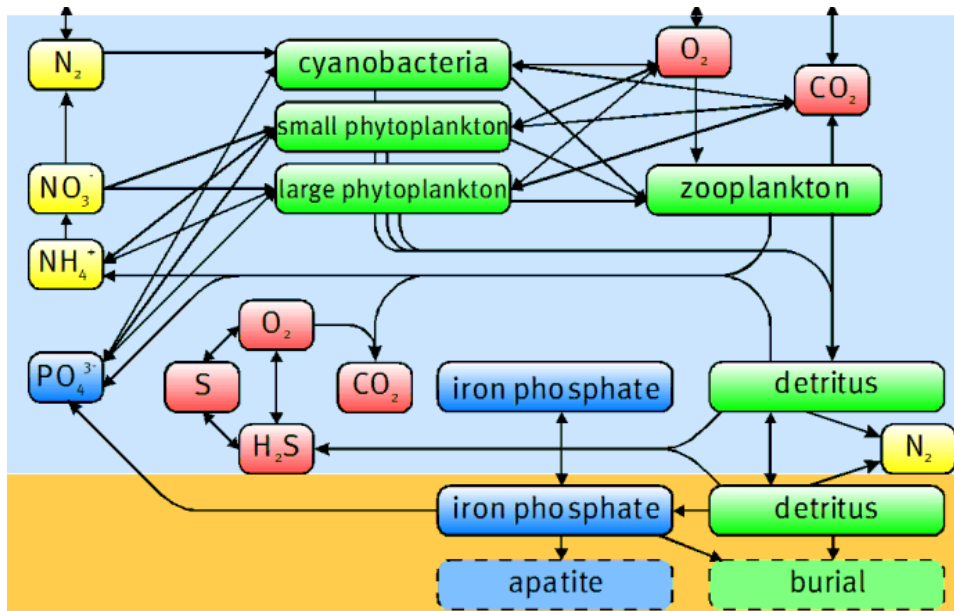
## 2.2. Numbriline mudel

Kalakasvatustest tuleneva kumulatiivse mõju hindamiseks ning kalakasvatustest lähtuva koormuse ja selle mõju võrdlemiseks avamerelt pärineva toitainete vooga ja selle mõjuga on käesolevas töös Läänemere ning Eesti rannikumere hüdrodünaamika modelleerimiseks kasutatud kolmemõõtmelist lihtsustamata võrranditel põhinevat numbrilist mudelit GETM (*General Estuarine Transport Model*; Burchard ja Bolding, 2002). GETM võimaldab arvutada hoovuste ja temperatuuri ning soolsuse välja muutusi kasutades vertikaalselt fikseeritud arvu kihtisid, kusjuures kihtide paksused on adaptiivsed sõltudes muu hulgas stratifikatsiooni või kiirusvälja vertikaalsest jaotusest (Hofmeister et al., 2008; Klingbeil et al., 2018).

Horizontaalse segunemise arvutamiseks kasutatakse mudelis Smagorinsky (1963) parametriseringut ning vertikaalse segunemise arvutamiseks GOTM (General Ocean Turbulence Model; Umlauf ja Burchard, 2005) mudelit. Täpsemalt on kasutusel kahel võrrandil põhinev k-epsilon mudel (Canuto et al., 2001).

Biogeokeemia modelleerimiseks on kasutusel ERGOM (Ecological Regional Ocean Model; Neumann et al., 2002) mudel. ERGOM on lämmastikuringel põhinev ökoloogia mudel, milles on anorgaanilised toitained (NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>, PO<sub>4</sub>) ning nende tarbijatena 3 erinevat klassi fütoplanktionit. Fütoplanktoni tarbijana on mudelis zooplankton ning surnud orgaanilise aine trasserina detriit, mis laguneb uuesti anorgaanilisteks toitaineteks Redfieldi suhte järgi. Hapnikutingimuste jälgimiseks on mudelis nii hapnik kui ka vesiniksulfaat H<sub>2</sub>S, mis tekib anoksilistes tingimustes. Kokkuvõtvalt on mudelis kasutusel rida biogeokeemilisi trassereid, millele mõjuvad erinevad hüdrodünaamilised protsessid (advektsioon, segunemine). ERGOM mudel on seotud GETM mudeliga läbi FABM (*Framework for Aquatic Biogeochemical Models*; Brüggeman ja Bolding, 2014) liidese. ERGOM mudeli skeem on toodud joonisel 2.4.





Joonis 2.4. ERGOM mudeli skeem.

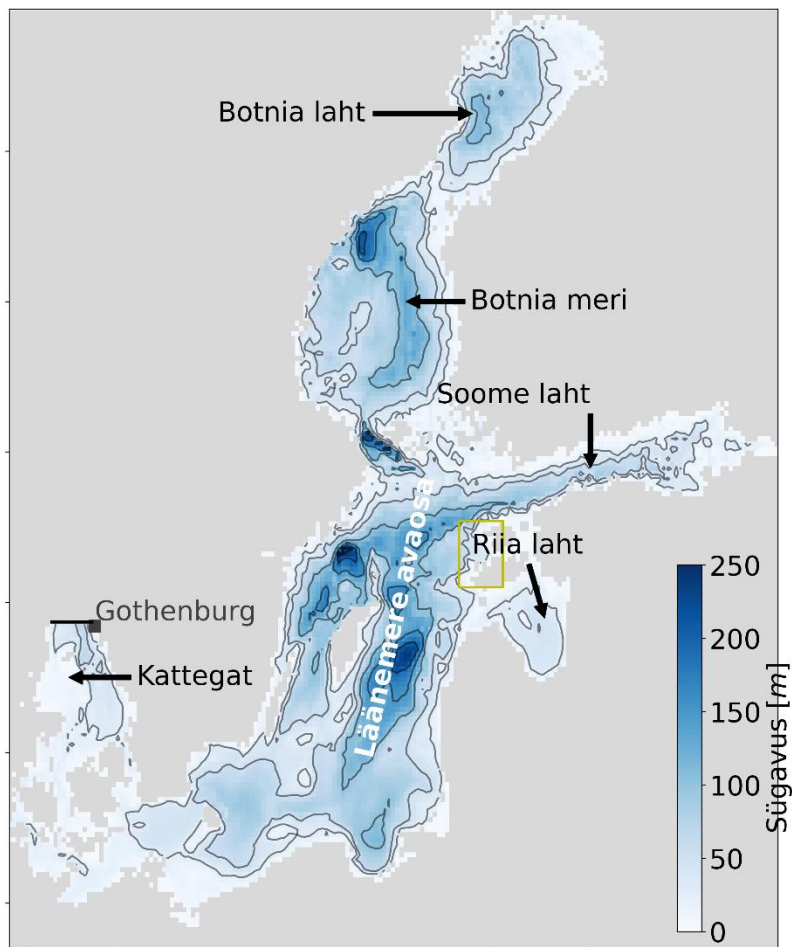
ERGOM mudeli lämmastikuringest on puudu lahustunud orgaanilise lämmastiku ja fosfori osa, st osa kogulämmastiku ja –fosfori ringest ei ole mudeliga kaetud. Seetõttu on vajalik modelleeritud üldainete kontsentratsioonid kalibreerida mõõtmistega. Käesolevas töös kasutasime ICES andmebaasist kogulämmastiku ja kogufosfori mõõtmisi ülemisest 10m veesambast perioodi 2010-2018 jaoks ning leidsime mõõdetud ja modelleeritud väärtuste vahe kasutades kogu Läänemere mudeli tulemusi hetkeolukorra jaoks. Uuritava piirkonna üldainete kontsentratsioonidele hetkväärtustele liideti perioodi 2010-2018 keskmine erinevus vaadeldavas kuus (näiteks jaanuar, veebruar jne).

Kalakasvatustest lähtuva koormuse suhtes on kasutatud lähendit, et 55% koormusest on kohe kättesaadav ja 45% koormusest on tahkel kujul, mis settib kasvanduse lähedal mere põhja ja mis võib osaliselt sattuda aineringsse teatud viibega, nagu ka muu orgaaniline tahke aine (näiteks mudelis olev detriit).

### 2.2.1. Mudeli seadistus

Käesolevas töös kasutame seotud võrkude lahendust modelleerimaks Läänemere üldist biogeokeemilist seisundit ning Soela väina veekogumi seisundit täpsemalt.

Läänemere üldise biogeokeemilise seisundi modelleerimiseks kasutatakse horisontaalset võrgusammu 1 meremiil (1852 m) terve Läänemere ulatuses (joonis 2.5). Mudelis on avatud rada Kattegatis, mille kaudu arvutatakse barotroopne veevahetus Põhjameri ja Läänemere vahel kasutades veetaseme andmeid Göteborg Torshamnen jaamast. Temperatuuri ja soolsuse rajatingimustena on kasutusel klimatoloogilised profiilid piki transekti (Janssen et al., 1999).

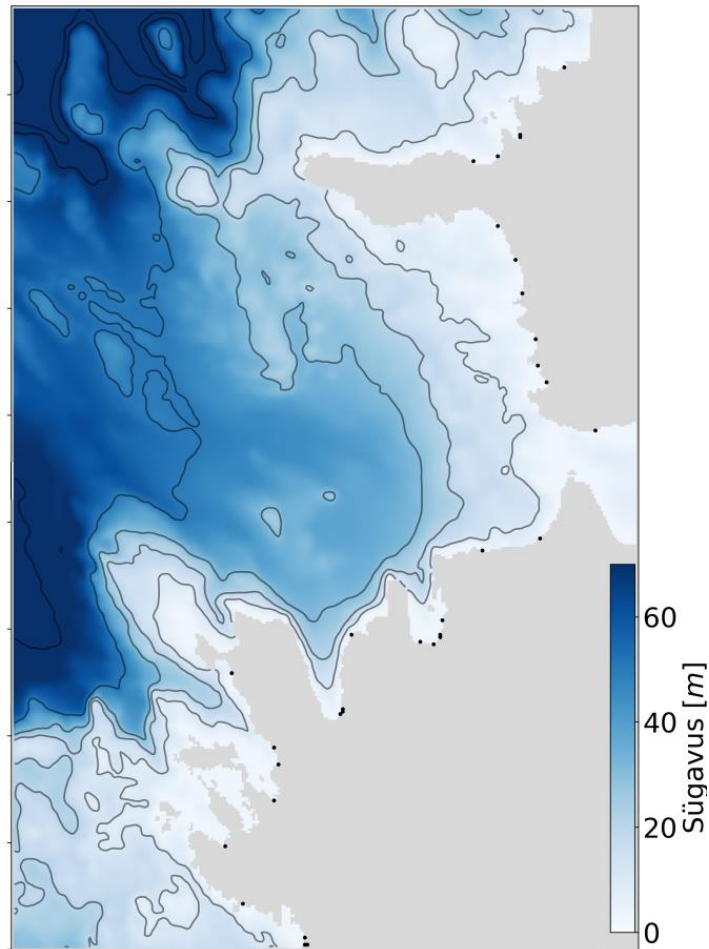


Joonis 2.5. Läänemere arvutusvõrk. Avatud radade asukoht on näidatud musta joonega ning kollase joonega on näidatud Soela väina veekogumi arvutuspiirkond.

Läänemere jõgede vooluhulkadena on kasutusel Rootsi Meteoroloogia ja Hüdroloogia instituudi reanalüüsi (1979-2011) ja ennustuse (2012-2018) andmete põhjal koostatud andmestik (Väli et al., 2019). Andmed on pikendatud klimatoloogiliste ridadega kuni aastani 2020. Arvestades, et töö lõppeesmärk on hinnata toitainete mõju Soela väina veekogumis, siis kõik Eesti jõed on eelpool kirjeldatud andmestikus

asendatud EstModel'i (<https://estmodel.app/en/#/estimates>) abil hinnatud andmetega, kus vooluhulgad ja koormused on seotud konkreetsete jõgede asukohtades.

Soela väina veekogumi modelleerimiseks kasutatakse horisontaalset lahutust 250 m piiratud ala ulatuses (joonis 2.6). Rajatingimused võetakse eelpool kirjeldatud madala lahutusega mudelarvutustes.



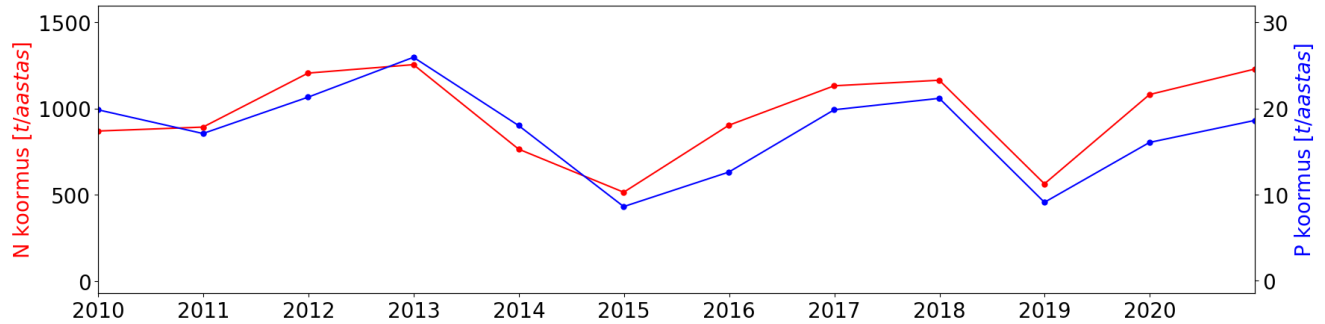
Joonis 2.6. Soela väina rannikeveekogumi arvutuspiirkond. Mustade punktidega on näidatud EstModel'i hinnangutes kasutatud jõgede suubumiskohad.

### 2.2.2. Alternatiivide kirjeldus

Käesolevas töös modelleeritakse kalakasvatuste võimalikku mõju Soela väina veekogumile tuvastamaks lubatav maksimaalne toitainete koormus. Alternatiiv 0 on hetkeolukorra modelleerimine, st koormustena kasutatakse HELCOM PLC raames raporteeritud toitainete koormusi riikide ja alambasseinide kaupa. Modelleerimisel kasutatud toitainete koormused on toodud Lisas 1.

Uuritava piirkonna jõgede andmed on saadud EstModel'i abil. EstModel võimaldab pikaajaliselt hinnata vooluhulkasid ning toitainete koormusi päevase lahutusega kõigi Eesti rannikeveekogumite jaoks. Joonisel

2.7 on toodud Soela väina arvutuspiirkonda jäävate jõgede kogulämmastiku ja kogufosfori aastased koormused. Keskmine kogulämmastiku koormus perioodi 2010-2020 jaoks on peaaegu 1000 tonni lämmastiku aastas ning kogufosfori koormus 20 tonni aastas.



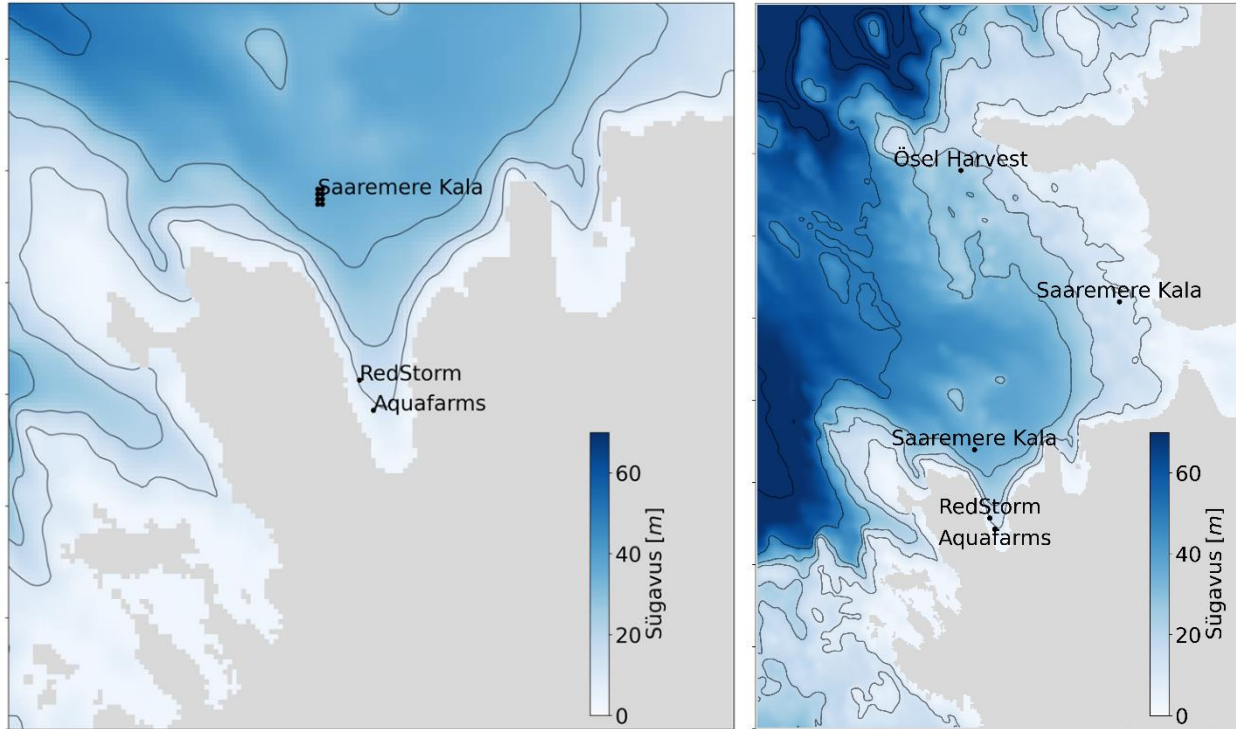
Joonis 2.7. Uuritava piirkonna (Soela väina) kogulämmastiku ja kogufosfori aastased koormused perioodil 2010-2020 (hinnatud EstModel'i abil).

Alternatiiv 1 stsenaarium vastab Läänemere hea keskkonnaseisundi saavutamisele toitainete mõistes. Selleks on toitainete kontsentratsioonid mere algväljades vähendatud 1,43 korda nitraatide jaoks ja 1,84 korda fosfaatide jaoks. Kasutatud väärtused on leitud võrreldes toitainete kontsentratsioone avamere basseinides vastavate heale keskkonnaseisundile vastavate kontsentratsioonidega. Koormused on viidud vastavusse HELCOM Läänemere tegevuskava eesmärkidele vastavate toitainete koormustega. Ülejäänud biogeokeemia mudeli parameetrid jäid muutmata.

Alternatiiv 2 vastab stsenaariumile A1, millele on lisatud uuritavasse piirkonda Saaremaa ranniku lähedale jäävad kalakasvatused – juba eksisteerivad, lõastatud või mille keskkonnamõju hindamine on algatatud – koos nende hinnanguliste toitainete koormustega.

Täiendavalt on tagasiside alusel lisatud Alternatiiv 3, mis vastab Alternatiivile 2, kuid mille koormusele on lisatud hoonestusloa taotluse järgus olevad kaks kalakasvatust, millest üks jääb Soela väina veekogumisse ja teine on selle vahetus läheduses (vt Tabel 2.1).

Kalakasvatuste/koormusallikate paiknemine alternatiivides 2 ja 3 on toodud joonisel 2.8.

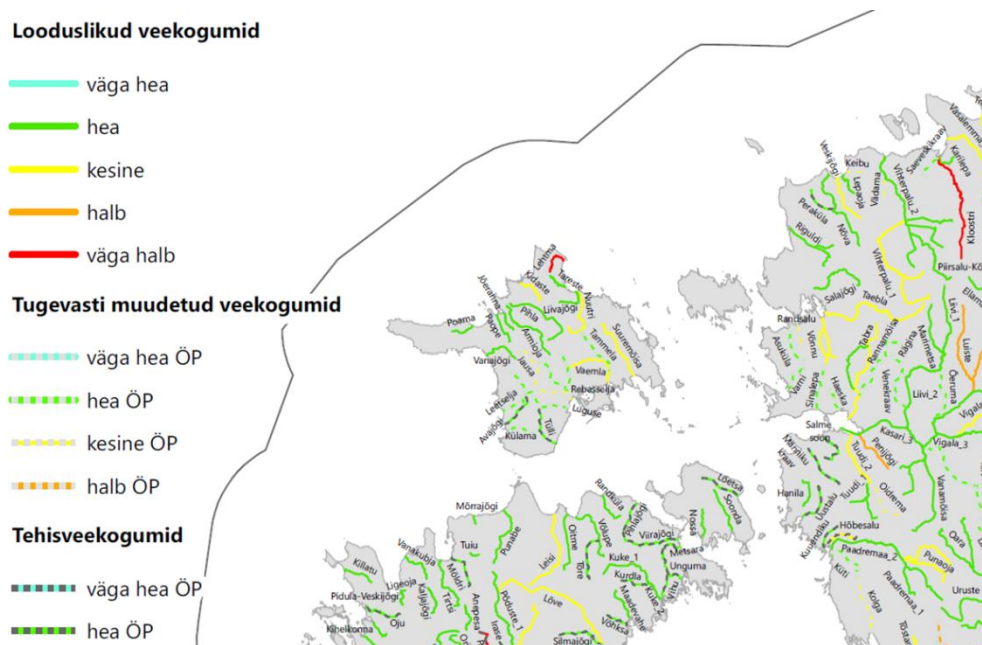


Joonis 2.8. Soela väina rannikuveekogumisse ja selle vahetusse lähetusse kavandatud kalakasvatuste asukohad. Alternatiivile 2 vastavad kalakasvatused on toodud vasakpoolsel paneelil ja Alternatiivile 3 vastavad kalakasvatused parempoolsel paneelil.

### 3. Tulemused

#### 3.1. Koormusallikad, sh vooluveekogud

Kõik vooluveekogud, mis suubuvad Soela väina veekogumisse on kas heas ökoloogilises seisundis või hea ökoloogilise potentsiaaliga (tehisveekogud või tugevasti muudetud veekogud; joonis 3.1). Analüüsitud 11 vooluveekogu peamiseks koormuseks on mineraal- ja orgaanilise väetise kasutus põllumajanduses. Tabelis 3.1 on toodud iga vooluveekogu kohta selle osavalgala põllumaale mineraalväetistega ja orgaanilise väetisega laotatud üldlämmastiku kogus osavalgala hektari kohta. Lisaks on inimtegevusest tuleneva toitainete koormuse põhjusteks loomapidamine, lageraiete mõju, kõvakattega teed ja nende kasutamine, maaparandusega kaetud põllumajandusmaa ja reoveekogumisaladega ühendamata elanikkond.



Joonis 3.1. Vooluveekogumite ökoloogiline seisund (või ökoloogiline potentsiaal) Hiiumaal ja Saaremaal, sh vooluveekogudel, mis suubuvad Soela väina veekogumisse (Keskkonnaministeerium, 2022; Lisa 4).

Tabelis 3.1 on toodud väetiste kasutamise andmed valitud üheteistkümne vooluveekogu valgalal. Suurima üldlämmastiku koormusega on Avajõe valgalal 7,67 kg/ha ja 16,57 kg/ha, vastavalt mineraalväetiste ja orgaanilise väetise kasutamise läbi. Vanajõe valgalal väetisi ei kasutatud. Erinevate inimtegevustega kokku hinnatud suurimad üldlämmastiku koormused on saadud Punabe jõe valgalal Saaremaal (7,07 t/a) ja Avajõe valgalal Hiiumaal (5,33 t/a) (tabel 3.2).

Tabel 3.1. Soela väina veekogumisse suubuvate vooluveekogude valgaladel väetistega laotatud üldlämmastiku kogused osavalgala ühe hektari kohta 2017. a andmetel (Keskkonnaministeerium, 2022; Lisa 1 Olulised koormused).

Nimi	mineraalväetise kasutus (kg/ha)	orgaanilise väetise kasutus (kg/ha)
Avajõgi	7,67	16,57
Külama	0,38	0,83
Leetselja	2,78	6,00
Ligeoja	1,19	2,23
Mõrrajõgi	0,19	0,36
Möldri (Küdema laht)	0,30	0,57
Pidula-Veskijõgi	0,18	0,33
Punabe	1,31	2,46
Tirtsu	0,98	1,84
Vanajõgi	-	-
Vanakubja	0,85	1,60

Soela väina veekogumi ülejäänud valgalalt (mis ei ole tabelis 3.1 toodud vooluveekogude valgala) on mineraalväetistega ja orgaanilise väetisega laotatud üldlämmastiku kogus osavalgala hektari kohta vastavalt 0,45 kg/ha ja 0,84 kg/ha (Keskkonnaministeerium, 2022; Lisa 1).

Tabel 3.2. Inimtegevusest tingitud lämmastikukoormus 2017. a andmetel (Keskkonnaministeerium, 2022; Lisa 1 Olulised koormused) analüüsitud 11 vooluveekogu osavalgalal, mis suubuvad Soela väina veekogumisse.

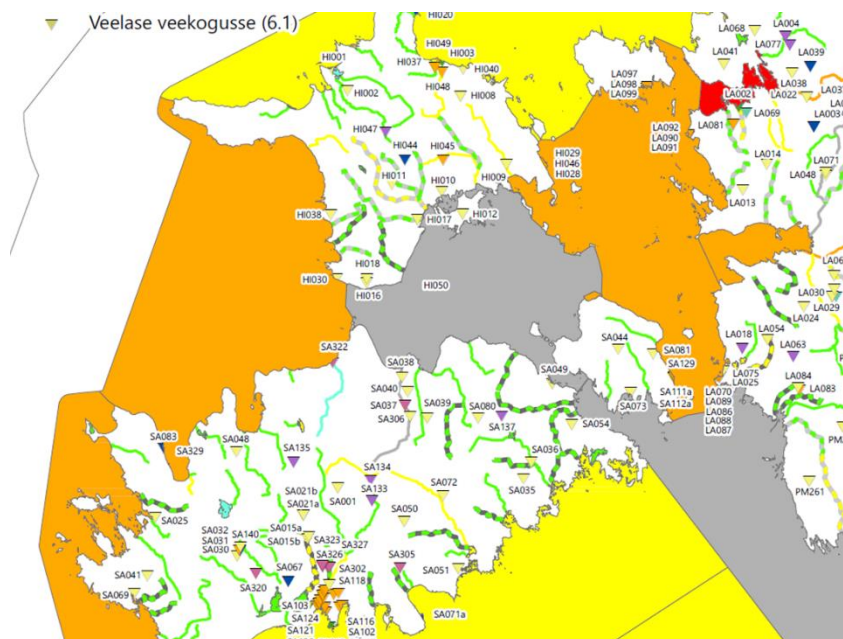
Nimi	Koormuse selgitus	Lämmastikukoormus 2017. a (t/a)
Avajõgi	teedelt ja tänavatelt äravoolavast sademeveest	0,03
	põllumajandustegevuse tõttu pinnaveele avalduv koormus mitmesuguste ainete vette leostumise tõttu haritavalt maalt	5,11
	metsamajandusega seotud koormus	0,18
	ühiskanalisisatsiooniga ühendamata inimesed	0,01
	<b>Kokku</b>	<b>5,33</b>
Külama	teedelt ja tänavatelt äravoolavast sademeveest	0,04
	põllumajandustegevuse tõttu pinnaveele avalduv koormus mitmesuguste ainete vette leostumise tõttu haritavalt maalt	0,30
	metsamajandusega seotud koormus	0,24
	ühiskanalisisatsiooniga ühendamata inimesed	0,02
	<b>Kokku</b>	<b>0,60</b>

<b>Leetselja</b>	teedelt ja tänavatelt äravoolavast sademeveest	0,02
	põllumajandustegevuse tõttu pinnaveele avalduv koormus mitmesuguste ainete vette leostumise tõttu haritavalt maalt	1,33
	metsamajandusega seotud koormus	0,48
	ühiskanalisisatsiooniga ühendamata inimesed	0,02
	<b>Kokku</b>	<b>1,85</b>
<b>Ligeoja</b>	teedelt ja tänavatelt äravoolavast sademeveest	0,01
	põllumajandustegevuse tõttu pinnaveele avalduv koormus mitmesuguste ainete vette leostumise tõttu haritavalt maalt	0,45
	metsamajandusega seotud koormus	0,12
	<b>Kokku</b>	<b>0,58</b>
<b>Mõrrajõgi</b>	teedelt ja tänavatelt äravoolavast sademeveest	0,02
	põllumajandustegevuse tõttu pinnaveele avalduv koormus mitmesuguste ainete vette leostumise tõttu haritavalt maalt	0,09
	metsamajandusega seotud koormus	0,39
	<b>Kokku</b>	<b>0,50</b>
<b>Möldri (Küdema laht)</b>	kaevanduse või karjääriga seotud heitveelask	1,16
	teedelt ja tänavatelt äravoolavast sademeveest	0,02
	põllumajandustegevuse tõttu pinnaveele avalduv koormus mitmesuguste ainete vette leostumise tõttu haritavalt maalt	0,46
	metsamajandusega seotud koormus	0,37
	<b>Kokku</b>	<b>2,01</b>
<b>Pidula-Veskijõgi</b>	teedelt ja tänavatelt äravoolavast sademeveest	0,04
	põllumajandustegevuse tõttu pinnaveele avalduv koormus mitmesuguste ainete vette leostumise tõttu haritavalt maalt	0,12
	metsamajandusega seotud koormus	0,24
	<b>Kokku</b>	<b>0,40</b>
<b>Punabe</b>	teedelt ja tänavatelt äravoolavast sademeveest	0,07
	põllumajandustegevuse tõttu pinnaveele avalduv koormus mitmesuguste ainete vette leostumise tõttu haritavalt maalt	4,74
	metsamajandusega seotud koormus	2,24
	ühiskanalisisatsiooniga ühendamata inimesed	0,02
	<b>Kokku</b>	<b>7,07</b>
<b>Tirtsu</b>	alla 2000 ie reoveepuhasti ja muu heitveelask	0,31
	teedelt ja tänavatelt äravoolavast sademeveest	0,07
	põllumajandustegevuse tõttu pinnaveele avalduv koormus mitmesuguste ainete vette leostumise tõttu haritavalt maalt	1,40
	metsamajandusega seotud koormus	0,63
	ühiskanalisisatsiooniga ühendamata inimesed	0,03



	<b>Kokku</b>	<b>2,44</b>
<b>Vanajõgi</b>	teedelt ja tänavatelt äravoolavast sademeveest	0,02
	metsamajandusega seotud koormus	0,19
	<b>Kokku</b>	<b>0,21</b>
<b>Vanakubja</b>	teedelt ja tänavatelt äravoolavast sademeveest	0,04
	põllumajandustegevuse tõttu pinnaveele avalduv koormus mitmesuguste ainete vette leostumise tõttu haritavalt maalt	0,70
	metsamajandusega seotud koormus	0,31
	ühiskanaliseerimisega ühendamata inimesed	0,03
	<b>Kokku</b>	<b>1,08</b>

Heitveelaskmeid Soela väina veekogumi valgala on kokku viis (joonis 3.2), millest kaks suubuvad otse merre (HI038 – Tohvri, SA083 – Veere), üks suubub kraavi, mis on otse ühenduses merega ja ei ole analüüsitud 11 vooluveekogu valgatal (HI030 – Pähklisalu) ja kaks on analüüsitud valgataldel (SA048 – Mustjala asub Tirtsu jõe ja SA135 – Kuumiraba Punabe jõe valgatal Saaremaal). Nendest Veere kalakasvatuse heitvee koormused on ainult aastast 2021, millal heitvee hulk oli 0,28 tuh m<sup>3</sup> aastas, kuid lämmastiku ja fosfori koormused ei ületanud 10 kg aastas. Teiste heitveelaskmete üldlämmastiku ja üldfosfori koormuse andmed on toodud tabelis 3.3. Võrreldes muudest allikatest pärit koormusega (tabel 3.2) on heitveelaskmete koormused tunduvalt tagasihoidlikumad.



Joonis 3.2. Vooluveekogumite ökoloogiline seisund (või ökoloogiline potentsiaal) ning heitveelasud Hiiumaal ja Saaremaal (Keskkonnaministerium, 2022; Lisa 4).

Soela väina veekogumi ülejäänud valgalal (mis ei ole tabelis 3.2 toodud vooluveekogude valgala) on hinnatud lämmastiku koormuseks 2017. aasta andmetel 7,97 t/a (Keskkonnaministeerium, 2022; Lisa 1). Peamisteks allikateks on põllumajandustegevuse tõttu pinnaveele avalduv koormus mitmesuguste ainete vette leostumise tõttu haritavalt maalt (4,80 t/a) ja metsamajandusega seotud koormus (2,56 t/a).

Tabel 3.3. Üldlämmastiku ja üldfosfori koormus neljast Soela väina veekogumi valgalas või otse Soela väina suubuvas heitveelaskmes alates 2007. aastast.

Aasta	Üldlämmastik (t/a)				Üldfosfor (t/a)			
	Mustjala	Kuumiraba	Pähklisalu	Tohvri	Mustjala	Kuumiraba	Pähklisalu	Tohvri
2016	0.24	0.81	0.09	0.08	0.01	0.01	0	0.02
2017	0.31	1.16	0.08	0.04	0	0.03	0.01	0
2018	0.24	0.17	0.03	0.09	0.01	0.01	0	0.02
2019	0.20	0.06	0.03	0.01	0.02	0	0	0
2020	0.09	0.02	0.03	0.04	0.01	0	0	0.01
2021	0.08	0.02	0.01	0.06	0.02	0	0	0.01

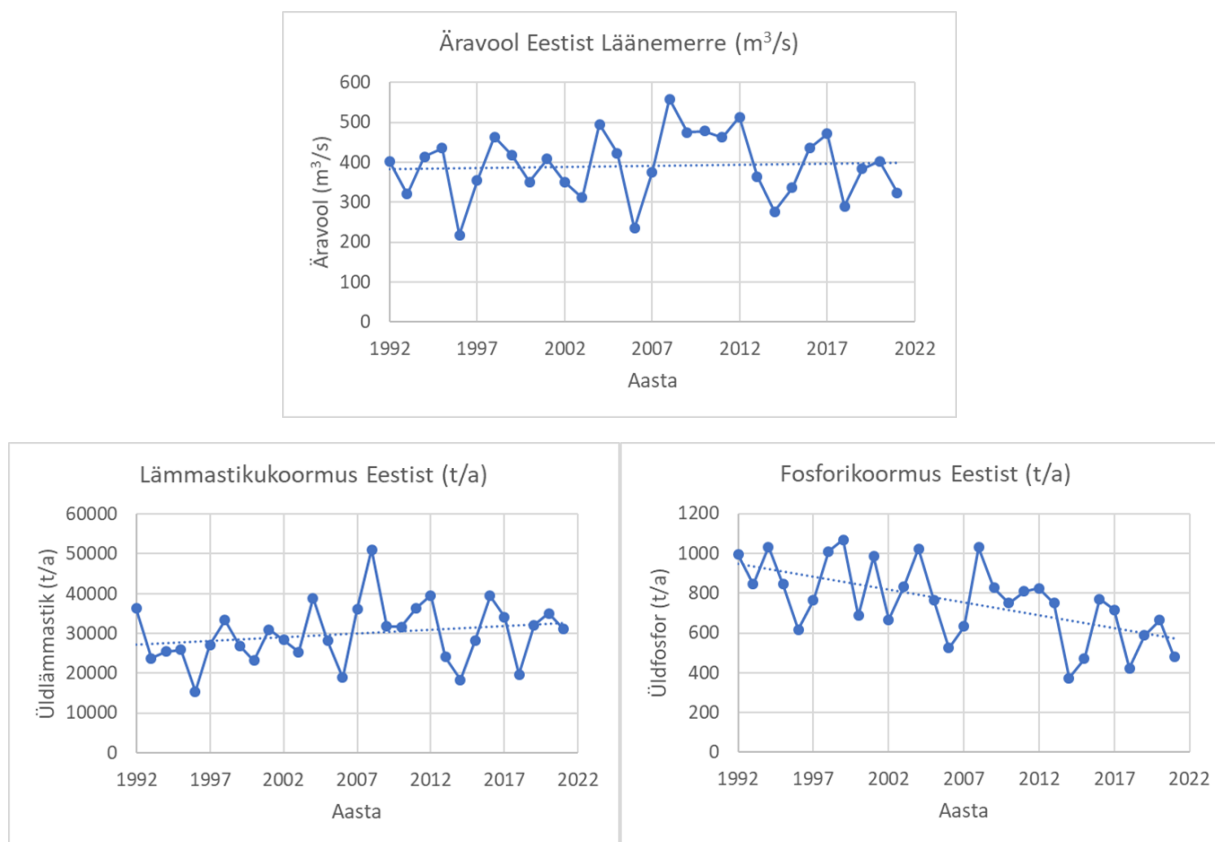
Pidevseiret analüüsitud Hiiumaa ja Saaremaa vooluveekogudel, mille abil saaks hinnata nendest lähtuvat koormust merele, ei teostata. Küll on läbi viidud väikejõgede seiret Punabe jõel (aastatel 2011, 2014 ja 2018) ning Tirtsu jõel (2011. aastal). Tabelis 3.4 on toodud keskmised üldlämmastiku ja üldfosfori kontsentratsioonid seirega kaetud aastatel. Kuna seirega ei ole kaetud kogu aasta, vaid mõõtmisi tehti igal aastal neli korda, siis nende põhjal hinnatud koormused ei ole väga usaldusväärsed, kuid võimaldavad analüüsida, kui hästi EstModel'i abil saadud koormused lähevad kokku tegelike mõõtmistega (vt analüüsi järgmises alapeatükis).

Tabel 3.4. Väikejõgede hüdrokeemilise seire (ja jõgede ülevaateseire) raames mõõdetud üldlämmastiku ja üldfosfori keskmised kontsentratsioonid Punabe jões (Poka) ja Tirtsu jões.

Seirekoht	Punabe (Poka)		Tirtsu	
	Üldlämmastik (mg/l)	Üldfosfor (mg/l)	Üldlämmastik (mg/l)	Üldfosfor (mg/l)
2011	1,03	0,040	1,06	0,023
2014	0,82	0,026		
2018	1,14	0,037		

### 3.2. Koormuste ajaline muutus

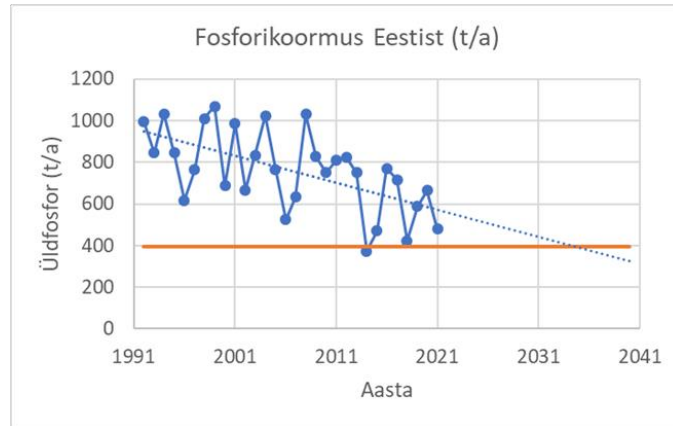
Usaldusväärsed jõgede hüdrokeemilise seire andmed on Eestis olemas alates aastast 1992. Allpool on analüüsitud EstModel'i abil hinnatud koormusi Eestist, Lääne-Eesti vesikonnast ja Soela väina veekogumi valgalalt.



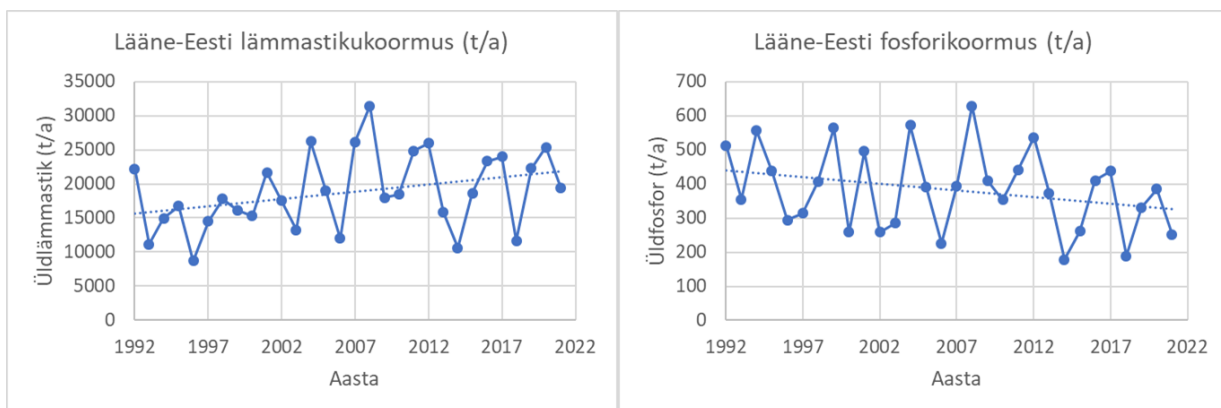
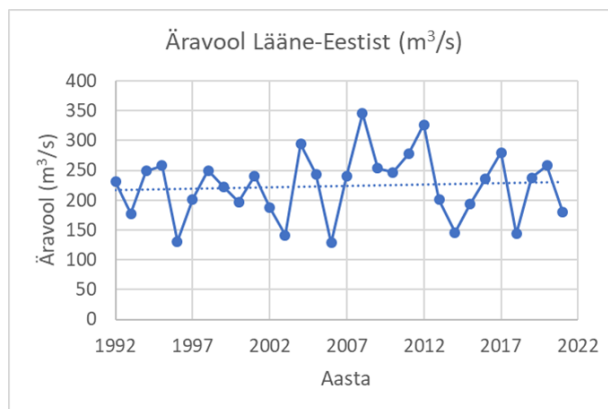
Joonis 3.3. Aasta keskmised jõgede äravoolud ja jõgede kaudu Eestist Läänemerre jõudvad lämmastiku- ja fosforikoormused aastatel 1992-2021. Punktiirjoonega on näidatud 30 aasta lineaarsed trendid.

Kogu Eesti jõgede äravoolu ja koormuste andmed aastatel 1992-2021 on toodud joonisel 3.3. Hinnatud lineaarsetest trendidest on statistiliselt oluline trend ainult fosforikoormuses ( $p < 0,05$ ). Jõgedest Läänemerre jõudev fosforikoormus on vähenenud viimase 30 aasta jooksul keskmiselt 13 tonni aastas. Kuigi lämmastikukoormuses olulist trendi pole, võib väita, et kuni aastani 2008 on koormus suurenenud ja alates aastast 2009 ei ole keskmine koormus oluliselt muutunud. Joonisel 3.4 on toodud fosforikoormuse projektsioon, kui jätkuks viimase 30 aasta kohta leitud lineaarne koormuse vähenemise trend. Arvestades HELCOM Läänemere tegevuskava eesmärki ja võttes sellest maha viimaste aastate keskmine koormuse punktreostusallikatest Eestist otse Läänemerre 26 tonni fosforit aastas (HELCOM ACTION, 2021b) võib väita, et trendi jätkumisel täidaks Eesti oma fosforikoormuse eesmärgi 2035. aastaks.

Läämmastikukoormuses analoogne trend puudub, kuid maksimaalselt kavandatud koormuse suurenemine seoses kalakasvatustega oleks võrreldes HELCOM lämmastikukoormuse eesmärgiga 26 474 tonni aastas väiksem (ca 1,3%). Läämmastikukoormuse eesmärgi saavutamine on võimalik ainult põllumajandusest pärineva koormuse vähendamisel selle võrra, kui palju koormus 1990-ndate aastate teises pooles ja 2000-ndate alguses kasvas.

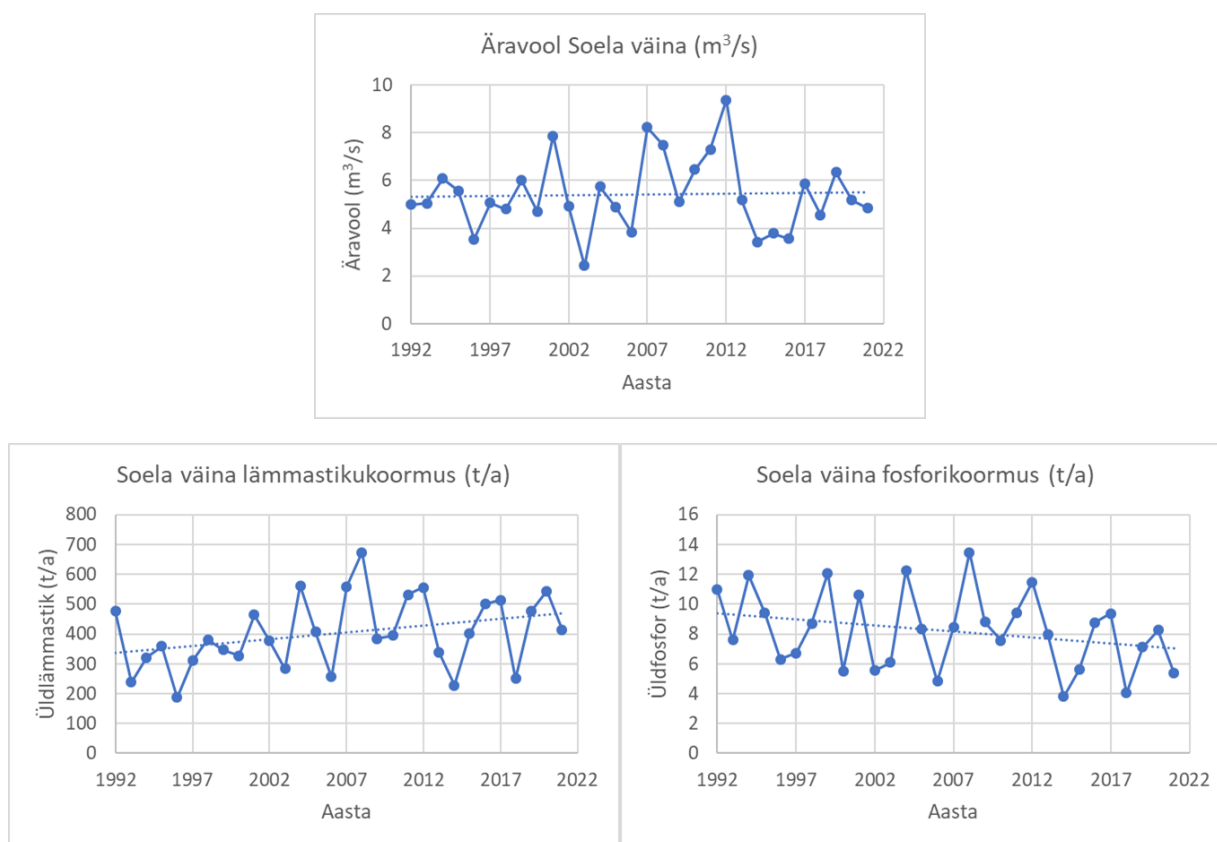


Joonis 3.4. Aasta keskmine fosforikoormus Eesti jõgedest Läänemerre aastatel 1992-2021 ja selle projektsioon lineaarse trendi jätkumisel. Punktirjoonega on näidatud 30 aasta lineaarne trend ja oranži joonega HELCOM fosforikoormuse lagi jõgedest Eesti jaoks. HELCOM koormuse laest on maha arvatud keskmine otselaskude koormus 26 tonni fosforit aastas aastatel 2014-2018 (HELCOM ACTION, 2021b).



Joonis 3.5. Aasta keskmised jõgede äravoolud ja jõgede kaudu Lääne-Eesti vesikonnast Läänemerre jõudvad lämmastiku- ja fosforikoormused aastatel 1992-2021. Punktirjoonega on näidatud 30 aasta lineaarsed trendid.

Lääne-Eesti vesikonnas on koormuste trendid aastatel 1992-2021 sarnased kogu Eesti koormuste trendidele, kuid nii fosforikoormuse vähenemine kui ka lämmastikukoormuse suurenemine ei ole viimase 30 aasta jooksul statistiliselt usaldusväärsed, sest aastate vaheline muutlikkus on väga suur võrreldes koormuste pikaajalise muutusega (joonis 3.5). Sama tulemus on saadud EstModel'i abil ka Soela väina veekogumisse suubuvate vooluhulkade ja koormuste kohta (joonis 3.6). Kuna Soela väina veekogumisse jõudvad vooluhulgad on hinnatud mõõtmiste põhjal Läänesaarte alamvesikonnas, aga koormused mõõtmiste põhjal kogu Lääne-Eesti vesikonnas, siis vooluhulkade dünaamika Lääne-Eesti vesikonna ja Soela veekogumi vahel erinevad, aga koormused Soela väinale peegeldavad täpselt koormuste dünaamikat Lääne-estis vesikonnas. Selline käitumine on tingitud asjaolust, et koormused Soela väinale on hinnatud samade andmete põhjal, mis ka Lääne-estis vesikonna koormused (arvestamata erinevust vooluhulkade hindamise algandmetes), kuna Saaremaal ja Hiiumaal jõgede hüdrokeemiline püsiseire puudub.



Joonis 3.6. Aasta keskmised jõgede äravoolud ja jõgede kaudu Soela väina veekogumisse jõudvad lämmastiku- ja fosforikoormused aastatel 1992-2021. Punktiirjoonega on näidatud 30 aasta lineaarsed trendid.

Analüüsitud jõgede kaupa on EstModel'i abil hinnatud äravoolud, lämmastiku- ja fosforikoormused toodud tabelites 3.5-3.7. Kuna hinnangud on proportsionaalse valgala pindaladega, siis on ka jõgede äravoolud ja koormused üksteisega igal aastal samade proportsioonidega, kuigi väärtused ja summad muutuvad. Üheks probleemiks taoliste hinnangute puhul on nende sõltumatus tegelikest koormustest

(inimtegevusest) valgaladel. Kuna koormuste ja äravoolude hinnangud on tehtud erinevate andmehulkade põhjal, siis nendest arvatud keskmised toitainete kontsentratsioonid Soela väina veekogumisse suubuvates jõgedes kõiguvad sõltuvalt sellest, kas Läänesaarte alamvesikonnas oli samalt pindalaühikult lähtuv äravool suurem või väiksem kui kogu Lääne-Eesti vesikonnas hinnatud äravool pindalaühikul. Erinevatel aastatel saadud kontsentratsioonide hinnangud on toodud tabelis 3.8. Võrreldes üksikutel aastatel Punabe ja Tirtsu jõel tehtud seire tulemusi (vt tabel 3.4) ja tabelis 3.8 toodud toitainete kontsentratsioone, võib väita, et EstModel'is rakendatud meetod hindab toitainete kontsentratsioone ja vastavalt ka koormusi Soela väina veekogumisse üle (eelkõige üldlammastiku kontsentratsiooni ja lammastikukoormust). Näiteks 2011. aastal olid mõõdetud keskmised kontsentratsioonid Punabe jões 1,03 mg/l ja 0,40 mg/l ning Tirtsu jões 1,06 ja 0,23 mg/l (vastavalt üldlammastik ja üldfosfor). Koormuste ja vooluhulkade hinnangute abil saadud keskmised kontsentratsioonid olid aga 2,31 mg/l ja 0,41 mg/l. Samas, kuna see võrdlus on tehtud ainult nelja mõõtmise põhjal aastas ja kontsentratsioonides on sesoonne muutlikkus, siis tõsisemate järelduste tegemiseks on vaja rohkem andmeid.

Tabel 3.5. Soela väina veekogumisse suubuvate vooluveekogude vooluhulgad (m<sup>3</sup>/s) aastatel 1992-2021 (hinnatud EstModel'i abil).

Veekogu / aasta	Avajõgi	Külama	Leet selja	Ligeoja	Mõrra jõgi	Möldri	Pidula-Veskijõgi	Punabe	Tirtsu	Vana jõgi	Vana kubja	Kokku
1992	0.178	0.213	0.128	0.101	0.129	0.402	0.067	0.959	0.384	0.145	0.333	3.039
1993	0.18	0.215	0.13	0.102	0.130	0.406	0.068	0.970	0.388	0.146	0.337	3.072
1994	0.217	0.259	0.157	0.123	0.157	0.490	0.082	1.169	0.468	0.177	0.406	3.705
1995	0.199	0.238	0.143	0.112	0.144	0.449	0.075	1.073	0.429	0.162	0.372	3.396
1996	0.126	0.151	0.091	0.071	0.091	0.284	0.048	0.679	0.272	0.102	0.236	2.151
1997	0.18	0.215	0.13	0.102	0.13	0.407	0.068	0.972	0.389	0.147	0.337	3.077
1998	0.171	0.204	0.123	0.097	0.124	0.386	0.065	0.922	0.369	0.139	0.32	2.92
1999	0.214	0.255	0.154	0.121	0.155	0.483	0.081	1.152	0.461	0.174	0.4	3.65
2000	0.168	0.201	0.121	0.095	0.121	0.379	0.064	0.904	0.362	0.136	0.314	2.865
2001	0.28	0.335	0.202	0.158	0.203	0.633	0.106	1.51	0.604	0.228	0.524	4.783
2002	0.176	0.21	0.127	0.099	0.127	0.397	0.067	0.947	0.379	0.143	0.329	3.001
2003	0.087	0.104	0.063	0.049	0.063	0.196	0.033	0.468	0.187	0.071	0.162	1.483
2004	0.205	0.245	0.148	0.116	0.148	0.463	0.078	1.104	0.442	0.167	0.383	3.499
2005	0.174	0.208	0.125	0.098	0.126	0.393	0.066	0.938	0.375	0.141	0.325	2.969
2006	0.137	0.164	0.099	0.077	0.099	0.31	0.052	0.739	0.295	0.111	0.256	2.339
2007	0.293	0.35	0.211	0.166	0.212	0.662	0.111	1.58	0.632	0.238	0.548	5.003
2008	0.268	0.319	0.193	0.151	0.193	0.604	0.101	1.441	0.576	0.217	0.5	4.563
2009	0.182	0.217	0.131	0.103	0.132	0.411	0.069	0.981	0.392	0.148	0.34	3.106
2010	0.23	0.275	0.166	0.13	0.167	0.52	0.087	1.241	0.496	0.187	0.43	3.929
2011	0.261	0.311	0.188	0.147	0.189	0.588	0.099	1.404	0.562	0.212	0.487	4.448
2012	0.334	0.399	0.241	0.189	0.242	0.755	0.127	1.802	0.72	0.272	0.625	5.706

2013	0.185	0.221	0.133	0.104	0.134	0.417	0.07	0.995	0.398	0.15	0.345	3.152
2014	0.122	0.146	0.088	0.069	0.089	0.276	0.046	0.659	0.264	0.099	0.229	2.087
2015	0.135	0.161	0.097	0.076	0.098	0.305	0.051	0.728	0.291	0.11	0.253	2.305
2016	0.127	0.151	0.091	0.071	0.092	0.286	0.048	0.682	0.273	0.103	0.237	2.161
2017	0.21	0.25	0.151	0.118	0.152	0.473	0.079	1.129	0.452	0.17	0.392	3.576
2018	0.163	0.194	0.117	0.092	0.118	0.367	0.062	0.875	0.35	0.132	0.304	2.774
2019	0.226	0.27	0.163	0.128	0.164	0.511	0.086	1.218	0.487	0.184	0.423	3.86
2020	0.184	0.22	0.133	0.104	0.133	0.416	0.07	0.993	0.397	0.15	0.345	3.145
2021	0.172	0.206	0.124	0.097	0.125	0.389	0.065	0.928	0.371	0.14	0.322	2.939

Tabel 3.6. Soela väina veekogumisse suubuvate vooluveekogude lämmastikukoormused (kg aastas) aastatel 1992-2021 (hinnatud EstModel'i abil).

Veekogu / aasta	Avajõgi	Külama	Leet selja	Ligeoja	Mõrra jõgi	Möldri	Pidula-Veskijõgi	Punabe	Tirtsu	Vana jõgi	Vana kubja	Kokku
1992	16957	20246	12218	9571	12261	38269	6427	91323	36523	13776	31687	289258
1993	8511	10162	6133	4804	6154	19209	3226	45839	18333	6915	15905	145191
1994	11433	13651	8238	6453	8267	25802	4333	61573	24625	9288	21364	195028
1995	12792	15274	9217	7221	9250	28870	4848	68894	27553	10392	23905	218216
1996	6661	7953	4799	3760	4816	15032	2524	35872	14346	5411	12447	113621
1997	11099	13253	7998	6265	8026	25049	4207	59777	23907	9017	20741	189338
1998	13614	16255	9809	7685	9844	30725	5160	73320	29323	11060	25440	232236
1999	12339	14733	8891	6965	8922	27847	4677	66453	26577	10024	23057	210482
2000	11667	13931	8407	6586	8436	26331	4422	62837	25131	9479	21803	199029
2001	16558	19770	11931	9346	11973	37369	6276	89176	35664	13452	30942	282456
2002	13452	16062	9693	7593	9727	30359	5098	72448	28974	10928	25138	229472
2003	10137	12104	7304	5722	7330	22878	3842	54597	21835	8236	18944	172930
2004	20046	23935	14444	11315	14495	45240	7598	107960	43177	16285	37459	341952
2005	14492	17303	10442	8180	10479	32706	5493	78048	31214	11773	27081	247211
2006	9151	10926	6594	5165	6617	20652	3468	49284	19710	7434	17100	156103
2007	19932	23799	14362	11251	14413	44984	7555	107348	42932	16193	37247	340015
2008	23985	28639	17283	13539	17344	54132	9091	129178	51663	19486	44822	409160
2009	13727	16390	9891	7748	9926	30980	5203	73930	29567	11152	25652	234167
2010	14078	16810	10144	7947	10180	31773	5336	75822	30324	11437	26308	240159
2011	18958	22636	13660	10701	13708	42786	7185	102103	40834	15402	35427	323400
2012	19836	23685	14293	11197	14343	44768	7518	106833	42726	16115	37068	338382
2013	12069	14411	8696	6813	8727	27239	4574	65001	25996	9805	22554	205886
2014	8113	9687	5846	4579	5866	18310	3075	43694	17475	6591	15161	138397
2015	14276	17046	10287	8058	10323	32219	5411	76886	30749	11598	26678	243530

2016	17840	21302	12855	10070	12900	40263	6762	96083	38427	14494	33338	304333
2017	18339	21897	13214	10352	13261	41389	6951	98770	39502	14899	34271	312845
2018	8945	10680	6445	5049	6468	20188	3390	48175	19267	7267	16716	152591
2019	17037	20343	12276	9617	12319	38451	6457	91758	36697	13841	31838	290635
2020	19389	23150	13970	10944	14020	43757	7349	104422	41762	15751	36232	330745
2021	14801	17673	10665	8355	10702	33404	5610	79714	31881	12028	27659	252491

Tabel 3.7. Soela väina veekogumisse suubuvate vooluveekogude fosforikoormused (kg aastas) aastatel 1992-2021 (hinnatud EstModel'i abil).

Veekogu / aasta	Avajõgi	Külama	Leet selja	Ligeoja	Mõrrajõgi	Möldri	Pidula-Veskijõgi	Punabe	Tirtsu	Vana jõgi	Vana kubja	Kokku
1992	392	468	282	221	283	884	148	2110	844	318	732	6682
1993	271	323	195	153	196	611	103	1459	583	220	506	4621
1994	425	508	306	240	307	960	161	2290	916	345	795	7254
1995	335	400	241	189	242	756	127	1804	721	272	626	5714
1996	225	268	162	127	162	507	85	1210	484	182	420	3831
1997	240	286	173	135	173	541	91	1291	516	195	448	4089
1998	311	371	224	175	225	701	118	1673	669	252	581	5300
1999	431	515	311	243	312	973	163	2321	928	350	805	7353
2000	197	235	142	111	143	445	75	1062	425	160	368	3363
2001	378	452	273	213	273	854	143	2037	815	307	707	6452
2002	198	236	143	112	143	447	75	1067	427	161	370	3379
2003	217	260	157	123	157	491	82	1171	468	177	406	3710
2004	437	522	315	247	316	986	166	2353	941	355	816	7453
2005	298	356	215	168	215	672	113	1604	641	242	556	5079
2006	173	206	125	98	125	390	65	931	372	140	323	2948
2007	301	360	217	170	218	680	114	1623	649	245	563	5141
2008	480	573	346	271	347	1084	182	2586	1034	390	897	8190
2009	314	375	226	177	227	708	119	1690	676	255	586	5352
2010	270	322	194	152	195	609	102	1453	581	219	504	4603
2011	336	401	242	190	243	758	127	1810	724	273	628	5732
2012	410	489	295	231	296	925	155	2208	883	333	766	6993
2013	285	340	205	161	206	643	108	1534	613	231	532	4858
2014	136	162	98	77	98	307	52	732	293	110	254	2319
2015	200	238	144	113	144	451	76	1075	430	162	373	3406
2016	313	374	226	177	226	707	119	1687	675	254	585	5343
2017	334	399	241	189	241	754	127	1799	719	271	624	5697
2018	145	173	104	82	105	326	55	779	312	118	270	2468



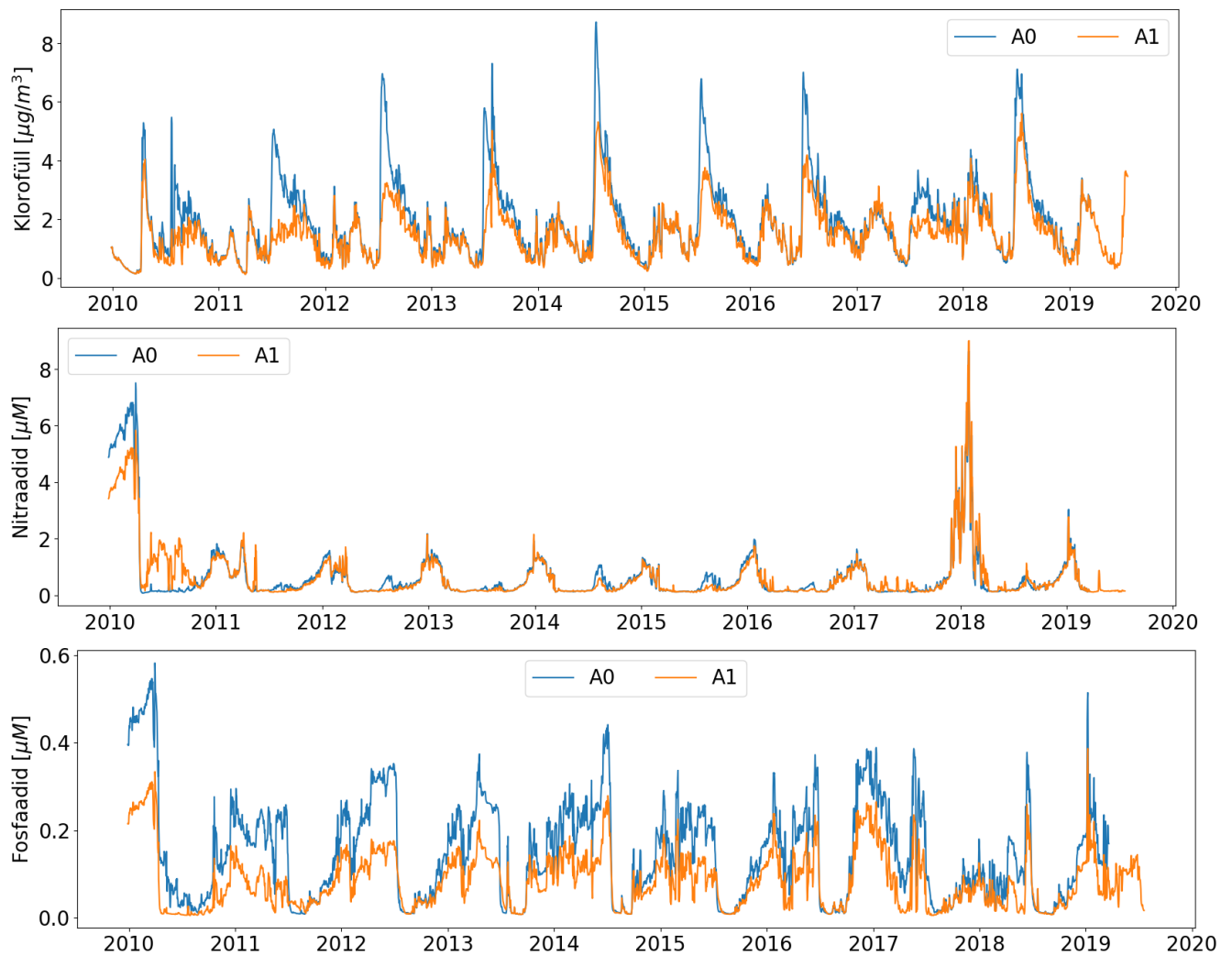
2019	253	303	183	143	183	572	96	1365	546	206	473	4322
2020	294	351	212	166	213	664	111	1584	634	239	550	5017
2021	192	229	138	108	139	434	73	1035	414	154	359	3276

Tabel 3.8. Keskmised üldlämmastiku ja üldfosfori kontsentratsioonid vooluveekogudes kogu Eestis, Lääne-Eesti vesikonnas ja Soela väina veekogumi valgala aastatel 1992-2021 (hinnatud EstModel'i abil).

Aasta	Kogu Eesti		Lääne-Eesti vesikond		Soela väina valgala	
	Üldlämmastik (mg/l)	Üldfosfor (mg/l)	Üldlämmastik (mg/l)	Üldfosfor (mg/l)	Üldlämmastik (mg/l)	Üldfosfor (mg/l)
1992	2.85	0.078	3.05	0.070	3.02	0.070
1993	2.35	0.083	1.99	0.063	1.50	0.048
1994	1.95	0.079	1.91	0.071	1.67	0.062
1995	1.89	0.062	2.06	0.054	2.04	0.053
1996	2.24	0.089	2.12	0.071	1.67	0.056
1997	2.43	0.068	2.28	0.049	1.95	0.042
1998	2.28	0.069	2.26	0.052	2.52	0.058
1999	2.04	0.081	2.30	0.080	1.83	0.064
2000	2.10	0.062	2.46	0.042	2.20	0.037
2001	2.40	0.077	2.85	0.065	1.87	0.043
2002	2.56	0.060	2.98	0.044	2.42	0.036
2003	2.57	0.085	2.97	0.064	3.70	0.079
2004	2.49	0.066	2.83	0.062	3.10	0.068
2005	2.11	0.058	2.47	0.051	2.64	0.054
2006	2.55	0.071	2.95	0.056	2.12	0.040
2007	3.05	0.053	3.45	0.052	2.15	0.033
2008	2.90	0.058	2.88	0.058	2.84	0.057
2009	2.12	0.055	2.25	0.051	2.39	0.055
2010	2.09	0.050	2.37	0.045	1.94	0.037
2011	2.49	0.055	2.83	0.050	2.31	0.041
2012	2.44	0.051	2.52	0.052	1.88	0.039
2013	2.10	0.065	2.49	0.059	2.07	0.049
2014	2.11	0.043	2.31	0.039	2.10	0.035
2015	2.66	0.044	3.06	0.043	3.35	0.047
2016	2.87	0.056	3.14	0.055	4.47	0.078
2017	2.29	0.048	2.72	0.049	2.77	0.051
2018	2.15	0.046	2.58	0.042	1.74	0.028
2019	2.65	0.049	2.98	0.044	2.39	0.036
2020	2.76	0.052	3.12	0.047	3.34	0.051
2021	3.06	0.047	3.41	0.044	2.72	0.035
<b>Keskmine</b>	<b>2.42</b>	<b>0.062</b>	<b>2.65</b>	<b>0.054</b>	<b>2.42</b>	<b>0.049</b>
<b>Keskmine 2016-2021</b>	<b>2.63</b>	<b>0.050</b>	<b>2.99</b>	<b>0.047</b>	<b>2.91</b>	<b>0.047</b>

### 3.3. Mudeltulemused

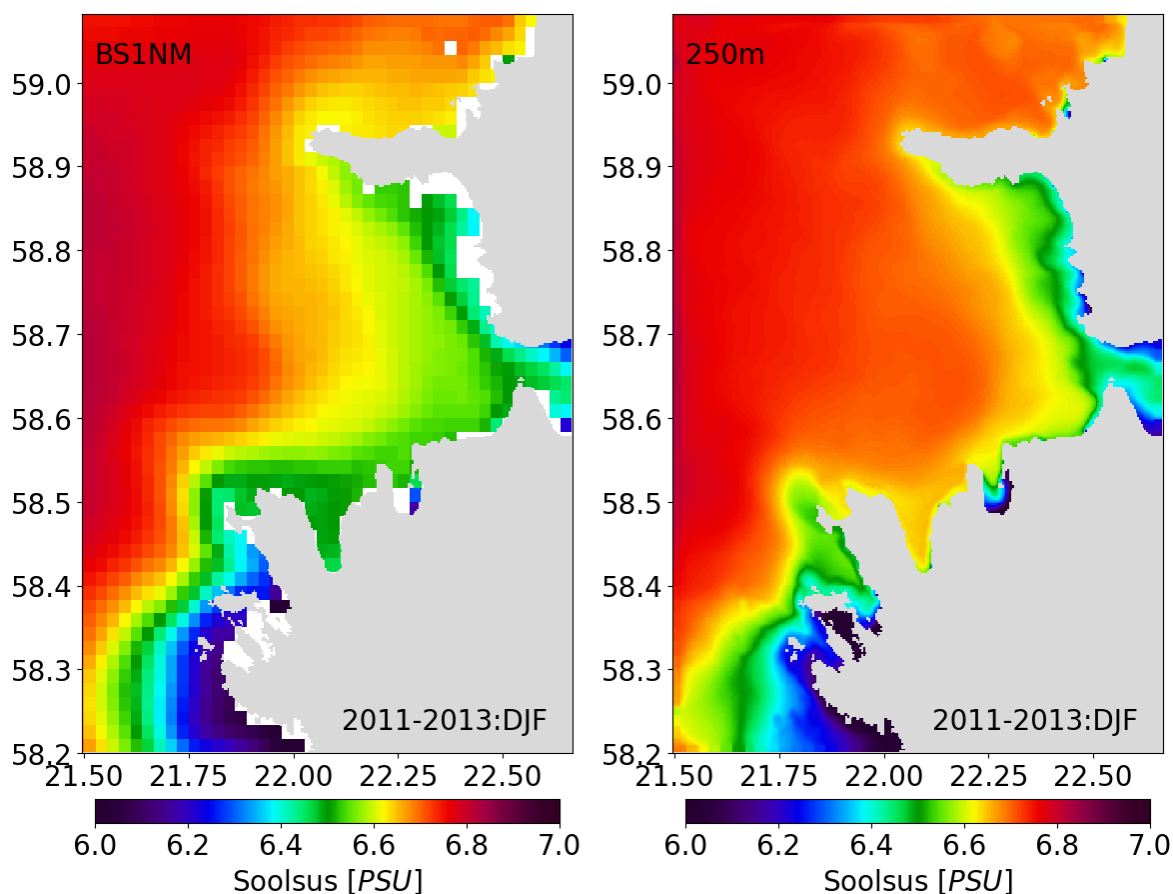
Madala lahutusega Läänemere arvutused perioodile 2010-2018 on teostatud kahe alternatiivi jaoks – hetkeolukord ning toitainete mõistes heast keskkonnaseisundist alustatud tingimuste jaoks. Nimetatud arvutused on vajalikud, et saada Soela väina veekogumi kõrge lahutusega mudelile rajatingimused – hetkeolukorra mudeltulemusi kasutame alternatiivi A0 rajatingimustena ja hea keskkonnaseisundile vastava arvutuse tulemusi alternatiivide A1-A3 jaoks. Rajatingimused Soela väina veekogumi jaoks on salvestatud 1-tunnise lahutusega, mis on käesoleva ülesande jaoks piisav. Üldiselt on biogeokeemiliste väljade kõrgsageduslik muutlikkus väike, kuid barotroopse veevahetuse ning temperatuuri ja sooluse väljade muutlikkus kõrge, mistõttu 1-tunnise lahutuse kasutamine on piiratud alal vajalik. Joonisel 3.7 on näidatud ühe valitud punkti jaoks klorofüllil ja anorgaaniliste toitainete sisalduse muutlikkust arvutusperioodil 2010-2019.



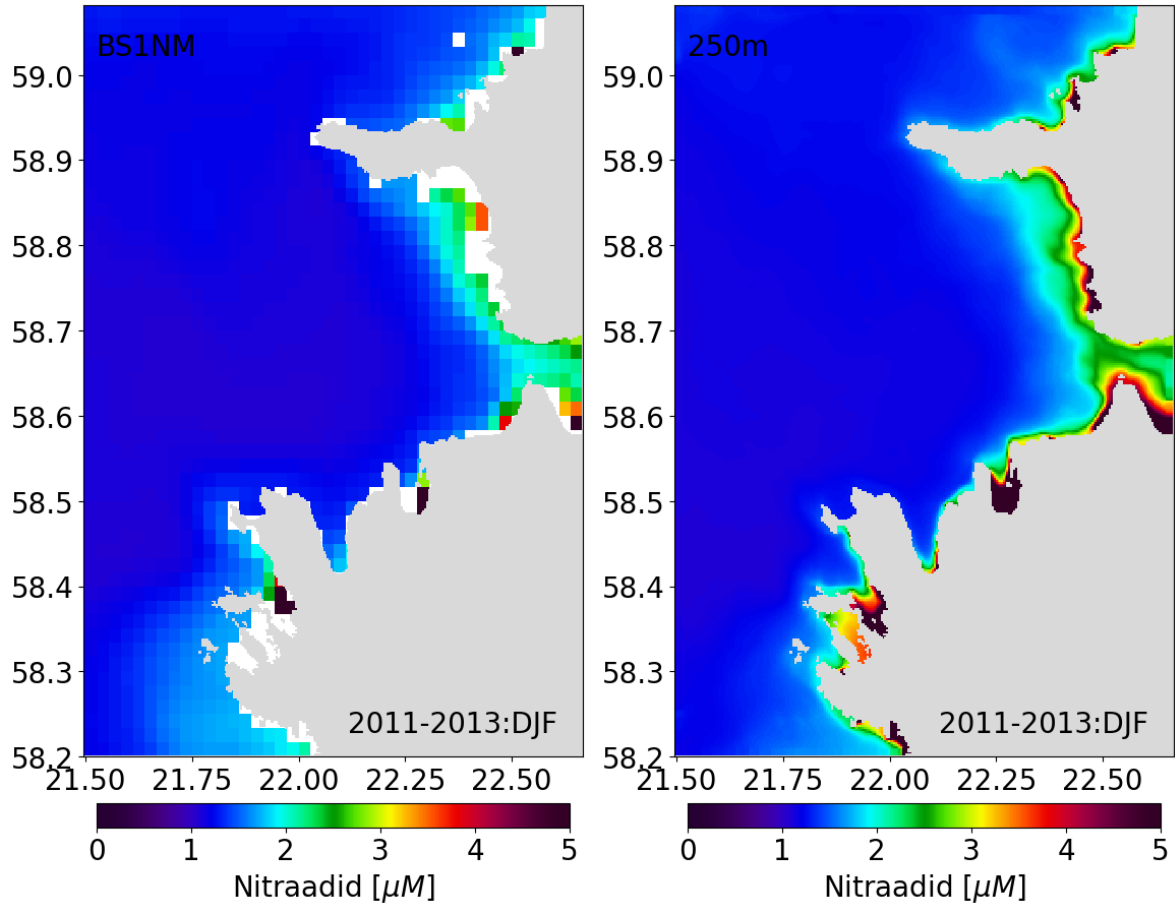
Joonis 3.7. Toitainete ja klorofüllil modelleeritud aegread Soela väina veekogumi punktist 22.042E ja 58.675N alternatiivide A0 ja A1 korral kogu Läänemere mudelist perioodil 2010-2019.

### 3.3.1. Horisontaalse võrgusammu valik

Käesolevas töös on horisontaalseks võrgusammuks valitud 250 m. Joonistel 3.8 ja 3.9 on näidatud soolsuse ning nitraatide jaotus talvisel perioodil 1-meremiilisest ning 250 m lahutusega mudelist. Üldine jaotus on mõlemas mudelis sarnane – suurimad soolsuse väärtused on piirkonna loodeosas, mis on avatud Läänemere avaosale ning madalaimad väärtused ranniku ja Soela väina piirkonnas. Nitraatide puhul on suurimad väärtused Soela väina ning mere madalaimates ehk rannikulähedastes tsoonides. Suurimad erinevused ilmnevad just viimases – madala horisontaalse lahutusega mudel ei lahuta väikeseid lahtesid kas piisavalt (Tagalaht) või üldse (Küdemäe) ning biogeokeemilised väljad on esindatud ainult ühe võrgupesaga. Käesoleva töö eesmärgiks on aga hinnata kalakasvatuste mõjusid ehk mudeli horisontaalse võrgusammu valik, st piisavalt kõrge lahutus on väga oluline.



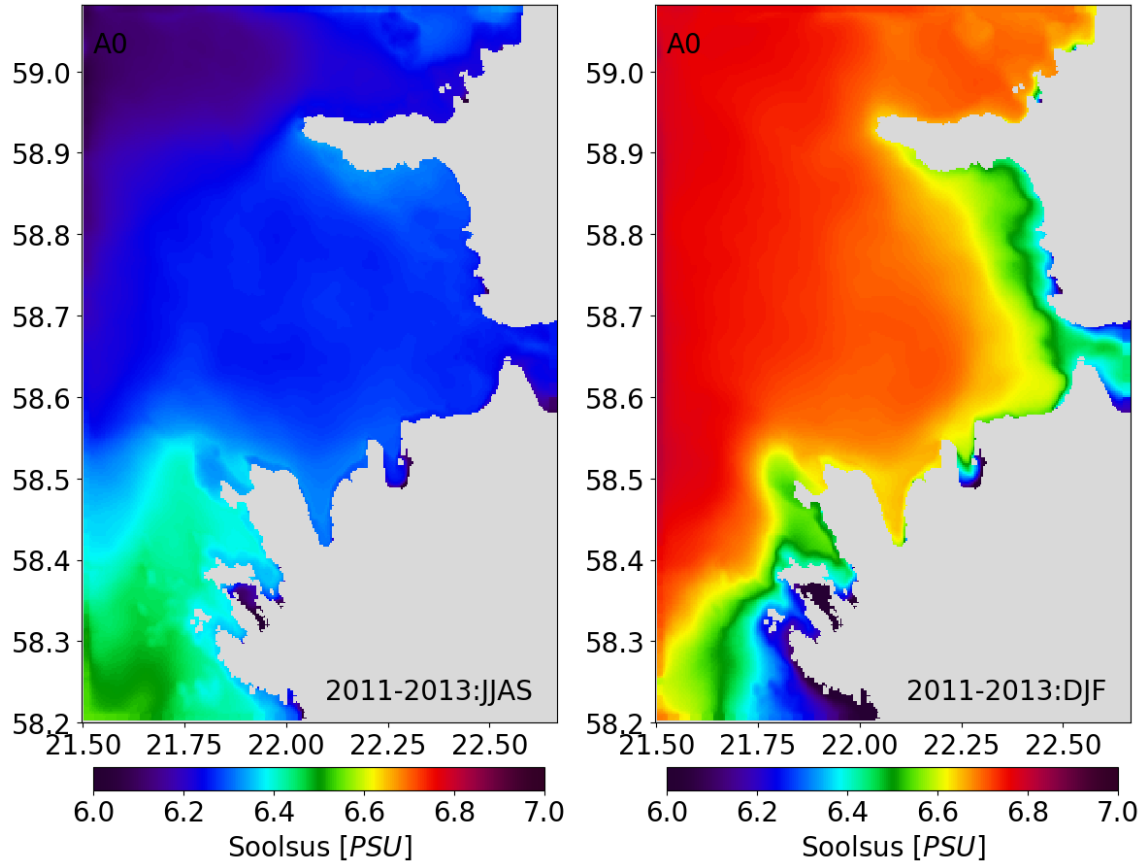
Joonis 3.8. Keskmine ülakihi soolsus talvisel perioodil madal- ja kõrglahutusega mudelis.



Joonis 3.9. Keskmine ülakihi toitainete kontsentratsioon talvisel perioodil madal- ja kõrglahutusega mudelis.

### 3.3.2. Füüsilised tingimused

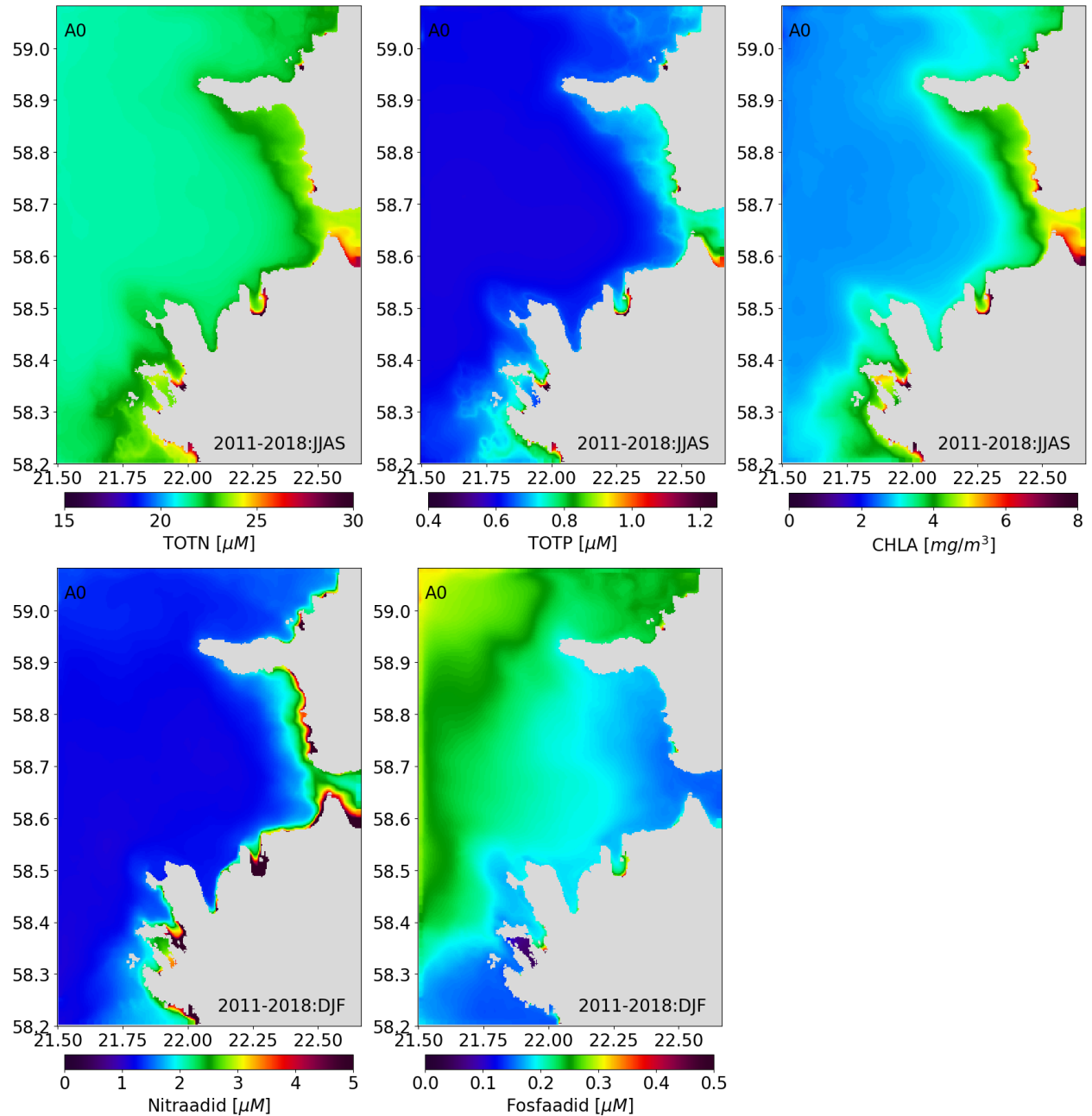
Keskmine soolsuse jaotus ülemises 10 m veesambas suvel ja talvel kõrglahutusega mudeli piirkonnas on toodud joonisel 3.10. Iseloomulik on selge sesoonne erinevus – talvisel perioodil on soolsuse väärtused piirkonnas suuremad, suvisel perioodil väiksemad. Sesoonne muutlikkus on tingitud eelkõige veesamba vertikaalsest segunemisest talvel ja sooja ning magedama veekihi esinemisest mere pinnakihis suvel. Suurimad soolsuse väärtused registreeritakse enamasti märtsis ja väikseimad väärtused suve lõpus.



Joonis 3.10. Keskmine ülakihi soolsuse jaotus suvel (JJAS) ja talvel (DJF) perioodil 2010-2013.

### 3.3.3. Bioloogilised tingimused

Toitainete kontsentratsioonid talvel ning klorofülli, üldlämmastiku ja üldfosfori kontsentratsioonid suvel on toodud joonisel 3.11. Suurimad üldainete kontsentratsioonid on Soela väina lähistel, kustkaudu toimub veevahetus Väinamerrega.

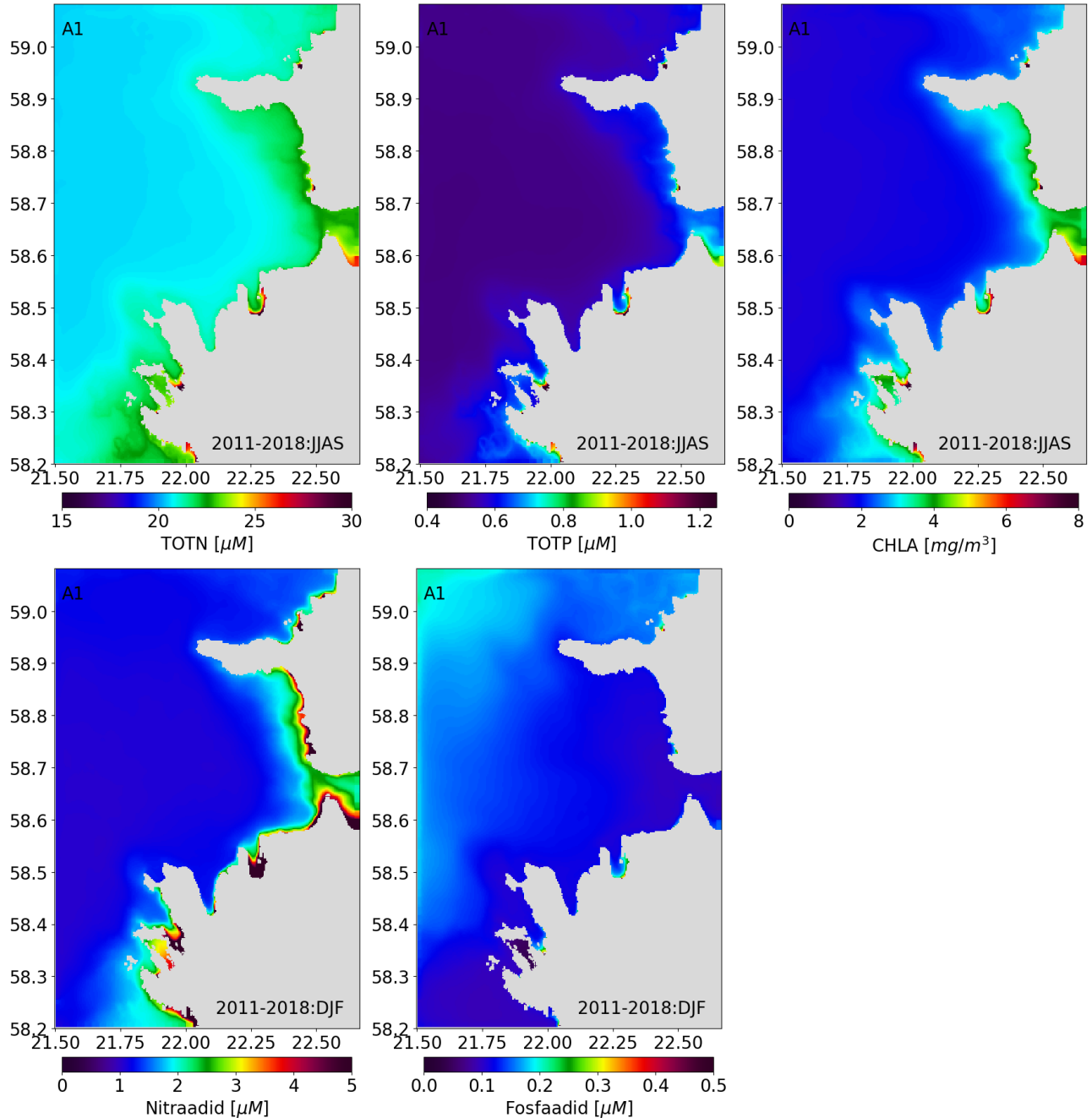


Joonis 3.11. Üldlämmastiku, üldfosfori ja klorofüllü kontsentratsioonid (ülemised paneelid) suvel ning anorgaaniliste toitainete keskmised jaotused talvel (alumised paneelid) kõrglahutusega mudeli piirkonnas aastatel 2011-2018.

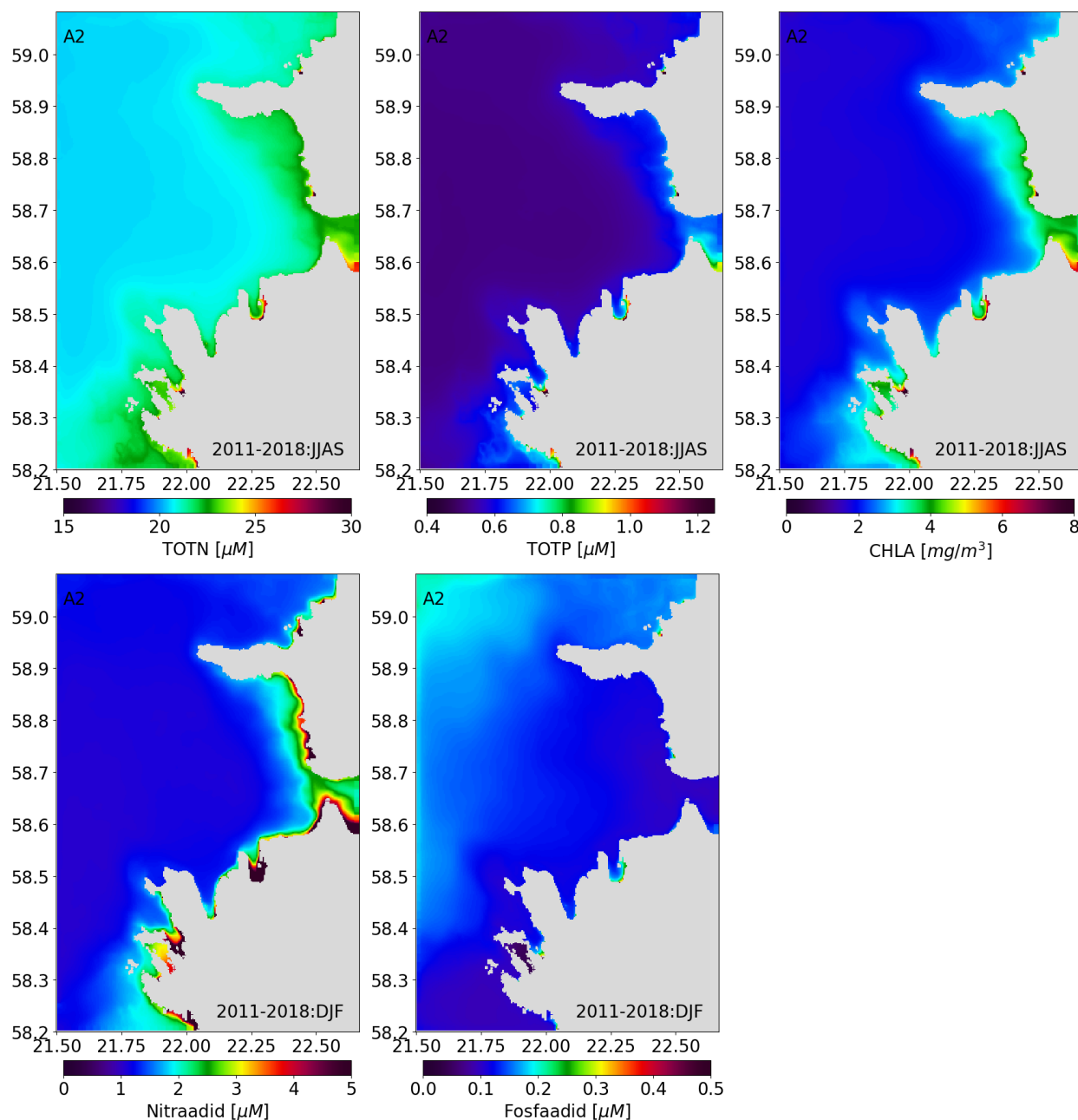
### 3.3.4. Alternatiivide võrdlus

Anorgaaniliste toitainete kontsentratsioonid talvel ning klorofüllü, üldlämmastiku ja üldfosfori kontsentratsioonid suvel alternatiivides A1, A2 ja A3 on toodud joonistel 3.12-3.14. Alternatiiv A1 on arvutus kasutades head keskkonnaseisundit toitainete mõistes ning A2 lisades alternatiivile A1 potentsiaalsed kalakasvatused Tagalahe piirkonnas. Alternatiiv A3 hõlmab ka kalakasvatuse Tagalahest

eemal, Hiiumaa rannikumere edelaosas, millest üks on Soela väina veekogumis ja üks vahetult sellest väljaspool. Võrreldes hetkeolukorraga iseloomustab alternatiivi A1 (kui koormused Läänemerele ja Läänemere keskkonnaseisund vastaksid HELCOM Läänemere tegevuskava eesmärkidele) märgatavalt tagasihoidlikumad keskmiste üldainete ning klorofüllü kontsentratsioonid suvisel perioodil. Samuti on märgatavalt väiksemad ka talviste toitainete keskmised kontsentratsioonid.



Joonis 3.12. Üldlämmastiku, üldfosfori ja klorofüllü keskmised kontsentratsioonid suvel (ülemised paneelid) ning anorgaaniliste toitainete jaotused talvel (alumised paneelid) alternatiivis A1.

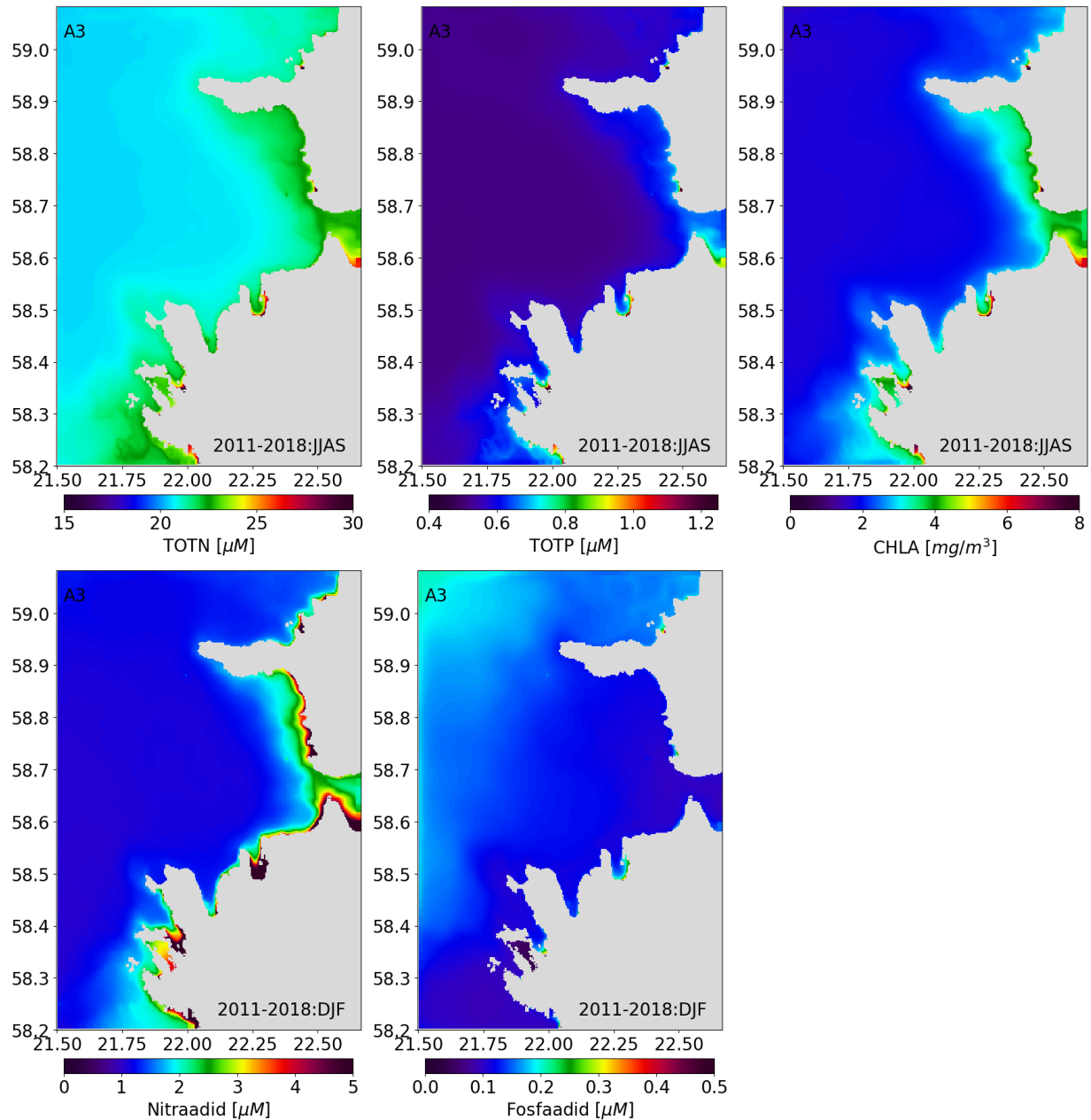


Joonis 3.13. Üldlämmastiku, üldfosfori ja klorofüllü keskmesed kontsentratsioonid suvel (ülemised paneelid) ning anorgaaniliste toitainete jaotused talvel (alumised paneelid) alternatiivis A2.

Võrreldes toitainete ja klorofüllü keskmesi jaotusi alternatiivides A2 ja A3 alternatiiviga A1 väga suuri erinevusi välja tuua ei ole võimalik. Jaotustele on iseloomulik kõikidel juhtudel suuremad kontsentratsioonid rannikumeres, eriti poolsuletud lahtedes ja väiksemad kontsentratsioonid avamere piirkondades. Märkatav on üldlämmastiku ja klorofüllü kontsentratsiooni kasv Tagalahes (nii alternatiivis



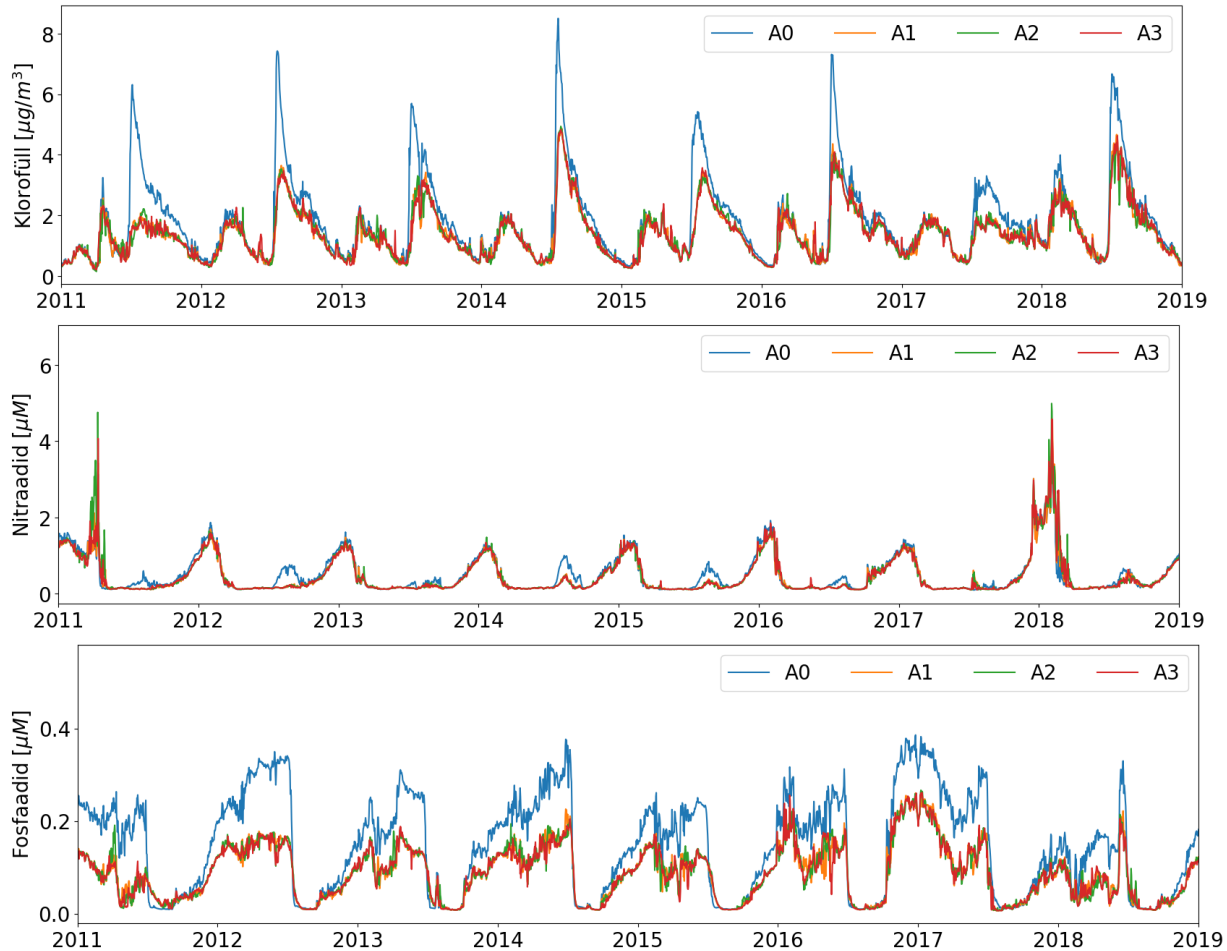
A2 kui A3) ja Hiiu maast edelasse jäävate kavandatavate kalakasvatuste vahetus läheduses alternatiivi A3 puhul.



Joonis 3.14. Üldlämmastiku, üldfosfori ja klorofüllü keskmesed kontsentratsioonid suvel (ülemised paneelid) ning anorgaaniliste toitainete jaotused talvel (alumised paneelid) alternatiivis A3.

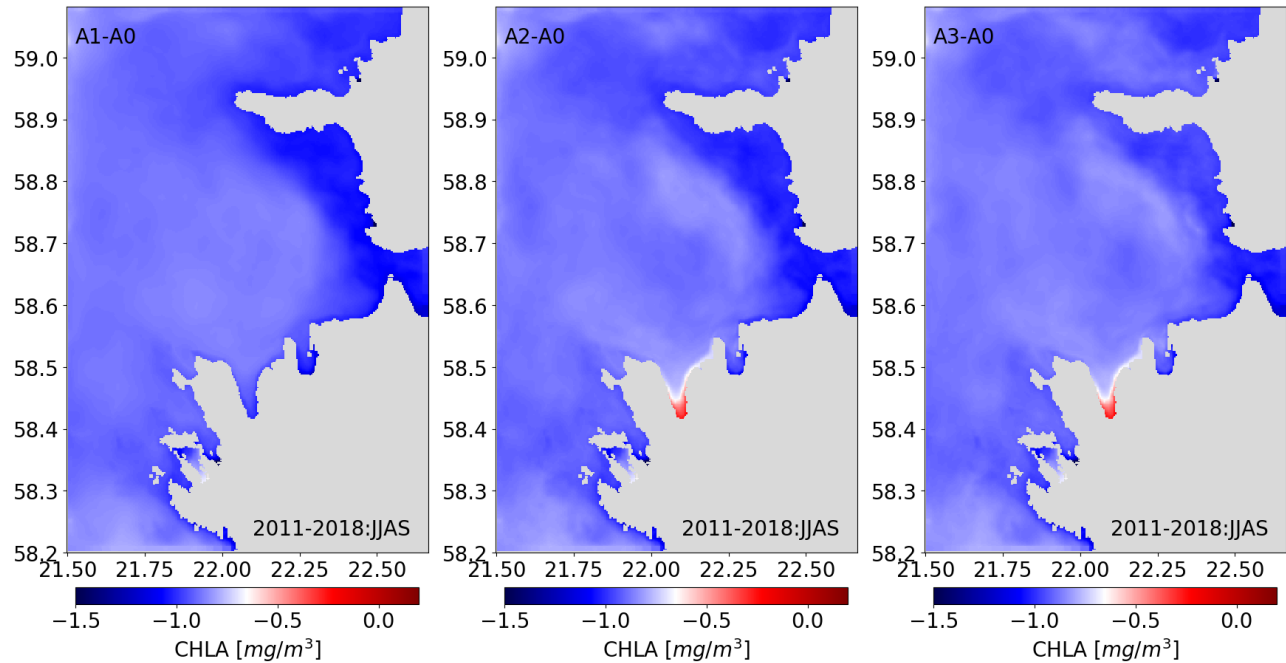
Joonisel 3.15 on toodud klorofüllü ja toitainete ajaline muutlikkus erinevates alternatiivides. Suurimad klorofüllü väärtused Soela väina veekogumis on alternatiivis A0. Toitainete mõistes väheneksid kogu Läänemere hea keskkonnaseisundi korral suvised maksimumid märgatavalt ning kalakasvatuste

lisandumine klorofüllile jaotusi oluliselt hetkeolukorrale lähemale ei tooks, st hea keskkonnaseisund tõenäoliselt säiliks. Sarnaselt klorofüllile, oleksid alternatiivide A1, A2 ja A3 puhul fosfaatide kontsentratsioonid märgatavalt väiksemad kui hetkeolukorras.

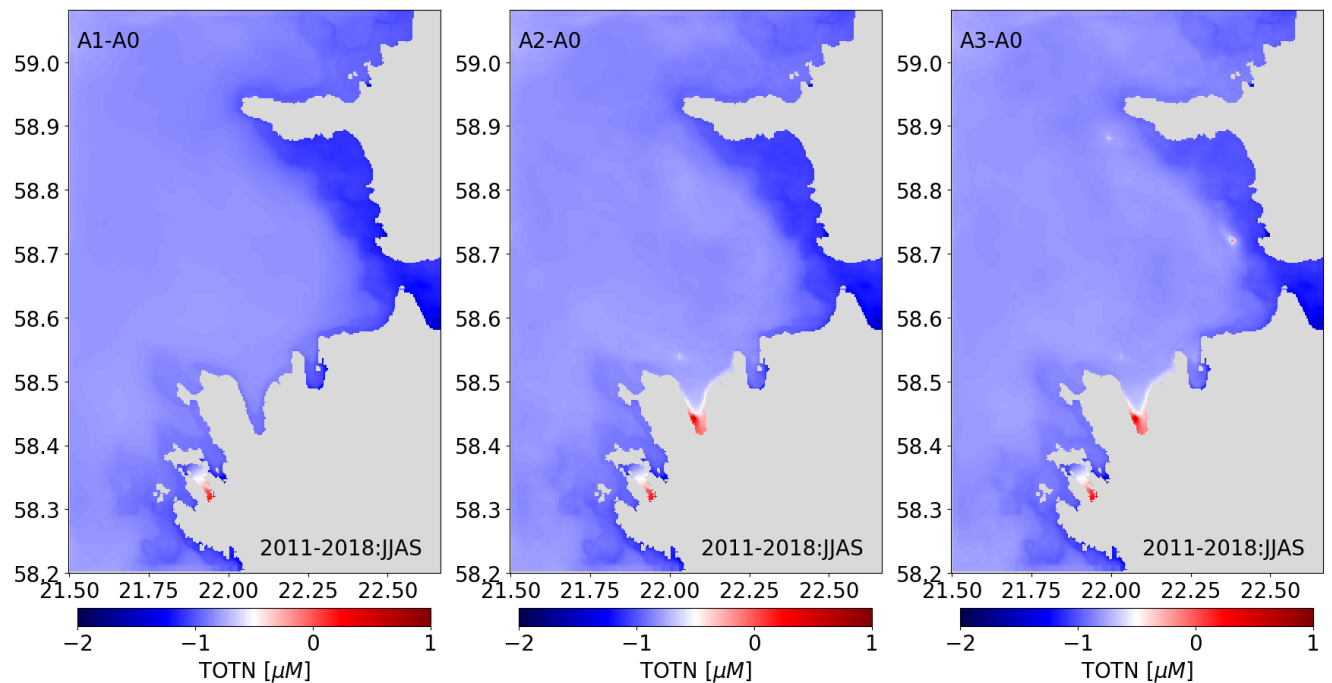


Joonis 3.15. Klorofüllil ja toitainete modelleeritud aegread (kõrglahutusega mudeli tulemused) Soela väina veekogumi punktist 22.042E ja 58.675N alternatiivide A0, A1, A2 ja A3 korral.

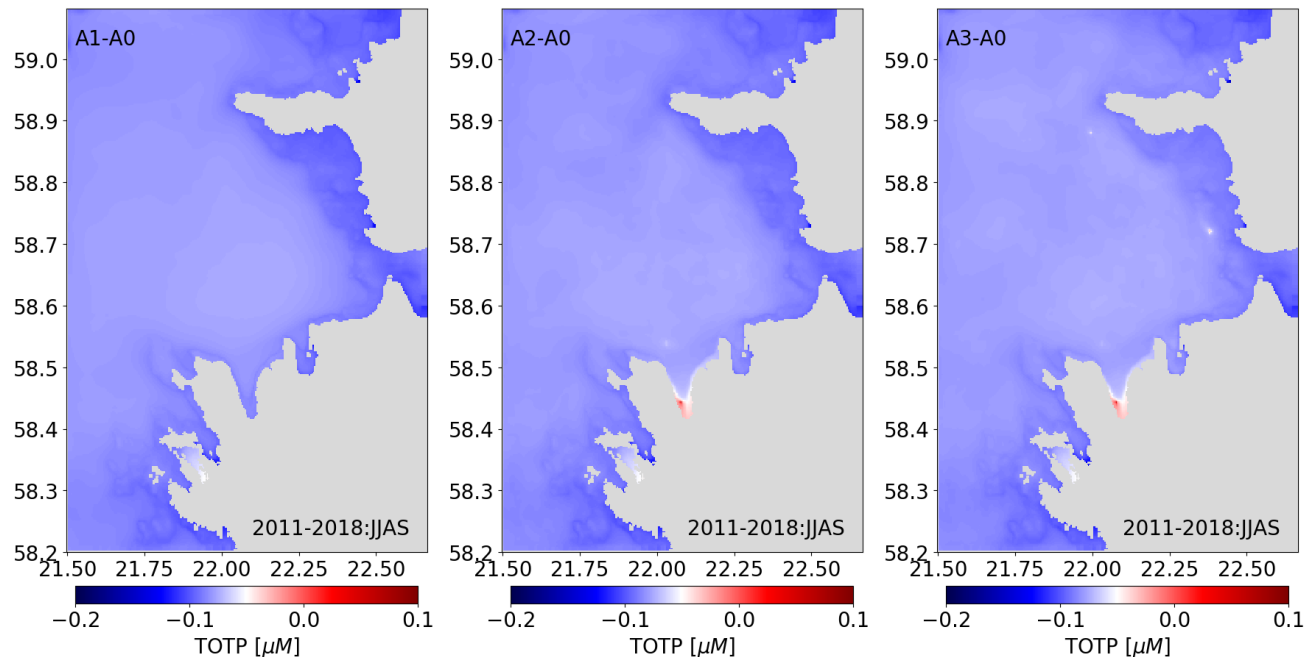
Klorofüllil ning üldainete kontsentratsioonide erinevused suvel alternatiivide A1, A2 ja A3 korral võrreldes alternatiiviga A0 on toodud joonistel 3.16-3.18. Üldiselt väheneksid klorofüllil kontsentratsioonid terve veekogumi ulatuses A1 korral ning peaaegu terve veekogumi ulatuses A2 korral. Muutused oleksid märgatavalt väiksemad Tagalahe piirkonnas A2 jaoks, mille lähistele kõik potentsiaalsed kalakasvatused on kavandatud. See tähendab esialgselt hea keskkonnaseisundi tingimustes viiks kalakasvatuste koormuste lisamine keskkonnaseisundi praegusele olukorrale lähemale, kuid kontsentratsioonid jääksid ikkagi allapoole viimastel aastatel mõõdetud väärtustele.



Joonis 3.16. Suvise keskmise klorofüllü kontsentratsiooni erinevus ülemises veekihis alternatiivide A1, A2 ja A3 puhul võrreldes alternatiiviga A0 (hetkeolukorraga).



Joonis 3.17. Suvise keskmise üldlämmastiku kontsentratsiooni erinevus ülemises veekihis alternatiivide A1, A2 ja A3 puhul võrreldes alternatiiviga A0 (hetkeolukorraga).



Joonis 3.18. Suvise keskmise üldfosfori kontsentratsiooni erinevus ülemises veekihis alternatiivide A1, A2 ja A3 puhul võrreldes alternatiiviga A0 (hetkeolukorraga).

Alternatiivide võrdlus hetkeolukorraga on kokku võetud tabelis 3.9, kus on esitatud talviste toitainete ning suviste üldainete ja klorofüllü sisalduse keskmised Soela väina veekogumi jaoks. Halvim keskkonnaseisund on hetkeolukorras ehk alternatiivis A0, kus kõigi vaadeldud ainete keskmised kontsentratsioonid on kõrgeimad. Alternatiivi A1 ehk toitainete mõistes heast keskkonna seisundist alustatud arvutuses on kontsentratsioonid märgatavalt väiksemad A0 kontsentratsioonidest ning A2 ehk kalakasvatuste lisandudes Tagalahe lähiste, on keskkonnaseisund oluliselt lähemal alternatiivile A1 kui alternatiivile A0. Mõningased erinevused alternatiivide A2 ja A1 vahel ilmnevad klorofüllü ja talviste toitainete sisaldustes, kuid muutused on väiksemad kui 1% kõigi vaadeldud parameetrite jaoks. Märgatavalt suuremad erinevused ilmnevad kõigi kalakasvatustega alternatiivi (A3) korral. Talvised toitainete sisalduse muutused oleksid suuremad kui kaks korda võrreldes A2-ga, lisaks suureneksid märgatavalt ka suvised üldainete kontsentratsioonid võrreldes alternatiiviga A2-ga. Samas, üldised keskmised oleksid siiski selgelt väiksemad alternatiivist A0 ehk hetkeolukorra keskmistest.

Tabel 3.9. Keskmise talviste (DJF) toitainete ning suviste (JJAS) üldainete ja klorofüllü sisaldus Soela väina veekogumi ülemises 10-meetrises veesambas alternatiivides A0, A1, A2 ja A3 perioodil 2011-2018.

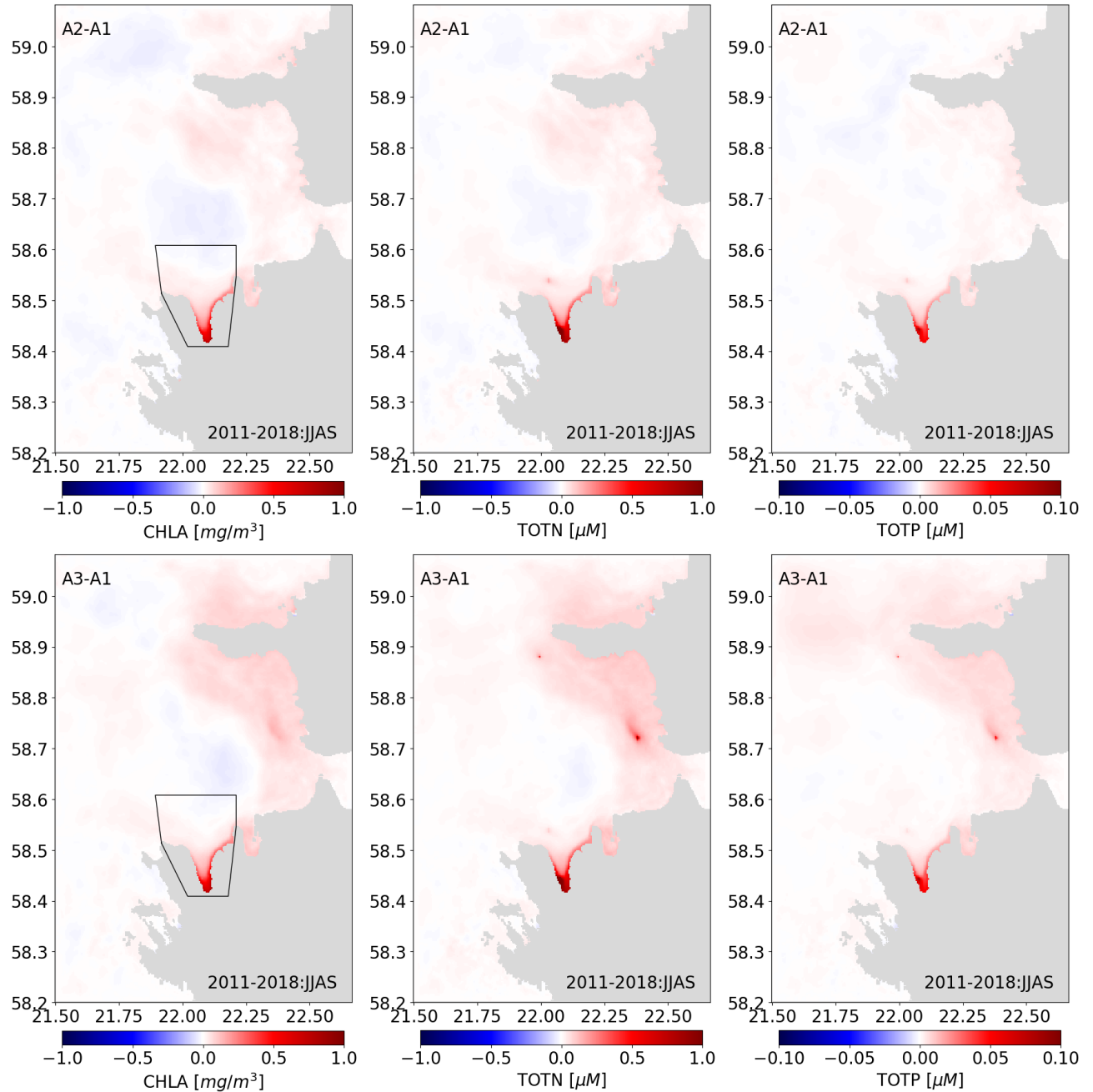
	A0	A1	A2	A3	A2-A1	A3-A1
DIN DJF [ $\mu\text{M}$ ]	1.508	1.473	1.479	1.495	0.006	0.022
DIP DJF [ $\mu\text{M}$ ]	0.188	0.119	0.120	0.120	0.0007	0.0014
Chla JJAS [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ]	3.156	2.240	2.253	2.270	0.013	0.028
TN JJAS [ $\mu\text{M}$ ]	21.887	21.003	21.020	21.04	0.017	0.037
TP JJAS [ $\mu\text{M}$ ]	0.628	0.547	0.548	0.550	0.001	0.002

Kalakasvatuste mõju suviste klorofüllil ja üldainete kontsentratsioonide ruumilisele jaotusele Soela väina veekogumis on näidatud joonisel 3.19. Üldiselt on kalakasvatuste märgatav mõju piiratud ulatusega ning suurimad muutused on kalakasvatuste vahetus läheduses Tagalahe piirkonnas. Kogu veekogumi piires arvatud keskmised toitainete ja klorofüllil väärtused muutuvad väga vähe (tabel 3.9, parempoolsed tulbad). Olgugi, et veekogumi kogukeskmiste muutused on kalakasvatuste lisamisel väikesed, ilmneb alternatiivide A2 ja A3 korral üks oluline erinevus – nimelt kalakasvatuste paiknemisel Tagalahe lähistel (A2) on ka muutused suhteliselt lokaalsed ja pigem Tagalahe lähistel. Kõigi kalakasvatuste korral (A3) on võimalik mõjutatud ala palju suurem, st märgatavad muutused võrreldes alternatiiviga A1 on palju suuremal alal alternatiivi A2 puhul.

Tagalahe keskmised toitainete, klorofüllil ja üldainete kontsentratsioonid erinevate alternatiivide jaoks on toodud tabelis 3.10. Üldiselt on väärtused väiksemad Soela väina veekogumi väärtustest kõigi vaadeldud parameetrite jaoks, ainus erinevus ilmneb talviste fosfaatide väärtustes, mis on Tagalahes suuremad kui Soela väina veekogumis. Selline tulemus on tingitud asjaolust, et Tagalahes on algselt toitainete kontsentratsioonid madalamad, kui teistes piirkonna siselahtedes (Küdema, Hiiumaa rannikumeri, Soela väin idapoolne osa). Kuid võrreldes muutusi keskmistes kontsentratsioonides, kasvavad kõikide parameetrite väärtused Tagalahes (tabel 3.10; alternatiivide A2 ja A1 vahe) tunduvalt rohkem kui keskmiselt Soela väina veekogumis. Alternatiivi A3 puhul, kuhu on lisatud kaks Hiiumaast edelasse kavandatud kalakasvatust, mõju Tagalahele ei ole märgatavalt erinev alternatiivi A2 mõjust. See tähendab, vähemalt modelleerimisperioodi (kaheksa aastat) Tagalahest eemal asuvad kalakasvatused Tagalahe siseosa keskkonnaseisundit ei mõjutaks.

Tabel 3.10. Keskmine talviste (DJF) toitainete ning suviste (JJAS) üldainete ja klorofüllil sisaldus Tagalahe (vt ala ulatust joonisel 3.20) ülemises 10-meetrises veesambas alternatiivides A0, A1 ja A2 perioodil 2011-2018.

	A0	A1	A2	A3	A2-A1	A3-A1
DIN DJF [ $\mu\text{M}$ ]	1.316	1.268	1.285	1.285	0.017	0.018
DIP DJF [ $\mu\text{M}$ ]	0.193	0.1213	0.1230	0.123	0.0016	0.0014
Chla JJAS [mg/m <sup>3</sup> ]	2.939	2.067	2.112	2.114	0.045	0.047
TN JJAS [ $\mu\text{M}$ ]	21.659	20.838	20.903	20.902	0.064	0.064
TP JJAS [ $\mu\text{M}$ ]	0.613	0.535	0.539	0.539	0.004	0.004



Joonis 3.19. Alternatiivide A2 ja A3 võrdlus alternatiiviga A1 ehk kalakasvatuste mõju suviste klorofüllil ja üldainete kontsentratsioonide jaotusele esialgselt heale keskkonnaseisundile vastavate algingimuste puhul. Musta kastiga on vasakpoolsetel paneelidel näidatud Tabeli 3.10 jaoks keskmiste väärtuste arvutamiseks kasutatud piirkond.

## 4. Arutelu ja kokkuvõte

Käesoleva teadus-arendustöö eesmärgiks oli määrata maksimaalsed lubatud toitainete koormused valitud rannikuveekogumites (eelkõige nendes, kuhu on kavandatud kalakasvatused, sh Soela väina veekogum ja selle osana Tagalaht), mis ei muudaks mere keskkonnaseisundit halvemaks. Selleks analüüsiti esimese sammuna siiani kasutatud meetodikaid jõgede/vooluveekogude ja seiramata alade ja merevalgalade koormuste arvutamiseks.

Eestis on olemas väga hea tööriist vooluhulkade ja koormuste hindamiseks – EstModel. Selle abiga on võimalik usaldusväärset hinnata koormuseid ja nende jaotust erinevate allikate vahel kogu seiratud ala ulatuses. Peamiseks probleemiks on see, et väga suur osa Eestist (Läänemere valgalast) ei ole kaetud pidevseirega. Kui üldiselt on Eesti vooluveekogudest lähtuv lämmastiku koormus Läänemerele pidevseire andmetel suurenenud, siis selle tulemuse ülekandmine kogu Eestile või teatud piirkonnale on küsitav. Näiteks, kogu Eestist Läänemere avaosale (Baltic Proper) lähtuv koormus on hinnatud ühegi mõõtmiseta selle piirkonna valgalal. Seiramata alade vooluhulkade hindamine praegu kasutatava meetodi põhjal ei arvesta sademete erinevusi jmt seiratud ja seiramata alade vahel. Koormuste hinnangud ei arvesta atmosfäärist pärit lämmastiku voogude ebaühtlusega ega tegelikult nendes piirkondades veekeskonda sattuvate toitainete koormuse ja nende muutustega ajas. Vooluhulkade ja koormuste ekstrapoleerimine erinevate seirejaamade andmete abil (vooluhulkade jaoks on seirejaamu tunduvalt rohkem) põhjustab seletamatuid muutusi toitainete keskmistes kontsentratsioonides seiramata alade vooluveekogudes. See tähendab, toimunud muutused inimtegevuses ja survetegurites Hiiumaal ja Saaremaal ei ole otseselt mõjutanud sellest piirkonnast lähtuvaid koormuse hinnanguid (kasutatud seireandmed on saadud Eesti mandriosast).

Ettepanekud pidevseire programmi täiendamiseks ja EstModel'i arendamiseks:

- Jõgede pidevseire programmi on vaja lülitada vähemalt üks hüdrokeemia pidevseirejaam nii Saaremaal kui Hiiumaal.
- EstModel'i arenduses oleks järgmiste sammudena vajalik lisada sademete ebaühtluse arvestamine, st atmosfäärist lähtuvat lämmastiku koormust on vaja arvestada mitte konstandina vaid ruumis ja ajas muutuvana, lisada mudelisse rohkem toitainete allikaid nende tegelike koormustega, sh seiramata aladel.
- Kuna juba siiani tehtud arendustööd EstModel'is annavad tunduvalt usaldusväärsema hinnangu toitainete koormusele Eestis, siis oleks vaja asendada varem HELCOM'ile PLC jaoks raporteeritud koormused uute hinnangutega.

Teise sammuna viidi läbi analüüs ja prognoos koormuste kohta fookusega Soela väina veekogumil. Suurima valgala ja hinnatud vooluhulga ning koormustega vooluveekogu, mis suubub Soela väina veekogumisse, on Punabe jõgi Saaremaal. Hinnatud lämmastiku- ja fosforikoormused Punabe jõest on keskmiselt 70,6 tonni lämmastikku aastas ja 1,38 tonni fosforit aastas. Kuna toitainete sisalduse mõõtmisi piirkonnas on tehtud väga vähe, siis ei ole võimalik teha otsuseid, kui hästi vastavad EstModel'i abil hinnatud koormused seireandmetele. Mõõdetud keskmised kontsentratsioonid Punabe jões ja EstModel'i koormuste ning vooluhulkade hinnangute abil saadud keskmised kontsentratsioonid lähevad fosfori osas hästi kokku, aga lämmastiku osas erinevad (kuid lämmastikul on suurem sesoonne muutlikkus, mis võib olla erinevuste põhjuseks). EstModel'i hinnangute kohaselt on Soela väina vooluveekogudes aastatel 2016-2021 keskmiseks üldlämmastiku ja üldfosfori kontsentratsiooniks vastavalt 2,91 mg/l ja 0,047 mg/l.

Fosfori puhul ületab see üle kahe korra kontsentratsiooni, mis tagaks Läänemere tegevuskava eesmärgi saavutamise (HELCOM ACTION, 2021a).

Suurimaks toitainete allikaks Soela väina veekogumi valgalal on põllumajandusest lähtuv koormus. Üheteistkümne analüüsitud vooluveekogu valgala peale kokku (mis katavad ca 60% kogu Soela väina veekogumi valgalast) on hinnatud põllumajandusest lähtuvaks lämmastiku koormuseks 2017. a andmetel 14,7 t/a ja metsamajandusega seotud koormuseks 5,39 t/a ning Soela väina ülejäänud alalt on saadud põllumajanduse lämmastiku koormuseks 4,8 t/a ja metsamajandusega seotud koormuseks 2,56 t/a. Keskkonnaportaalis kirjeldatud punktallikate koormused piirkonnas on tunduvalt väiksemad (alla 1 t/a lämmastikku ja alla 0,1 t/a fosforit) kui läbi jõgede kaudu Soela väina veekogumisse suubuvad toitainete koormused.

Kavandatavate kalakasvatuste maksimaalsed lubatud koormused ületavad piirkonna jõgedest ükshaaval lähtuvaid koormusi – summaarselt oleks täiendav lämmastikukoormus 173 t/a ja fosforikoormus 10,6 t/a kolme analüüsitud kalakasvatuse puhul (Alternatiiv 2) ja 352 t/a lämmastikku ning 25 t/a fosforit viie kalakasvatuse puhul (Alternatiiv 3). HELCOM Läänemere tegevuskavas on Läänemere avaosale Eestist lähtuva koormusete lagedeks kokku lepitud 1478 t/a lämmastikku ja 9 t/a fosforit (HELCOM, 2021). See tähendab, kui fosforikoormuse lagi on ebarealistlik (HELCOM ACTION, 2021a), siis kalakasvatuste lisamine tooks juurde suurema koormuse kui kehtestatud koormuse laega võrreldava fosforikoormus. Läänemere tegevuskava (sõltumata sellest, kas kalakasvatuste koormus lisandub või mitte) on võimalik niigi täita ainult arvestades võimalust, et Eestist tulenev fosforikoormus väheneb teistes alambasseinides ja Läänemere avaosa eesmärk täidetakse selle arvelt. Taoline lähenemine on Läänemere tegevuskava kohaselt aktsepteeritav.

Keskmine fosforikoormuse vähenemine on Eestist viimase 30 aasta jooksul olnud 13 tonni aasta kohta. Kui koormuse vähenemine jätkuks samas tempos, siis saavutaks Eesti kogu Läänemerele arvatud fosforikoormuse lae (HELCOM eesmärgi) aastaks 2035. Kalakasvatustest tulenev täiendav koormus 25 t/a viiks eesmärgi täitmise edasi vähemalt kaks aastat. Lämmastikukoormuse eesmärgi täitmiseks on vajalik vähendada eelkõige põllumajandusest tulenevat koormust kogu Eestis. Kui jätkub jõgede kaudu merre jõudva lämmastikukoormuse vähenemise viimaste aastate trend 120 t/a (mis ei ole statistiliselt usaldusväärne), siis lükkaks kalakasvatuste lisandumine eesmärgi täitmise edasi vähemalt kolm aastat.

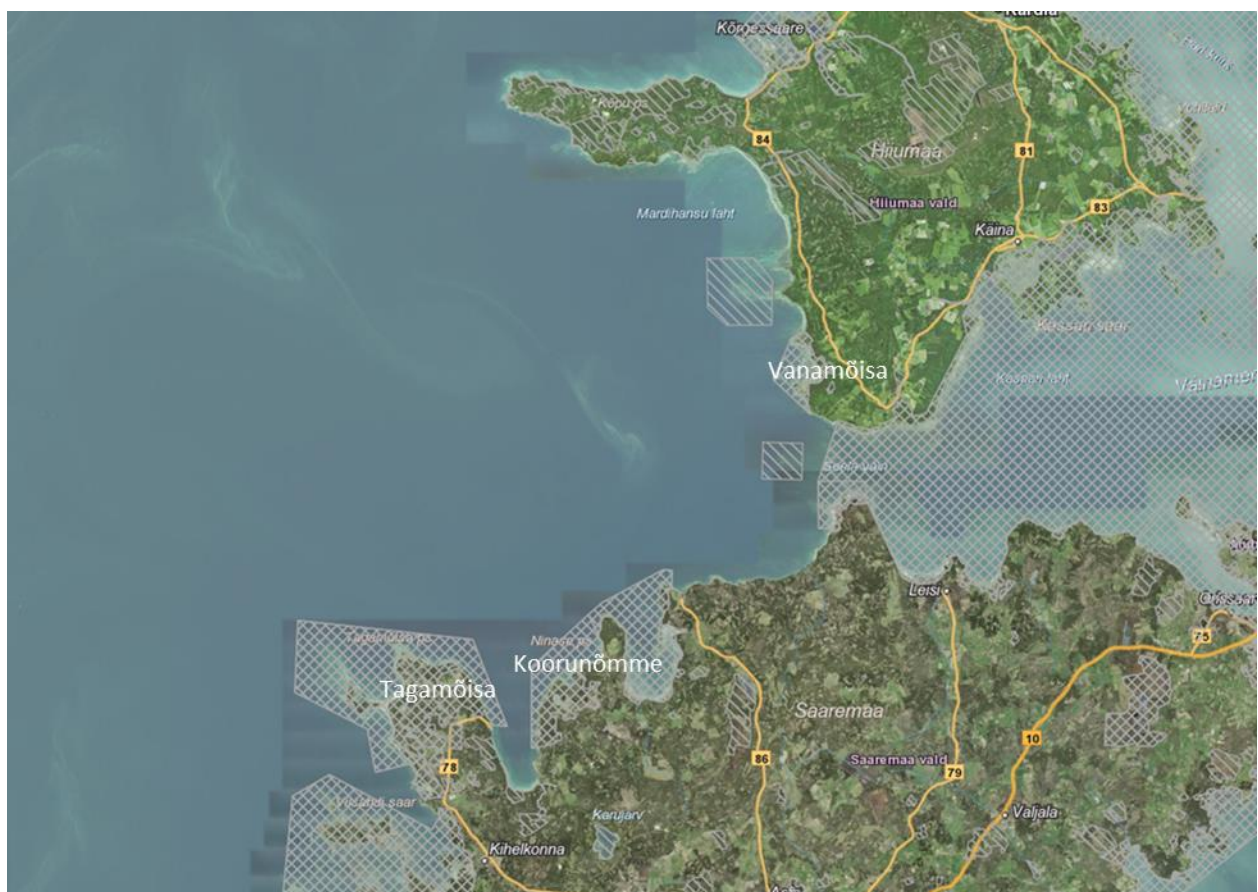
Järeldused ja ettepanekud:

- Soela väina veekogumi piires ei ole selle mastaabiga koormusallikaid, mille eemaldamine kompenseeriks kavandatavate kalakasvatustega potentsiaalselt kaasneva koormuse suurenemise, eriti fosforikoormuse osas.
- Võimaldades piirkonnas kalakasvatuste rajamist, peab leidma võimalused koormuste vähendamiseks täiendavalt arvestades kõikide Eesti vesikondadega.
- Kui fosforikoormuse vähenemine jätkub samas tempos, siis saavutaks Eesti HELCOM eesmärgi aastaks 2035. Kalakasvatuste lisandumine lükkaks eesmärgi saavutamise edasi ühe aasta võrra, arvestades juba toimivaid või KMH protsessi läbinud kalakasvatuse ja kaks aastat, arvestades ka täiendavat kahte Soela väina veekogumisse või selle vahetusse lähedusse kavandatud kalakasvatust.

Käesolevas uuringus on biogeokeemia ja füüsikaliste protsesside modelleerimiseks kasutatud kõrge ruumilise lahutusega kaasaegset koostöötavat mudelsüsteemi GETM-ERGOM, mis võimaldab



modelleerida nii füüsikalisi kui ka bioloogilisi protsesse rannikumeres. Esmakordselt on edukalt kasutatud numbrilise mudeli sisendina Eesti Keskkonnaagentuuri poolt EstModel'iga hinnatud lämmastiku ja fosfori koormusi nii Soela väina veekogumi kui ka kogu Eesti rannikumere jaoks. Modelleerimise tulemusena on leitud, et kasutades algingimusteks heale keskkonnaseisundile vastavaid toitainete kontsentratsioone kogu Läänemere ulatuses, ei suurendaks kõikide analüüsitud kalakasvatuste koormuste lisamine oluliselt üle kogu Soela veekogumi hinnatud indikaatorite väärtusi (üldlämmastiku, üldfosfori ja klorofüllü keskmi kontsentratsioon mere pinnakihis juunist septembrini). Suurimad muutused oleksid täheldatavad pika aja jooksul Tagalahe piirkonnas, mille läheduses paiknevad ka Natura 2000 linnu- ja looduslad (joonis 4.1). See tulemus suhteliselt väikse mõju kohta (isegi nii suurte punktkoormusallikate puhul) on seletatav asjaoluga, et analüüsitud veekogumisse sisse ja välja liikuva toitainete kogused on läbi avatud radade üle ühe suurusjärgu suuremad, kui kalakasvatuste või jõgede poolt veekogumisse toodud toitainete vood.

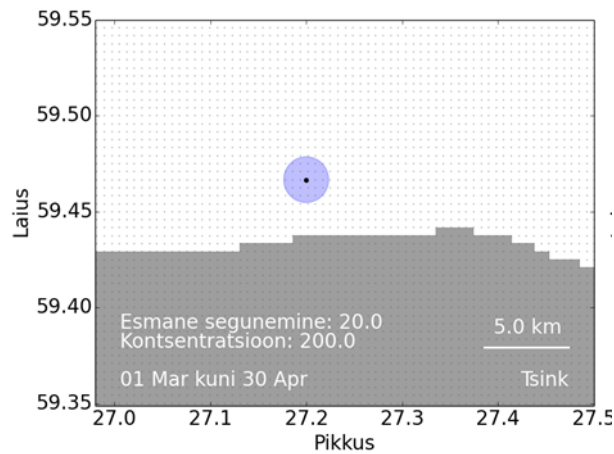


Joonis 4.1. Natura 2000 linnualad (viirutatud kirde-edela suunas) ja looduslad (viirutatud loode-kagu suunas). Allikas Maa-ameti kaardirakendus (<https://xgis.maaamet.ee/xgis2/page/app/looduskaitse>).

Samas ei tohi ignoreerida toitainete ja klorofüllü lokaalset suurenemist nii vaadeldes üksikuid kalakasvatusi ja nende asukohti kui kumulatiivset mõju, mis näiteks avaldub Tagalahe ranniku lähedal (Pidula lahes). Tuleb ka arvestada kaitse- ja hoiualade paiknemisega Tagalahe piirkonnas. See tähendab, et kalakasvatusi ja nende heitvee väljalaske peab kavandama nii, et Natura 2000 aladel seisund ei halveneks ka mitte

lokaalselt. Käesolevas töös läbi viidud mudelarvutuste tulemuste põhjal oleks mõju kõige suurem Tagalaha lõunaosas, mis on Natura 2000 aladest väljaspool, kuid Tagalahes ja selle suudmealal paiknevate kalakasvatuste kumulatiivne teatud mõju oleks nii Tagamõisa linnualal kui Koorunõmme linnualal olemas. Nimetatud mõju avalduks arvutuste põhjal toitainete ja klorofüllü kontsentratsioonide kasvus alla 1% võrreldes hea keskkonnaseisundile vastavate tasemetega. Sarnaselt avaldaks Saaremere Kala kavandatav kalakasvatud Hiiumaast edelas (Hiiumaa mereplaneeringu alal PV4<sup>1</sup>) teatud mõju Vanamõisa linnualale. Kuid ka siin oleks nimetatud keskkonnaparametrite väärtuste suurenemine alla 1%.

Üheks võimalikuks lähenemiseks iga konkreetse kalakasvatuse mõju hindamisel oleks kalakasvatuse mõjupiirkonna ulatuse defineerimine analoogselt ohtlike ainete segunemiskiirkonna määramisega heitveeväljalaskude puhul (RT I, 22.09.2021, 2). Vastava segunemiskiirkonna ulatuse saaks sel juhul kirjutada sisse keskkonnaloasse ja arendaja oleks kohustatud sellest kinnipidamist toitainete sisalduse seirega näitama. Näiteks on toodud joonisel 4.2 Kohtla-Järve reovee puhastusseadmete heitvee väljalasu suublas määratud ohtlike ainete segunemiskiirkond tsingi jaoks.



Joonis 4.2. Näide määratud segunemiskiirkonnast ohtlike ainete puhul. Modelleeritud segunemiskiirkond tsingi jaoks Kohtla-Järve reovee puhastusseadmete heitvee väljalasu suublas. Kasutatud on eeldatavat maksimaalset ohtliku aine kontsentratsiooni, mis ületab viis korda suurimat mõõdetud kontsentratsiooni heitvees (TTÜ MSI, 2014).

Analoogia kasutamine toitainete jaoks ei ole aga lihtne, sest puuduvad sarnaselt defineeritud piirväärtused (ühe punkti ja hetkväärtuste mõttes) ja toitainete kontsentratsioonid kogu veekogumis ületavad juba praegu rannikuvee heale ökoloogilisele seisundile vastavaid väärtusi. Mõjutatud ala ulatuse määramise ühe ettepanekuna võiks järgnevatel töodes testida siin välja pakutud meetodit hinnates, kui kaugel kalakasvatusest (väljalasust) ületavad toitainete kontsentratsioonid järgmise (halbema) klassi piirväärtusi. See lähenemine oleks kooskõlas ka Euroopa kohtu otsusega 1. juulist 2015<sup>2</sup>, sest veekvaliteedi

<sup>1</sup> [https://maakonnplaneering.ee/wp-content/uploads/2021/08/Pohijoonis\\_markusega-23-dets.pdf](https://maakonnplaneering.ee/wp-content/uploads/2021/08/Pohijoonis_markusega-23-dets.pdf)

<sup>2</sup> EUROOPA KOHTU OTSUS, 1. juuli 2015, Kohtuasi C 461/13.

klass ei muutu kogu veekogumi ulatuses ja on määratud, kui suurel alal potentsiaalselt võib seisund halveneda (mille ulatus peab olema väike võrreldes veekogumi või selle olulise osaga).

Järeldused ja ettepanekud:

- Kavandatavate kalakasvatuste lisamine mõjutab kogu Soela väina veekogumi ökoloogilist seisundit suhteliselt vähe, kuna suurimad toitainete vood piirkonda tulevad läbi avatud radade naaberbasseinidest (voog on suurusjärgu võrra suurem, kui koormus kalakasvatustest).
- Kalakasvatuste lisamisel piirkonda Soela väina veekogumi ökoloogilise seisundi hinnang (klass) toitainete indikaatorite põhjal ei muutu.
- Suurima kumulatiivse mõjuga alaks on Tagalahe siseosa.
- Mõju lähimatele NATURA 2000 aladele avalduks toitainete ja klorofüllüüli keskmise sisalduse kasvus alla 1%.
- Tulevikus oleks analoogsete hinnangute tegemiseks otstarbekas välja töötada printsiibid mõjutatud ala ulatuse määramiseks ja lähtuda koormuste ning asukoha valikul mõjutatud ala ulatuse kriteeriumitest.

Viimase punktina analüüsisime kogu Eesti merealale taotletavate kalakasvatuste realistlikkust arvestades Läänemere toitainete koormuse vähendamise eesmärkidega. Lisaks analüüsitud kalakasvatustele, mille kogutoodanguks oleks 11 540 tonni kala aastas, taotletakse kalakasvatuste rajamist avamerele Ösel Offshore OÜ poolt (kolm ala, mis jäävad Saaremaast läände, Hiiumaast põhja ja Osmussaarest läände) toodangu mahuga 40 500 kuni 73 500 tonni aastas ning Eesti Sinitaristu OÜ poolt (Hiiu mereala vesiviljeluse alad PV1 ja PV2<sup>3</sup>) toodangu mahuga kuni 10 000 tonni aastas. Kui need plaanid kõik realiseeruksid, oleks Eesti kalakasvatuste toodang ligi 100 000 tonni kala aastas. Aastal 2021 oli Eesti magevee kalakasvatuste toodanguks 849 tonni<sup>4</sup>, ehk toodangu maht kasvaks üle 100 korra.

Kõigi kavandatud mere kalakasvatuste hinnanguline summaarne koormus Läänemerele ületaks maksimaalsel juhul 220 tonni fosforit aastas ja 3000 tonni lämmastikku aastas, mida ei ole realistlik kompenseerida isegi kogu Eesti ulatuses meetmetega maismaal (näiteks põllumajanduses). Leevendavad meetmed merel, sealhulgas Läänemere kala kasutamine kalakasvatustes söödaks, ei ole samuti sellises mahus realistlik. Kogu Eesti kalapüük Läänemerest oli 2021. aastal ligikaudu 55 500 tonni<sup>5</sup>, mis on väiksem, kui vajalik söödakogus kalakasvatustele. Kui väikses mastaabis ja väikeste toodangumahtude puhul oleks väheväärtusliku kala kasutamine kompenseeriva meetmena mõeldav, siis suures mastaabis ei ole taoline lähenemine realistlik. Töõnduslikku kalapüüki ei saa arvestada toitainete eemaldamise meetmena, sest HELCOM koormuste vähendamise eesmärkide püstitamisel lähtuti eeldusest, et kalapüük toimub enam-vähem endises mahus. Selles mõttes oleks välja püütud kala kasutamine söödana mere kalakasvatustes samuti uute toitainete lisamine merre (muidu oleks need välja viidud) ja summaarne koormus kalakasvatusest jääks ligikaudu samaks.

Lisaks on avamerele rajatavad suuremastaapsed kalakasvatused piiriülese mõjuga ja Eesti peaks nende mõjusid hinnates arvestama teiste riikide arvamusega. Kuni kehtivad HELCOM Läänemere tegevuskava toitainete koormuse vähendamise eesmärgid, mis on riikide vahel kokku lepitud ja mida ka Eesti on aktsepteerinud, siis on just see üks piiriülese mõju hinnang, millega peab arvestama. Uute koormuste

<sup>3</sup> [https://maakonnaplaneering.ee/wp-content/uploads/2021/08/Pohijoonis\\_markusega-23-dets.pdf](https://maakonnaplaneering.ee/wp-content/uploads/2021/08/Pohijoonis_markusega-23-dets.pdf)

<sup>4</sup> <https://www.stat.ee/en/find-statistics/statistics-theme/agriculture-fisheries-and-hunting/fishing>

<sup>5</sup> <https://www.stat.ee/en/find-statistics/statistics-theme/agriculture-fisheries-and-hunting/fishing>

lisamisel oleks vaja näidata, kus Eestis koormuse vähenemine piisavas mahu on võimalik, et endiselt jõuda teatud aja jooksul HELCOM Läänemere tegevuskava toitainete koormuste vähendamise eesmärkide täitmiseni.

Kokkuvõtteks väidame, et analüüsitud kalakasvatuste toitainete koormuse lisamine (tabel 2.1) ei põhjusta ühegi kvaliteedielemendi järgi Soela väina veekogumi seisundi halvenemist veekvaliteedi klassi mõistes. Põhimõtteliselt on Eestil nimetatud kalakasvatuste lisandumisel teatud aja jooksul võimalik täita toitainete koormuse vähendamise eesmärgid, kuid paar aastat hiljem praeguste meetmete rakendamise jätkumisel. Samas soovitame enne, kui uutele kalakasvatustele lubasid väljastada, väga hoolega kaaluda, kui suures mahu on kompenseerivad meetmed realistlikud. Ilma kompenseerivate meetmeteta suuremastaapseid kalakasvatusi rajada pole võimalik.

## Viited

- Bruggeman, J., and Bolding, K. (2014). A general framework for aquatic biogeochemical models. *Environ. Model. Softw.* 61, 249–265. doi:10.1016/j.envsoft.2014.04.002.
- Burchard, H., and Bolding, K. (2002). GETM – a general estuarine transport model. Scientific Documentation. Technical report EUR 20253 en. In: Tech. Rep. European Commission. Ispra, Italy.
- Canuto, V. M., Howard, A., Cheng, Y., and Dubovikov, M. S.: Ocean Turbulence. Part I: One-Point Closure Model—Momentum and Heat Vertical Diffusivities, *J. Phys. Oceanogr.*, 31, 1413-1426, doi:10.1175/1520-0485(2001)031<1413:OTPIOP>2.0.CO;2, 2001.
- HELCOM, 2021. Baltic Sea Action Plan. 2021 update.
- HELCOM, 2022a. Evaluation of the 2017 progress towards updated Nutrient Input Ceilings (NIC).
- HELCOM, 2022b. HELCOM Guidelines for the annual and periodical compilation and reporting of waterborne pollution inputs to the Baltic Sea (PLC-Water):
- HELCOM ACTION, 2021a. Compatibility of targets under different marine policies - Sufficiency of the EU WFD targets for individual rivers basins to achieve the BSAP goals.
- HELCOM ACTION, 2021b. HELCOM Pollution Load Compilation data and potential to address nutrient loads.
- Hofmeister, R., Burchard, H., and Beckers, J-M.: Non-uniform adaptive vertical grids for 3D numerical ocean models, *Ocean Modelling*, 33(1–2), 70–86, doi:10.1016/j.ocemod.2009.12.003, 2010.
- Janssen, F., Schrum, C. & Backhaus, J.O. 1999. *Deutsche Hydrographische Zeitschrift* 51(Suppl 9): 5. <https://doi.org/10.1007/BF02933676>.
- Keskkonnaministeerium, 2019. Eesti mereala keskkonnaseisund 2018.
- Keskkonnaministeerium, 2022. Lääne-Eesti vesikonna veajanduskava 2022-2027 (Lisa 4).
- Klingbeil, K., Lemarié, F., Debreu, L., Burchard, H., 2018. The numerics of hydrostatic structured-grid coastal ocean models: State of the art and future perspectives. *Ocean Model.* 125, 80–105. <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2018.01.007>
- Neumann, T., Fennel, W., Kremp, C.: Experimental simulations with an ecosystem model of the Baltic Sea: a nutrient load reduction experiment. *Global Biogeochemical Cycles*, 16 (3). doi:10.1029/2001GB001450, 2002.
- Smagorinsky, J., 1963. General circulation experiment with the primitive equations. I. The basic experiment. *Mon. Weather Rev.* 91, 99–164.
- TTÜ MSI, 2014. Kohtla-Järve reovee puhastusseadmete heitvee väljalasus pinnavee ohtlike ainete segunemiskiirkonna määramine.
- Umlauf, L., and Burchard, H. (2005). Second-order turbulence closure models for geophysical boundary layers. A review of recent work. *Cont. Shelf Res.* 25, 795–827. doi:10.1016/j.csr.2004.08.004.

Väli, G., Meier, M., Placke, M., Dieterich, C., 2019. River Runoff Forcing for Ocean Modeling Within the Baltic Sea Model Intercomparison Project, p. 113. <https://doi.org/10.12754/msr-2019-0113>.

## Lisa 1.

Tabel 1. Mudelis kasutatud kogu lämmastiku koormus riikide ja basseinide kaupa.

Aasta	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
DEBAP	10025	13590	6248	8163	3484	8326	4531	9651
DEWEB	16996	14422	10832	11323	7125	11511	8578	12911
DKBAP	2820	2049	1303	1192	1561	1846	1302	1954
DKKAT	18623	18378	18364	16235	19857	23194	20627	21164
DKSOU	2396	2441	2098	2089	2522	2684	2184	2447
DKWEB	16809	17039	13622	13728	14460	20362	16061	16445
EEBAP	818	706	1035	959	728	1092	1559	850
EEGUF	13602	18873	15948	9688	8529	9081	17162	12492
EEGUR	10926	17642	13112	13160	8346	13458	14838	17502
FIARC	5051	9654	7489	6661	5963	7014	4640	6724
FIBOB	31054	36130	51336	32111	31196	51905	37452	33059
FIBOS	14037	16979	22082	14826	12727	19726	12741	13274
FIGUF	12597	19661	22997	16830	12356	15052	13567	14779
LTBAP	55665	48694	43566	48685	34066	39849	60318	85225
LVBAP	11836	21492	16123	10114	8669	10126	11675	22299
LVGUR	71831	83719	74739	55791	41913	43202	68836	91663
PLBAP	270285	203882	108324	180502	120499	83565	121411	206430
RUBAP	10483	13251	12886	11312	6583	9223	14128	12490
RUGUF	74588	81063	74947	76289	74098	56809	69344	81402
SEBAP	31398	29376	26523	22439	26068	25890	20381	25620
SEBOB	12487	16409	19973	13376	11821	17793	16032	15406
SEBOS	27262	28872	33684	23071	23281	27043	19508	21861
SEKAT	29100	29659	29906	22319	29601	28369	20409	24411
SESOU	4457	4920	3790	4406	5425	5762	3662	6333

Tabel 2. Mudelis kasutatud kogu fosfori koormus riikide ja basseinide kaupa.

Aasta	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
DEBAP	251	499	189	186	149	173	134	245
DEWEB	332	419	347	338	239	334	273	434
DKBAP	53	75	45	46	37	41	31	56
DKKAT	669	708	704	577	702	830	707	747
DKSOU	250	265	331	282	245	240	195	205
DKWEB	534	709	534	465	514	664	535	513
EEBAP	34	14	19	18	12	16	27	21
EEGUF	466	666	436	291	190	188	416	416
EEGUR	211	208	227	212	136	185	239	298
FIARC	347	646	633	570	508	770	357	611
FIBOB	1554	1623	2359	1531	1298	2277	1949	1632
FIBOS	523	676	805	619	422	782	534	662
FIGUF	507	728	1084	629	449	557	540	659
LTBAP	2247	1864	1396	1648	1197	1083	1554	2684
LVBAP	375	763	458	302	227	246	257	492
LVGUR	2552	1755	2667	2131	1335	1205	1972	2798
PLBAP	14844	10970	6915	11154	11264	5313	6348	7660
RUBAP	748	906	884	804	597	927	985	1128
RUGUF	5168	5418	2948	2976	3216	2335	3069	3653
SEBAP	836	847	845	615	732	673	434	549
SEBOB	926	829	1150	702	726	932	818	754
SEBOS	1006	1037	1250	767	757	875	624	670
SEKAT	729	771	792	511	764	681	473	592
SESOU	77	104	82	72	105	92	61	97