Kalanduse teabekeskus
www.kalateave.ee

EMKVF
RAKENDUSKAVA
2021-2027

Kaasrahastanud
Euroopa Liit

Lõpparuanne 17/04/2025

Kestlik kalakasvatus Tagalahes: keskkonna taluvuspiiride määratlemine

Jonne Kotta, Ilja Maljutenko, Villu Vatsfeld
TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL & TARTU ÜLIKOOL
2025

Sisukord

Sissejuhatus 2

Uuritud stsenaariumid 3

Mudelite kirjeldus 4

Tulemused 5

Järeldused ja soovitused 13

Viited 14

Sissejuhatus

Euroopa Liidu ühise kalanduspoliitika ja integreeritud merenduspoliitika toetab sinise majanduse kestlikku kasvu, toiduga kindlustatust, mere bioloogiliste ressursside kaitset ja rannapiirkondade jõukust. Euroopa Liidu ühise kalanduspoliitika ja integreeritud merenduspoliitika rakendamist toetab Euroopa Merendus-, Kalandus- ja Vesiviljelusfond. Fondi üheks eesmärgiks on keskenduda teadmiste suurendamisele ja innovatsioonile, mis võimaldaks maksimaalse tõhususe ja tulususega meres olemas olevat ressurssi ära kasutada, kuid sellistel tingimustel, et looduskeskkonna seisund ei halveneks.

Eesti majandusmere kogupindala on üle 33 tuhande ruutkilomeetri ning selle teadmuspõhisel ja jätkusuutlikul kasutamisel on väga oluline osa riikliku ressursimajanduse kestlikkuse tagamisel. Innovatiivse meremajanduse, sinimajanduse ja vesiviljeluse arendamine on kriitilise tähtsusega ka Eesti saarte ja rannikualade regionaalarengu seisukohalt kuna just need valdkonnad võimaldavad keskenduda kohaliku ressursi maksimaalsele väärindamisele vähima keskkonnamõjuga.

Käesoleval hetkel on toitainete tase Läänemeres liiga suur. Liigne toitainete sissevool põhjustab mikrovetikate vohamist veemassis, niitjate makrovetikate massarengut merepõhjas, vee läbipaistvuse vähenemist, rohket orgaanilise aine settimist, hapnikudefitsiiti põhjalähedastes veekihtides ja tundlikumate veeorganismide hukkumist.

Avatud vesiviljelussüsteemides paiknevad kalad sumpades. Traditsiooniline avatud sumbakasvatus on kulutõhus ja testitud meetod ning sellise lahenduse puhul ei ole vaja kasutada nii palju seadmeid kui teiste kasvatusmeetodite puhul. Avatud sumbad on aga otseses kokkupuutes ümbritseva ökosüsteemiga, mistõttu on keskkonnakahjustuse oht suurem kui kinniste tootmissüsteemide puhul. Sumbad võimaldavad vee vaba liikumist, kuid vee liikumise tõttu pääsevad sumpadest ümbritsevasse keskkonda ka toitained, söödajäägid ja väljaheited. Kasvandusest vabanevad toitained võivad esineda lahustunud kujul või siis settida merepõhja. Seetõttu tuleb kalakasvatuse planeerimisel arvestada olemasoleva olukorraga ning vältida stsenaariume, kus vesiviljelustegevus halvendaks veekeskkonna seisundit.

Eesti üks perspektiivsemaid kalakasvatuse ja vesiviljeluse piirkondi on Saaremaa looderannikul asuv Tagalaht, kus on kõik eeldused innovaatiliste meretoorme väärtusahelate väljaarendamiseks. Seejuures peavad kõik huvitatud osapooled keskenduma tasakaalustatud arengumudelitele, kus samaaegselt rakendatakse ja väärtustatakse toorme kogu majanduslikku ning keskkonnahoiu potentsiaali. Nendest põhimõtetest lähtuvalt hinnatakse käesolevas teadusuuringus Tagalahe piirkonna merekeskkonna taluvuspiire avamere kestliku kalakasvatuse arendamisel.

Sumbakasvanduse laiendamine suurendab toitainete (üldlämmastik ja üldfosfor) koormust, mis võib omakorda tõsta vee klorofülli kontsentratsiooni. Hiljuti valminud uuring samas näitas, et kavandatud kalakasvatusel puudub märkimisväärne keskkonnamõju Soela väina veekogule – keemiliste ja bioloogiliste näitajate muutused jäävad alla 1% (Lips et al., 2023). Kuid selle uuringu ruumiline lahutus ei võimaldanud hinnata, kas kalakasvatus võib põhjustada lokaalseid negatiivseid keskkonnamõjusid Tagalahes. Seetõttu keskendub käesolev uuring sellele, kas kavandatud kalakasvatuse mahu suurenemine põhjustab just Tagalahe piirkonnas vee toitainete ja klorofülli taseme märkimisväärset kasvu. Uuring on vajalik, kuna piirkonda koondub enim kalakasvatusalgatusi ning see aitab ennetada keskkonnakahjulikke arendusi.

Uuritud stsenaariumid

Uuringus analüüsiti kolme erinevat stsenaariumit, mille üksikasjalik kirjeldus on esitatud allpool.

Olemasolev olukord ehk taustatingimused (stsenaarium ds_r10). Olemasoleva olukorra stsenaariumi toitainete koormuste arvutamisel lähtusime järgmistest kehtivatest keskkonnakaitse lubadest ja hoonestuslubade taotlustest:

- **Keskkonnakaitseluba nr KL-508580**, Ösel Aquafarms OÜ:
  - Väljalaskmed ja lubatud saasteainete kogused väljalaskmete ning saasteainete kaupa.
  - Lubatud vooluhulgad kvartalite lõikes:
    - I kvartal: 10 194 000 m³
    - II kvartal: 25 635 000 m³
    - III kvartal: 37 830 000 m³
    - IV kvartal: 25 800 000 m³
  - Aastane koormus:
    - Lämmastik (N): 89,60 t
    - Fosfor (P): 4,6 t

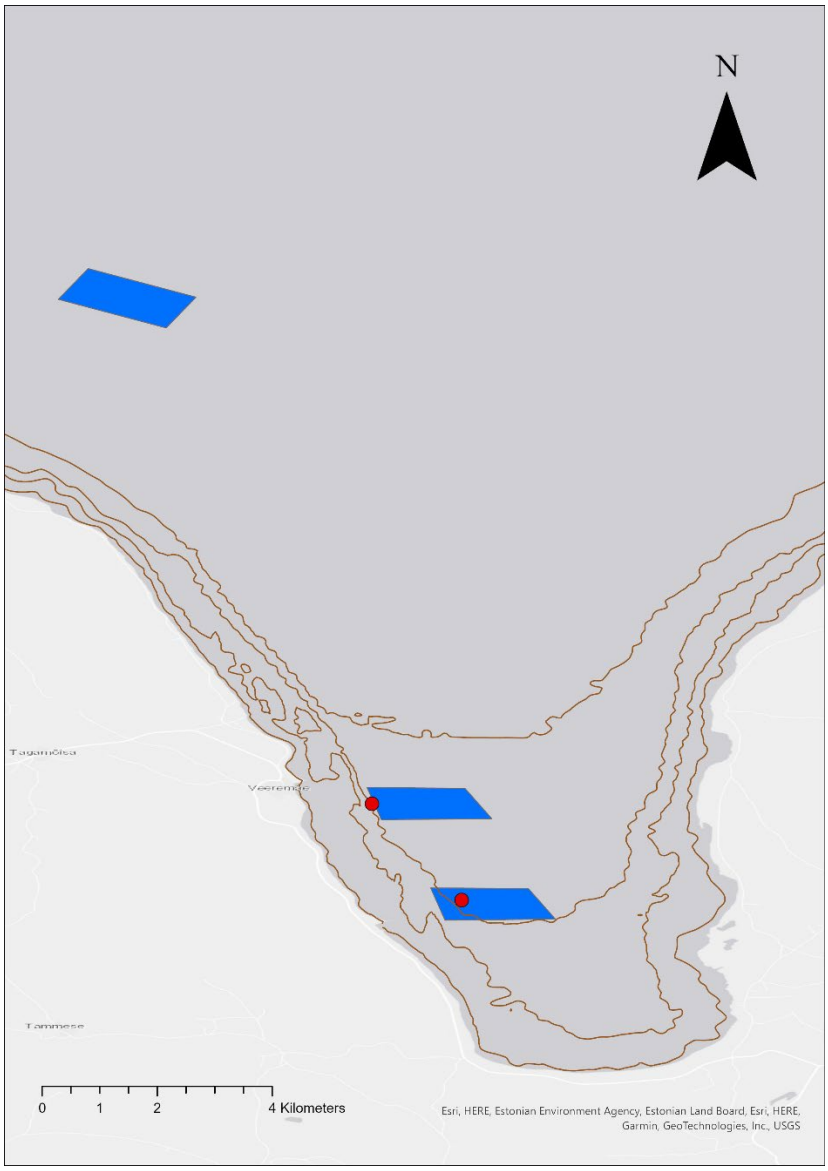
- **Keskkonnakaitseluba nr KL-522375**, REDSTORM OÜ:
  - Väljalaskmed ja lubatud saasteainete kogused kvartalite lõikes:
    - **Fosfor (P):**
      - I kvartal: 0,001 t
      - II kvartal: 0,001 t
      - III kvartal: 0,002 t
      - IV kvartal: 0,002 t
    - **Lämmastik (N):**
      - I kvartal: 0,028 t
      - II kvartal: 0,028 t
      - III kvartal: 0,054 t
      - IV kvartal: 0,054 t

- **Tagalahe kalakasvatus**, Saaremere Kala AS:
  - JVIS dokumendiregistri number: 16-7/18-2008
  - Aastane juurdekasv: **2400 t**

- **Kalakasvatus**, Redstorm OÜ:
  - DELTA dokumendiregistri numbrid: GoPro 15-1409 ja 15-1444
  - Aastane juurdekasv: **186 t**

Optimistlik kalakasvatuse stsenaarium (stsenaarium ds_r11). Selles stsenaariumis lisasime olemasolevale olukorrale kalakasvatuse Veere sadama lähistel, suurendades selle tootlikkust kuni 1500 t/aastas. Lisaks lisasime Kesknõmme joonele, 15–20 m sügavusele, kalakasvatuse, mille tootlikkus on samuti 1500 t/aastas (joonis 1).

Realistlik kalakasvatuse stsenaarium (stsenaarium ds_r12). See stsenaarium erineb olemasolevast olukorrast selle poolest, et eemaldatud on Ösel Aquafarms OÜ süvalaske põhjustatud koormus ning lisatud on kalakasvatus Kesknõmme joonele (15–20 m sügavusele) tootlikkusega 1500 t/aastas. Samuti on määratud Veere sadama lähistel paiknevale kalakasvatusele juurdekasvuks 1500 t/aastas.



Joonis 1. Tagalahe piirkonna olemasolevate ja kavandatud kalakasvatuste asukohad. Sinised polügoonid tähistavad stsenaariumites kirjeldatud kalakasvatuste asukohti, samas kui punased täpid näitavad kalakasvatusega seotud heitvee väljalaskekohti.

Mudelite kirjeldus

Kalakasvatuse keskkonnamõju hindamiseks tuleb kirjeldada põhjuslikke seoseid keskkonnatingimuste varieeruvuse, sööda omaduste ja kalade ainevahetuse vahel ning prognoosida kalakasvatusest vette sattunud toitainete liikumist ja nende mõju keskkonnale. Selle ülesande lahendamiseks sobib kõige paremini **dünaamiline energiabilansi (DEB) mudel**, mis võimaldab kirjeldada toitainete liikumist kalakasvatuse kontekstis. Liidestades DEB-mudeli **mere hüdrodünaamiliste ja ökosüsteemiprotsesside mudelitega**, saab täpsemalt hinnata ka kalakasvatusest pärinevate toitainete mõju merekeskkonnale. Varasemad seireuuringud näitasid, et kalakasvatuse otsene mõju põhjakooslustele ja -elupaikadele on minimaalne (Kotta et al., 2022). Samas ei saa välistada lokaalset keskkonnamõju veeparameetritele, toitainete sisaldusele ja klorofüllitasemele.

DEB teooria on formaalne ainevahetuse teooria, mis pakub ühtset kvantitatiivset raamistikku kõikide elusorganismide ainevahetuse aspektide (energia- ja massibilansi) dünaamiliseks kirjeldamiseks, tuginedes üldiselt aktsepteeritud ainete energiatarbimise, ladustamise ja kasutamise eeldustele. DEB-teooria võimaldab metoodiliselt kaardistada ja jälgida toitainete liikumist ökosüsteemis (Kooijman, 2000). Teooria põhineb termodünaamilistel energia- ja massibilansi põhimõtetel. Kuna see kirjeldab põhjuslikke seoseid keskkonna varieeruvuse ja

liikide ainevahetuse vahel ning kaardistab täpselt toitainete tarbimist, assimileerimist ja vabanemist keskkonda, siis valideeritud mudelite tulemused ei erine reaalsetest reostuskoormustest.

DEB-teoorial põhinevaid mudeleid on edukalt rakendatud enam kui 1000 liigi puhul, hõlmates looduskaitset, vesiviljelust, üldist ökoloogiat ja ökotoksikoloogiat (van der Meer et al., 2014). Kehtivad metoodikad hindavad reostuskoormusi peamiselt sööda hulga ja selles sisalduvate toitainete põhjal, mistõttu on need pigem teoreetilised arvutused. Selline lähenemine ei võimalda kirjeldada toitainete tegelikku liikumist farmis ja merekeskkonnas. Käesolevas uuringus kasutati Tagalahe tingimustele kohandatud kalakasvatuse dünaamilise energiabilansi (DEB) mudelit, mille üksikasjalik kirjeldus on leitav varasemas kirjanduses (Kotta et al., 2022, 2023).

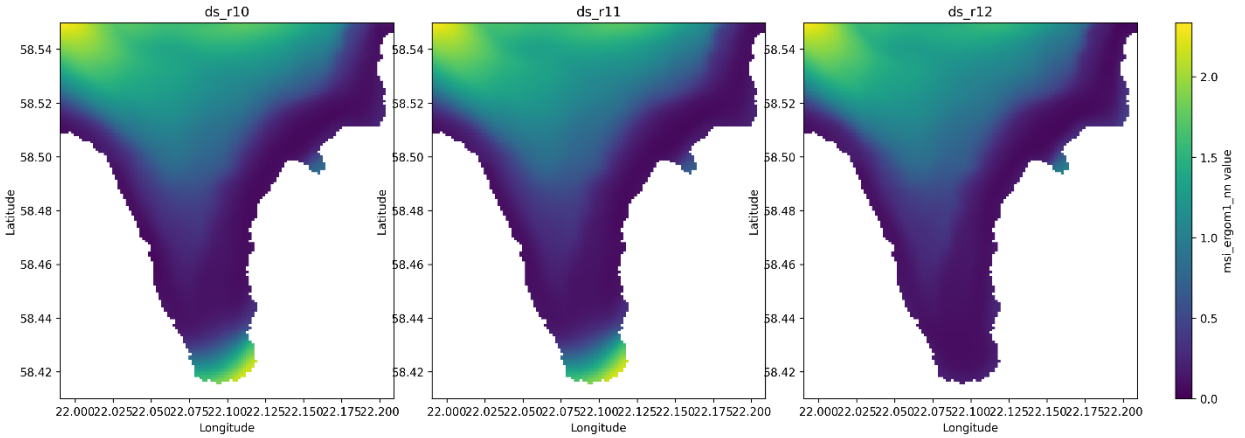
Tagalahe piirkonna hüdrodünaamika modelleerimiseks kasutati kolmemõõtmelist numbrilist mudelit GETM (General Estuarine Transport Model; Burchard ja Bolding, 2002). GETM võimaldab arvutada hoovuste, temperatuuri ja soolsuse muutusi, kasutades vertikaalselt fikseeritud arvu kihte, mille paksus kohandub vastavalt stratifikatsioonile ja kiirusvälja vertikaalsele jaotusele (Hofmeister et al., 2008; Klingbeil et al., 2018). Horisontaalse segunemise arvutamiseks kasutatakse Smagorinsky (1963) parametriseeringut ning vertikaalse segunemise arvutamiseks GOTM mudelit (General Ocean Turbulence Model; Umlauf ja Burchard, 2005).

Biogeokeemia modelleerimiseks rakendati ERGOM mudelit (Ecological Regional Ocean Model; Neumann et al., 2002), mis põhineb lämmastikuringel. Mudelis käsitletakse anorgaanilisi toitaineid (NO_3, NH_4, PO_4), kolme klassi fütoplanktonit, zooplanktonit ja detriiti, mis laguneb Redfieldi suhte järgi anorgaanilisteks toitaineteks. Hapnikutingimuste hindamiseks sisaldab mudel ka hapnikku ning vesiniksulfaati (H_2S), viimane tekib hapnikuvabas keskkonnas. Biogeokeemilisi trassereid mõjutavad erinevad hüdrodünaamilised protsessid, nagu advektsioon ja segunemine. ERGOM on seotud GETM mudeliga FABM liidese kaudu (Framework for Aquatic Biogeochemical Models; Bruggeman ja Bolding, 2014), mis võimaldab dünaamiliselt kirjeldada toitainete ja hapnikuvoogusid veekeskkonnas.

Käesolevas töös kasutati kalakasvatuste koormuste arvutamiseks värskelt valminud DEB mudelit ning Tagalahele seadistatud kõrglahutusliku (100 m) paaritatud biogeokeemia ja hüdrodünaamika mudelit, milles on kasutades Läänemere Copernicuse mere füüsika ja biogeokeemia reanalüüsi andmeid alg- ja avamere rajatingimusteks (CMEMS, 2025a; CMEMS, 2025b). Selline ruumiline resolutsioon võimaldab mudelil täpsemalt hinnata, kas kavandatavad kalakasvatusalgatused avaldavad Tagalahe piirkonnas märkimisväärset keskkonnamõju. 2006. aasta vegetatsiooniperioodi kasutati mudeli soojenduseks (spinup) ja analüüsides kasutati 2007. aastat.

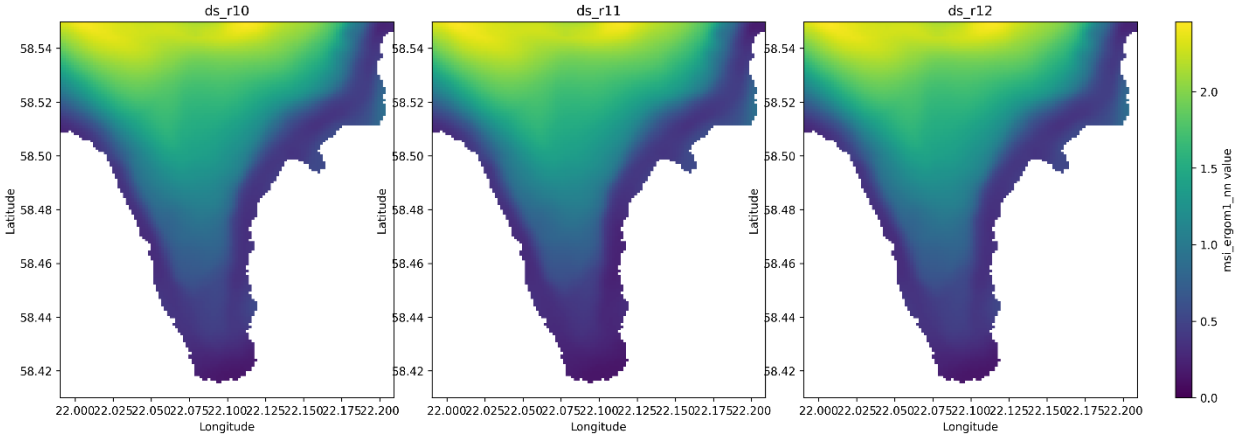
Tulemused

Uuringus modelleeriti erinevate stsenaariumide mõju veekvaliteedi dünaamikale Tagalahe piirkonnas aastase perioodi lõikes ning tulemused esitati kuupõhiste kaartidena. Allpool on toodud nitraatide, fosfaatide ja klorofüll a kuupõhised kontsentratsioonid kalakasvatusperioodil, mis kestab maist oktoobrini.

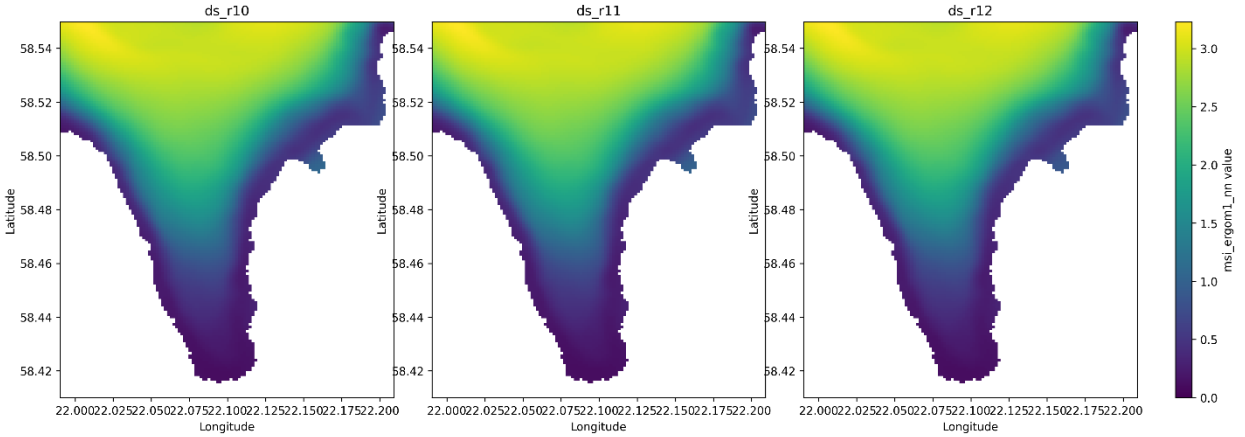


Joonis 2. Nitraatide sisaldus (mmol m^{-3}) Tagalahe piirkonnas maikuus.

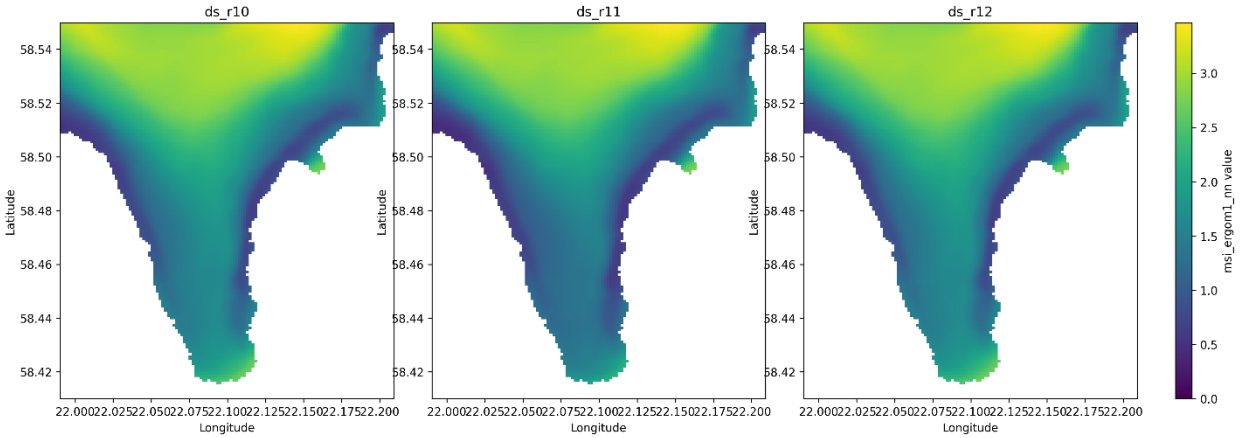
- Vasakpoolne joonis kujutab olemasolevat olukorda (*ds_r10*).
- Keskmine joonis esitab stsenaariumi, kus nii Veere sadama kui ka Kesknõmme joonele on lisatud kalafarm aastase tootlikkusega 1500 tonni (*ds_r11*).
- Parempoolne joonis näitab stsenaariumi, kus eelnevast stsenaariumist on eemaldatud Kesknõmmel paikneva Ösel Aquafarms OÜ väljalaskest prognoositav toitainete koormus (*ds_r12*).



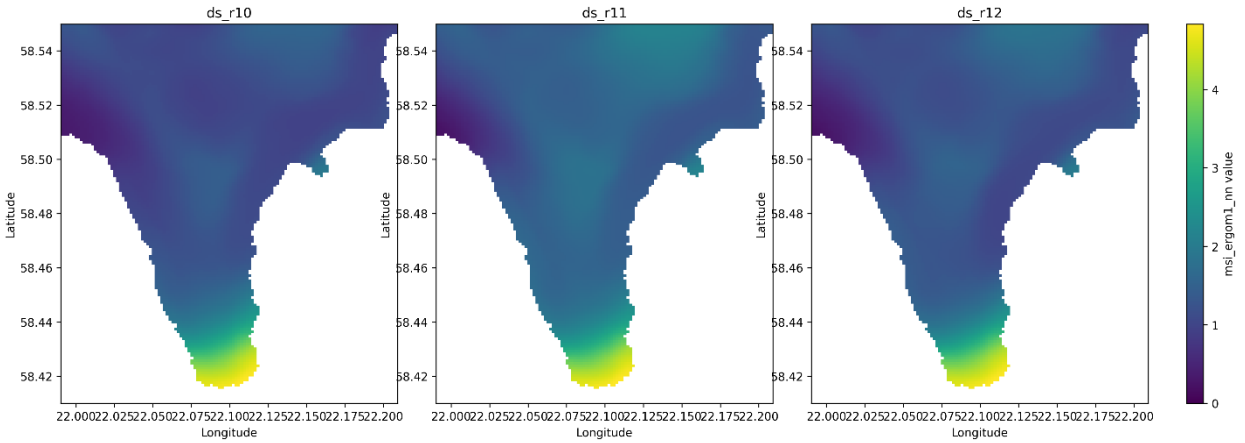
Joonis 3. Nitraatide sisaldus (mmol m^{-3}) Tagalahe piirkonnas juunis. Stsenaariumite kirjeldused leiab jooniselt 2.



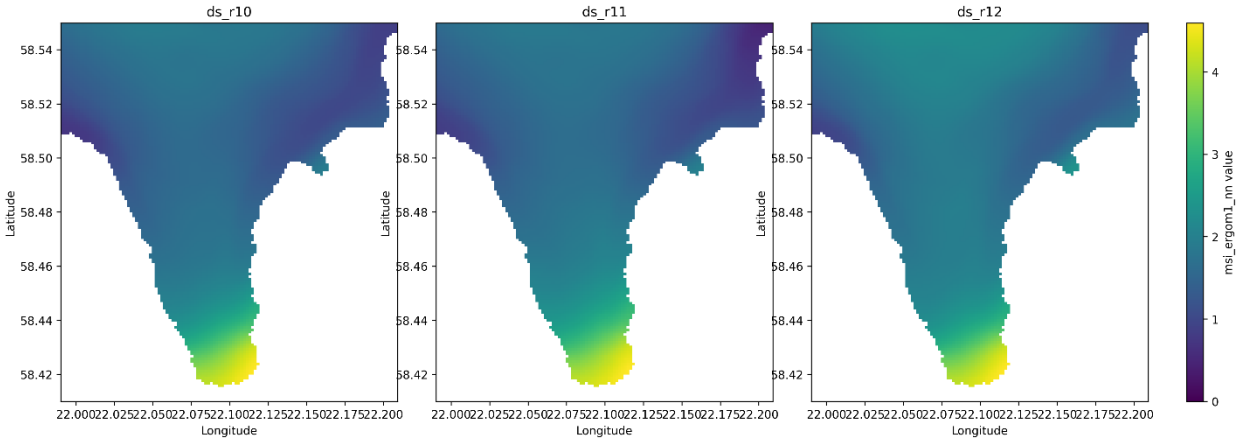
Joonis 4. Nitraatide sisaldus (mmol m^{-3}) Tagalahe piirkonnas juulis. Stsenaariumite kirjeldused leiab jooniselt 2.



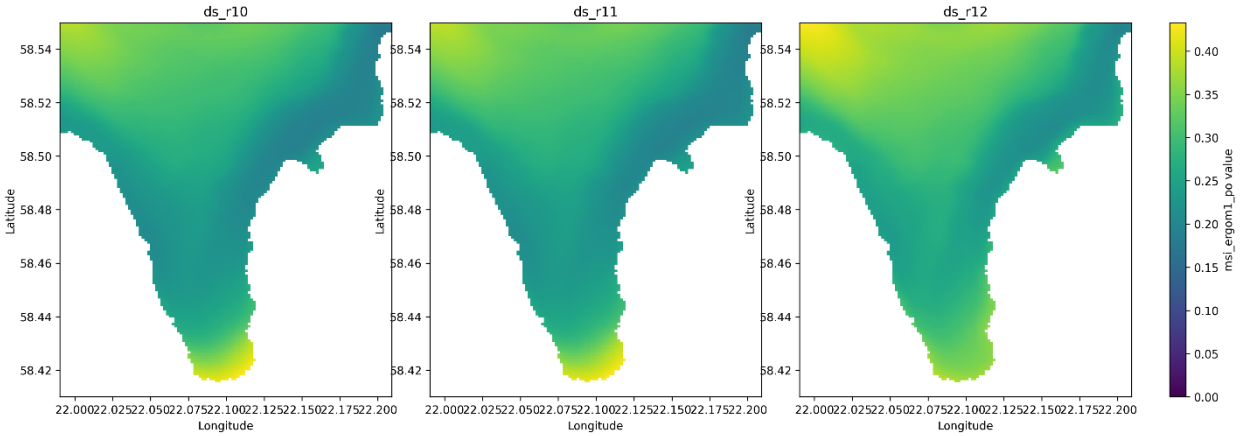
Joonis 5. Nitraatide sisaldus (mmol m^{-3}) Tagalahe piirkonnas augustis. Stsenaariumite kirjeldused leiab jooniselt 2.



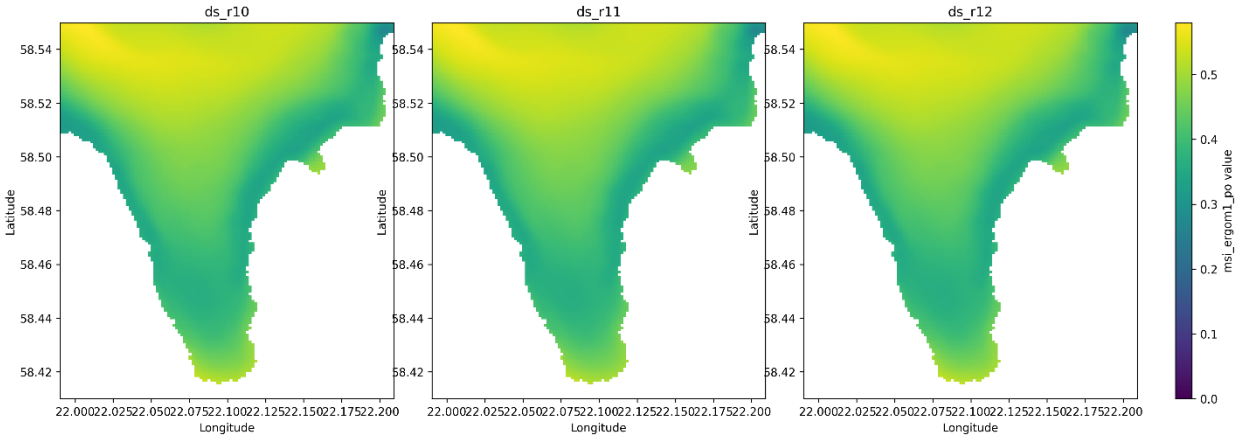
Joonis 6. Nitraatide sisaldus (mmol m^{-3}) Tagalahe piirkonnas septembris. Stsenaariumite kirjeldused leiab jooniselt 2.



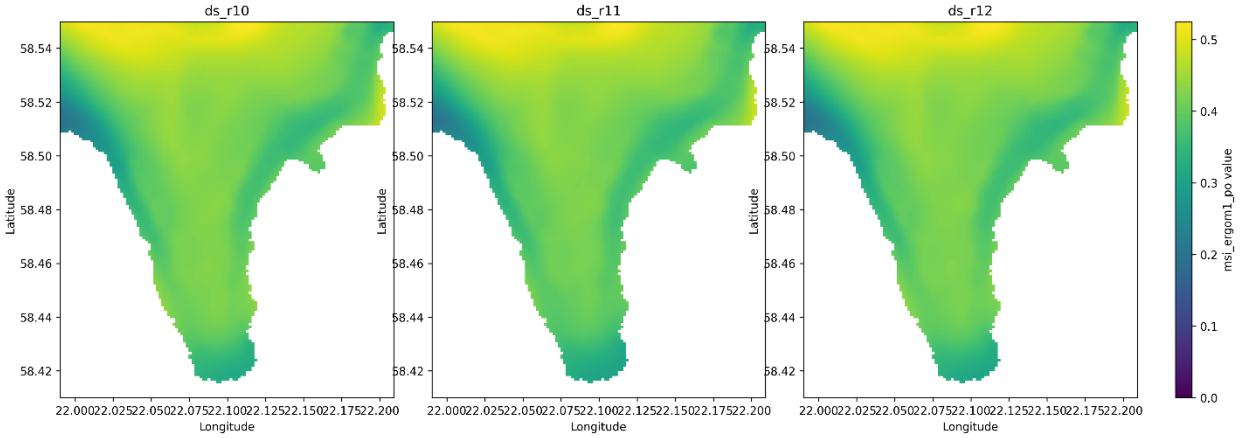
Joonis 7. Nitraatide sisaldus (mmol m^{-3}) Tagalahe piirkonnas oktoobris. Stsenaariumite kirjeldused leiab jooniselt 2.



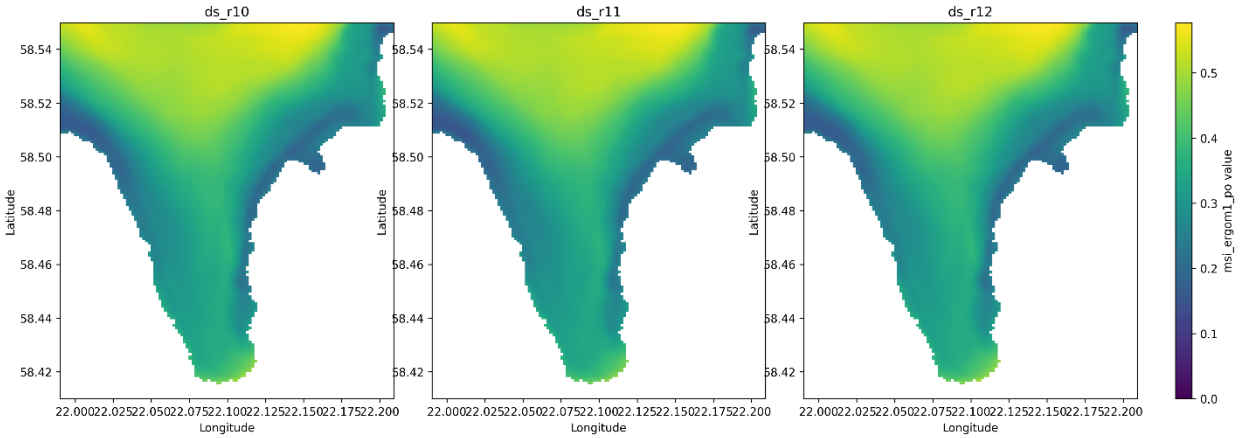
Joonis 8. Fosfaatide sisaldus (mmol m^{-3}) Tagalahe piirkonnas maikuus. Stsenaariumite kirjeldused leiab jooniselt 2.



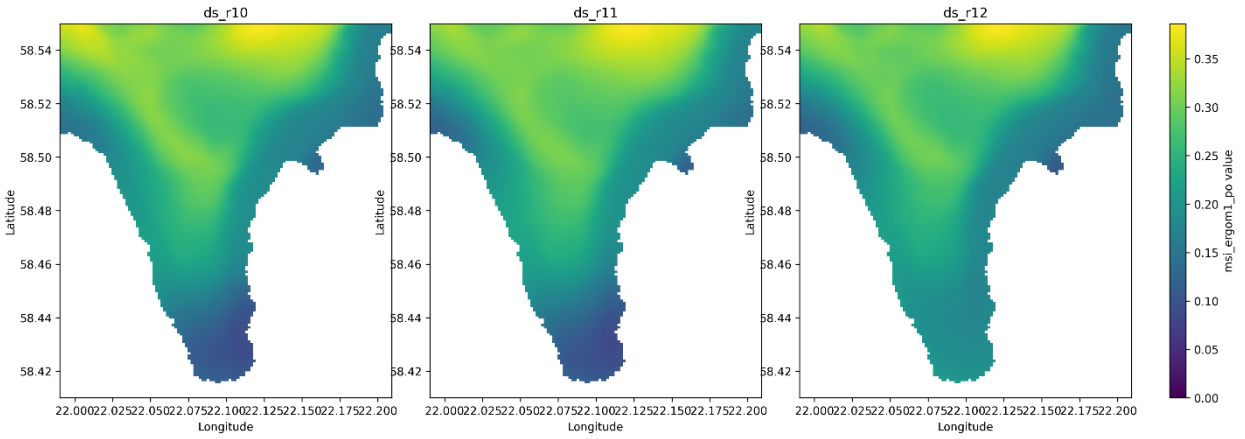
Joonis 9. Fosfaatide sisaldus (mmol m^{-3}) Tagalahe piirkonnas juunis. Stsenaariumite kirjeldused leiab jooniselt 2.



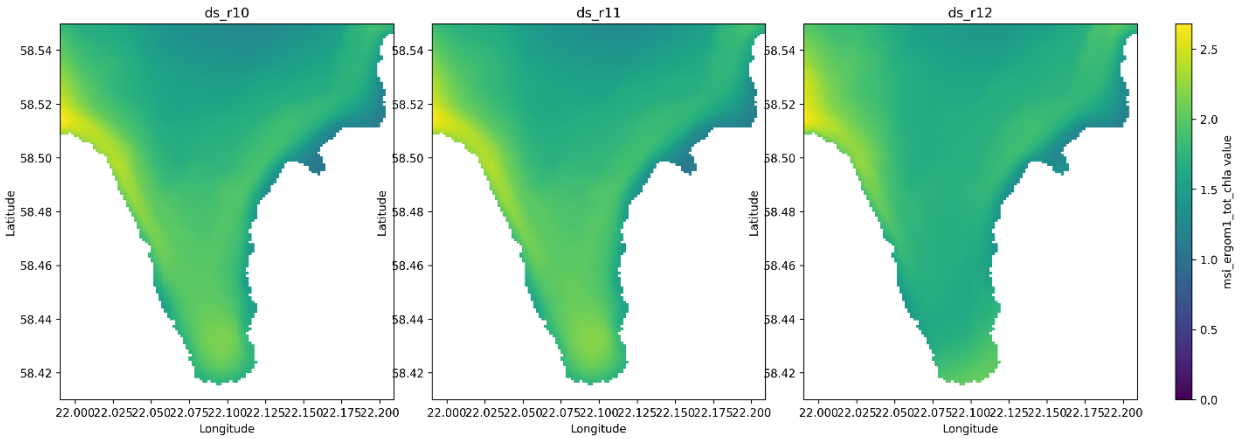
Joonis 10. Fosfaatide sisaldus (mmol m^{-3}) Tagalahe piirkonnas juulis. Stsenaariumite kirjeldused leiab jooniselt 2.



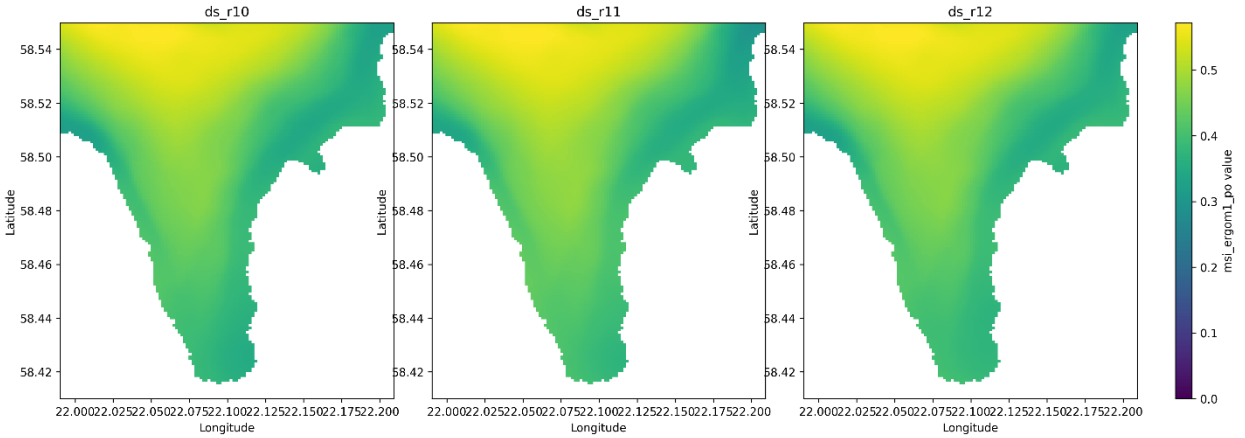
Joonis 11. Fosfaatide sisaldus (mmol m^{-3}) Tagalahe piirkonnas augustis. Stsenaariumite kirjeldused leiab jooniselt 2.



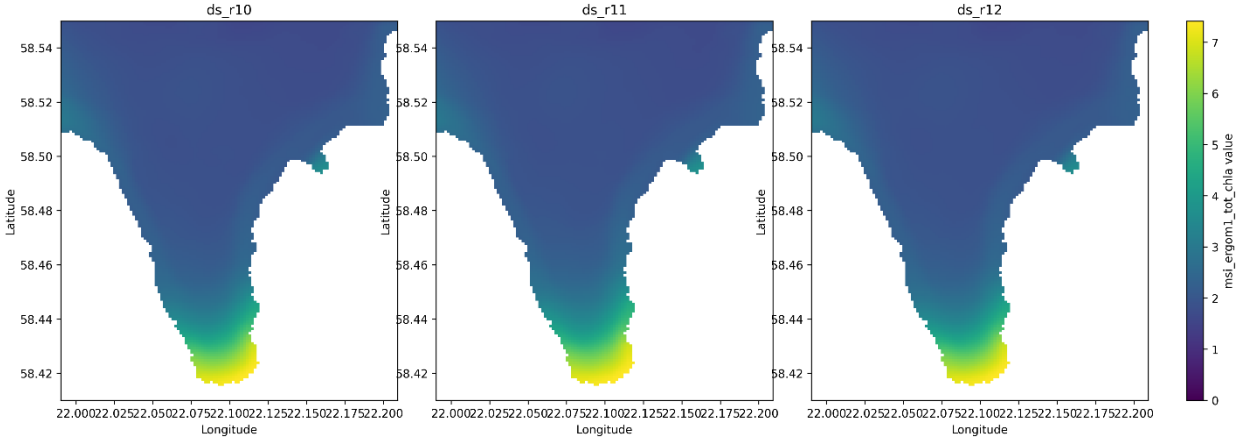
Joonis 12. Fosfaatide sisaldus (mmol m^{-3}) Tagalahe piirkonnas septembris. Stsenaariumite kirjeldused leiab jooniselt 2.



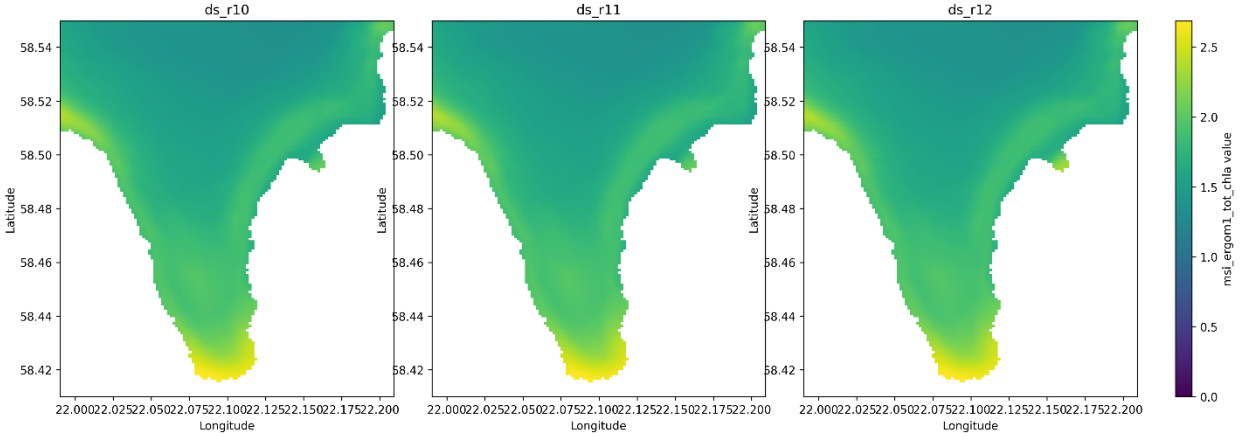
Joonis 13. Fosfaatide sisaldus (mmol m^{-3}) Tagalahe piirkonnas oktoobris. Stsenaariumite kirjeldused leiab jooniselt 2.



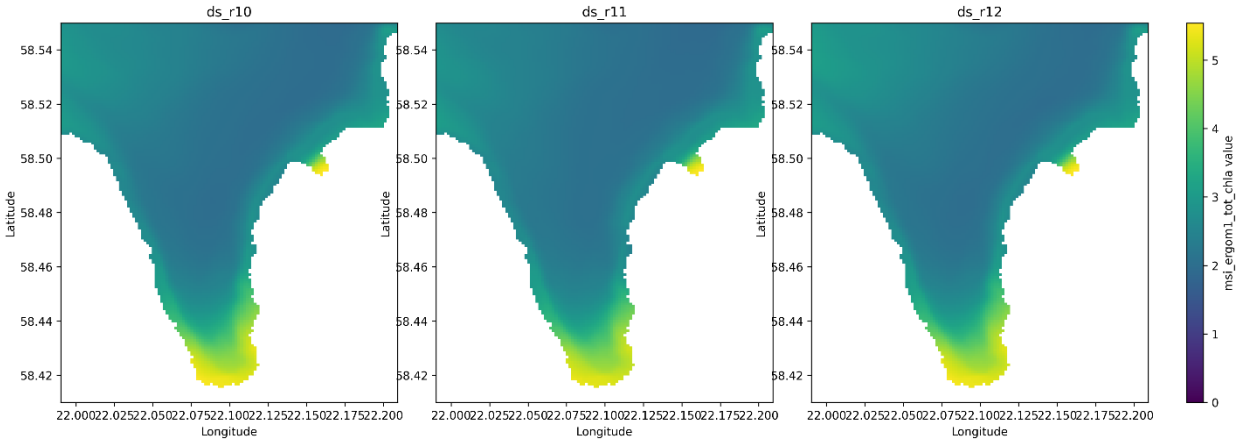
Joonis 14. Klorofüll a sisaldus (mg m^{-3}) Tagalahe piirkonnas maikuus. Stsenaariumite kirjeldused leiab jooniselt 2.



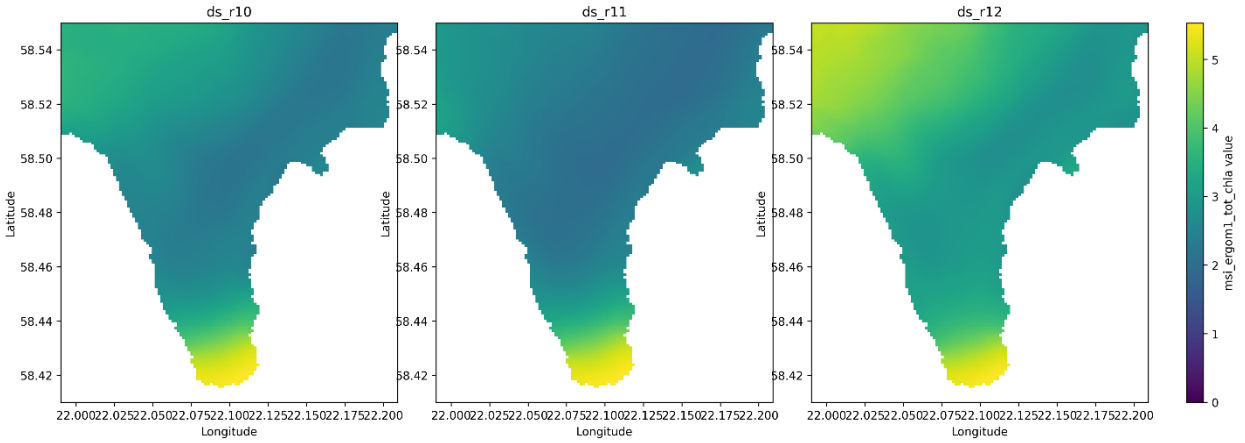
Joonis 15. Klorofüll a sisaldus (mg m^{-3}) Tagalahe piirkonnas juunis. Stsenaariumite kirjeldused leiab jooniselt 2.



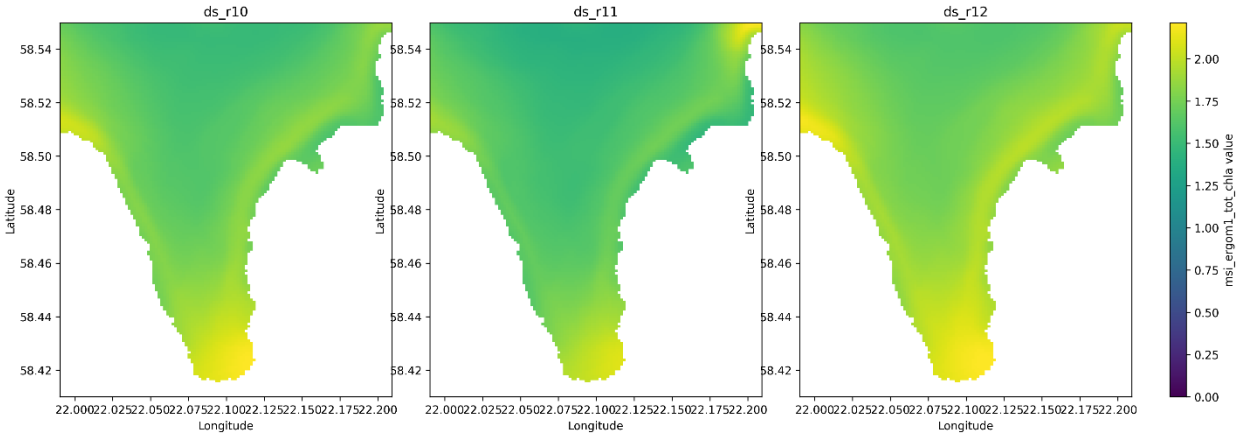
Joonis 16. Klorofüll a sisaldus (mg m^{-3}) Tagalahe piirkonnas juulis. Stsenaariumite kirjeldused leiab jooniselt 2.



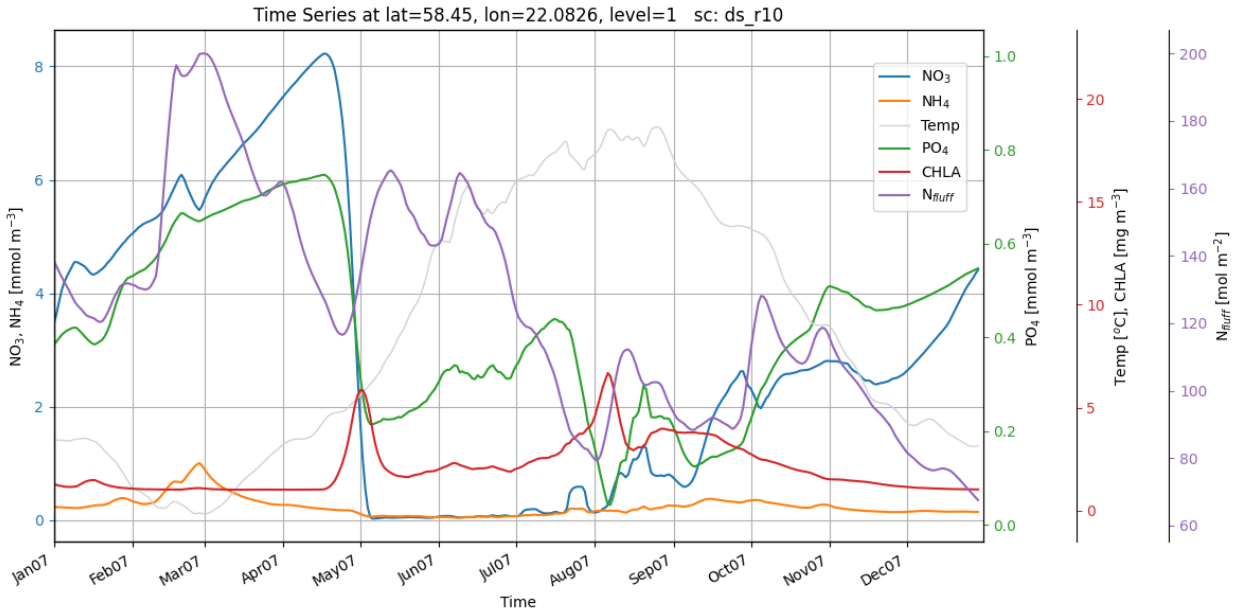
Joonis 17. Klorofüll a sisaldus (mg m^{-3}) Tagalahe piirkonnas augustis. Stsenaariumite kirjeldused leiab jooniselt 2.



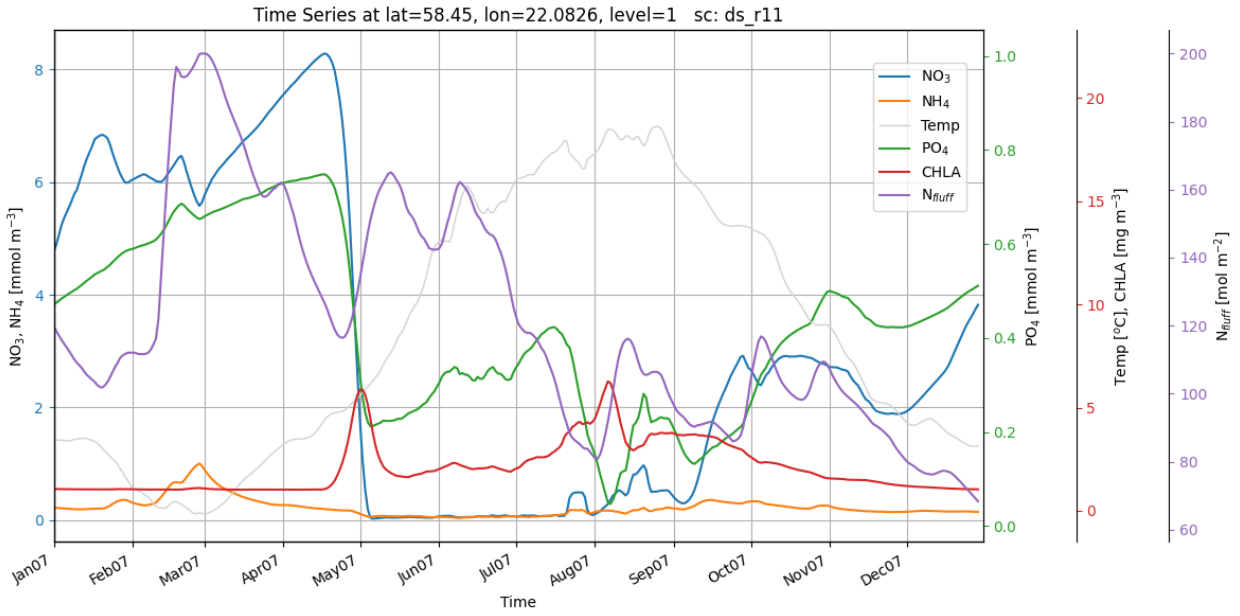
Joonis 18. Klorofüll a sisaldus (mg m^{-3}) Tagalahe piirkonnas septembris. Stsenaariumite kirjeldused leiab jooniselt 2.



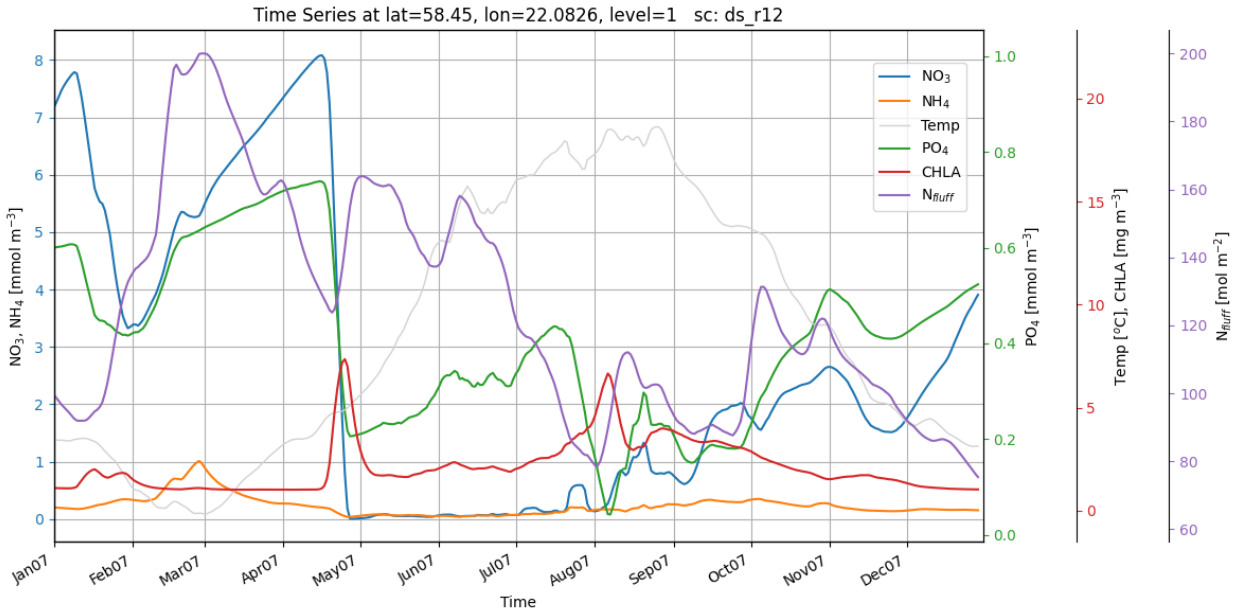
Joonis 19. Klorofüll a sisaldus (mg m^{-3}) Tagalahe piirkonnas oktoobris. Stsenaariumite kirjeldused leiab jooniselt 2.



Joonis 20. Modelleeritud veenäitajate aastane dünaamika Tagalahe piirkonnas olemasoleva stsenaariumi korral. Näitajate tähised on järgmised: **NO3** – nitraadid, **NH4** – ammoonium **PO4** – fosfaadid, **Temp** – temperatuur, **CHLA** – klorofüll a, **Nfluff** – sedimenteerunud materjal.



Joonis 21. Modelleeritud veenäitajate aastane dünaamika Tagalahe piirkonnas stsenaariumi korral, kus nii Veere sadama kui ka Kesknõmme joonele on lisatud kalafarm aastase tootlikkusega 1500 tonni. Näitajate tähised on järgmised: **NO3** – nitraadid, **NH4** – ammoonium **PO4** – fosfaadid, **Temp** – temperatuur, **CHLA** – klorofüll a, **Nfluff** – sedimenteerunud materjal.



Joonis 22. Modelleeritud veenäitajate aastane dünaamika Tagalahe piirkonnas olukorras, kus eelmisest stsenaariumist on eemaldatud Kesknõmmel paikneva Ösel Aquafarms OÜ väljalaskest prognoositav toitainete koormus. Näitajate tähised on järgmised: **NO_3** – nitraadid, **NH_4** – ammoonium **PO_4** – fosfaadid, **Temp** – temperatuur, **CHLA** – klorofüll a, **Nfluff** – sedimenteerunud materjal.

Järeldused ja soovitused

- Käesolev uuring on seni kõige andmerohkem ja detailsem kalakasvatuse keskkonnamõjude analüüs Tagalahes, pakkudes 100-meetrise ruumilise resolutsiooniga hinnangut võimalikele lokaalsetele muutustele. See võimaldab täpsemalt määrata piirkonna keskkonna taluvuspiire ning toetada kestliku kalakasvatuse arengut.
- Kõigi uuritud stsenaariumite puhul ei tuvastatud ühegi veekvaliteedi näitaja osas ühelgi kuul kalakasvatusest tingitud olulisi negatiivseid keskkonnamõjusid (erinevused < 1%).
- Sumbakasvanduse laienemisega ei ole oodata toitainete (üldlämmastik ja üldfosfor) sisalduse, klorofüll-a väärtuse ega vee läbipaistvuse muutusi. Seetõttu ei teki ka Tagalahe, sealhulgas Pidula lahe (Tagalahe lõunaosa), ega veekogumi „Soela väina rannikuvesi“ (kood EE_10) seisundis märgatavaid muutusi.
- Kuna uuritud stsenaariumitel ei ole märkimisväärset mõju vee kvaliteedi näitajatele, ei kahjusta plaanitud kalakasvatus piirkonna loodusväärtusi (sh Natura 2000 alasid, kaitse- ja hoiualasid).
- Eeltoodust tulenevalt ei ole nende arenduste jaoks vaja määrata leevendusmeetmeid.
- Tagalahe ökosüsteemi kontekstis võivad planeeritud kalakasvatuslahendused teatud tingimustel siiski suurendada inimsurvet, eriti juhul, kui kliimamuutuste tõttu keskkonnaolud märkimisväärselt muutuvad. Selliste riskide maandamiseks on vajalik iga-aastane mereseire läbiviimine, et regulaarselt hinnata kalakasvatuse võimalikku negatiivset keskkonnamõju. Mereseire peaks keskenduma peamistele keskkonnariskidele, sealhulgas veeõitsengute erinevuste hindamisele kalakasvatuspiirkonnas ja referentsalal (sh. kevadel ja suvel) ning põhja settinud orgaanilise aine ulatuse analüüsimisele kalakasvanduspiirkonnas (sh. augustis, mil intensiivsem toitmine ja soojemad tingimused suurendavad hapnikudefitsiidi riski).
- Kui seire tuvastab kalakasvatusest tingitud olulisi keskkonnamõjusid, saab neid leevendada või kõrvaldada karbikasvatuse abil. Karbikasvatus on Tagalahes juba tõestanud end kui tõhus kompensatsioonimeetod, millel on märkimisväärne positiivne keskkonnamõju.

- Lisaks on piirkonnas käimas karbikasvatuse edasine arendamine, mis kaudselt toetab kavandatud kalakasvatusi. Kui Tagalahes käivitatakse uus planeeritud karbikasvatus, suudab see täielikult kompenseerida kavandatud kalakasvatuste keskkonnamõju.

Viited

Bruggeman, J., Bolding, K. 2014. A general framework for aquatic biogeochemical models. Environmental Modelling & Software, 61, 249–265.

Burchard, H., Bolding, K. 2002. GETM – A general estuarine transport model: Scientific documentation (Technical Report EUR 20253 EN). European Commission.

CMEMS. 2025a. Baltic Sea physics reanalysis. E.U. Copernicus Marine Service Information (CMEMS). Marine Data Store (MDS). https://doi.org/10.48670/moi-00013 (Accessed on 01-01-2025)

CMEMS. 2025b. Baltic Sea biogeochemistry reanalysis. E.U. Copernicus Marine Service Information (CMEMS). Marine Data Store (MDS). https://doi.org/10.48670/moi-00012 (Accessed on 01-01-2025)

Hofmeister, R., Burchard, H., Beckers, J.-M. 2010. Non-uniform adaptive vertical grids for 3D numerical ocean models. Ocean Modelling, 33, 70–86.

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 Modelling, 125, 80–105.

Kooijman, S. A. L. M. 2000. Dynamic energy and mass budgets in biological systems. Cambridge, UK: Cambridge University Press. ISBN 9780521786089. OCLC 42912283 (https://www.worldcat.org/oclc/42912283).

Kotta, J., Stechele, B., Barboza, F.R., Kaasik, A., Lavaud, R. 2023. Towards environmentally friendly finfish farming: A potential for mussel farms to compensate fish farm effluents. Journal of Applied Ecology, 60, 1314–1326.

Kotta, J., Stechele, B., Kaasik, A., Aps, R., Orav-Kotta, H. 2022. Tööndusliku kalapüügi ja kalakasvatusega seotud toitainete voogude modelleerimine Läänemeres ning saadud mudeli valideerimine Tagalahe kalakasvatuse näitel. Lõpparuanne. Tartu Ülikool.

Lips, U., Stoicescu, S.-T., Väli, G. 2023. Merre lubatava maksimaalse reostuskoormuse arvutus jõgede ja merealade kaupa. TalTech, KÄSUNDUSLEPING nr 4-1/22/53.

Neumann, T., Fennel, W., Kremp, C. 2002. Experimental simulations with an ecosystem model of the Baltic Sea: A nutrient load reduction experiment. Global Biogeochemical Cycles, 16(3), 7-1–7-19.

Umlauf, L., Burchard, H. 2005. Second-order turbulence closure models for geophysical boundary layers: A review of recent work. Continental Shelf Research, 25, 795–827.

van der Meer, J., Klok, C., Kearney, M. R., Wijsman, J. W. M., Kooijman, S. A. L. M. 2014. 35 years of DEB research. Journal of Sea Research, 94, 1–4.