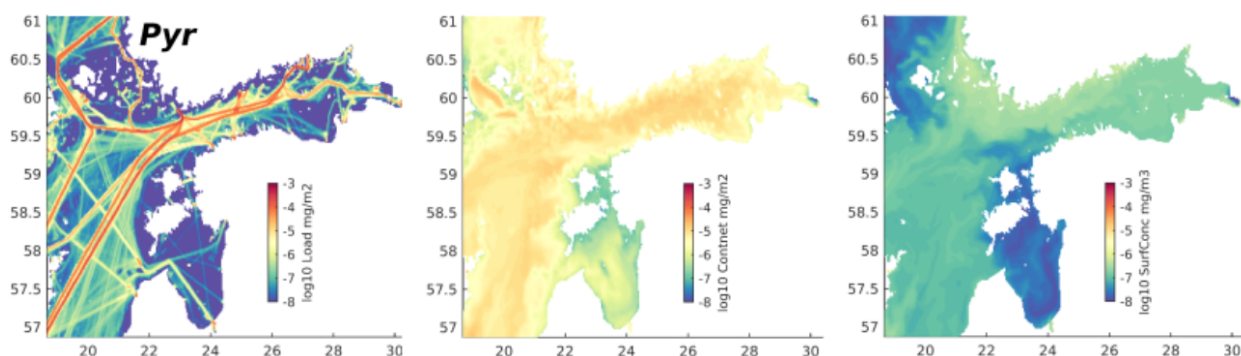


Tallinna Tehnikaülikool
Tartu Ülikool



TARTU ÜLIKOOL
Eesti mereinstituut

***Metoodika koostamine laevandusega seotud
keskkonnamõju hindamiseks ja kirjeldamiseks Eesti
merealal ning esialgse hinnangu koostamine***



Autorid: Urmas Raudsepp, Jonne Kotta, Robert Aps, Natalja Kolesova, Madli Kopti, Urmas Lips, Ilja Maljutenko, Riina Palu, Siim Pärt, Ulla Pirita Tapaninen, Mari-Liis Tombak, Rivo Uiboupin



Euroopa Liit
Euroopa
Regionaalarengu Fond



Eesti
tuleviku heaks

Tallinn 2022

Sisukord

Lühikokkuvõte	2
Peamised mõisted ja lühendid	4
1. Uuringu eesmärk	6
2. Laevandusega seotud tegevused, millel on keskkonna mõju	7
3. Laevandusega seotud keskkonnamõjud	13
3.1 Heitmed vette	13
3.2 Õhusaaste	14
3.3 Füüsilised heitmed/reostus ning visuaalne reostus	14
4. Laevanduse keskkonnamõju iseloomustavad indikaatorid	15
5. Metoodikad laevanduse keskkonnamõju hindamiseks	18
5.1 DPSIR holistiline raamistik	18
5.2 Protseduurilised meetodid	22
5.3 Analüütilised meetodid	22
5.4 Koondmeetodid (Aggregated tools)	24
6. Eesti jaoks kohaldatud metoodika laevanduse keskkonnamõju hindamiseks	28
6.1 Kasutatud survegurite andmekihid	28
6.2 Laevanduse keskkonnamõju hindamine (Impact)	30
7. Laevanduse keskkonnamõju esialgne hinnang	32
7.1 Survetegurid (Pressure)	32
7.2 Mõjud merekeskkonnale (Impact)	39
8. Ettepanekud metoodika arendamiseks ja rakendamiseks	57
Viited	62
Lisad	70

Lühikokkuvõte

Kõige suurem reostuskoormus Läänemerele on läbi jõgede koormuse. Käesolevas aruandes on välja toodud laevandusega seotud tegevused, millel on keskkonnamõju ja neid mõjusid ka kirjeldatud. Edasiarendusena on võimalik laevanduse keskkonnamõju hindamisel lähtuda laevade jaotusest kategooriatesse (Tabel L1), et hinnata iga laevatüübi poolt põhjustatud keskkonnamõju lähtudes laevade liikumise infost (AISst) ja emissioonidest (STEAM mudel). Käesolevas töös käsitletakse kõigi laevade koondmõjusid, mille kohta on automaatse jälgimissüsteemi (AIS) kaudu andmed kättesaadavad. Tulevikus saab vajadusel rakendada laevatüüpide põhiste keskkonnamõju hindamist Eesti merealal.

Toetudes läbitöötatud materjalidele ning allikatele on laevandusega seotud heitmed kategoriseeritud neljaks - saasteained laevadelt vette ja õhku, füüsikaline reostus ja laevade sadamas vibimisel tekkiv reostus. Käesoleva töö raames on rahvusvahelises kasutuses oleva meetoodika alusel võimalik anda esmased mõjuhindangud heitmetele vette ja õhku ning esmased müra leviku kaardid.

Laevanduse potentsiaalsete keskkonnamõjude hindamisel lähtutakse MSRD hindamiskriteeriumitest ja nende indikaatoritest. Töös on toodud välja survetegurid ja mõjuindikaatorid vastavuses MSRD indikaatoritele.

Laevanduse keskkonnamõju hindamine põhineb DPSIR kontseptsioonil (Moldanova et al., 2021). Survetegurid õhku ja vette on arvatud kasutades STEAM laevade emissioon mudelit (Jalkanen et al., 2021). CMAQ õhukvaliteedi mudel annab kvantitatiivsed hinnangud saasteainete levikule atmosfääris ja nende sadestumise vood merre (Karl et al., 2021). GETM hüdrodünaamika mudelit koos ERGOM biogeokeemia mudeliga kasutatakse saasteainete leviku hindamiseks meres (Raudsepp et al., 2019; Maljutenko et al., 2021). DPSIR raamistiku mudelid võimaldab luua täpsed survetegurite kaardid, mida seejärel on võimalik kasutada PlanWise4Blue mudelis laevanduse mõju hindamiseks. PlanWise4Blue mudel hindab kvantitatiivselt stsenaariumis kasutatud survetegurite (olemasolev olukord või võimalikud tulevikustsenaariumid) kumulatiivset mõju Eesti mereala erinevatele loodusväärtustele. Kumulatiivsete mõjude hindamine lähtub teaduskirjanduses publitseeritud ja/või andmebaasidest arvatavatest kvantitatiivsetest alusteadmistest, mistõttu võimaldab selline meetoodika arvutusalgoritmidesse koondada suurema osa piirkondlikest vaatlustest ja eksperimentaaluuringutest survetegurite ja loodusväärtuste vahelistest põhjus-tagajärg seostest. DPSIR kontseptuaalne mudel koos PlanWise4Blue täiendusega on esimene rakendus, et kvantitatiivselt hinnata laevandusest lähtuvaid erinevaid keskkonnamõjusid loodusväärtustele detailse ruumilise lahutusega.

Varasemad laevanduse keskkonnamõju hinnangud kirjeldasid peamiselt laevandusest tulenevate survetegurite ruumilist paiknemist meres. Siiani pole avaldatud aga ühtegi uurimust, mis kvantitatiivselt hindaks laevandusest tulenevate survetegurite intensiivsuse mõju erinevatele mere loodusväärtustele. Selle aspekti osas on käesolev uuring teistele laevanduse keskkonnamõjudega tegelevatele tööühmadele teedrajav.

Käesolev projekt annab samuti ülevaate, millised laevandusega seotud keskkonnamõjude hindamise jaoks olulised andmed meil hetkel puuduvad. Erinevad raamistiku komponendid ja nende omavahelised seosed on käsitletavad erinevate metoodikatega, mis on osaliselt leidnud käsitlemist käesolevas töös, kuid mitmed vajalikud metoodikad on puudu või ei ole tänasel päeval kättesaadavad.

Laevandusega seotud andmete uuendamine koos metoodikate täiendamisega ning läbiviidav laevandusega seotud keskkonnamõjude hindamine peaks toimuma kord aastas või kord kahe aasta jooksul.

Peamised mõisted ja lühendid

Mõiste, lühend	Selgitus
AIS	i. k <i>Automatic identification systems</i> , automaatne jälgimissüsteem. Käesolevas uuringus on kasutatud uuringualas asuvate AIS transponderiga varustatud laevade andmeid
DBCM	Dibromoklorometaan
DPSIR kontseptsioon	Drivers, Pressures, States, Impacts, Responses (Moldanova et al., 2022)
EMDE	Elektrooniline mereinfosüsteem (https://www.emde.ee)
Laevandus	i. k <i>shipping</i> , on rahvusvaheline tööstusharu (International Maritime Organisation, 2022), mis käesoleva uuringu tähenduses on kõik laevad, mis teatud ajaperioodil teatud merealadel opereerivad. Keskkonnavalas ingliskeelses erialakirjanduses on kasutatud ka mõisteid <i>shipping/ ship operations</i> (enimlevinud); mõistet <i>operational shipping</i> (Moldanová et al., 2022) on kasutatud kitsamalt sõitvate laevade kohta, mille kohta on AISis liikumise andmed
Laevatee	laevaliikluseks sobiv veete osa, mis on mõõdistatud ja vajadusel märgistatud ("Majandus- ja kommunikatsiooniministri määrus 'Laevatatavatel sisevetel liiklemise kord,'" 2003)
Merendus	i. k <i>maritime, marine</i> , on laiemalt mere ja mereäärsete aladega seotud majanduslike tegevuste kogum. Käesoleva uuringu tähenduses hõlmavad merendustegevused ka laevandusega seotud tegevusi
MSDR indikaatorid	Merestrateegia Raamdirektiiv
Kasvumisvastased värvid	(anti-fouling värvid, kattumisvastased värvid), värvid, millega kaetakse veealune osa, et ära hoida vetikate kinnitumist laevakerele
STEAM mudel	Mudel, mis arvutab laevade heitmete emissiooni õhku ja vette
Pilsivesi	laeva tankide puhastamise heitvesi

1. Uuringu eesmärk

Käesoleval uuringul on kaks peamist eesmärki:

1. Koostada metoodika laevandusega seonduvate tegevuste keskkonnamõju hindamiseks ja kirjeldamiseks Eesti merealal.
2. Koostada esialgne hinnang laevanduse erinevate tegevustega kaasnevate keskkonnamõjude kohta.

Uuringu eesmärkide saavutamiseks on vastatud seitsmele uurimisküsimusele, mis on aluseks laevandusega seonduvate keskkonnamõjude hindamise metoodika koostamisel ja selle metoodika rakendamisel keskkonnamõju esialgseks hindamiseks.

Uurimisküsimus 1: Koostada analüüs ja ülevaade laevandusega seotud erinevatest tegevustest Eesti merealal, millel on eeldatavalt keskkonnamõju, näiteks heited õhku või merre, müra vms;

Uurimisküsimus 2: Koostada analüüs ja ülevaade laevanduse erinevate tegevustega kaasnevate keskkonnamõjude kohta;

Uurimisküsimus 3: Analüüsida ja koostada loetelu laevanduse keskkonnamõju iseloomustavatest mõju indikaatoritest;

Uurimisküsimus 4: Analüüsida olemasolevaid metoodikaid laevanduse keskkonnamõju hindamiseks;

Uurimisküsimus 5: Koostada ja kohaldada Eesti jaoks sobiv kompleksne metoodika erinevate laevandusega seotud tegevuste keskkonnamõju hindamiseks;

Uurimisküsimus 6: Analüüsida ja koostada esialgne hinnang Eesti jaoks kohaldatud metoodika alusel laevanduse tegevuste keskkonnamõjust Eesti merealal;

Uurimisküsimus 7: Koostada ettepanekud ja juhised metoodika edasiseks täiendamiseks, metoodika rakendamiseks vajaliku info kogumiseks, metoodika rakendamiseks Eesti merealal või Eesti lipu all sõitvatele laevadele väljaspool Eesti jurisdiktsiooni olevaid merealasid.

2. Laevandusega seotud tegevused, millel on keskkonna mõju

Laevandusega seotud tegevused on keskkonnale olulise mõjuga. Läänemere ja sealt edasi Eesti merealade erinevate reostusallikate kvantifitseerimine, mis võimaldaks öelda, kui suur osa on laevandusel Läänemere ja Eesti merealade üldises reostamises, on eraldiseisev suur uuring. Kõige uuemas teadusuuringus, Reckermann et al. (2022), on kvalitatiivselt kirjeldatud peamised inimtegevuse reostusallikaid ja nende mõju Läänemere keskkonnale. Selles ülevaates ei ole antud kvantitatiivseid hinnanguid, kui suur on erinevate reostusallikate osakaal. Arvestades, et Läänemere jõgede valgala on väga suur ($1.720.270 \text{ km}^2$), siis võib eeldada, et kõige suurem reostuskoormus Läänemerele on läbi jõgede koormuse.

Ülemaailmne laevandus moodustab umbes 2 % globaalsetest kasvuhoonegaaside heitkogustest (Selin et al., 2021). Läänemere laevandusest tulenev CO_2 moodustab alla 2 % ülemaailmsest laevade CO_2 heitkogusest (Johansson et al., 2017). On näidatud, et laevandus on oluline õhu kaudu lendava lämmastiku atmosfääri paiskamise allikas. Selle panus laevadelt võib olla alla 3 %, kuid selle osakaal erinevatest biogeokeemilistest muutujatest võib ulatuda 10 %-ni (Raudsepp et al., 2019). Skrabi puhastusvesi suurendab hapestumist. Ookeani hapestumine kliimamuutuste ja CO_2 lahustuvuse tõttu on hinnanguliselt 0,002 pH-ühikut aastas (Rhein et al., 2013). Skrabi kasutuselevõtt vähendab hinnanguliselt pH-d täiendava 0,0001 pH-ühiku võrra aastas (Turner et al., 2018). Piiratud veealadel, nagu estuaarid ja sadamad, võib esineda suurem langus (kuni 0,015 pH-ühikut; Teuchies et al., 2020).

Laevandusest lähtuv saaste puudutab nii atmosfääri kui vesikeskkonda (Moldanová et al., 2022). Erinevad jäätmed (Tabel L2) võivad tekkida nii laevade eksploatatsioonil kui ka laevameeskonna ja -reisijate tegevustest. Euroopa Liit on välja andnud mitmeid direktiive püüdmaks lahendada meie mägevett ja meresid ähvardavaid probleeme ning allkirjastanud mitmed rahvusvahelised merede ja ookeanide kaitsmise alased konventsioonid (Euroopa Komisjon, 2022), mis reguleerivad lisaks ka laevadest lähtuvatele heitmetele vette ka heitmeid õhku (Jalkanen et al., 2020).

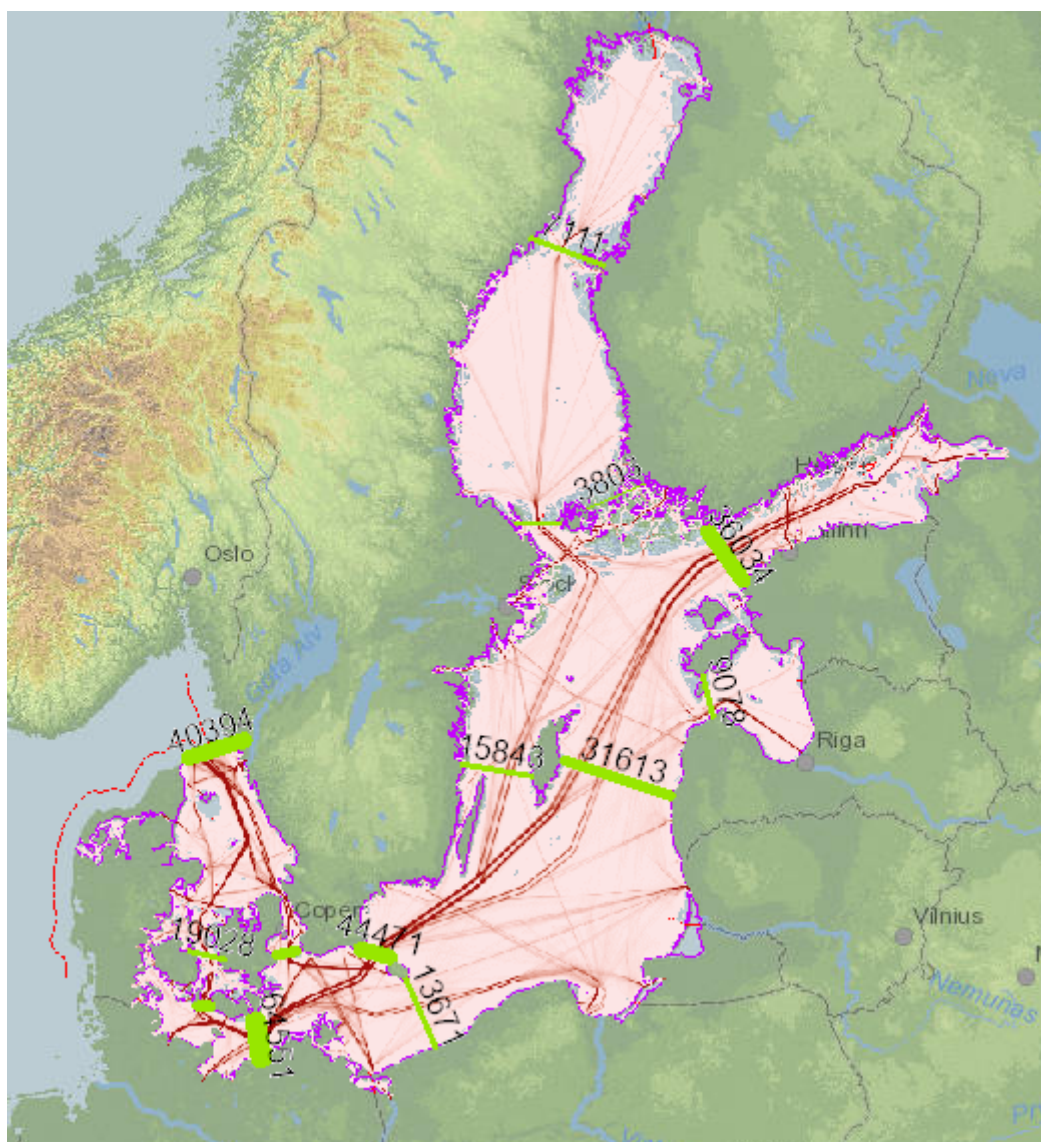
Laevade opereerimine tekitab jäätmevooge, mis on seotud tõukejõusüsteemide ja mootorite tööga, laevade eksploatatsiooniga ning meeskonna ja reisijate tegevusega (Jalkanen et al., 2021). Tõukejõusüsteemi ja mootori tööga seotud jäätmevood hõlmavad masinaruumide pilsivett, sõukruvi võlli määrimisel tekkivat ahtritoru õli, heitgaaside puhastussüsteemide (EGCS) skrabi pesuvett ja jahutusvett. Laevade eksploatatsiooniga kaasnevad jäätmevood on seotud laeva stabiilsuse säilitamisel kasutatava ballastveega, laevakere vetikatega kattumist takistavates kasvumismastastes värvides kasutatavate biotsiididega ja kütusepaakide puhastusjääkidega (Jalkanen et al., 2021). Pardal viibivate inimestega seotud jäätmevood hõlmavad toidujäätmeid, musta vett (kanalisatsioon), kambüüside ja duširuumide vett (hall vesi) ning muid tahkeid jäätmeid (Jalkanen et al., 2021). Laevaheitmeid reguleerivad rahvusvahelised konventsioonid, eelkõige IMO MARPOL (The International Convention for the Prevention of Pollution from Ships of the International Maritime Organization) (International Maritime Organization, 1973) koos selle kuue lisaga, ballastvee konventsioon (BWM Convention and Guidelines) (International Maritime Organization, 1992) ja kasvumismastaste süsteemide konventsioon (International Convention on the Control of Harmful Anti-fouling Systems on Ships) (International Maritime Organization, 2001).

Ajalooliselt on laevade õhuheitmete hindamiseks kasutatud erinevaid meetodeid, näiteks ülalt alla (punkri kogumüügi, lastimahu või muu sarnase põhjal), alt üles (laevandustegevuse alusel) või kombineeritud meetodikaid (Moldanová et al., 2022). SHEBA ("Sustainable Shipping and Environment of the Baltic Sea region (SHEBA)," 2022) uurimisprojekti rakendati laevaliikluse tegevustel põhinevat tiptasemel meetodikat, mis on tuletatud AIS (Automatic Identification System) signaalide kaudu kõrge ajalise eraldusvõimega edastatud laeva asukohaandmetest. Juhul, kui eraldi ei ole välja toodud, on andmestikus kasutatud kõigi konkreetsetel uuringualal uuringuperioodil sõitvate AISiga varustatud laevade andmeid kogumis. Antud meetodikat on kasutatud Läänemere regioonis sõitvate laevade õhusaasteainete heidete ja merre heidete ning veealuse müra kogusumma arvutamiseks järjepidevalt STEAM mudeliga (Jalkanen et al., 2021, 2018, 2012; 2009). Mudel STEAM3 ennustab veetakistuse arvutuste põhjal laeva hetkelist energiatarbimist ja peegeldab laeva opereerimise varieeruvust AIS-is esitatud teabe põhjal. Kasutades laeva üksikasjalikku kirjeldust on võimalik koostada hinnanguid hetkevõimsuse, kütusekulu ja reostuskoormuste kohta. Vastupidiselt atmosfääri saasteainete heitkogustele ei pruugi koormus vette sõltuda otseselt laeva liikumiskiirusest, vaid muudest omadustest, nagu pardal viibivate inimeste arv, laevakere veealuse osa pindala ja lastimaht. IHS-i (IHS_Global, 2016) SeaWebi laevade andmebaasi kasutatakse nende andmete ekstraheerimiseks, et modellerida saasteainete koormust vette. Laevade tegevust registreerib Läänemere riikide AIS-võrk. Andmed koosnevad asukoha aruannetest, mis kirjeldavad laeva asukohti iga 5–6 minuti järel. Andmed on saadud HELCOM AIS andmebaasist. STEAM-i väljundid kirjeldavad veekoguseid ballast-, pils-, halli-, musta- ja skraberi pesuvee jaoks. Veekoguste korrutamine vastavate saasteainete kontsentratsioonidega annab merre sattuvate saasteainete koormused. Saasteainete kontsentratsioonide varieeruvus väljalaskevees võib olenevalt laeva karakteristikutest ja tegevusest merel ja sadamas olla märkimisväärne. Mudel STEAM3 ennustab veetakistuse arvutuste põhjal laeva hetkelist energiatarbimist ja peegeldab laeva opereerimise varieeruvust AIS-is esitatud teabe põhjal. Kasutades laeva üksikasjalikku kirjeldust on võimalik koostada hinnanguid hetkevõimsuse, kütusekulu ja reostuskoormuste kohta. Vastupidiselt atmosfääri saasteainete heitkogustele ei pruugi koormus vette sõltuda otseselt laeva liikumiskiirusest, vaid muudest omadustest, nagu pardal viibivate inimeste arv, laevakere veealuse osa pindala ja lastimaht. IHS-i (IHS_Global, 2016) SeaWebi laevade andmebaasi kasutatakse nende andmete ekstraheerimiseks, et modellerida saasteainete koormust vette. Laevade tegevust registreerib Läänemere riikide AIS-võrk. Andmed koosnevad asukoha aruannetest, mis kirjeldavad laeva asukohti iga 5–6 minuti järel. Andmed on saadud HELCOM AIS andmebaasist. STEAM-i väljundid kirjeldavad veekoguseid ballast-, pils-, halli-, musta- ja skraberi pesuvee jaoks. Veekoguste korrutamine vastavate saasteainete kontsentratsioonidega annab merre sattuvate saasteainete koormused. Saasteainete kontsentratsioonide varieeruvus väljalaskevees võib olenevalt laeva karakteristikutest ja tegevusest merel ja sadamas olla märkimisväärne. kasvumisvastastest värvidest vette sattuvate reoainete koguste arvutamiseks kasutatakse reoainete laevakerelt vabanemise kiirust. Mudel ühendab laevade tegevused õhusaasteainete väavli ja lämmastikoksiidide, tahkete osakeste, süsinikmonooksiidi (SOX, NOX, PM, CO) ja CO₂ heiteteguritega. Mudelis arvestatakse vee reostusaineid (toitained st P ja N; saasteained s.o metallid ja erinevate jäätmevoogude mahud) ja veealust müra (Moldanová et al., 2022). Meetodika tulemusena koostatakse kõrge ruumilise ja ajalise eraldusvõimega kaardid õhku ja merre minevate heidete kohta. Tegemist on kõige uuema ja detailsema rahvusvahelisel tasemel aktsepteeritud teadusliku meetodikaga.

Raudsepp et al. (2019) rõhutab tuginedes varasematele autoritele (Aulinger et al., 2016; Bartnicki et al., 2011; Herz & Davis, 2002), et laevandus suurendab teiste allikate hulgas toitainete sisenemist mere ökosüsteemi õhku eralduvate heidete ja sellega kaasneva sadestumise ning ka otseheidete kaudu. Merendusest pärinevate täiendavate toitainete mõju on ajas ja ruumis erinev, seega on laevad olulised varustajad piirkondadele, kus puuduvad muud toitaineallikad; samal ajal võib laevandus olla ka peamine toitainete atmosfääri viimise allikas, mistõttu intensiivistub niigi tugev eutrofeerumine näiteks Lääne-Euroopa rannikuvetes (Raudsepp et al., 2019).

Laevade tegevusega seotud jäätmed satuvad merre ja õhku laevateedelt, ankruplatsidelt ja sadamatest. Laevandusega seotud tegevustest on kõige olulisem laevade opereerimine merel ja sadamates. Merel toimub kaubavedu, reisijate vedu ja kruiisiturism. Merel ettenähtud aladel toimuvad Ship-To-Ship (STS) toimingud, milleks on punkerdamine ja kaupade ümberlaadimine ühelt laevalt teisele. Läänemeri on tugevalt eutrofeerunud mereala, kus intensiivne laevandus kui täiendav toitainete allikas on potentsiaalne ökosüsteemi muutuste põhjustaja (Raudsepp et al., 2019). Alates 2021. a augusti kuust on Eesti vetes punkerdamine lubatud neljal ankrualal. Laevade punkerdamist reguleerib määrus nr 51 "Merel, Narva jõel ja Peipsi järvel ohtlike ning kahjulike ainete käitlemise kord". Kaupade üleandmist ühelt laevalt teisele teostatakse STS-aladel, milleks on määratud ankrualad Tallinna ümbruses. STS operatsioonide teostamine väljaspool STS-ala võib toimuda põhjendatud erandjuhul kokkuleppel Politsei- ja Piirivalveametiga. Ankrualadel võivad laevad ankurdada, ilma, et toimuks STS tegevusi või teisi laevade opereerimisega seotud tegevusi.

Eesti merealade laevateede kogupikkus on 1700 km, kusjuures rahvusvahelise tähtsusega laevateed (HELCOMi laevateed) moodustavad sellest üle poole (950 km) (Piirimäe et al., 2016). Eestit ümbritsevatest veekogudest toimub kõige intensiivsem laevaliiklus kirde Läänemerel ja Soome lahe piirkonnas. Hinnangute kohaselt sõidab Läänemerel kogu aeg ligikaudu 2000 laeva (Joonis 2.1) ("Shipping – HELCOM," 2022). Joonisel 2.1 on laevade tihedus määratletud kui 1 x 1 km ruudustikku läbivate laevade arv. Samuti on joonisel 2.1 toodud suudmeid läbivate laevade arv 2017. aastal. (HELCOM, 2022)



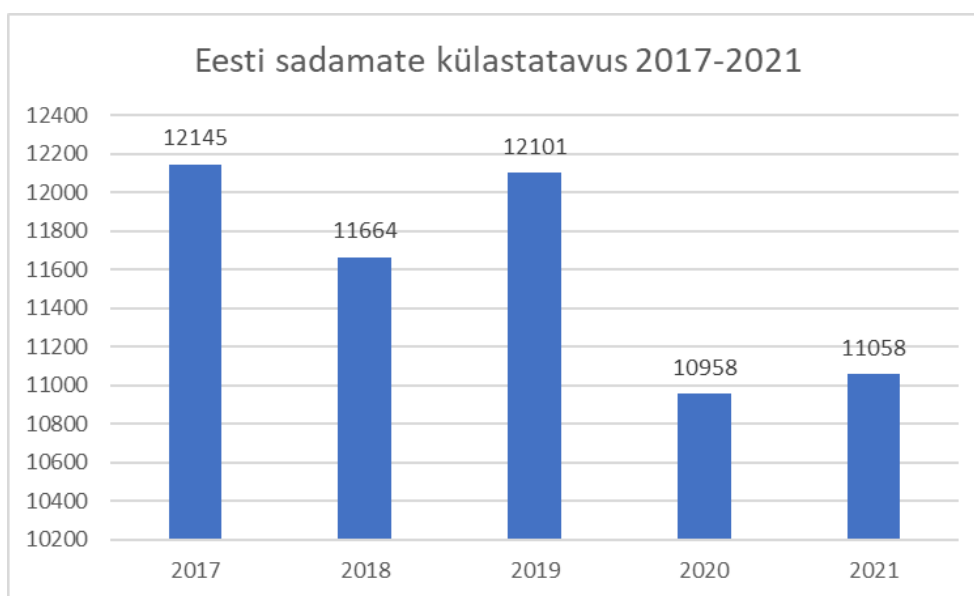
Joonis 2.1. Läänemerele sõitvate IMO registreeritud laevade liikluse tihedus 2020. aastal (HELCOM, 2022)

Eesti merealal on laevaliikluses kolm tasandit:

1. Rahvusvaheline laevaliiklus, mis toimub Soome lahes ja Läänemere kirdeosas Soome lahe sadamate ja Euroopa vahel, k.a suuremahuline nafta ja naftasaaduste transport, samuti avamere kalapüük traallaevadega;
2. Kohalik laevaliiklus (nt parvlaevaliiklus mandri ja saarte vahel);
3. Väikelaevaliiklus (väiksemad kalalaevad, jahid, kalapaadid), mille intensiivsus on aastaajaliselt erinev, samuti sesoonne mereturism ja veesport (süstad, surfisport jms). (Piirimäe et al., 2016). Väikelaevade merekeskkonna reostuse kohta kogu Läänemere ulatuses on toodud detailne ülevaade artiklis (Johansson et al., 2020). Käesolevas töös käsitletakse laevu, mille kohta on olemas informatsioon AIS andmebaasis.

Käesolevas uuringus on kasutatud kõigi konkreetsetel uuringualal uuringuperioodil sõitvate AISiga varustatud laevade andmeid kogumis. Üldjoontes on AIS kohustuslik laevadel kogumahtuvusega alates 300 GT ning reisijateveoga tegelevatel alustel sõltumata suurusest. Tuleb aga märkida, et väike hulk alla 300 GT aluseid kasutab samuti AISi ning võib seetõttu olla sattunud STEAM mudelisse, kuid täpsem osakaalude määratlemine eeldab AISi andmete süvatöötlust, mis ei kuulu käesoleva töö mahtu. STEAM võimaldab kasutada konkreetsetel väikestele laevadele loodud alam-mudelit, millest on täpsemalt võimalik välja võtta väikeste laevade keskkonnamõjuga seotud andmed. AISi transponderit kannavad ka sõjalaevad ning muud riiklikud laevad, kuid esimestel ei pea see ülesannete eripärast lähtuvalt olema sisse lülitatud.

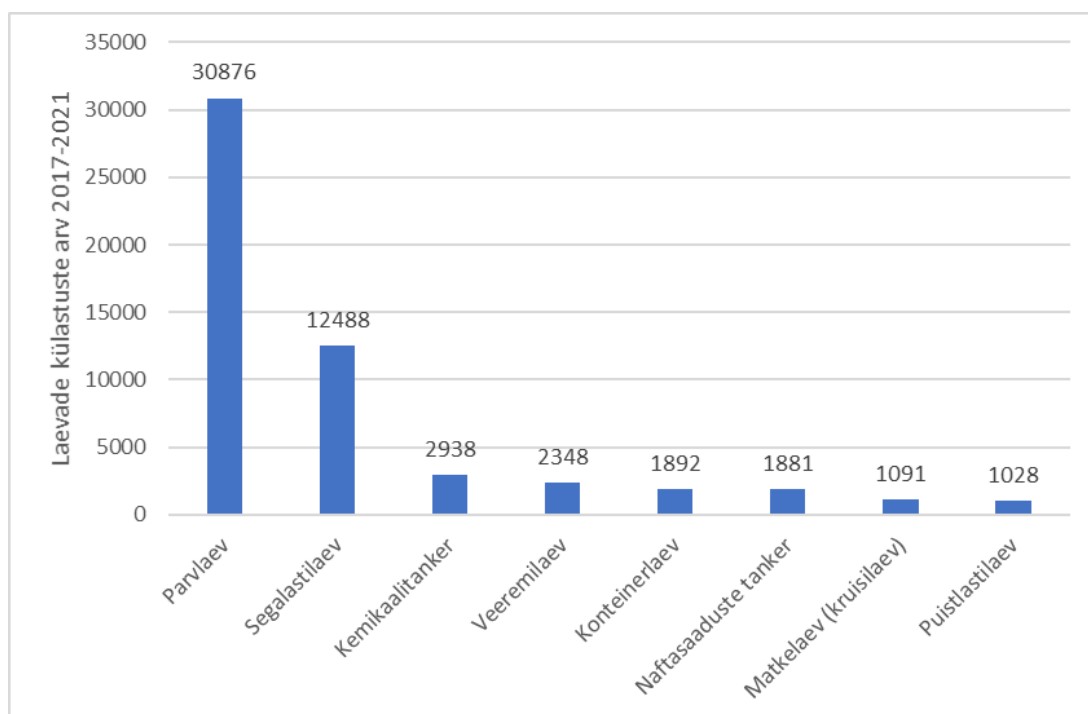
Järgnevalt on toodud Eesti sadamate külastatavuse statistika 2017-2021 (Joonis 2.2) ja enimesinevad laevatüübid Eesti sadamates 2017-2021 (Joonis 2.3) Elektroonilise Mereinfosüsteemi (edaspidi EMDE; <https://www.emde.ee>) põhjal. AISi ja EMDE andmestikud ei kattu täielikult, kuid 300+ GT laevade osas on need suures ulatuses identsed, mistõttu on EMDE andmed käesoleva ülevaate loomisel aluseks võetud. Andmestikuga on hõlmatud ka Eesti territoriaalmeres asuvatel ankrualadel opereerivad laevad, sh laevad, mis siirduvad punkerdama ning lahkuvad ankrualalt ja kannavad AISi transponderit.



Joonis 2.2. Eesti sadamate külastatavus 2017-2021. Allikas: Elektrooniline Mereinfosüsteem, 2022

Joonisel 2.2 on Eesti sadamate külastatavus aastatel 2017-2021. Statistikas on arvesse võetud kõiki sadamakülastusi, mis on registreeritud EMDE süsteemis ("Elektrooniline Mereinfosüsteem," 2022). EMDE ehk Eesti Merendusdokumentide Edastus või Elektrooniline mereinfosüsteem (ingli k Estonian Maritime Document Exchange) eesmärgiks on hõlbustada laevandusega seonduva informatsiooni edastamist, kogumist ja säilitamist. Andmekogu vastutav töötaja on Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium ning töötaja Transpordiamet. Elektrooniline Mereinfosüsteem on liidestatud EL meresõiduohutuse teabevahetuse süsteemiga SafeSeaNet. ("Elektroonilise mereinfosüsteemi põhimäärus," 2022)

EMDE kohaselt on vahemikus 2017-2021 Eesti sadamaid külastanud 59 erinevat tüüpi laevu, millest enimesinevad on toodud joonisel 2.3 ja Tabelis L1.



Joonis 2.3. Enimesinevad laevatüübid Eesti sadamates 2017-2021. Allikas: Elektrooniline Mereinfosüsteem, 2022

Kõige sagedasemad sadama külastuste tegijad on parvlaevad, mida selgitab tihe laevaliiklus nii Eesti suur- (Saaremaa ja Muhu, Hiiumaa) kui ka väikesaarte (Vormsi, Kihnu, Ruhnu jne) ja mandri vahel ning rahvusvaheline laevaliiklus (peamiselt Tallinn-Helsinki liin) ning mille külastuste arv viie aastasel perioodil on ligi 31 000. Järgnevad segalastilaevad, mille külastuste arv 2017-2021 on veidi alla 12 500. Järgnevad kemikaalitankerid, veeremilaevad, konteinerlaevad ning naftasaaduste tankerid, kuid nende sadamakülastuste arv on kordades väiksem. ("Elektrooniline Mereinfosüsteem," 2022)

STEAM mudel koos selle hiljutiste uuendustega võimaldab mitmekülgset ja edukalt analüüsida laevanduse mõju keskkonnale. On võimalik teha uusi uuringuid laevaheitmete kohta, mis põhinevad realistlikul andmestikul laevade tegevuse kohta ja tehnilistel näitajatel. Erinevalt atmosfääri heitgaasidest satuvad veeheitmed otse merre ning sisaldavad erinevaid saasteaineid ja toitaineid. Samuti tekivad atmosfääriheitmed kohtades, kus toimub kütuse põlemine, mis erineb veeheitmetest. On olemas suur hulk regulatsioone (õigusaktid ja eeskirjad), mis määratlevad, millised heitmed on erinevates valdkondades lubatud, mis annab olukorrast pildi võttes arvesse nii regulatiivseid nõudeid kui tegelikke olusid. (Jalkanen et al., 2021)

3. Laevandusega seotud keskkonnamõjud

Laevandusel on mitmeid keskkonna- ja ökoloogilisi mõjusid. Peamiselt jagatakse laevandusega seotud keskkonnamõjud kolme kategooriasse: vee- ja õhuheitmetest tingitud mõjud ning füüsikalised mõjud (Jägerbrand et al., 2019). Jägerbrand et al. (2019) avaldab, et kuigi kvantitatiivsed andmed laevanduse keskkonnamõjude kohta on üldiselt napid, on laevanduse panust veekeskkonna hapestumisele läbi SO_x- ja NO_x-heite teatud määral kvantifitseeritud. Teadmistes on lünki seoses ökoloogiliste tagajärgedega, näiteks veepinnal veetavate kemikaalide hulga suurenemisega, võõrliikide levikuga koos kliimamuutustega ning selliste füüsiliste mõjudega nagu laevamüra ja tehisvalgus (Jägerbrand et al., 2019).

2021. aasta juulis võttis Euroopa Komisjon vastu rea õigusaktide ettepanekuid, milles sätestatakse, kuidas EL kavatseb saavutada 2050. aastaks kliimanetraalsuse, sealhulgas vähendada 2030. aastaks kasvuhoonegaaside heitkoguseid vähemalt 55% (European Council, 2021). Fit for 55-nimelises paketi tehakse ettepanek vaadata läbi mitmed ELi kliimaalased õigusaktid, sealhulgas ELi heitkogustega kauplemise süsteem (ETS), jõupingutuste jagamise määrus, transpordi ja maakasutusega seotud õigusaktid ja kirjeldatakse, kuidas komisjon kavatseb saavutada ELi kliimakokkuleppe eesmärgi. Laevandus on selle paketi osa, mis on suunatud üle 5000 GT laevadele (Tapaninen and Palu, 2022).

Keskkonnamõjude leevendamine toimub peamiselt regulatsioonide karmistamise kaudu, mis tingib laevafirmade vajaduse suuremal või väiksemal määral oma tegevust muuta, kas siis teistsuguste tehnoloogiate või kütuste kasutuselevõtu või töömeetodite muutmise kaudu. Suure mõjuga võib olla ka liikluse ümbersuunamine alternatiivsetele marsruutidele (Tapaninen and Palu, 2022).

3.1 Heitmed vette

Laevandusest tingitud merekeskkonna peamised saasteallikad on kasvumismasside värvide jäägid ning pils-, must-, hall- ja ballastvee ning skraberi väljalaskevesi. Vase, tsingi, naftaleeni, püreeni ja dibromoklorometaani dispersiooni on uuritud kasutades kolme mudelit ühtse süsteemina: 1) laevaliikluse heitkoguste hindamise mudel (*Ship Traffic Emission Assessment Model*) annab infot, kui palju reoaineid merre satub, 2) üldise tsirkulatsiooni mudel (*General Estuarine Transport Model*) annab vee kiirused ja segunemise, ja Euleri ainetranspordi mudel kirjeldab heitmete levikut meres (*Eulerian tracer transport model*), Läänemeres 2012. aastal. Saasteainete aastased koormused ulatusid 2012. aastal 10⁻² tonnini püreenil kuni 100000 tonni vasel. Saasteainete hajuvuse määrab hoovuste kineetilise energia ja vertikaalne kihistumine. Saasteainete kõrgeenenud kontsentratsioon pinnal püsib umbes kaks päeva ja saasteained hajuvad ruumilises skaalas 10-60 km. Taani väinad, Läänemere edelaosa ja Soome laht on Läänemere laevade kaudu levivate saasteainete suurima surve all. (Maljutenko et al., 2021).

Detailne ülevaade laevandusega seotud heitmetest vette on toodud Tabelis L2.

3.2 Õhusaaste

Laeva heitgaaside kaks peamist saasteainet on lämmastikoksiidid (NO_x) ja vääveloksiidid (SO_x). Need gaasid avaldavad kahjulikku mõju osoonikihile Maa atmosfääri troposfääri piirkonnas, mille tulemuseks on kasvuhooneefekt ja globaalne soojenemine. Lisaks paiskavad laevad õhku tahkeid osakesi. Muud laevade poolt õhku paisatavad saasteained varieeruvad vastavalt laeva tegevusalale ning sisaldavad näiteks lenduvaid orgaanilisi ühendeid ning osoonikihti kahandavaid aineid, sh orgaanilist süsinikku, musta süsinikku, kasvuhoonegaasi CO₂ ja CH₄ jms (European Environment Agency and European Maritime Safety Agency, 2021). Loetelu laevandusega seotud heitmetest õhku on esitatud Tabelis L3.

3.3 Füüsilised heitmed/reostus ning visuaalne reostus

Laevanduse füüsilised mõjud hõlmavad veekeskkonda puudutavad tegurid nagu müra, tehisvalgus, mõju lainetuste tekitamise kaudu rannajoone erosioonile ja setete resuspensioonile (Reckermann et al., 2022; Jägerbrand et al., 2019). Järjest enam räägitakse ka visuaalsest reostusest, mis lisaks avamere tuuleparkidele on tähelepanu pälvimas ka laevanduse juures (Maslov et al., 2017). Visuaalne reostus laevandusest tulenevate keskkonnamõjude kontekstis on laevade vältimine mereelustiku (peamiselt merelindude ja -imetajate) poolt. Nii on näiteks teada, et merelinnud üldjuhul väldivad peatumist peamistel laevateedel ja ankrusseisvate laevade läheduses ning tihe laevaliiklus suurendab seetõttu ka lindude energiatarvet (Bellebaum et al., 2006; Kaiser et al., 2006). Selline häiriv mõju võib ulatuda 3 km kaugusele laevast ning ei ole enamasti seotud laevade poolt tekitatud mürast. Samuti on näiteks viigerhüljestel on arglik iseloom ning ebatavalise lõhna korral nad lahkuvad piikonnast (soodsa tuule puhul on nad võimelised laevade ning inimese liikumist tuvastama mitme kilomeetri kauguselt).

Täpne loetelu laevandusega seotud füüsilisest reostusest on esitatud Tabelis L4.

4. Laevanduse keskkonnamõju iseloomustavad indikaatorid

Euroopa Liidu merestrategie raamdirektiivi (MSRD) kohaselt on merekeskkond väärtuslik pärand, mis vajab kaitset, säilitamist ja võimaluse korral taastamist lõppeesmärgiga hoida alal bioloogilist mitmekesisust ning kindlustada ökoloogiliselt mitmekesised ja dünaamilised ookeanid ja mered, mis on puhtad, terved ja produktiivsed. MSRDs lähtutakse seisukohast, et rakendades inimtegevuse juhtimisel ökosüsteemil põhinevat lähenemisviisi ja võimaldades samal ajal mereökosüsteemi teenuste jätkusuutlikku kasutamist, tuleb esmatähtsaks pidada mereakvatooriumi hea keskkonnaseisundi (HKS) saavutamist või säilitamist, selle kaitse ja säilitamise jätkamist ning edasise halvenemise ärahoidmist.

MSRD loob raamistiku, mille piires liikmesriigid võtavad vajalikud meetmed, et saavutada või säilitada mereakvatooriumis hea keskkonnaseisund. Sellest direktiivist tulenevalt on riikidel kohustus piiritleda 11 hea keskkonnaseisundi kvalitatiivse tunnuse kriteeriume ning nende läviväärtusi. Läviväärtus on väärtus või väärtuste vahemik, mille abil on võimalik hinnata kvaliteedikriteeriumi puhul saavutatud kvaliteeditaset ja seega ka hea keskkonnaseisundi saavutamise ulatust selles kriteeriumis. Eesti jaoks väljatöötatud MSRD hindamiskriteeriumite indikaatoreid ja läviväärtusi saab kasutada ka laevanduse keskkonnamõjude hindamisel.

Antud aruandes on välja toodud MSRD merekeskkonna seisundi hindamise kriteeriumid, mis on seostatavad laevanduse potentsiaalsete keskkonnamõjudega. Antud töös on kriteeriumid jaotatud vastavalt nende iseloomule surve- ja mõju kriteeriumiks, mida iseloomustatakse erinevate indikaatoritega. Tunnuste kriteeriumid ja neid iseloomustavad indikaatorid on välja valitud peamiselt "Merestrategie raamdirektiivi (2008/56/EÜ) kohase Eesti mereala keskkonnaseisundi hinnangu indikaatorite kogum" (2019) põhjal.

Survekriteeriumid

D2 (Võõrliigid): D2C1 - Inimtegevusega loodusesse sissetoodud uute liikide arv hindamisperioodi (6 aastat) kohta;

D5 (Eutrofeerumine): D5C1 - Toitainete kontsentratsioonid;

D6 (Merepõhja terviklikkus): D6C1 - Loodusliku merepõhja füüsiline kadu, D6C2 - Merepõhja survetegurid, D6C3- Hävinud elupaikade ulatus;

D8 (Saasteained merekeskkonnas): D8C1 - Saasteainete sisaldused merekeskkonnas ei ületa kehtestatud piirväärtusi;

D10 (Mereprügi): D10C1 - Prügi koostis, kogus ja ruumiline jaotus rannajoonel, mere pinnakihis ja mere põhjal;

D11 (Veealune müra): D11C1 – Inimtekkelise impulsheli allikate ruumiline ulatus, kestus ja tase;

D11C2 – inimtekkelise pideva madalsagedusega heli ruumiline ulatus ja tase.

Mõjukriteeriumid

D1 (Bioloogiline mitmekesisus): D1C2 - Liigi populatsiooni arvukus, käsitleb hall-, viigerhüljeste ja veelindude arvukust. D1C4 - Liigi levikuala ja levikumuster, käsitleb hall- ja viigerhüljeste levikuala ja levikumustrit;

D4 (Toiduvõrgud): D4C1 - Troofilise gildi mitmekesisus, käsitleb kalakoosluse troofsusindeksit;

D5 (Eutrofeerumine): D5C2 - Klorofüllilise kontsentratsioon;

D6 (Merepõhja terviklikkus): D6C4 - Hävinud elupaikade osakaal, D6C5 - Häiritud elupaikade osakaal;

D8 (Saasteained merekeskkonnas): D8C2 - Saasteainete mõju liikide ja elupaikade seisundile;

Eelpool välja toodud MSRD tunnuste kriteeriume ei hinnata väikestes ruumi mastaapides, mistõttu pole saadaval ka keskkonnaseire andmestikku, mida saaks otse kasutada erinevate laevandusega seotud tegevuste lokaalsete keskkonnamõjude hindamisel. Sellest tulenevalt on raske tuvastada põhjus-tagajärg seoseid konkreetsete laevandusega seotud tegevuste ja keskkonnamõju vahel. Näiteks antakse kogu Liivi lahe kohta vaid üks seisundihinnang, kuid ei iseloomustata Liivi lahe erinevate ruumiosade olukorda. Keskkondlike otsuste tegemisel on aga vajalik lähtuda ruumiliselt kõige detailsemast käsitlust võimaldavast keskkonnainfost. Üks võimalus on kasutada MSRD tunnustest lähtuvaid, kuid olemasolevatest indikaatoritest detailsemat lähenemist pakkuvaid lahendusi, mis võimaldab siduda lokaalsemaid laevandusega seotud tegevusi olemasolevate keskkonnasihtidega. Sellist lähenemist võimaldab veebitööriist PlanWise4Blue (tööriista kõige uuemat funktsionaalsust võimaldav sektsioon paikneb aadressil: <http://www.sea.ee/adrienne>; tegemist pole riiklikult hallatava andmebaasiga, küll on võimalik seda portaali/otsustustuge kõigil tasuta kasutada), milles sisalduvad GIS-andmekihid võimaldavad ruumiliselt detailsemat käsitlust osade MSRD tunnuste aluseks olevate loodusväärtuste alusel.

PlanWise4Blue portaal käsitleb loodusväärtustena selliseid keskkonnaandmeid, millel on püsiv asukoht ning mida kasutatakse Merestrateegia Raamdirektiivi tunnuste indikaatoritena. Veebirakendusse on hetkel kaardikihtidena integreeritud Tabelis L5 toodud loodusväärtuste andmekihid. Tartu Ülikooli Eesti Mereinstituut viib Eestis läbi merebioloogilist seiret ning kaardistab erinevate loodusväärtuste ruumilist levikut ja seisundit. Eesti Mereinstituudi üheks pikaajaliseks eesmärgiks on kogutud loodusväärtuste andmetike haldamine ja jagamine sh. PlanWise4Blue portaali kaudu. Kuna suurem osa loodusväärtustest on võrdlemisi staatilised (nt. väärtuslike liikide ja elupaikade levilad), siis uuendatakse andmeid aastase intervalliga. Osade liikide seirega aga Eesti Mereinstituut ei tegele (nt. merelinnud ja -imetajad) ning selliste loodusväärtuste puhul uuendatakse andmekihte peale seda, kui vastavad uued uuringud on avalikkusele kättesaadavaks tehtud.

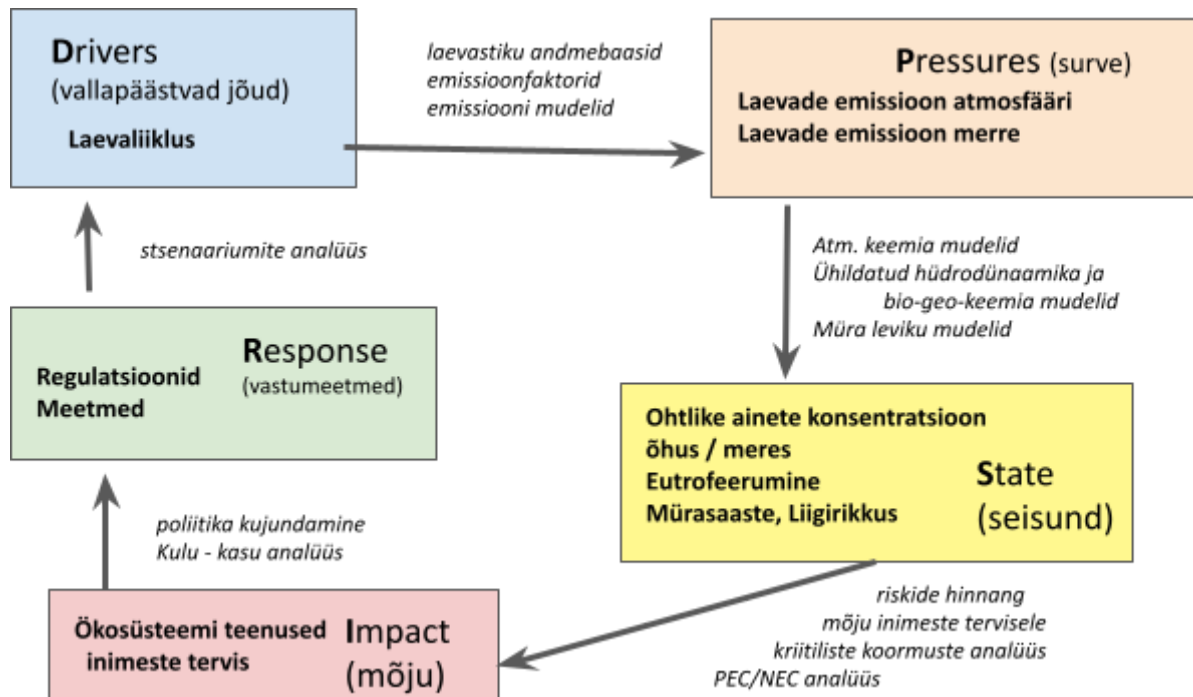
5. Metoodikad laevanduse keskkonnamõju hindamiseks

5.1 DPSIR holistiline raamistik

Klassikaline DPSIR raamistik (Joonis 5.1) võimaldab üldist holistilist käsitlust laevandust kujundavatest teguritest ning laevanduse mõjust merekeskkonnale, majandusele ja ka ühiskonnale terviklikult (Moldanova et al., 2022). Erinevad raamistiku komponendid on omavahel seotud numbriliste ja kontseptuaalsete mudelitega, mis baseeruvad teaduslikel meetoditel. DPSIR (D – Driver, vallapäästev jõud; P – Pressure, surve; S – State, seisund; I – Impact, mõju; R – Response, (vastu)meede) eesmärk on hinnata erinevate laevandusega seotud tegevustest (surve) tulenevaid mõjusid merekeskkonnale ja ökosüsteemi teenustele. Sellest tulenevad tekib sotsiaalmajanduslik surve, mille tulemusel töötatakse välja vastumeetmeid, mis omakorda mõjutavad laevandust. DPSIR laevanduse vallapäästevaks jõuks on laevaliiklus, mida tingivad erinevad vajadused kasutada veeteid (transport, turism) ja laevandusega seotud seadusandlus. Laevaliiklus omakorda avaldab mõju ümbritsevale keskkonnale (atmosfäär, meri). Surve ökosüsteemile võib endast kujutada nii otseseid reostuskoormusi laevadelt, kui ka võõrliikide levimist, mereprügi, veealust müra. Survetest tingitud tegurite mõjul toimuvad muutused keskkonna seisundile, mis omakorda mõjutavad erinevaid ökosüsteemi teenuseid ja üldist ühiskonna heaolu. Negatiivseid muutusi leevendavad vastumeetmed võivad kaasa tuua uusi regulatsioone või eeskirju laevanduses, mis omakorda mõjutavad ringiga vallapäästvaid tegureid ja survet.

DPSIR käsitlus ei reguleeri, milliseid meetodeid peaks kasutama erinevate süsteemi osade üleminekul. SHEBA projekti raames olid kasutuses numbrilised mudelid keskkonna seisundi hindamisel, kuid kaasati ka laiahaardelist eksperthinnangut hindamaks erinevaid mõjusid. Jägerbrand et al. (2020) ülevaateartikkel laevanduse reostuse mõjudest toob välja, et valdav osa uuringutest käsitleb laevanduse mõju keskkonnale vaid kvalitatiivselt ning napib kvantitatiivseid uuringuid laevanduse mõjudest.

DSPIR raamistiku erinevate osade ja nende vaheliste seoste jaoks võib kasutada erinevaid metoodikaid, mida võib jagada kolmeks: 1) protseduurilised, 2) analüütilised ja 3) koondatud meetodid (Andersson et al., 2016).



Joonis 5.1 SHEBA DPSIR käsitlus

Tabel 5.1 Keskkonnamõju hindamiseks kasutatavad meetodid ja tööriistad Andersson et al. (2016) järgi.

<i>Protseduurilised meetodid</i>	Mida hindab	Eesmärk	Sisend	Väljund	Viited
1. Keskkonnamõju hinnang (KMH), Keskkonnamõjude Strateegiline hinnang	Planeeritava tegevuse mõjusid	Vähendada planeeritava tegevuse mõjusid	Eksperthinnang	Aruanne; Soovitused; Otsused	
2. Stsenaariumi analüüs	Planeeritavate tegevuste mõjusid erinevate stsenaariumide lõikes	Hinnata võimalike tuleviku/tegevuste stsenaariume	Algne seisund ja muutused	Algse seisundi ja stsenaariumite võrdlus	Fang et al., 2013
3. Mitmekriteeriumi otsustusanalüüs	Erinevate kriteeriumite koosmõju	Vastandlike kriteeriumite evalveerimine	Probleem, Lahendus, alternatiivid ja kriteeriumid	Kriteeriumite järgi kaalutud otsus, millist Lahendust valida	Pesce et al., (2018), Hansson et al. (2019),
4. Riskijuhtimine (Riskmanagement)	Tegevustega seotud riske ja nende maandamist	Riskidega toimetulek	Probleemi haare, Riski kriteeriumid	Riski maandamise meetmed	Kulkarni et al. (2020), Bye et al. (2018), Banda et al. (2015)

Analüütilised meetodid

1. Elutsükli hinnang	Toote elutsükli mõju keskkonnale	Defineeritav meetodi osana	Laevaliiklus, reostus koormus	Mõju indikaatorid, soovitused toodete /tegevuste optimeerimiseks	Zuin et al. (2009), Wang et al. (2018), Prinčaud & Froélich (2010), Bye & Aalberg (2018)
2. Numbriline modelleerimine (Mateeria- ja ainevoo analüüs)	Aine levimine ruumis / süsteemis	Hinnata aine levimis ruumis / aine hulka erinevates süsteemi komponentides	Süsteemi kirjeldus Aine koormus	Aine jaotus ruumis / erinevates süsteemi osades	Jain et al. (2017) Maljutenko et al. (2021) Raudsepp et al. (2013, 2019) Karl et al. (2021), Jalkanen et al. (2021)
3. Keskkonnariski hindamine	Keskkonnale ohtlike kemikaalide poolt tekitatud riski keskkonnale	Riskide maandamine	Erinevad riskid ja nende olulisus, tõenäosus	Riskide tõenäosused	Amir-Heidari et al. (2019), Quin et al. (2020)
4. Kulude-tulude analüüsi	Hinda, mida tuleb meetme või keskkonna mõju eest maksta	Tasakaalustada keskkonna mõjusid ja majanduslike kulutusi	Hind kvantitatiivse mõju või teguri kohta	Hind	Pimentel et al. (2005)

5. Elutsükli maksumus / Olelusringi hinnang (Environmental Life Cycle Costing (ELCC))	Toote elutsükli maksumust	Vähendada keskkonnamõju ja toote/teenuse hind	Hind, mida erinevad toote etapid kulutavad	Hind	Biernacki (2015)
--	---------------------------	--	---	------	------------------

Koondatud meetodid

1. Indikaatorid	Seisundi koondhinnang	Lihtsustada seisundi hinnangut		Numbrid / hinnangud	Fridell et al. (2022)
2. Indeksid	Seisundi koondhinnang	Koondada erinevad indikaatorid		Numbrid	Fridell et al. (2022), Vierth & Johansson (2020)
3. Jalajäljed	Seisundi koondhinnang	Teisendada mõjud üldsusele lihtsamini mõistetavateks üksusteks		Numbrid /hinnangud	Schim van der Loeff (2018)

5.2 Protseduurilised meetodid

Üldjuhul määratlevad protseduurilised meetodid pigem hindamise läbiviimise protseduure kui seavad normatiivid kvantitatiivsetele ja kvalitatiivsetele näitajatele. Nende tööriistade eesmärk on kaasata ja arvestada paljude erinevate kriteeriumitega (keskkond, majandus, sotsiaal). Sageli kasutatakse protseduurilisi meetodeid erinevate huvirühmade vahel kompromisside leidmiseks.

Keskkonnamõju hinnang (KMH), Strateegiline keskkonnamõju hinnang (Strategic environmental assessment) - rakendatakse, et välja selgitada kõik arvestatavad keskkonnamõjud, mida toovad endaga kaasa kindlad projektid või arendused. Sageli kaasab KMH erinevate alternatiivide kaalumist, mis on arendatud läbi eri stsenaariumite analüüsi. Kui mõjude hinnang on kompleksne ja parameetreid mida hinnata on palju, siis kasutatakse mitmekriteeriumi otsustusanalüüsi, mis võimaldab erinevatele kriteeriumitele anda erineva kaalu/tähtsuse ning kumulatiivselt hinnata erinevate alternatiivide mõju. Kui erinevad keskkonnamõjud on välja selgitatud ning valitud lahendused/arendused kätkevad endas ohtu keskkonnale, siis on vajalik teha täiendav riskijuhtimise analüüs, et maandada võimalike keskkonnareostuse riske. Kogu DPSIR tsükkel on teatud mõttes keskkonnamõju hinnang kaasates endasse ka sotsiaal-majanduslike mõjusid. Stsenaariumite arendust kasutatakse DPSIR tsüklis tuleviku laevaliikluse realisatsioonide ennustamiseks lähtuvalt erinevatest ekspert hinnangutest ja käesoleva aja trendidest.

5.3 Analüütilised meetodid

Analüütiliste meetodite peamiseks eesmärgiks on kvantifitseerida reostust kui materiaali, energia või raha vooge. Sellise meetodite peamiseks puuduseks on see, et nendega saab hinnata mõju ainult mõõdetavatele või loendatavatele subjektidele. Samas on see ka eeliseks, kuna võimaldab erinevaid mõjusid hinnata ning kvantitatiivseid suurusi on lihtsam kommunikeerida. Paljud keskkonnamõju hinnangu analüütilised meetodid sisaldavad endas ka majanduslikku käsitlust.

Sageli on keskkonnamõju ja riskide vähendamine seotud uute tehnoloogiate kasutuselevõttuga (õhupuhasustussüsteemid) või tagajärgede likvideerimisega (eutrofeerumise vastased meetmed). Sel juhul on vajalik läbi viia mikroökoonoomika uuringud, et välja selgitada, kas soovitud tehnoloogia rakendamine on kulude-tulude ja oma elutsükli aspektist otstarbekas. Võib juhtuda, et mõnel juhul investeeringute suurus ületab mitmekordselt saadud efekti. DPSIR kontekstis on uuritud kui suurt kulu toob endaga kaasa eutrofeerumise (toitained meres) vähendamine keskkonnas läbi uute tehnoloogiate kasutuselevõttu. Laeva reostuse kaudset finantsilist mõju on SHEBA projektis hinnatud läbi kalapüügi (tursk) potentsiaali vähenemise. Mõjusid sotsiaal majandusele on hinnatud ka läbi surmade ja eluea vähenemise laevadelt tuleneva õhusaaste tõttu. Põhiosa SHEBA projektis rakendatud laeva reostuse hinnangu meetodikast moodustab numbrilistel mudelitel põhinev materiaali voo analüüs, kus laeva reostust on kvantifitseeritud kasutades saasteainete modelleerimisel füüsikalisi-keemilisi mass-vooge, mis näitavad laevanduse mõju erinevatele ökosfääridele maal, õhus ja merel.

Tänapäeval kasutatakse laevanduse survegurite kvantitatiivseks hindamiseks numbrilisi mudeleid, millest Läänemere regioonis on ühildatult kasutatud STEAM 3.0, CMAQ ja GETM mudeleid (Modanova et al., 2022).

STEAM 3.0

STEAM on numbriline laevade emissioon mudel, mis kasutab AIS andmestiku, et positsioneerida laevade ruumilist jaotust, hinnata nende parameetreid ning selle järgi arvutada ajas ja ruumis laevadelt tulenevat reostus allikaid (Jalkanen et al. 2020). STEAM mudel võimaldab hinnata kõiki põhilisi laevandusest tulenevaid heitmeid: (CO₂, PM, pilsivesi, ballastvesi, reovesi, pesuvesi, toidujäätmed, kasvumisvastane värv, õhupuhasti heitvesi, määrideõlid). SHEBA projekti käigus identifitseeriti laevadelt tulevatest heitvetest üle 600 kemikaali, mille alusel saab hinnata ohtlike ainete koormusi. DPSIR keskkonnamõju raamistikus võimaldab mudel hinnata laevanduse survegurideid merekeskkonnale.

Mudel STEAM3 ennustab veetakistuse arvutuste põhjal laeva hetkelist energiatarbimist ja peegeldab laeva opereerimise varieeruvust AIS-is esitatud teabe põhjal. Kasutades laeva üksikasjalikku kirjeldust on võimalik koostada hinnanguid hetkevõimsuse, kütusekulu ja reostuskoormuste kohta. Vastupidiselt atmosfääri saasteainete heitkogustele ei pruugi koormus vette sõltuda otseselt laeva liikumiskiirusest, vaid muudest omadustest, nagu pardal viibivate inimeste arv, laevakere veealuse osa pindala ja lastimaht. IHS-i (IHS_Global, 2016) SeaWebi laevade andmebaasi kasutatakse nende andmete ekstraheerimiseks, et modellerida saasteainete koormust vette.

Laevade tegevust registreerib Läänemere riikide AIS-võrk. Andmed koosnevad asukoha aruannetest, mis kirjeldavad laeva asukohti iga 5–6 minuti järel. Andmed on saadud HELCOM AIS andmebaasist. STEAM-i väljundid kirjeldavad veekoguseid ballast-, pils-, halli-, musta- ja skraberi pesuvee jaoks. Veekoguste korrutamise vastavate saasteainete kontsentratsioonidega annab merre sattuvate saasteainete koormused. Saasteainete kontsentratsioonide varieeruvus väljalaskevees võib olenevalt laeva karakteristikutest ja tegevusest merel ja sadamas olla märkimisväärne. kasvumisvastastest värvidest vette sattuvate reoainete koguste arvutamiseks kasutatakse reoainete laevakerelt vabanemise kiirust.

CMAQ

CMAQ (Community Multiscale Air Quality Model) on kolmemõõtmeline numbriline atmosfääri keemia ja transpordi mudel. Mudeli väljund lubab hinnata ajas ja ruumis nii õhukvaliteeti kui ka erinevate keemiliste ühendite sadenemist merre ja maismaale (Appel et al. 2021). Väljundparameetrid on jagatud kolme gruppi: eutrofikatsiooni- (a), hapestumise- (b) ja muud (c) parameetrid (Tabel L6). Rakendades laevanduse põhjustatud õhusaaste emissiooni mudelit STEAM võimaldab CMAQ mudel hinnata kumulatiivset läbi atmosfääri avalduvat survet keskkonnale.

GETM

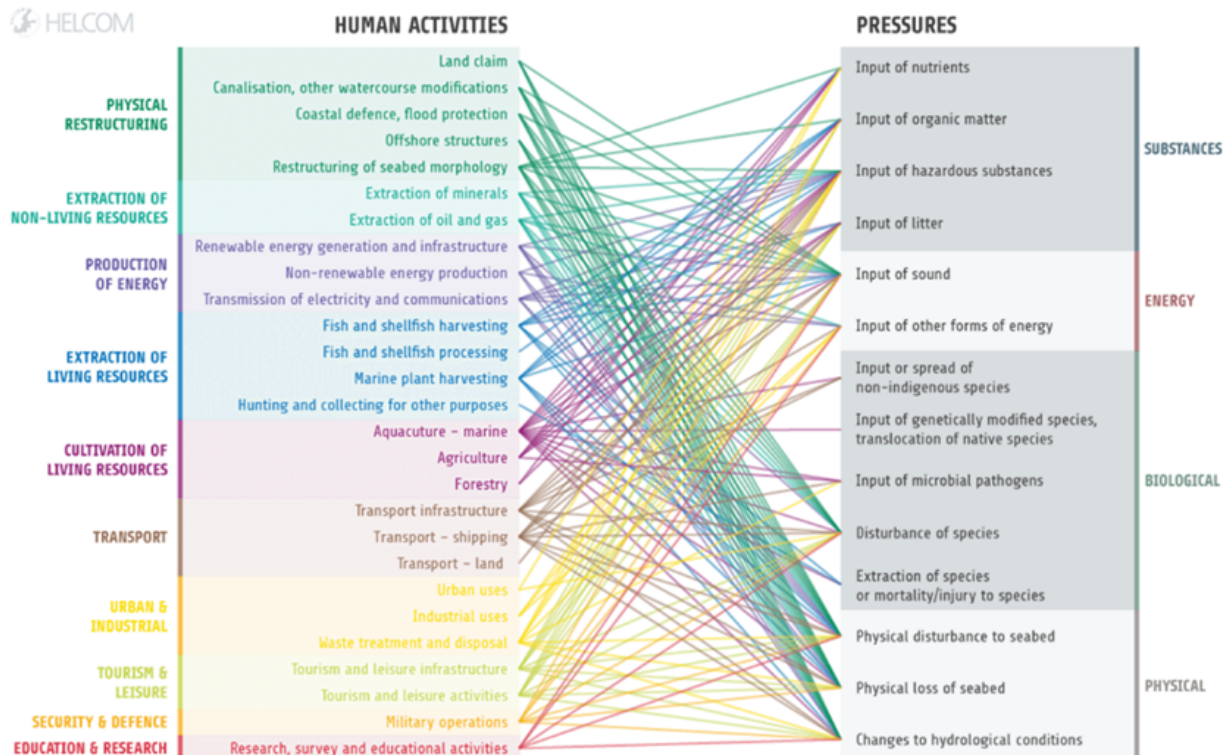
GETM on numbriline hüdrodünaamika mudel, mis on ühendatud nii bio-geo-keemia (ERGOM) kui ka marker (e. kontsentratsioon) mudeliga (Raudsepp et al. 2019, Maljutenko et al. 2020). Hüdrodünaamika mudel vastutab reostuse leviku eest ruumis, arvestades muutlike ilmastiku olusid. Kasutades sisendina laevadelt tulenevaid otseseid koormusi ja kaudseid koormusi (atm. depositsioon) võimaldab mudeli süsteem hinnata eutrofeerumisega seotud parameetrite seisundit ning hinnata ka laevadelt tulenevate heitvete ja raskemetallide levikut Eesti rannikumeres. DPSIR keskkonnamõju raamistikus võimaldab mudel üle minna survelt keskkonna seisundile, hinnates vees eutrofikatsiooniga seotud parameetreid (NO_3 , NH_4 , PO_4 , Chla, sette orgaanika, O_2) ja raskemetallide (jt ohtlike ainete) kontsentratsioon vees.

5.4 Koondmeetodid (Aggregated tools)

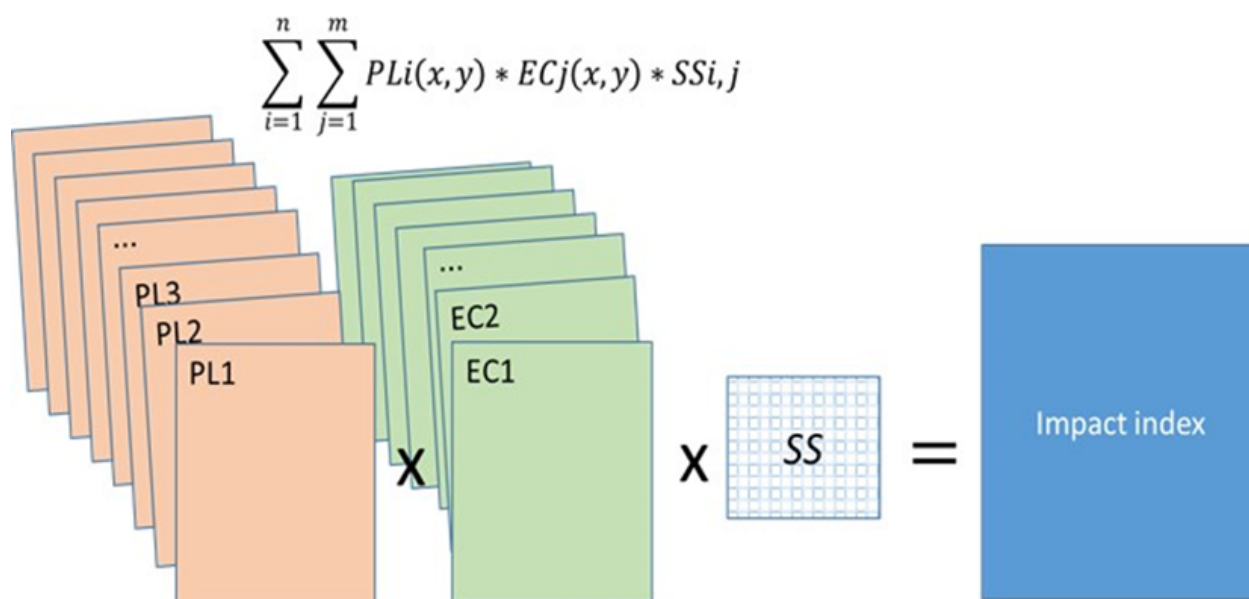
Sageli kasutatakse komplekssete süsteemide hindamiseks üldistatud indekseid, mis annaksid koondatult edasi uuritud andmeid ning mida oleks lihtne kommunikeerida ka laiemale üldsusele.

HELCOM kumulatiivsete mõjude tööriist

HELCOM'i ArcGis Model Builderi keskkonnas loodud rakendus (HELCOM, 2018b) on Läänemere regiooni kõige tuntum inimtegevuse kumulatiivsete keskkonnamõjude hindamise analüütiline töövahend. HELCOM'i tööriist eeldab, et kõik inimtegevused avaldavad looduskeskkonnale survet ja ühest inimtegevusest võib samaaegselt lähtuda ka mitu survet (Joonis 5.2). Selle tööriista arvutusalgoritmi loomisel kasutati ekspertarvamust. Ekspertide abil hinnati järjestusskaalal erinevate survetegurite potentsiaalset mõju erinevatele loodusväärtustele. Erinevate loodusväärtuste tundlikkust erinevate survete suhtes (sensitivity scores) hinnati kolmeastmelisel skaalal: puudub, mõõdukas, suur. Survetegurite kumulatiivset mõju loodusväärtustele väljendati läbi üksikmõjude summa (Joonis 5.3). Käesoleva projekti fookuseks on transpordi valdkond, kus surve looduskeskkonnale on läbi laevanduse.



Joonis 5.2. Erinevatest inimtegevustest (human activities) lähtuvad surved (pressures) looduskeskkonnale (HELCOM, 2018b).



Joonis 5.3. Inimtekkeliste survetegurite kumulatiivse keskkonnamõju arvutamine HELCOM'i käsitluses (HELCOM, 2018): PL = surveteguri väärtus, EC = ökosüsteemi elemendi väärtus, SS = loodusväärtuse tundlikkus surveteguri suhtes.

MereRITA projektis läbi viidud analüüs (Kotta et al., 2020b) näitas, et HELCOM'i kumulatiivsete keskkonnamõjude hindamise metoodikal on mitmeid olulisi puudusi ning olulisemad puudused on välja toodud allpool:

1. HELCOM'i arvutusalgorithm vaatab igat inimtegevust eraldi (nt. merekeskkonna rikastamine toitainetega ja liiva kaevandamine), kuid ei suuda käsitleda erinevate tegevuste koosmõju. Läänemerele on aga iseloomulik, et merealale mõjub samaaegselt mitu inimtegevust ning kui me erinevate survetegurite interaktsioone ei käsitle, siis ei ole usaldusväärsete mõjude hindamine üleüldse võimalik. Näiteks ülaltoodud inimtegevuste näite puhul võib mõõdukalt eutrofeerunud merealadelt üsna suures mahus liiva kaevandada, ilma et selle tegevuse tagajärjel tekiks suurt keskkonnamõju. Eutrofeerunud merepiirkondades toob aga selline tegevus kiirelt kaasa merepõhja terviklikkuse ja elustiku olulise häiringu (sh. põhjalähedases veekihis ja setetes hapniku kadumise ning põhjaelustiku hävimise).

2. HELCOM'i metoodika hindab erinevate inimtegevuste mõjusid järjestikaskaalal, mistõttu ei ole võimalik anda hinnangut mõjude reaalse ulatuse kohta. Selleks, et looduskeskkond suudaks meile pikemas perspektiivis pakkuda erinevaid hüvesid, on oluline, et loodusväärtuste tase ei väheneks allapoole mingit kriitilist nivood. Näiteks erinevate põhjaelupaikade esinemine/mitteesinemine on Eesti merealadel defineeritud elupaiku määravate tunnusliikide lävendbiomasside kaudu. Kui me soovime teada, kui suures mahus inimtegevus vähendab või suurendab selliste väärtuslike elupaikade pindala, on vajalik, et inimtegevuse mõjude arvutusalgorithmide aluseks oleks reaalsed loodusväärtuste tiheduse ja/või biomassi hinnangud.

3. HELCOM'i tööriistas on loodusväärtused väljendatud esinemise/mitte-esinemise kaudu. Selline lähenemine ei võimalda hinnata inimtegevuste mõju määra, kuna mõjude absoluutväärtus sõltub suures osas loodusväärtuse ohtrusest ruumipunktis. Inimtegevuse rakendamine avaldub väga erinevalt aladel, millele on iseloomulikud nt. terviklikud meriheina aasad võrreldes aladega, kust meriheina on leitud vähearvukalt ja vaid üksikutest kohtadest.

4. HELCOM'i lähenemine ei arvesta, et inimtegevustel võib olla ka positiivne keskkonnamõju. See aspekt on aga väga oluline juhul, kui tahame hinnata erinevate kompenseerivate meetmete rakendatavust olemasolevate inimtegevuste foonil nt. vetika- ja/või karbikasvatuse kasutust kalakasvatuste negatiivse keskkonnamõju leevendamisel.

PlanWise4Blue portaali (<http://www.sea.ee/adrienne>; portaali on tasuta kättesaadav kõigile) võimaldab hinnata erinevate survetegurite (olemasolevate või võimalike stsenaariumite) kumulatiivset mõju Eesti mereala erinevatele loodusväärtustele. PlanWise4Blue baseerub uudsel meetodikal, mille puhul kumulatiivsete mõjude hindamine lähtub teaduskirjanduses publitseeritud ja/või andmebaasidest arvutavatest kvantitatiivsetest alusteadmistest erinevate survetegurite ja loodusväärtuste vahelistest põhjus-tagajärg seostest. Sellest tulenevalt võimaldab selline meetodika arvutusalgorithmidesse koondada suurema osa piirkondlikest vaatlustest ja eksperimentaaluuringutest, mis demonstreerivad erinevate survetegurite eraldi- ja koosmõju erinevatele loodusväärtustele. Veelgi enam, sellisel lähenemisel on andmebaasid operatiivselt kaasajastatavad so. arvutusalgorithmid on võimalik lihtsalt täiendada uute teadmistega uutest surveteguritest ja nende mõjudest loodusväärtustele (Kotta et al., 2020a). Üldjuhul uuendatakse portaali andmeid aastase intervalliga. Osade liikide seirega aga Eesti Mereinstituut ei tegele (nt. merelinnud ja -imetajad) ning selliste loodusväärtuste puhul uuendatakse andmekihte peale seda, kui vastavad uued uuringud on avalikkusele kättesaadavaks tehtud.

Väljatöötatud kumulatiivsete keskkonnamõjude hindamise veebirakendus kasutab sisendina järgmisi komponente:

1. Loodusväärtuste sisendina kasutatakse merestrateegia raamdirektiivi valitud tunnuste indikaatoreid või nendega seotud loodusväärtuste modelleeritud andmekihte.
2. Inimmõju sisendina kasutatakse tänapäevaseid survetegureid (kasutusviisid ja inimtegevus merekeskkonnas vt. Merestrateegia Raamdirektiivi III lisa tabel 2b; inimtegevuste intensiivsus vt. TTÜ Meresüsteemide Instituut, 2016) või tulevikku planeeritud inimtegevusi (nt. mereruumi planeerimise käigus tehtud ettepanekuid). Vaikimisi sisaldab portaali Eesti merealade planeeringuga seotud inimsurve andmekihte, kuid stsenaariumi loomisel on võimalik olemasolevaid survekilde muuta ja/või lisada uusi surveid.
3. Mõjumaatriks, millesse on koondatud teadmised erinevate inimtegevustega sh. laevandusega seotud potentsiaalsed keskkonnamõjud.
4. Arvutuseeskiri, mis kirjeldab, kuidas määratleda erinevate inimtegevuste kumulatiivset mõju ning mõjude usaldusväärsust mereruumis.

Väljatöötatud meetodika võimaldab dünaamiliselt ühendada olemasoleva olukorra (s.o modelleeritud loodusväärtuste andmekihid), inimtegevuse (hetkel mõjuvad ja tulevikus planeeritavad) ning väljatöötatud arvutusalgoritmid (s.o teadmised, kuidas erinevad inimkasutused ja kasutuste intensiivsus potentsiaalselt mõjuvad erinevatele loodusväärtustele konkreetses merepiirkonnas). Selline kompleksmodelil põhinev veebirakendus võimaldab ökosüsteemselt hinnata survetegurite kumulatiivset keskkonnamõju kasutatud on kogu olemasolev alusandmestik ja –teadmine ning võimalik on hinnata kõikide mõjuhindangute määramatust/usaldusväärsust.

6. Eesti jaoks kohaldatud metoodika laevanduse keskkonnamõju hindamiseks

6.1 Kasutatud survegurite andmekihid

Eesti jaoks kohalduva laevanduse keskkonnamõju hindamise metoodika põhineb DPSIR raamistikul.

Survetegurite kvantitatiivseks hindamiseks on vajalik teada laevade opereerimist Läänemeres ja sadamates. Laevaliiklusest ainult Eesti merealal ei piisa, sest Eesti mereala mõjutab praktiliselt kogu Läänemere ulatuses laevaliiklusest merre sattuv reostus.

Laevaliikluse jaoks kasutatakse Automatic Identification System (AIS) andmebaasi, milles on fikseeritud erinevate laevade asukohad igal ajahetkel. AIS andmed on sisendiks STEAM mudelile, mille abil arvutatakse laevadelt reostuskoormused vette ja emissioon õhku. Aasta-summaarsed laevaliikluse intensiivsuse kaardikihid perioodil 2006-2020 on vabalt allalaetavad HELCOM metadata kataloogi kaudu järgneval lingil <https://maps.helcom.fi/website/download/Traffic-intensity-2006-2020.zip>. Täpsemate analüüside tarbeks on läbi otsekontakti kättesaadavad ka HELCOMi aruandluseks kasutatud STEAM mudeli väljundid päevase sammuga (NetCDF formaadis), mida on kasutatud ka käesoleva töö STS uuringus. Täiendavateks uuringuteks on STEAM mudelit võimalik kasutada koostöös Soome Meteoroloogia Instituudi teadlastega, kui on sõlmitud vastavad koostöökokkulepped.

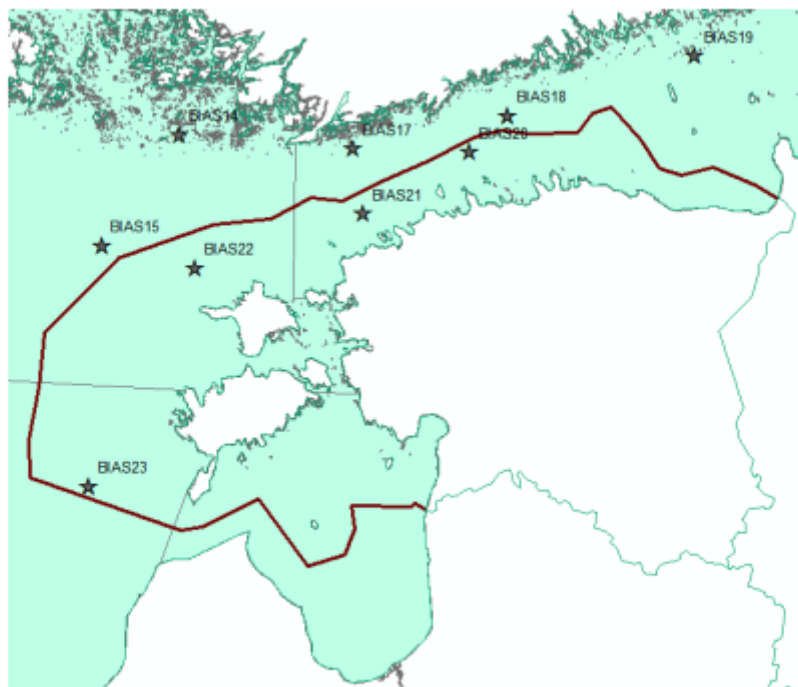
Reostuskoormused on omakorda sisendiks atmosfääri keemia ja ainelevi mudelile CMAQ ja mere hüdrodünaamika ja ainelevi mudelile GETM ning biogeokeemia mudelile ERGOM. CMAQ meresüsteemi mudelile on sisendiks laevade emissiooni heitmete atmosfääri depositsiooni koormused. Merekeskkonda sattunud laevareostuse mõjude hindamisel on möödapääsmatu arvestada veemasside liikumisega, kuna laevadelt pärinev reostus ei ole paikne, vaid kandub edasi ulatuslikele merealadele. Kasutades kirjeldatud numbriliste mudelite süsteemi saab kvantitatiivselt hinnata laevade mõju eraldiseisvalt teistest surveguritest. Projekti BONUS SHEBA (Sustainable shipping and environment of the Baltic Sea region) raames kaardistati 2012. aastal laevadelt tulenev heitvesi - ballast-, pils-, pesu- ja reovesi ning nendega kaasnevate keemiliste ühendite reostust merevees (vask, tsink, naftaleen, dibromoklorometaan, püreen). Lisaks heitveele anti BONUS SHEBA projekti raames kvantitatiivne hinnang ka kasvumisvastastest (*anti-fouling*) värvidest tulenevate raskemetallide koormuse kohta (vask/tsink oksiidid, vask/tsink pürtoon, Zineb ja diklofluaniid). BONUS SHEBA projekti andmestik katab kogu Läänemerd 1 km² ruumi- ja 1 tunnise ajasammuga. Rakendades surveegureid hüdrodünaamika mudeliga ühildatud ainelevi mudelit (advektatsioon-difusioon ainelevi mudel) GETM saame uuritud keemiliste ühendite ajalis-ruumilise kontsentratsioonid merevees. Selline lähenemine võimaldas hinnata ka reostuskoormusi, mis saabuvad Eesti rannikumere naaberpiirkondadest.

BONUS SHEBA projekti raames hinnati laevadelt tulenevat toitaine saastet kasutades kahte mudelit - STEAM ja CMAQ. Toitainete koguste hinnangud, mis satuvad laevadelt merre läbi heitvete (kanalisatsioon ja pesuvesi) tulenesid STEAM mudelist (Jalkanen et al. 2021), kus toitainete koguseid

arvutati läbi reisijate hinnangulise arvu. Laevadelt tuleneva toitainete atmosfääri depositsiooni arvutamiseks kasutati CMAQ atmosfääri keemia mudelit (Karl et al. 2019), mis kasutas laevadelt tulenevate heitgaaside sisendiks STEAM mudelit. Selleks, et kvantitatiivselt hinnata toitainete mõju fütoplanktonile kasutati koos GETM mudeliga ERGOM bio-geo-keemia mudelit (Raudsepp et al., 2019, Maljutenko et al., 2021). Mudel kasutas sisendandmetena laevade poolt keskkonda emiteeritud toitainete koormusi (nii otsese heitvee kui ka atmosfääri paisatud ühendite näol) ning selliselt võimaldas hinnata laevanduse poolt lisandunud toitainete koguseid ja vooge erinevates ökosüsteemi osades ning fütoplanktoniga seotud süsteemseid muutusi.

Veealuse müra uuringud Läänemere ulatuses algasid 2012 aastal projektiga Life+ “Baltic Sea Information on the Acoustic Soundscape” (BIAS). Selleks kasutati esimest kasutajasõbralikku ja funktsionaalselt täiuslikku veealuse müra kaardistamise teenust “Quonops Online Services” - <https://qos.quiet-oceans.com/>. Töös kasutatud veealuse müra 2019 aasta kaardikihid pärinevad Euroopa Merendus- ja Kalandusfondi (EMKF) projektist “Veealuse müra mõju hindamine kalastikule” <https://envir.ee/media/420/download>. Modelleerimine teostati koostöös välispartneriga Quiet-Oceans SA - <https://qos.quiet-oceans.com/>. Modelleerimise ruumiline ulatus kattis kogu Eesti mereala, välja jäi vaid Narva lahe piirkond. Modelleerimise ruumiline lahutus oli 0.0033° pikkus- ja laiuskraadi.

Eesti merealades läbi viidud mõõtmiste tulemusel on aastal 2014 kogutud helirõhu salvestised neljas mõõtmispositsioonis: BIAS20, 21, 22, 23 (Klauson & Laanearu, 2018) (Joonis 6.1).



Joonis.6.1. Eesti majandusvööndis BIAS projekti mõõtmispositsioonid BIAS 20 (Tallinn), BIAS 21 (Paldiski), BIAS 22 (Hiiumaa) ja BIAS 23 (Saaremaa)(Klauson & Laanearu, 2018).

Uuringus oli veealune müra jaotatud kaheks - a) pidev laiaribaline müra, mis on omane liikuvatele allikatele nagu reisi-, kauba- või muud laevad või näiteks pinnasepumpsüvendaja, millega toimub merepõhja süvendamine; b) impulsmüra, mis genereeritakse peamiselt sonaritega, vaiade rammimisega või lõhkamistega, mis on vajalikud veealustes süvendus- ja kaadamistöödes (Klauson & Laanearu, 2018).

6.2 Laevanduse keskkonnamõju hindamine (Impact)

Laevanduse keskkonnamõju hindamisel (Tabel L5) kasutati PlanWise4Blue tööriista arvutusalgoritme. Kumulatiivsete keskkonnamõjude hindamisel määratletakse igas ruumipunktis seal esinevad erinevad surved ja loodusväärtused ning seejärel kasutatakse väljatöötatud arvutusalgoritme (so. teadmisi, kuidas erinevad inimkasutused ja kasutuste intensiivsus potentsiaalselt mõjuvad loodusväärtustele konkreetses merepiirkonnas), et hinnata üksikust survetegurist või erinevate survetegurite kombinatsioonidest tulenevat keskkonnamõju konkreetses ruumipunktis esinevatele erinevatele loodusväärtustele. Varasemad kumulatiivsete keskkonnamõjude hindamise meetodikad ei käsitle erinevate survetegurite interaktsioone ehk vastastikmõjusid.

Arvutusalgoritmide loomisel kasutati metaanalüütilist lähenemist, mis võimaldab olemasolevatest andmebaasidest ja publitseeritud teadusartiklitest välja noppida ja üldistada erinevate inimtegevuste oodatavad mõjud erinevatele loodusväärtustele (Borenstein et al., 2009). Sellisel lähenemisel on võimalik keskkonnamõju hindamiseks kasutada suuremat osa piirkondlikest vaatlustest ja eksperimentaaluuringutest. Veelgi enam, kuna teadlased on varem uurinud erinevate survete eraldi ja koosmõjusid, on metaanalüütiliselt kogutud teadmiste kasutamisel võimalik analüüsidesse kaasata keerukaid interaktsioone, kus mõjud võivad avalduda kombineerumise, summeerumise, kompenseerimise ja muude vastastikmõjude kaudu.

Järgnevalt kirjeldame matemaatiliselt, kuidas leidsime andmebaasidest ja olemasolevast teaduskirjandusest erinevatest inimtegevustest lähtuvate survete mõju erinevatele loodusväärtustele. Esmalt tuleb arvutada algallikatest (teaduskirjandusest, andmebaasidest) bioloogilise tunnuse keskväärus uuritava inimtegevuse surve EI (või survete kombinatsiooni) ja surve puudumise korral EC. Üksiku surve (või survete kombinatsiooni) mõju (E_i) on määratletav uuritava inimtegevus(t)e mõju (E_i) ja kontrolli (EC_i) keskvääruste suhtarvuna:

$$E_i = E_i : EC_i$$

Keskkonnamõjude hindamisel (I) tuleb igas ruumipunktis määratlada seal esinevad erinevad surved (või survete kombinatsioonid) (S_i) ja loodusväärtuste kvantitatiivsed näitajad (näiteks elupaiga

pindala) (L_i) ning seejärel arvutatakse iga ruumipunktis avalduva survete mõjud loodusväärtustele järgnevalt:

$$I_i = L_i \times E_i$$

PlanWise4Blue arvutusalgoritm võimaldab statistiliselt hinnata laevandusest lähtuvaid erinevaid piirkondlikke keskkonnamõjusid erinevatele loodusväärtustele. Loodud kumulatiivse mõjude hindamise metoodiline raamistik on dünaamiliselt täiendatav, seda nii alusandmete kihtide osas kui ka inimkasutuse interaktiivsete mõjude maatriksi osas. Kumulatiivsete mõjude hindamise metoodika võimaldab erinevatel huvirühmadel läbi mängida erinevaid ruumieralduse stsenaariume ning hinnata eri stsenaariumite potentsiaalse keskkonnamõju ulatust.

Selles projektis kasutati laevanduse kumulatiivse keskkonnamõju hindamisel sisendandmetena järgnevaid survete kaardikihte (detailsem info survetegurite kaartide kohta on välja toodud peatükis 7):

- saasteainete emissioonid (vask, püreen, dibromoklorometaan, vääveldioksiid, toitained)
- veealuse helitaseme intensiivsus,
- laevaliikluse intensiivsus.

Laevandusega seotud survekihtide ruumiline resolutsioon on 1 km² ning tegemist on aastase perioodi kohta tehtud koondhinnanguga. Sama ajalis-ruumiline resolutsioon on iseloomulik ka PlanWise4Blue portaalis olevate loodusväärtuste andmekihtidele. Nii ei käsitleta portaalis iga laeva surveid eraldi, vaid eelnevalt valmistatakse ette iga 1 km² ruumipiksli jaoks aastase perioodi statistilised tihedus- ja/või koormuste kaardikihid.

Kuna PlanWise4Blue tööriistas puudusid varasemalt osad laevandusega seotud survetegurid, siis esimese sammuna täiendati käesoleva projekti käigus PlanWise4Blue portaali algoritme teadusartiklitel ja ekspertarvamusel põhinevate arvutuseeskirjadega, kuidas sellised laevandusega seotud survetegurid (nt. toksiliste ainete ja veealuse müra emissioon) mõjutavad erinevaid Läänemere loodusväärtuseid. Seejärel rakendasime uuendatud PlanWise4Blue algoritme valitud stsenaariumi kvantitatiivse keskkonnamõju hindamisel 1 km² ruumimastaabis. Mõjuhinnangutes lähtume nendest loodusväärtustest, mille kohta on olemas vähemalt sama detailsusega levikukaardid. Arvutuses kasutati neid laevandussektorist tulenevaid surveid, mille kohta on olemas faktilised teadmised, kuidas sellised surved potentsiaalselt mõjutavad erinevaid loodusväärtusi.

7. Laevanduse keskkonnamõju esialgne hinnang

7.1 Survetegurid (Pressure)

Summaarne reostus, mis on laevade poolt merre paisatud heitvetest järgib küllaltki täpselt üldist laevanduse intensiivsust (Joonis 7.1). Vase (Cu) ja tsingi koormus tuleneb peamiselt kasvumisvastastest värvidest ning on seetõttu oluliseks reostuseks peaaegu kõikjal kus on laevaliiklus, eriti aga just piirkondades, kus laevad peatuvad (sadamad, parklad). IMO otsused reguleerivad laevakere kasvumisvastaste värvide kasutamist <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Anti-fouling.aspx>. Püreeni (Pyr) reostus tuleneb peamiselt laevade liikumisest merel (skraberid, pilsivesi) ning vähesel määral hallist veest, seetõttu ruumilises jaotuses domineerivad suuremad laevateed ning puuduvad lokaalsed suured allikad. Peamiselt heitvete desinfitseerimiseks kasutava DBCM emissiooni ruumiline jaotus järgib reisiparvlaevade liiklust ning on tõkestatud piirkondadega, kus heitvete paiskamine merre vastavalt MARPOL lisa V (MARPOL, 2013) toodud määrustele ei ole lubatud territoriaal vetes (so. 12 meremiili rannikust). SO₂ reostus merre on peamiselt tingitud skraberite heitvee tõttu.

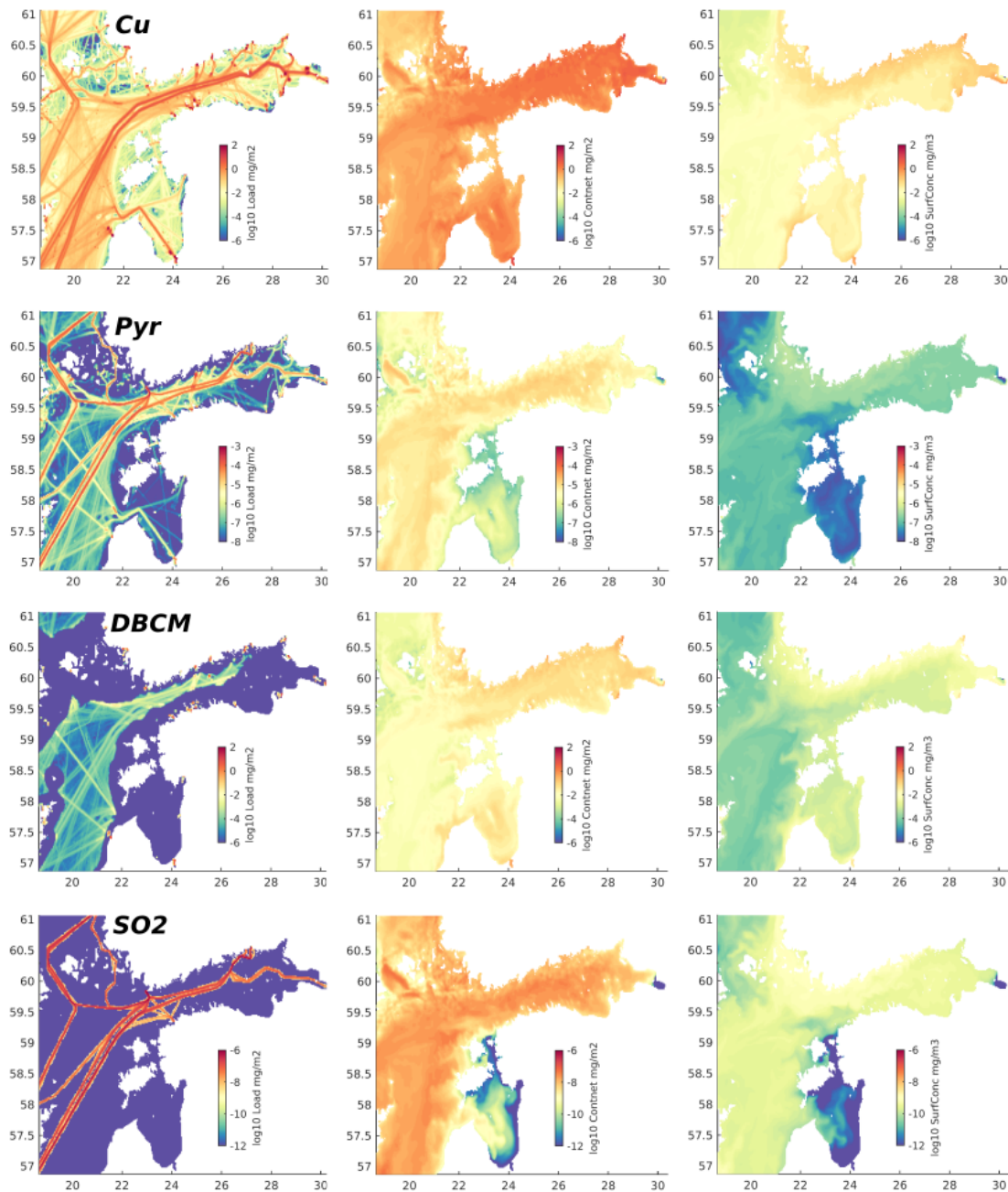
Peale reostuse merre sattumist toimub merehoovuste tõttu reostuse dispersioon ning kandumine merealadele, kus otsest laevaliiklust ei pruugi olla. Nii on peale aastast reostuskoormust pea kõikide kemikaalide ruumilised jaotused merevees oluliselt erinevad võrreldes laevade liikluse mustritega (Joonis 7.1). Reostuse ruumiline hajuvus on oluline juba mõne päeva jooksul kandudes keskmiselt ligikaudu 20 km kaugusele oma allikast (10 cm/s). Vase ja tsingi reostus merevees on oluliselt suurem tiheda liiklusega siselahtedes, kus veevahetus ei pruugi olla piisav, et reostust hajutada. Mingil ajahetkel esinenud reostusjaotus sõltub oluliselt sellest, millised on eelneval paaril nädalal olnud domineerivad hoovus süsteemid. Nii on näiteks 2012 aasta lõpuks reostuse ruumiline jaotus oluliselt tingitud detsembrikuus valitsenud hoovustest (Maljutenko et al., 2021).

Selleks et hinnata toitainete mõju Läänemere eutrofeerumisele on võrreldud omavahel kahte stsenaariumit, ühte (referents) milles on arvestatud kõiki teadaolevaid toitainete koormus allikaid ning teist, milles on laevadelt tulenevad allikad eemaldatud. Kahe olukorra omavahelisel võrdlusel on toimunud muutused anorgaaniliste toitainete kontsentratsioon (Joonis 7.2) ning nendest tingitud muutused primaarproduktioonis (Joonis 7.3).

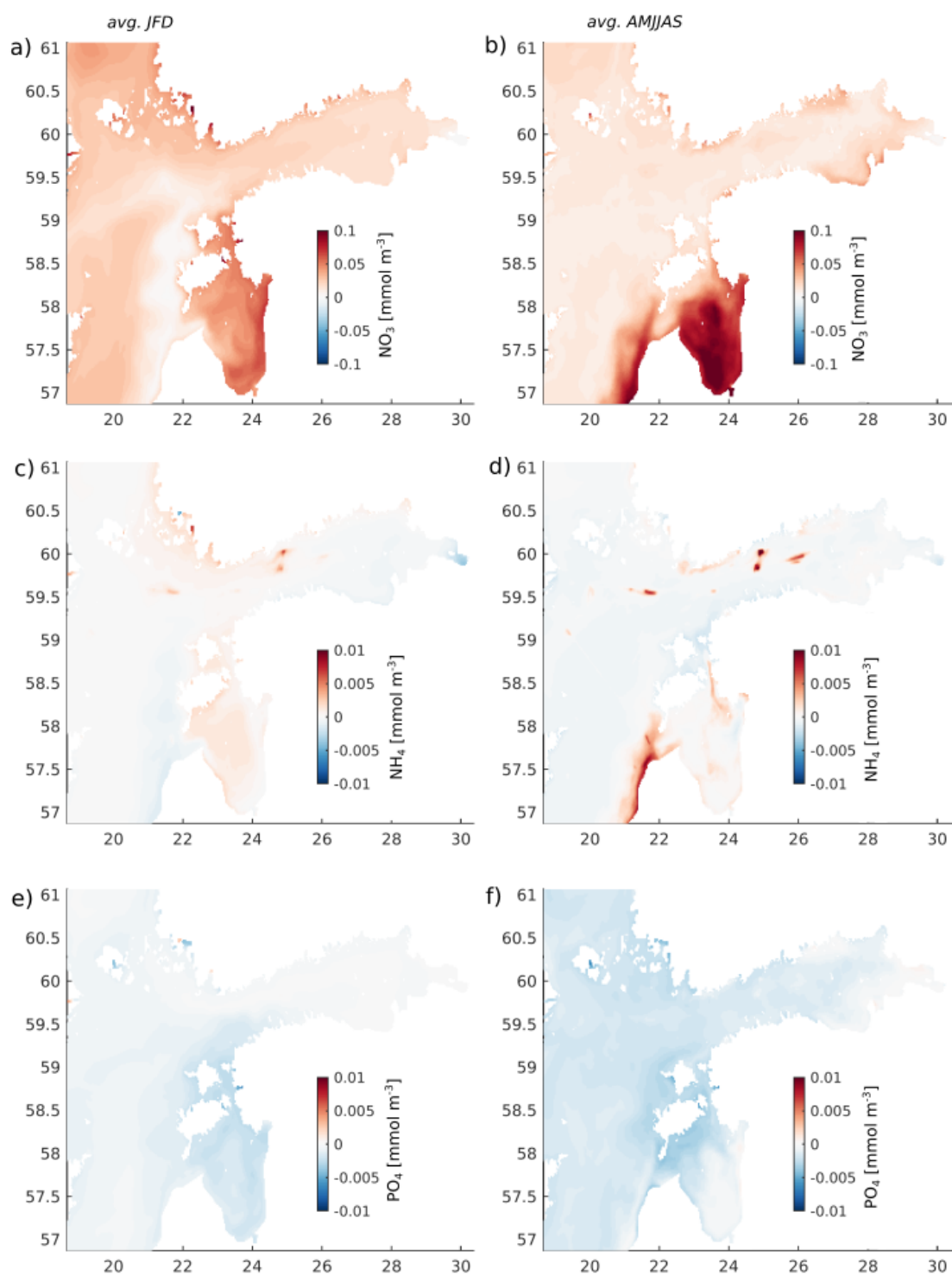
Selleks et hinnata toitainete mõju Läänemere eutrofeerumisele on vaadeldud anorgaaniliste toitainete laevandusest tingitud kontsentratsioone (Joonis 7.2) ning järgnevaid muutuseid primaarproduktioonis (Joonis 7.3). Suurem osa laevadelt tulenevate toitainetest moodustab laevade heitgaasidest tekkinud anorgaaniliste ionide (Tabel L3) sadenemine atmosfäärist, mis kokkupuutel veega moodustab fütoplanktoni kasvuks sobivaid anorgaanilisi toitaineid (ammoonium, nitraat, nitrit). Otsene heitvetest tulenev reostus on > 0,1% (Raudsepp et al., 2019). Kuna atmosfääris jaotuvad laevadelt pärinevad heitgaasid üsna ühtlaselt üle kogu Läänemere, siis reostuse mõju ulatub ka kaugemale tiheda liiklusega laevateedest. Mudeli tulemustest nähtub, et üsna ühtlane lämmastiku ühendite depositsioon tõstab toitainete kontsentratsioone eeskätt madalamates rannikumere piirkondades, kus segunemine on piiritletud veesamba sügavusega. Et

valdav osa Läänemere piirkondadest on lämmastiku limiteeritud, siis on kevadõitsengud suuremad piirkondades, kus lämmastikühendite kasv on suurim. Suvistes fütoplanktoni õitsengutes, mis saavad lämmastikuvaestes tingimustes toimuda tänu õhulämmastiku fikseerimisele, toimuvad %vastupidised muutused. Kui suurenenud kevadiseõitsengu tagajärjel tarbitakse rohkem fosforit ning laevadelt täiendavaid fosfori koormusi ei tule, siis vähenevad ka suvised sinivetikate õitsengud.

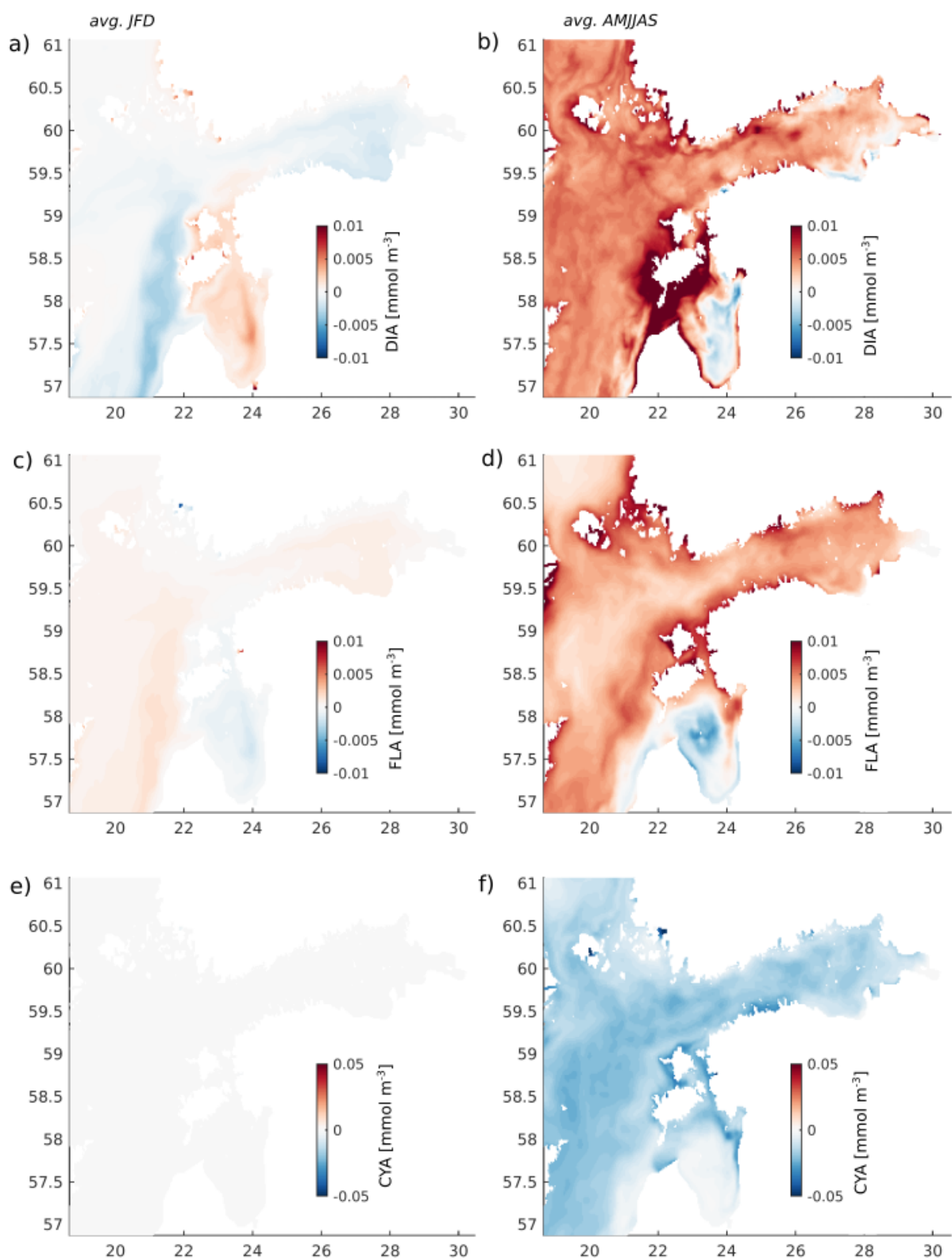
Kõige suurem toitainete juurdevool Läänemerele toimub jõgede kaudu, 2019 aastal see moodustas 66% üldlämmastikku ja 84% üldfosforit (HELCOM, 2021a). Laevade heitveest pärinev toitainete koormus Läänemerele moodustab ca 0.35% kogu toitainete koormusest (Hänninen & Sassi, 2009). Toitainete koormus atmosfääri kaudu 2019 aastal oli 31% üldlämmastikku ja 10% üldfosforit. Laevadelt pärinevate õhuemissioonide kaudu on NO_x koormus Läänemerele moodustab 16% (HELCOM, 2021b).



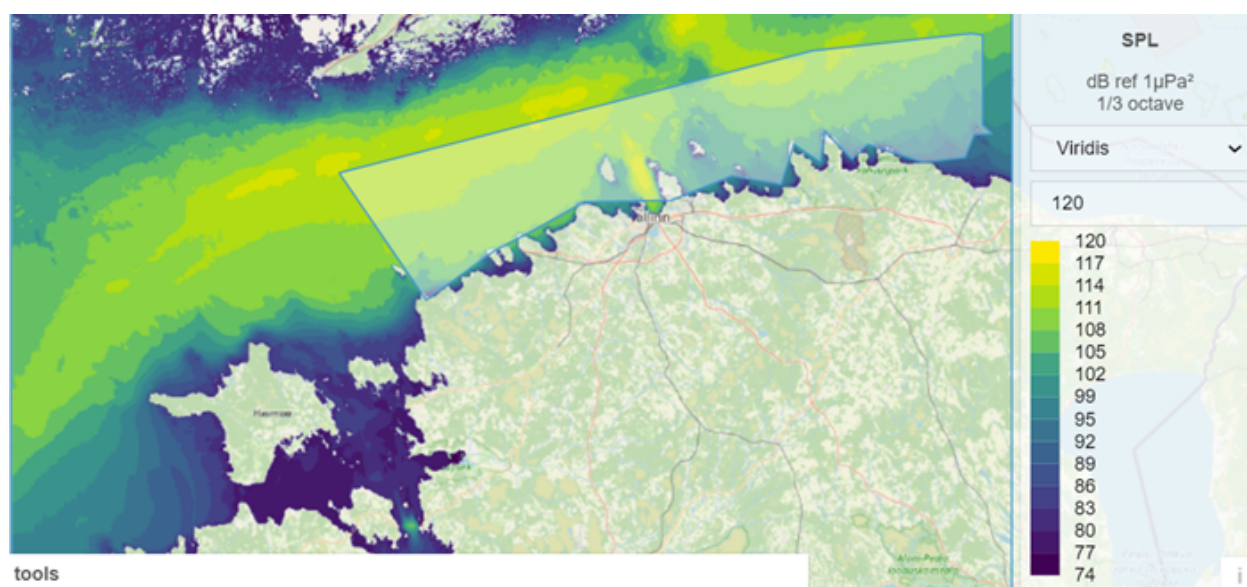
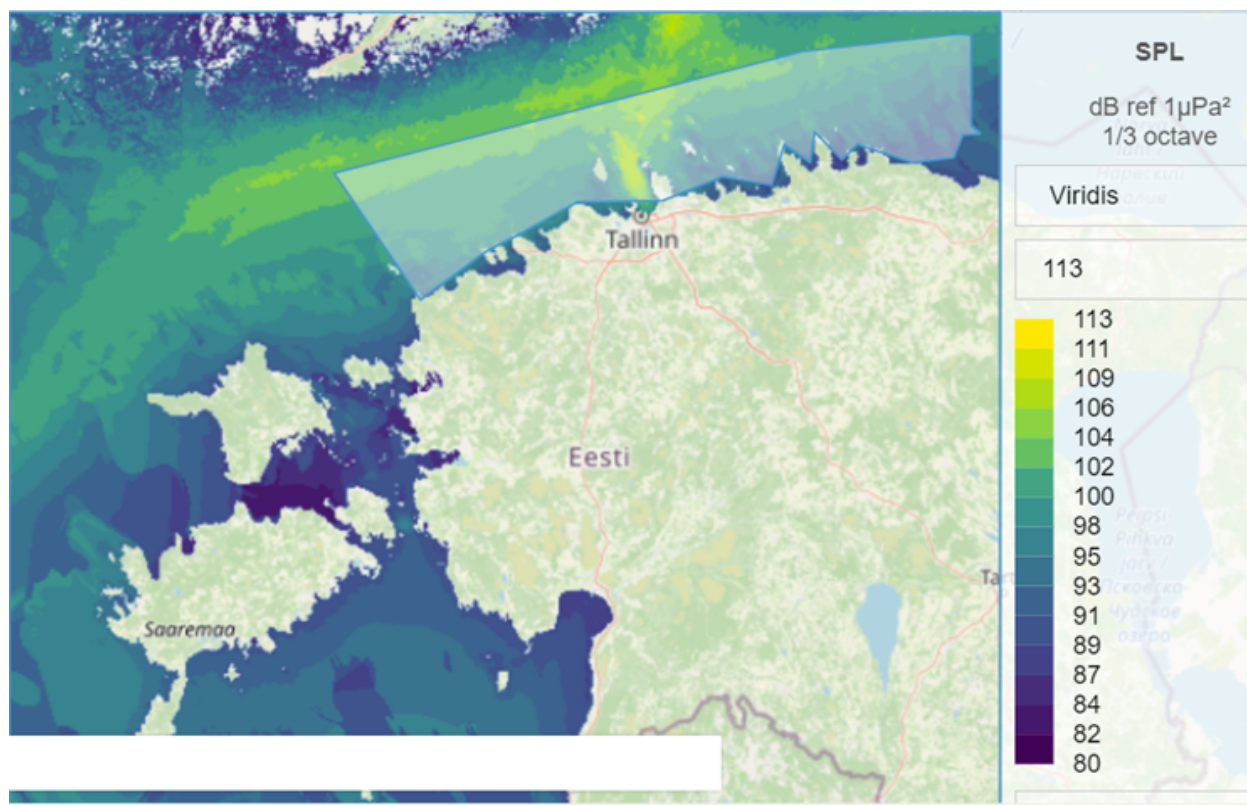
Joonis 7.1. Erinevate saasteainete (ridades: vask (Cu), püreen (Pyr), dibromoklorometaan (DBCM) ja vääveldioksiid (SO₂)) koormused (1. tulp), sisaldus veesambas (2. tulp) ja pinnakihi kontsentratsioon (3. tulp) 1 aasta (2012) lõpuks. Joonistel on logaritmiline värvuskaala.



Joonis 7.2. Toitainete kontsentratsioonide muutused laevanduse tõttu (laevandus ja muud miinus muud) pinnakihis keskmistatud üle talvekuude detsembrist jaanuarini (a,c,e) ja vegetatsiooniperioodi kohta aprillist septembrini (b,d,f) nitraadi (a,b), ammooniumi (c, d) ja fosfaadi kohta (e, f).

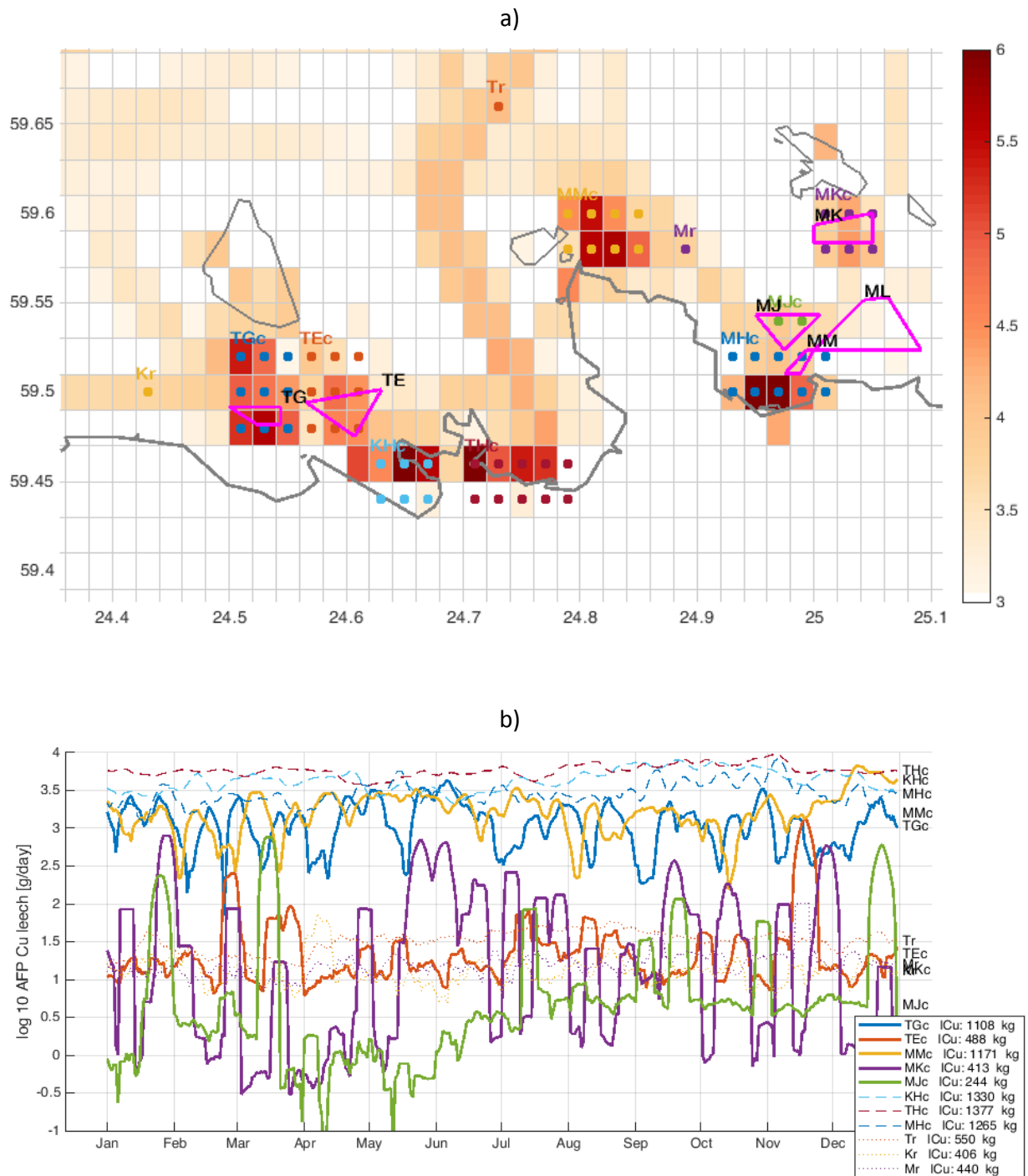


Joonis 7.3. Fütoplanktoni liikide kontsentratsioonide muutused laevanduse tõttu (laevandus ja muud miinus muud) pinnakihis keskmistatud üle talvekuude detsembrist veebruarini (a,c,e) ja vegetatsiooniperioodi aprillist septembrini (b,d,f) diatomeede (a,b), flagelaatide (c, d) ja sinivetikate kohta (e, f).



Joonis 7.4. Veealune mürakaart aprill, 2021 ja jaanuar 2022 (Klauson & Mustonen, 2022).

Kõige uuem veealuse pidevmüra andmestiku analüüs ja mõjuhinna on esitatud töös Klauson & Mustonen (2022) vastavalt seire tulemused ajavahemikus juuli 2021 – aprill 2022. Joonisel 7.4 on toodud näited veealusest test mürakaartidest aprillis, 2021 ja jaanuaris 2022 (Klauson & Mustonen, 2022).



Joonis 7.5. Vase koormus kasvumisvastastest värvidest aastal 2020 [log10 g] ja määrusega ette nähtud STS/punkerdamise alad (lilla) (a). Hinnangusse on sisse läinud laevad, mis läbivad STS ala, seisavad STS alal või teostavad STS tegevusi. Päevased koormused erinevatelt (a) joonisel tähistatud aladelt (b). Legendis on toodud ala tähise järgi summaarne aastane Cu koormus laeva kaitsevärvist (CuO).

Laevalt-Laevale tegevuse mõju hindamiseks on joonisel 7.5 toodud vase reostus arvutatud STEAM mudelist aasta 2020 kohta, mis pärineb laevade kaitsevärvidelt ning punkerdamisest / STS lubatud alad (Viide: <https://www.riigiteataja.ee/akt/125082021003> / Lisa 2.). Joonisel 7.5 a) on summaarne vase koormus, mis pärineb vaadeldavas ruudus viibinud laeva kerelt (Jalkanen et al.2021). Vase emissioon vette ei luba vahet teha, kas laev sõidab, seisab või teostab muud toimingut. Seega on tegemist laevade koosmõjuga STS tegevuse alal. TGc puhul nähtub, et koormus on samas suurusjärgus kui sadamate koormustega. TEc puhul on Cu koormus (488 kg) võrreldav Tallinn-Helsingi laevateega (550 kg). Muuga lahte jäävate aladest suurima koormusega on MK ala (413 kg), mis paikneb Prangli lähedal.

7.2 Mõjud merekeskkonnale (Impact)

Selleks, et hinnata laevanduse keskkonnamõju ulatust Eesti merealal, kaardistati esmalt uuritud survetegurite intensiivsused erinevatel merealadel (kirjeldatud alapeatükis 7.1.) ning määratleti piirkonnad, kus survetegurite intensiivsus ületab looduse vastupanuvõimet so. elusloodus on laevandusest oluliselt mõjutatud (lähitules olemasolevatest piirmääradest). Laevade ballast-, pils-, pesu- ja reoveest pärinev heitvesi ei suurendanud ühegi uuritud ohtliku aine osas lubatud piirmäära. Laevandusest pärinevad toitainete koormused halvendasid oluliselt merevee kvaliteeti vaid väga piiratud aladel. Laevandusest tulenevad muud häiringud (nt. müra ja visuaalne mõju) avaldavad prognoositavalt elusloodusele olulist mõju väga ulatuslikel merealadel.

Töös kasutasime PlanWise4Blue tööriista, et laevandusest oluliselt mõjutatud merealadel numbriliselt prognoosida muutusi erinevate loodusväärtuste näitajate osas (loodusväärtuste nimekiri on välja toodud Tabelis L5).

Analüüsi tulemused näitasid, et Loodusdirektiivi elupaikadest (Council Directive 92/43/EEC of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora), mis on kasutusel ka MSRD indikaatoritena, on laevanduse poolt põhjustatud prognoositav keskkonnamõju suurim liivamadalatele ning mõõnaga paljanduvatele mudastele ja liivastele laugmadalikele (joonised 7.6 - 7.9). Liivamadalate hinnangulised kahjustused on oodatavalt suuremad Väinamere piirkonnas, Liivi lahe loodeosas ja Soome lahe lääneosa rannikumeres sh. Tallinna lahega külgnevatel merealadel (elupaikade lokaalne pindala vähenemine kuni 70% ulatuses). Suurem osa mõjudest on seostatav parvlaevaliiklusega ning avaldub lokaalselt vaid parvlaevaliinidel. Tegemist on võrdlemisi madalate merealadega, kus parvlaevaliiklus suurendab oluliselt peeneteraliste meresetete resuspensiooni, mis omakorda vähendab vee läbipaisvust ning halvendab liivamadalate seisundit. Karide elupaiga hinnangulised kahjustused on oodatavalt suuremad ava-Läänemeres Saaremaa ja Hiiumaa lähistel,

samuti Saaremaa lõunaosa rannikumeres ning Soome lahe lääneosa rannikumeres. Karide elupaiga prognoositav pindalaline vähenemine väiksem kui liivamadalatel (karide elupaiga lokaalne pindala vähenemine kuni 25% ulatuses).

Elupaiku moodustavatest liikidest või liigirühmadest olid laevandusest mõjutatud enim kõrgemad taimed (ei sisalda meriheina) (joonis 7.12). Mõjud avaldusid enam Väinameres, Liivi lahe põhjaosas ja Soome lahe keskosa rannikumeres. Elupaiga prognoositud lokaalne pindala vähenemine küündib kuni 50%. Samas ei avaldanud laevandus olulist keskkonnamõju meriheina elupaigale. Võrreldes teiste kõrgemate taimedega asustab merihein sügavamat mereala ja see elupaik ei ole nii tundlik laevanduse poolt põhjustatud lainetusele. Samuti ei puutu meriheina elupaik laevandusega ruumiliselt nii palju kokku kui teised kõrgemad taimed.

Laevandusest olid oluliselt mõjutatud ka põisadru ja agariku elupaigad (elupaikade prognoositud lokaalne pindala vähenemine küündis kuni 40% ulatuses), kuid selle mõju ruumiline ulatus oli oluliselt väiksem. Enam mõjutatud elupaigad paiknesid peamiselt Saaremaa lõunaosa rannikumeres (joonised 7.10, 7.11). Sarnaselt oli laevanduse keskkonnamõju mändvetikatele väikse ruumilise ulatusega avaldudes peamiselt Väinamere piirkonnas ning vähemal määral ka Liivi lahe põhjaosa rannikumeres (joonis 7.9). Elupaiga prognoositud lokaalne pindala vähenemine küündib kuni 50%.

Laevandus avaldab prognoositavalt olulist negatiivset keskkonnamõju ka põhjaelupaikade liigilisele mitmekesisusele (joonis 7.14). Mõju avaldub üle kogu Eesti rannikumere ning ekstreemsematel juhtudel vähendab laevandus lokaalselt põhjaelupaikade liigilist mitmekesisust kuni 20%. Analüüsid näitasid, et vaadeldud mõjude taga oli tegemist mitme erineva surveteguri koosmõjuga mereelupaikadele, olulisemateks on laevade poolt tekitatud lained, vee läbipaistvuse vähenemine, toitainete ja toksikantide emissioon.

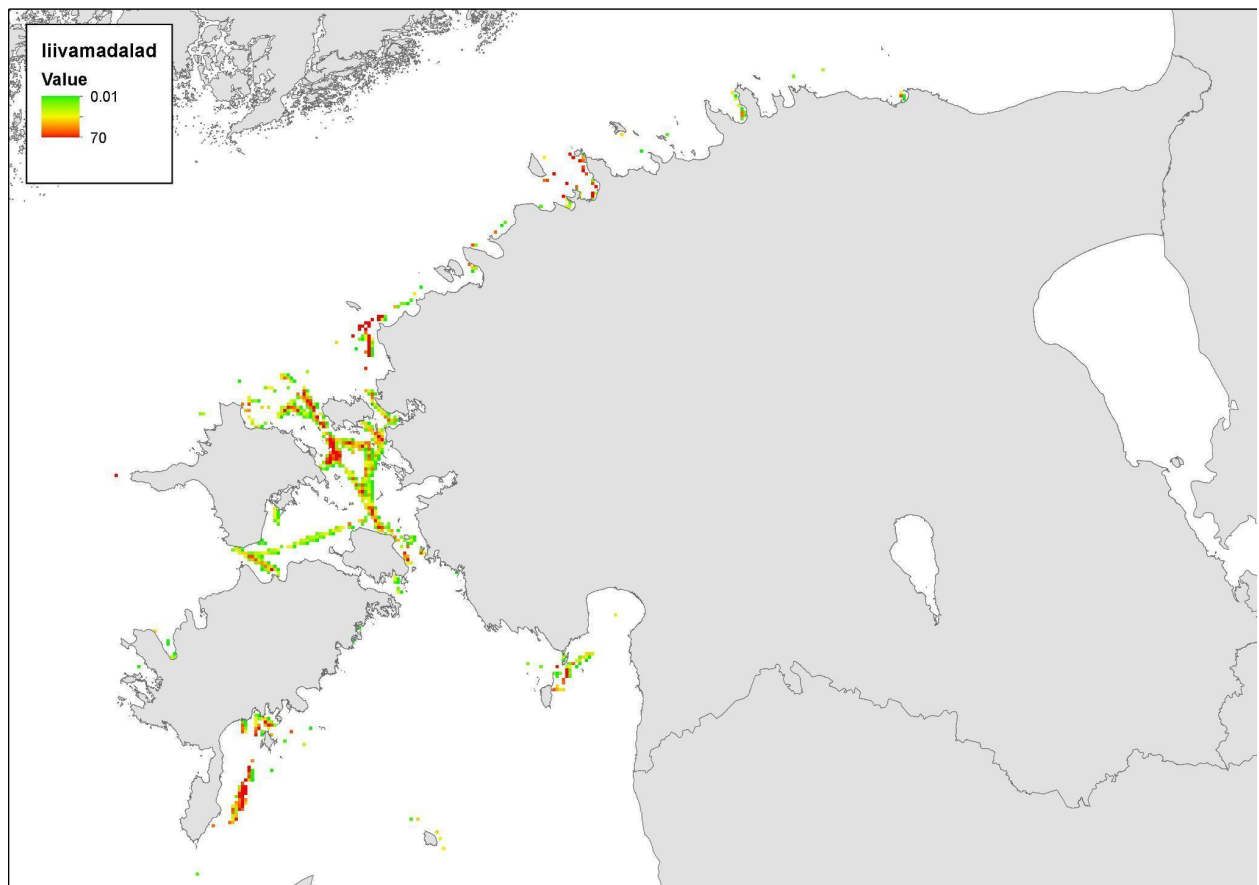
Erinevalt teistest elupaikadest avaldab laevandus aga positiivset mõju filtreerijatele karpidele (joonis 7.13). Vastavalt mudeliprognosidele võib laevaliiklus lokaalselt suurendada sellise elupaiga pindala kuni 15% ulatuses peamiselt Saaremaa lõunaosa rannikumeres ning mõneti ka Väinameres. Laevade kaudu satub merekeskkonda mõõdukas koguses toitaineid, mis suurendavad taimse hõljumi (so. filtreerijate karpide toiduobjekti) hulka. Laevandus soodustab lokaalselt ka meresetete paremat segunemist, sellest vabaneb veesambasse enam orgaanilist ainet, mis samuti parandab karpide toidubaasi.

Uuritud kalade koelmualad on laevandusest väga vähesel määral mõjutatud (joonised 7.15 - 7.16). Laevandus avaldab negatiivset mõju räime koelmualadele vaid üksikutes punktides Saaremaa lõunaosa rannikumeres. Samuti on merisiia koelmualad laevandusest mõjutatud vaid lokaalselt Saaremaa lõunaosa rannikumeres ja Väinameres. Mõlema kalaliigi puhul on prognoositav koelmualade pindala vähenemine vaid 5%. Laevandus mõjutab kalakoelmuid peamiselt toitainete ja toksikantide emissiooni kaudu. Vastavalt mudeliprognosidele ei avalda laevandus olulist negatiivset keskkonnamõju koha koelmualadele.

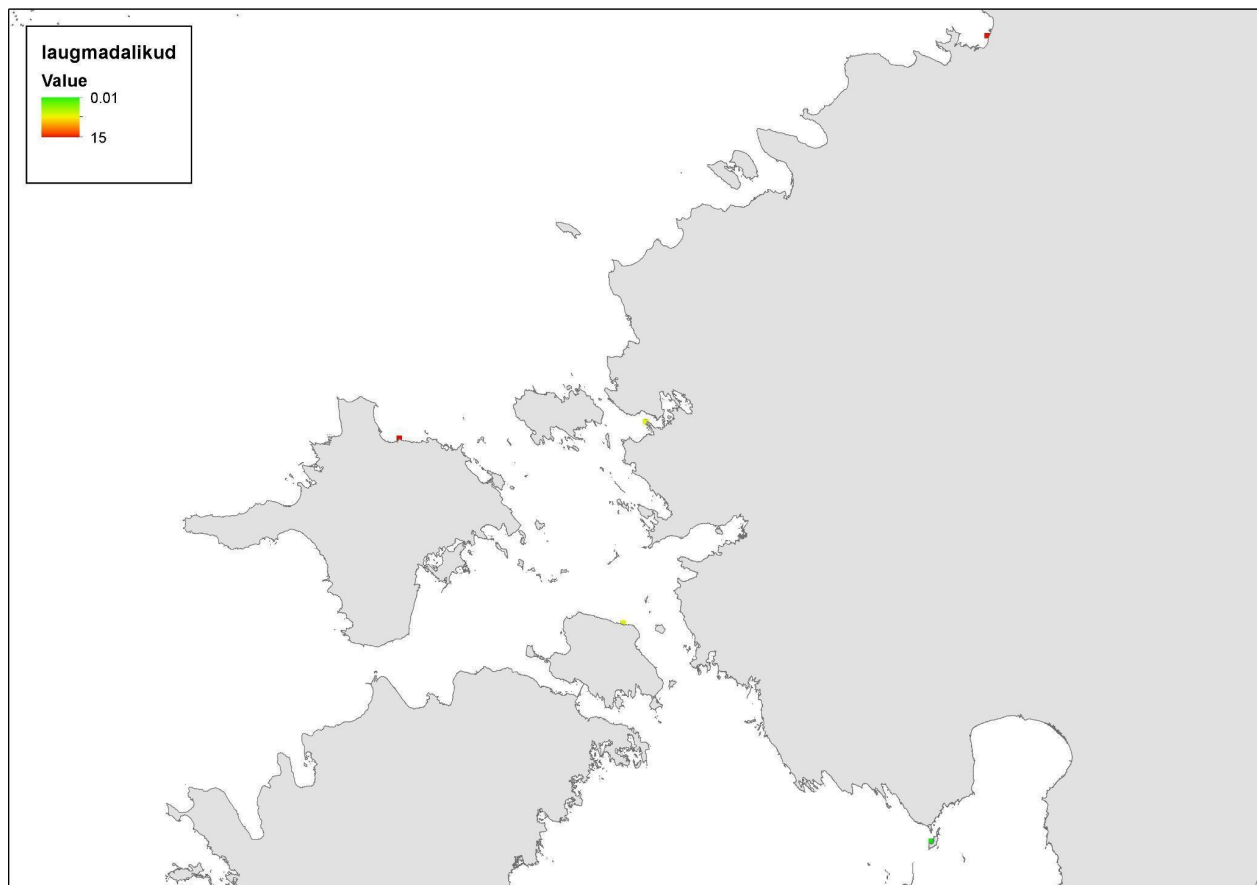
Laevanduse prognoositav keskkonnamõju merelinnustikule on väga ulatuslik (joonised 7.17 - 7.20). Eriti tugev keskkonnamõju avaldub põhjatoiduliste lindudele. Ekstreemsematel juhtudel võib olla

häiritud rohkem kui 250 lindu 1 km² merealal ning sellise tugevusega mõjud avalduvad praktiliselt kõikides veekogumites. Samasuguse ulatusega mõjud on nähtavad ka kalatoiduliste lindude puhul, aga siin on mõjude intensiivsus väiksem, oluliselt on häiritud kuni 5 lindu 1 km² merealal. Laevanduse mõju talvituvatele merelindudele on samuti väga suur (häiritud on kuni 250 lindu 1 km² merealal). Sellised mõjud on iseloomulikud praktiliselt kõikidele merealadele avaldudes vähemal määral vaid Liivi lahe kirdeosas. Analüüsid näitasid, et ulatuslikud laevandusega seotud negatiivsed keskkonnamõjud merelinnustikule olid peamiselt tingitud müra- ning visuaalsest reostusest.

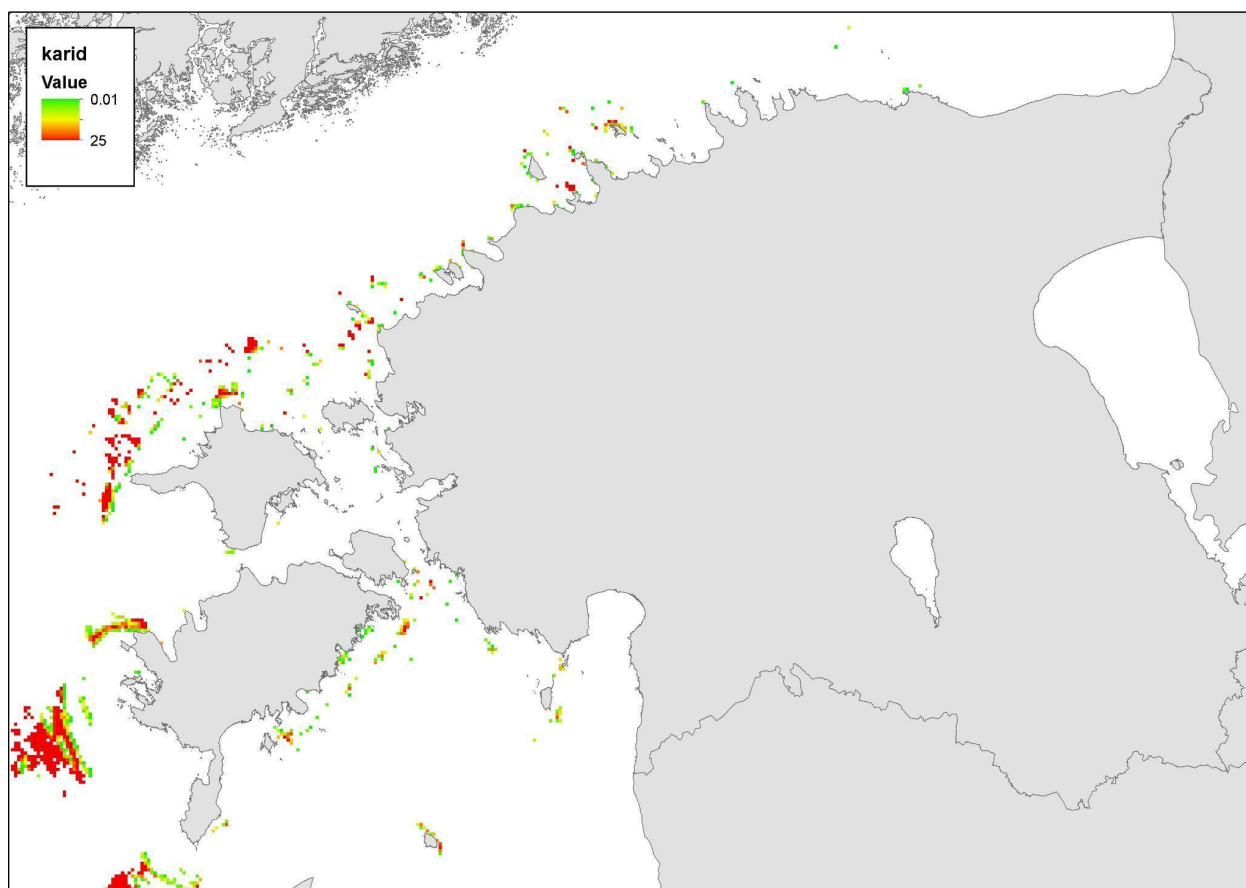
Laevanduse kumulatiivne keskkonnamõju hüljeste lesilatele oli lokaalne avaldudes Soome lahe väikesaartel (joonis 7.21). Neil aladel võisid hüljeste lesilad olla häiritud kuni 100% ulatuses. Laevandusega seotud negatiivsed keskkonnamõjud mereimetajatele on peamiselt tingitud müra- ning visuaalsest reostusest.



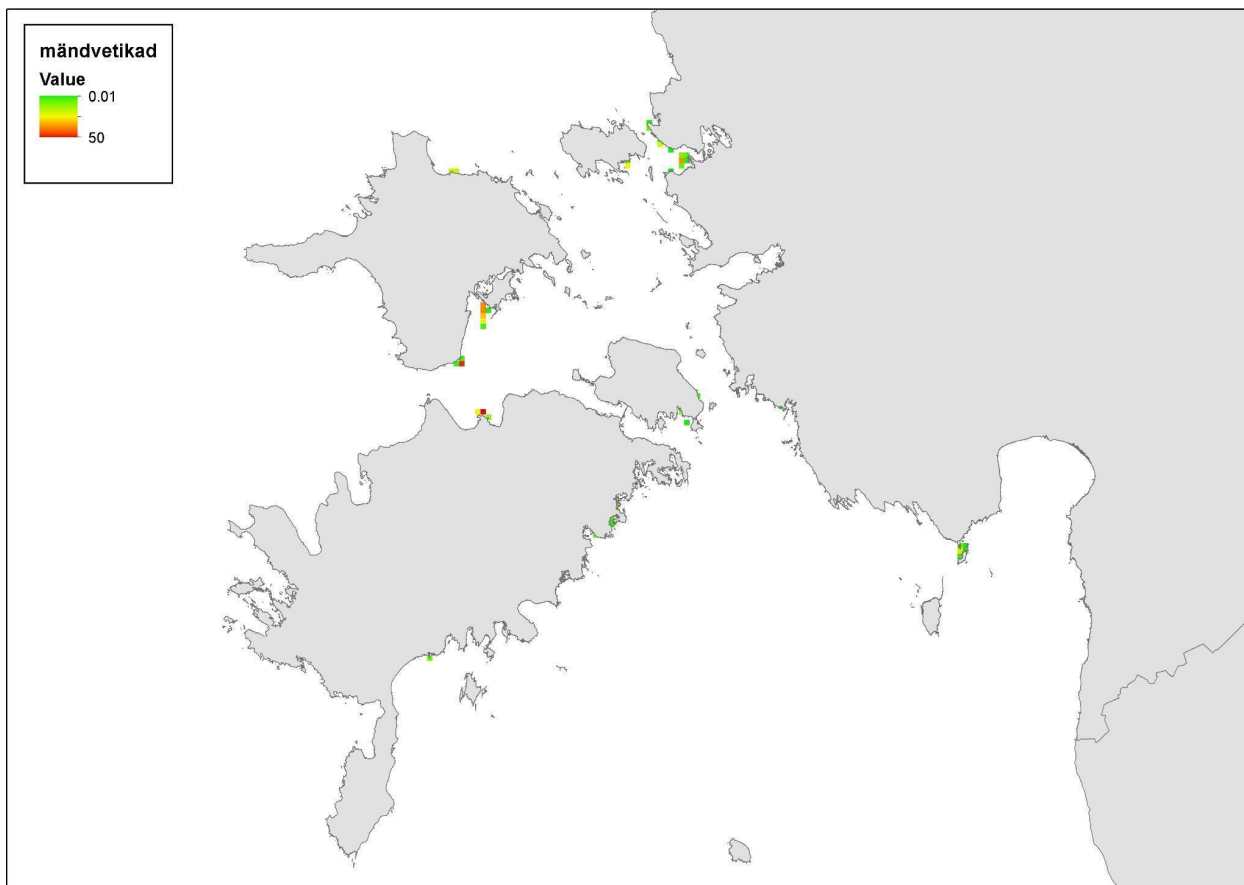
Joonis 7.6. Laevanduse kumulatiivne keskkonnamõju mereveega üleujutatud liivamadalatele (loodusdirektiivi lisa 1 kood 1110). Värvikood näitab laevandusest tulenevate erinevate survete prognoositavat keskkonnamõju so. elupaiga lokaalset pindala vähenemist erinevates merepiirkondades (protsentides).



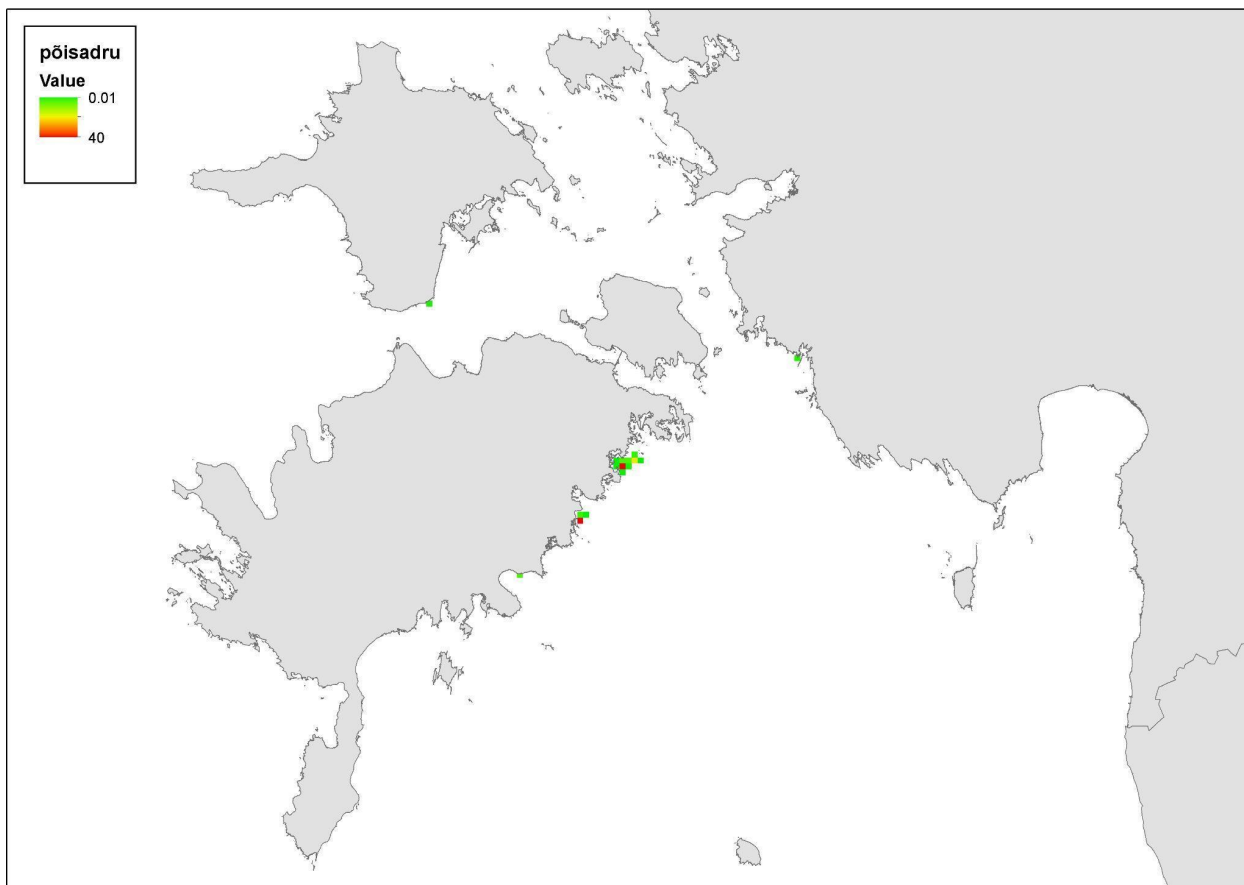
Joonis 7.7. Laevanduse kumulatiivne keskkonnamõju mõõnaga paljanduvatele mudastele ja liivastele laugmadalikele (loodusdirektiivi lisa 1 kood 1140). Värvikood näitab laevandusest tulenevate erinevate survete prognoositavat keskkonnamõju so. elupaiga lokaalset pindala vähenemist erinevates merepiirkondades (protsentides).



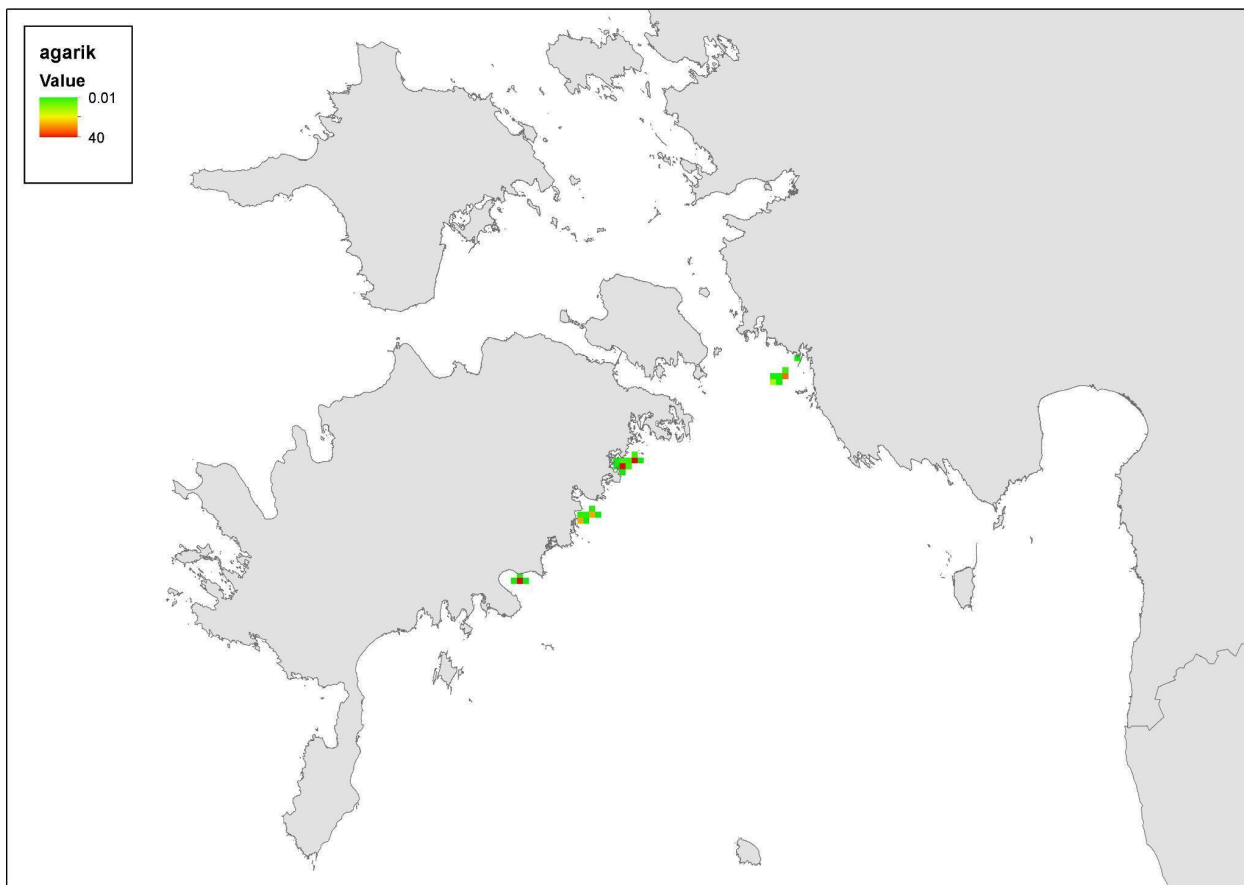
Joonis 7.8. Laevanduse kumulatiivne keskkonnamõju karidele (loodusdirektiivi lisa 1 kood 1170). Värvikood näitab laevandusest tulenevate erinevate survete prognoositavat keskkonnamõju so. elupaiga lokaalset pindala vähenemist erinevates merepiirkondades (protsentides).



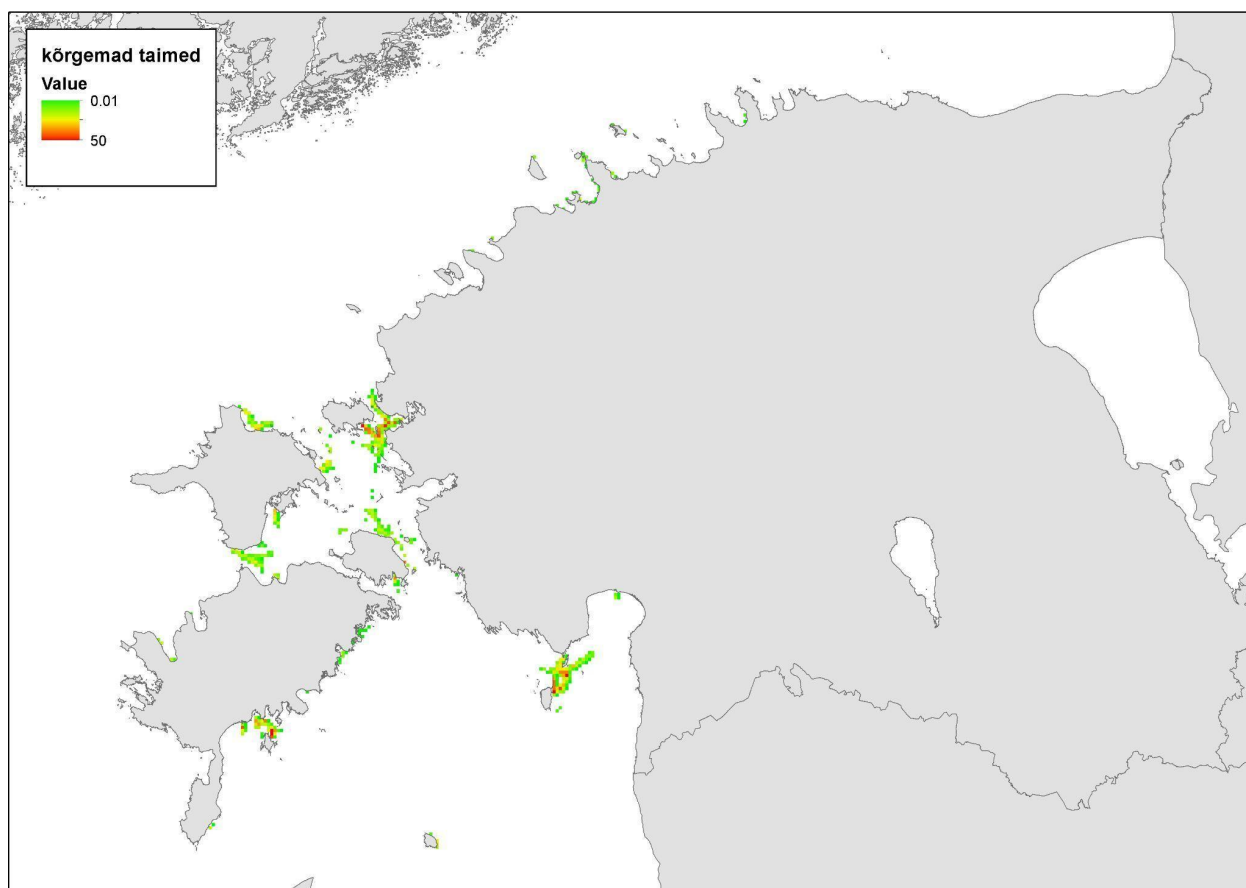
Joonis 7.9. Laevanduse kumulatiivne keskkonnamõju mändvetikate elupaigale. Värvikood näitab laevandusest tulenevate erinevate survete prognoositavat keskkonnamõju so. elupaiga lokaalset pindala vähenemist erinevates merepiirkondades (protsentides). Kaardi ruumiline ulatus peegeldab laevanduse keskkonnamõju mändvetikate elupaigale.



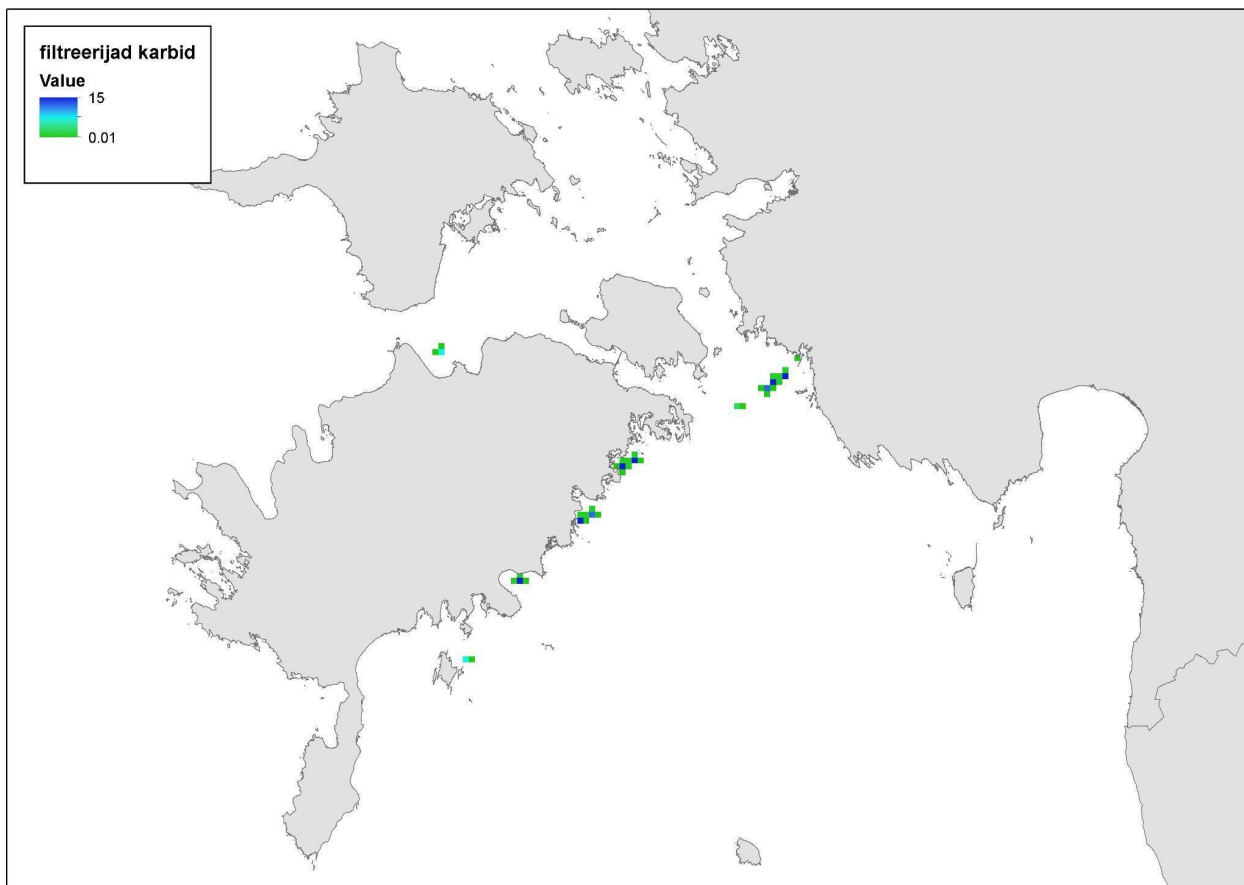
Joonis 7.10. Laevanduse kumulatiivne keskkonnamõju põisadru elupaigale. Värvikood näitab laevandusest tulenevate erinevate survete prognoositavat keskkonnamõju so. elupaiga lokaalset pindala vähenemist erinevates merepiirkondades (protsentides). Kaardi ruumiline ulatus peegeldab laevanduse keskkonnamõju põisadru elupaigale.



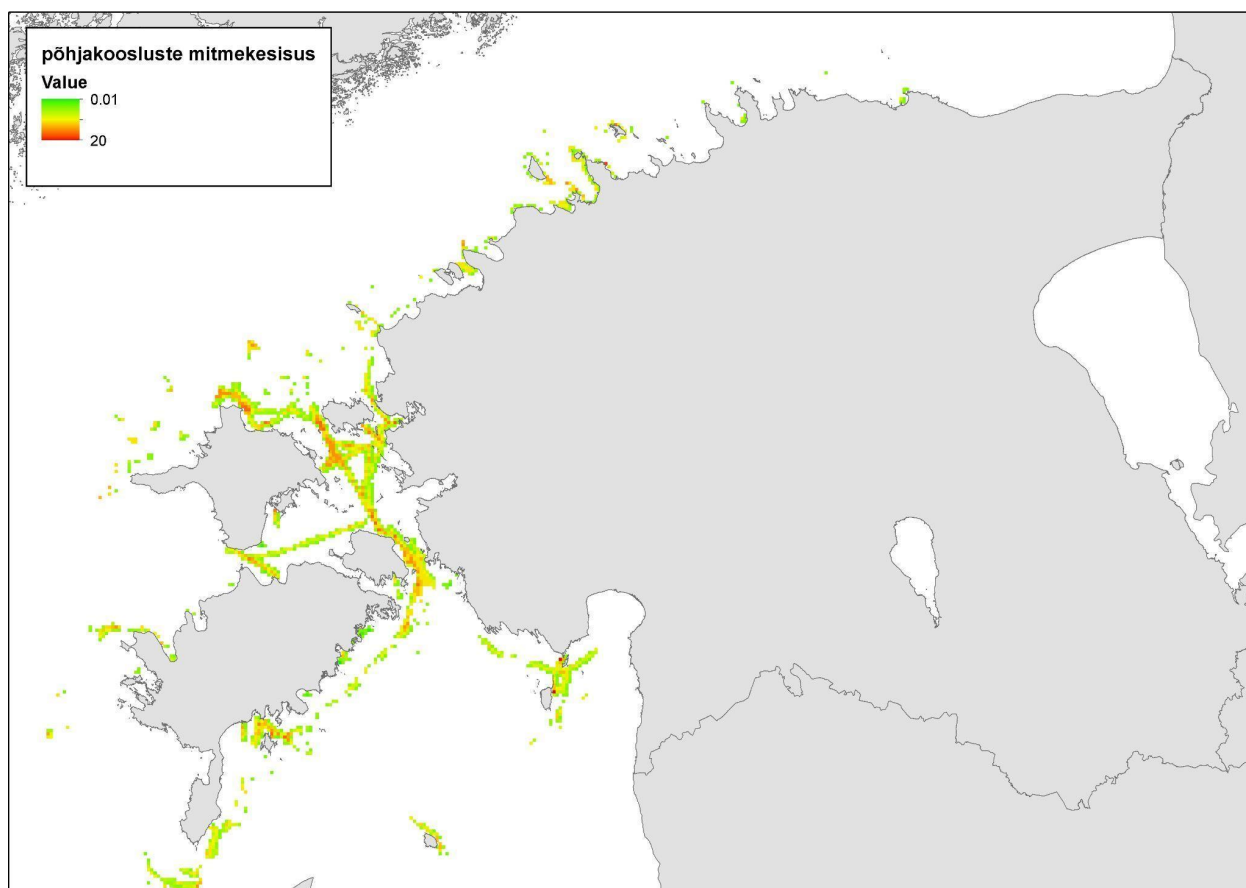
Joonis 7.11. Laevanduse kumulatiivne keskkonnamõju agariku elupaigale. Värvikood näitab laevandusest tulenevate erinevate survete prognoositavat keskkonnamõju so. elupaiga lokaalset pindala vähenemist erinevates merepiirkondades (protsentides). Kaardi ruumiline ulatus peegeldab laevanduse keskkonnamõju agariku elupaigale.



Joonis 7.12. Laevanduse kumulatiivne keskkonnamõju kõrgemate taimede elupaigale (ei sisalda meriheina elupaika). Värvikood näitab laevandusest tulenevate erinevate survete prognoositavat keskkonnamõju so. elupaiga lokaalset pindala vähenemist erinevates merepiirkondades (protsentides).



Joonis 7.13. Laevanduse kumulatiivne keskkonnamõju filtreerijate karpide elupaigale. Erinevalt teistest elupaikadest avaldab laevandus positiivset mõju filtreerijatele karpidele. Värvikood näitab laevandusest tulenevate erinevate survete prognoositavat keskkonnamõju so. elupaiga lokaalset pindala suurenemist erinevates merepiirkondades (protsentides).



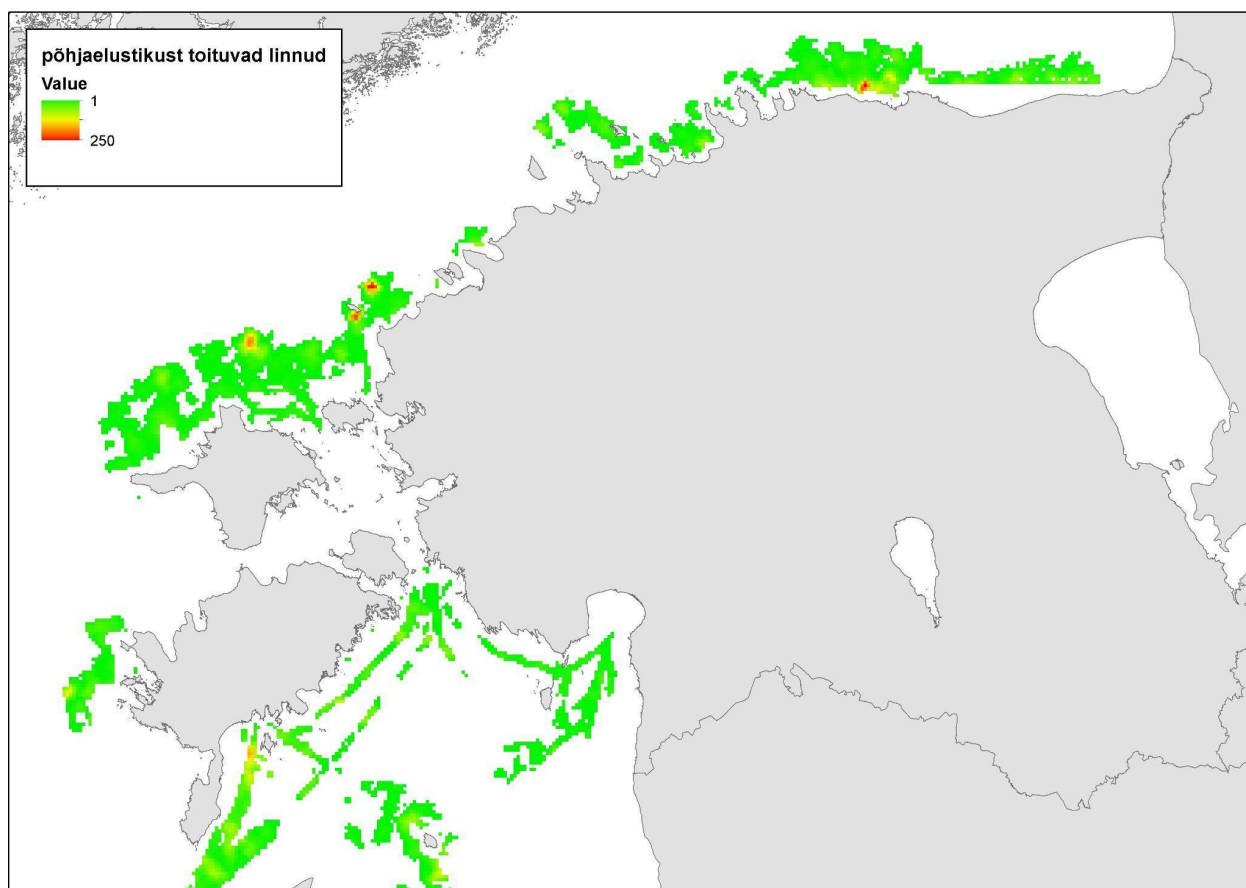
Joonis 7.14. Laevanduse kumulatiivne keskkonnamõju merepõhja koosluste mitmekesisusele. Värvikood näitab laevandusest tulenevate erinevate survete prognoositavat keskkonnamõju so. elustiku mitmekesisuse lokaalset vähenemist erinevates merepiirkondades (protsentides).



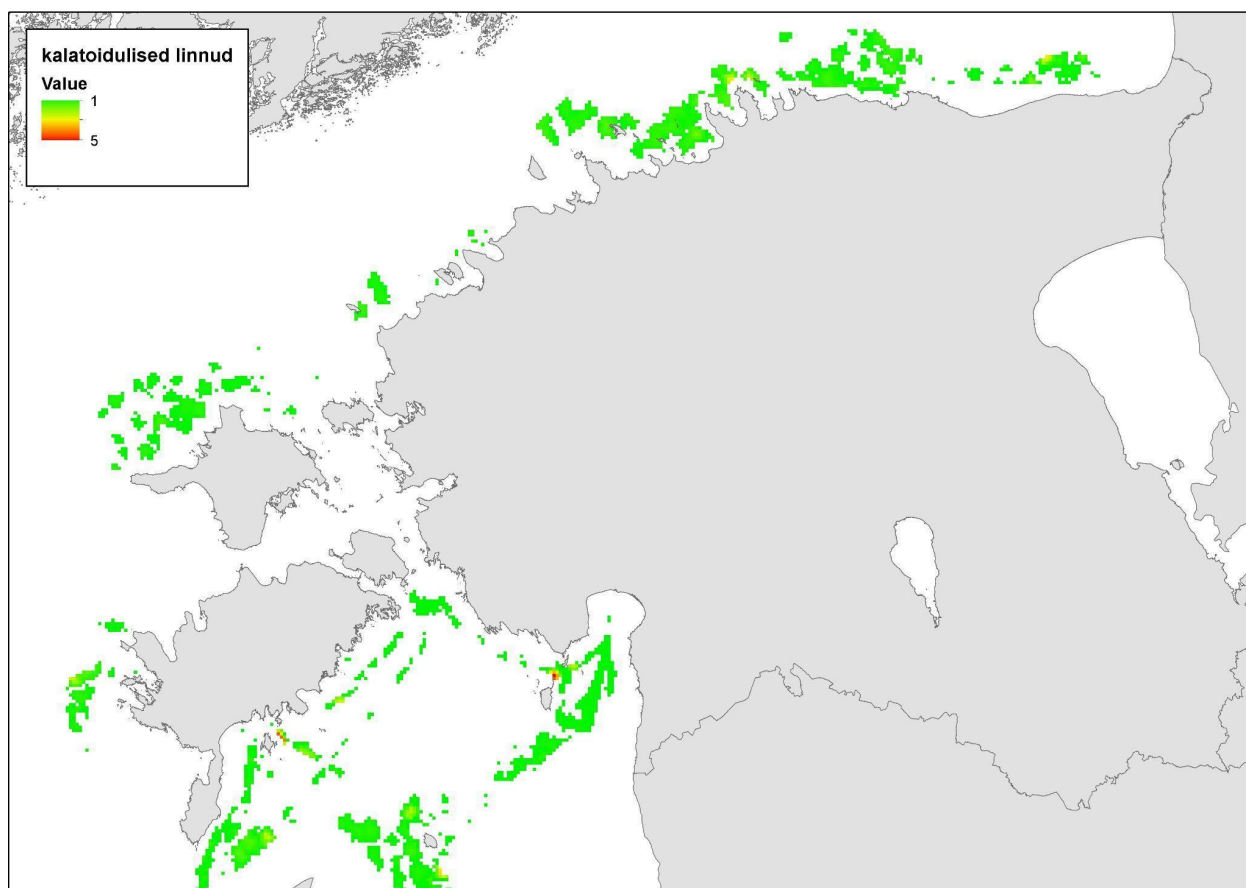
Joonis 7.15. Laevanduse kumulatiivne keskkonnamõju räume koelmualadele. Värvikood näitab laevandusest tulenevate erinevate survete prognoositavat keskkonnamõju so. koelmualade lokaalset pindala vähenemist erinevates merepiirkondades (protsentides). Kaardi ruumiline ulatus peegeldab laevanduse keskkonnamõju räume koelmualadele.



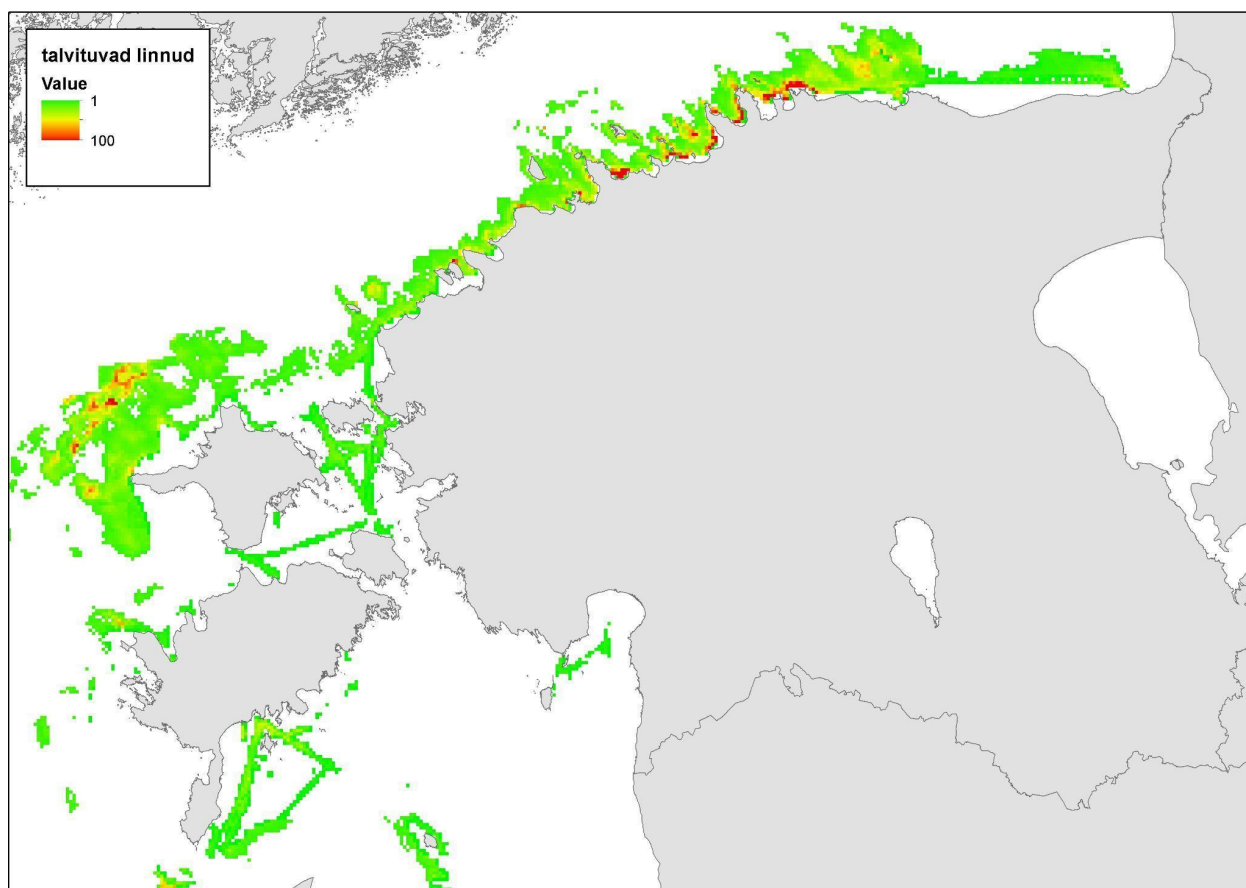
Joonis 7.16. Laevanduse kumulatiivne keskkonnamõju merisiia koelmualadele. Värvikood näitab laevandusest tulenevate erinevate survete prognoositavat keskkonnamõju so. koelmualade lokaalset pindala vähenemist erinevates merepiirkondades (protsentides). Kaardi ruumiline ulatus peegeldab laevanduse keskkonnamõju merisiia koelmualadele.



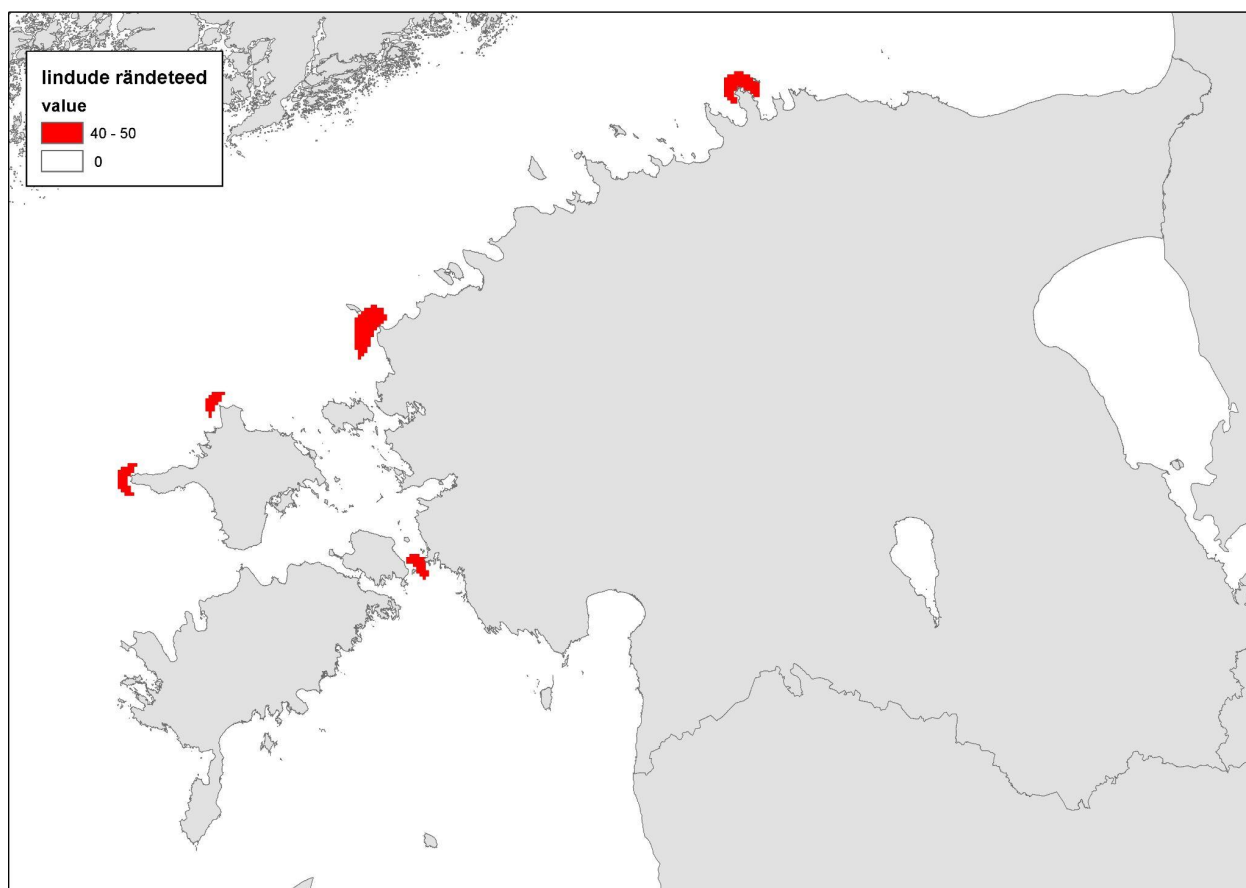
Joonis 7.17. Laevanduse kumulatiivne keskkonnamõju põhjaelustikust toituvatele lindudele. Värvikood näitab laevandusest tulenevate erinevate survete prognoositavat keskkonnamõju so. lindude arvu vähenemist erinevates merepiirkondades (isendit 1 km² merealal).



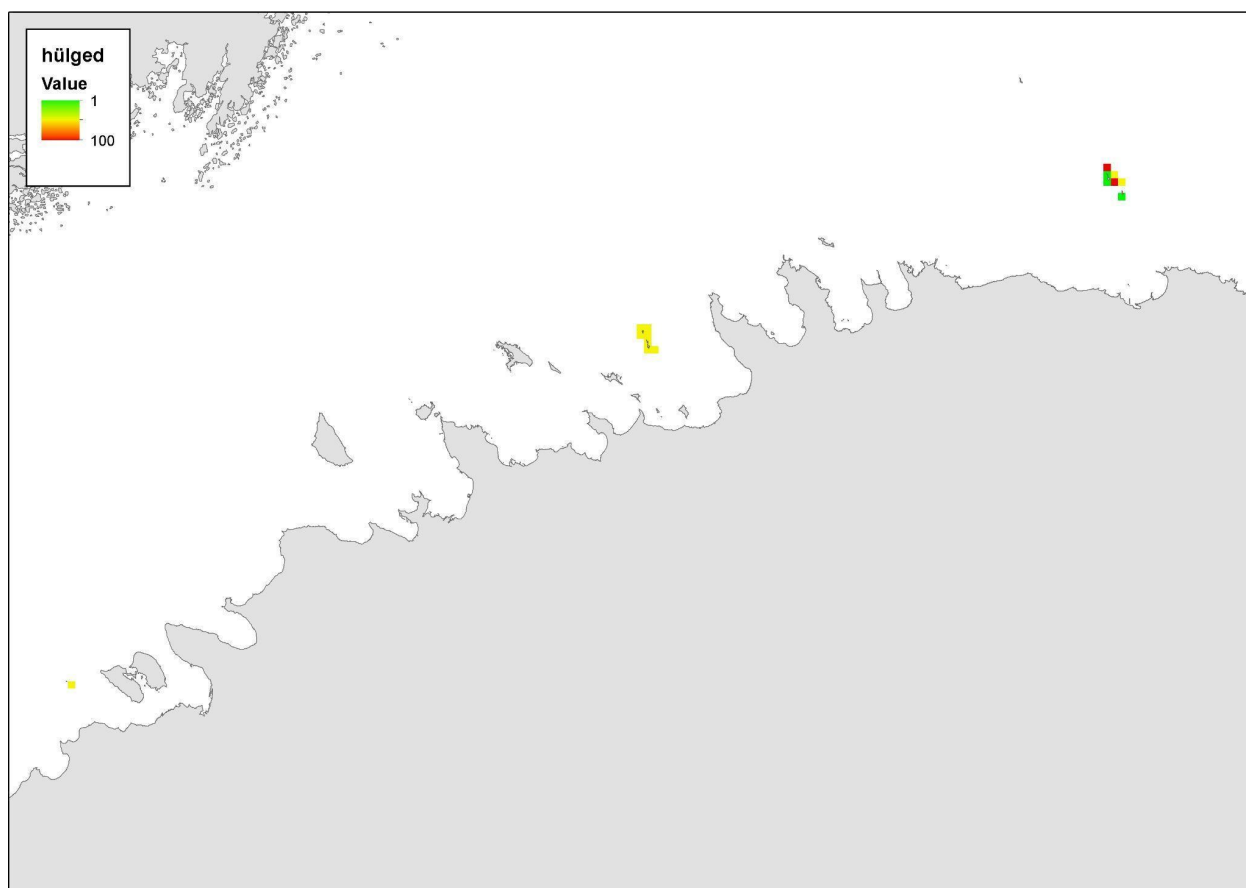
Joonis 7.18. Laevanduse kumulatiivne keskkonnamõju kalatoidulistele lindudele. Värvikood näitab laevandusest tulenevate erinevate survete prognoositavat keskkonnamõju so. lindude arvu vähenemist erinevates merepiirkondades (protsentides) (isendit 1 km² merealal).



Joonis 7.19. Laevanduse kumulatiivne keskkonnamõju talvituvatele lindudele. Värvikood näitab laevandusest tulenevate erinevate survete prognoositavat keskkonnamõju so. lindude arvu vähenemist erinevates merepiirkondades (isendit 1 km² merealal).



Joonis 7.20. Laevanduse kumulatiivne keskkonnamõju lindude rännetele. Värvikood näitab laevandusest tulenevate erinevate survete prognoositavat keskkonnamõju so. laevanduse poolt häiritud rändekoridoride ulatust erinevates merepiirkondades (protsentides).



Joonis 7.21. Laevanduse kumulatiivne keskkonnamõju hüljeste lesilatele. Värvikood näitab laevandusest tulenevate erinevate survete prognoositavat keskkonnamõju so. häiritud lesilate ulatust erinevates merepiirkondades (protsentides).

8. Ettepanekud metoodika arendamiseks ja rakendamiseks

Klassikaline DPSIR raamistik (Joonis 5.1) võimaldab üldist holistilist käsitlust laevandust kujundavatest teguritest ning laevanduse mõjust merekeskkonnale, majandusele ja ka ühiskonnale terviklikult (Moldanova et al., 2022). Erinevad raamistiku komponendid ja nende omavahelised seosed on käsitletavad erinevate metoodikatega, mis on osaliselt leidnud käsitlemist käesolevas töös, kuid **mitmed vajalikud metoodikad on puudu või ei ole tänasel päeval kättesaadavad**.

Vallapäästvad jõud

Käesolevas töös puudub vallapäästvate jõudude analüüs, mis on vajalik laevanduse tulevikutsenaariumite väljatöötamiseks. Eestis puudub 2022. septembri seisuga kompaktne ülevaade meremajanduse valdkonna ja seal teostatavate tegevuste ning ettevõtete kohta, käesoleval ajal kogutava statistika põhjal ei ole erinevalt mitmetest teistest riikidest (nt Soome, Poola) lihtsalt ja automaatselt võimalik piiritleda, milline on Eesti merendussektori majanduslike mõjude ulatus. **Läbi tuleks viia uuring Eesti meremajandusega seotud tegevuste ja tegevustega hõlmatud ettevõtete osas**, et oleks võimalik koostada baasandmestik ning töötada välja andmete kogumise ja analüüsi metoodika, mida meremajanduse valdkonnas rakendada, ja mille põhjal kogutud andmed oleksid tulevikus aluseks Eesti merendussektoriga seotud otsuste, sh sektoriga seotud keskkonnavalaseid arenguid puudutavate otsuste vastuvõtmisel. Eesti merealadele on suurim mõju rahvusvaheline meretransport, kuna asume suurimate kaubateede ääres. Seega tuleks arvestada rahvusvahelise laevandussektori arenguid. Eesti kontekstis on oluline Eesti eksport ning selle arengusuunad, sest 60-70% Eesti ekspordist toimub meritsi. Olulise tähtsusega on samuti Eestit läbivad kaubavood.

Surve

Laevanduse keskkonnamõju ja selle ajaliste muutuste hindamiseks on vajalik regulaarselt uuendada ruumiandmeid laevaliikluse ja laevandusest tulenevate emissioonide osas. Laevaliikluse jälgimiseks ja laevaliikluse intensiivsuse hindamiseks on kasutusel AIS süsteem. AIS ei kajasta kõiki uuringualas sõitvaid laevu, samas puudub täiuslikum laevade jälgimise süsteem, kus oleks kajastatud suurem hulk laevu. Andmestikus kajastuvate laevade osas võib uuringut lugeda usaldusväärseks. Eesti Mereakadeemia ja Tartu Ülikooli Eesti Mereinstituudi koostöös on ettevalmistavad tööd tehtud selleks, et lokaalselt hallata AIS andmeid (sh. eristades erinevaid laevatüüpe ning võimaldades oluliselt detailsemaid ruumilisi analüüse). Selline automaatne andmehaldussüsteem võimaldab paindlikult luua erinevas ruumilises ja ajalises mastaabis regulaarseid raporteid Eesti mereala laevaliikluse intensiivsuse osas. Selleks, et vastavalt laeva tüüpidele ja muudele tehnilistele karakteristikutele hinnata emissiooni õhku ja koormusi merre ning veealust müra on vajalik teada emissiooni faktoreid mida kasutatakse emissiooni mudelis. Käesolevas töös on kasutatud STEAM mudeli põhjal arvutatud emissiooni. STEAM mudel on operatiivses kasutuses Soome Meteoroloogia Instituudis. **Selleks, et oleks võimalik arvutada laevaliikluse survetegurid on vajalik sõlmida vastavad koostöökokkulepped Soome Meteoroloogia Instituudiga.**

Samuti kasutatakse STEAM mudelit, et arvutada erinevate keemiliste ühendite ajalis-ruumiline jaotus emissioonist õhku ja koormustest merre. STEAM mudelit kasutatakse ka veealuse müra emissiooni arvutamiseks. Survete intensiivsus muutub ajas, sest laevaliiklus muutub ajas.

Alternatiivina on võimalik siduda AIS andmebaas EMSA andmebaasiga (European Maritime Safety Agency) võimaldamaks hinnata iga Eesti merealal liikuva laeva kasvuhoonegaaside (KHG) emissioone Eesti merealal. AIS andmebaasi kaudu on võimalik leida iga aluse liikumiskiiruse ning läbitud teekonna ning EMSA andmebaasist on võimalik saada ühtse seiresüsteemi alusel kogutud laevade vastavad KHG emissioonid. Sellist metoodikat on juba testitud Tallinna Sadama keskkonnamõtjude kaardistamisel (Kotta et al., 2021).

Seisund

STEAM mudel võimaldab saada reostusandmeid õhku ja merre laevade asukohas. Atmosfääri ja mere tsirkulatsiooni tõttu toimub reostusainete laialikandumine ja keemilised ning biogeokeemilised protsessid nendega. **Atmosfäärimudel CMAQ võimaldab hinnata reoainete transporti, keemilisi protsesse ja settimist merre. Eestis selline üldiselt aktsepteeritud ja rakendatud atmosfääri ainelevi ja ainete transformatsiooni protsesside mudel puudub. Samuti puudub veealuse müra leviku mudel.** Meremudel GETM ühildatuna biogeokeemia mudeliga ERGOM ning ainelevi transpordi mudeliga võimaldab hinnata nii merekeskkonna seisundit madalal troofsuse tasemel kui ka reoainete levi. GETM-ERGOM-ainelevi mudelsüsteem võimaldab regulaarselt uuendada Eesti mereala jaoks laevandusest pärit merekeskkonda paisatud toitainete ja toksiliste ainete levikukaarte. **Vajalik oleks (mere)mudelsüsteemi täiendamine füüsikaliste ja biogeokeemiliste protsessidega, mis toimuvad reoainetega merekeskkonnas.**

Laevandusega seotud keskkonnamõtju hindamiseks on vaja regulaarselt uuendada ka keskkonnaparameetrite ja loodusväärtuste ruumiandmeid. Oluline on täpsustada olemasolevad ja kehtestada puuduvad piirväärtused nende MSRD indikaatorite osas, mis on mõjutatud laevandusest. Mereseire sh. mereelupaikade seisundi seire toimub vaid üksikutes ruumipunktides ning pelgalt nende andmete alusel ei ole võimalik luua kogu Eesti mereala katvaid loodusväärtuste kaardikihte. Küll on võimalik sellise seire abil hinnata erinevate mereelupaikade seisundit erinevates veekogumites. Loodusväärtuste kaardikihtide loomiseks oleks vajalik regulaarselt kaardistada merepõhja elupaiku, kalastikku, linnustikku ja mereimetajaid eeldefineeritud aladel (mõistlik valim on vaja eelnevalt määratleda) ning kasutada ruumilise modelleerimise metoodikaid (sh. masinõppe algoritme) kogu Eesti mereala katvate loodusväärtuste kaardikihtide loomisel. Siiani on toimunud selliste kaardikihtide loomine projektipõhiselt ilma kindla sageduseta, regulaarsete hinnangute saamisel on vaja loodusväärtuste spetsiifika kaudu hinnata, kui tihti on mõistlik selliseid kaardistustöid läbi viia.

Mõtju

Käesoleva projekti käigus valmis metoodika, PlanWise4Blue mudel, kuidas hinnata laevanduse keskkonnamõtju mereelustikule. Seejärel testiti loodud metoodikat olemasolevate laevanduse ja mereelustiku andmebaaside peal. Analüüsi tulemusel valmis laevanduse keskkonnamõtju esialgne

hinnang kogu Eesti mereala kohta. Uute survete kaartide olemasolu korral on võimalik PlanWise4Blue mudelit uuesti rakendada. Oluline komponent PlanWise4Blue rakendamisel on ühtse meetodika alusel loodud andmebaas, mis kirjeldab erinevate laevandusega seotud survetegurite eraldi- ja koosmõju erinevatele loodusväärtustele (so. PlanWise4Blue mõjumaatriksi uuendamine). Igal aastal publitseeritakse suur hulk keskkonnamõju kirjeldavat teaduskirjandust ning **uute teadmiste lisamine PlanWise4Blue arvutusalgorithmi on vajalik**, et keskkonnamõju hinnangud (sh. laevandusest tulenevad mõjud) lähtuksid kõige parematest teaduslikest alusteadmistest. Eesti Mereinstituudi üheks pikaajaliseks eesmärgiks on kogutud loodusväärtuste andmestike jagamine PlanWise4Blue portaali kaudu. Eesti Mereinstituudi poolt hallatavaid loodusväärtuste alusandmeid ja teaduskirjandusest lähtuvat arvutusalgorithmi uuendatakse portaalis aastase intervalliga. Osade liikide seirega aga Eesti Mereinstituut ei tegele (nt. merelinnud ja -imetajad) ning selliste loodusväärtuste puhul uuendatakse andmekihte peale seda, kui vastavad uued uuringud on avalikkusele kättesaadavaks tehtud.

Vastumeetmed

Eelpool toodud meetodikate rakendamise tulemused on oluliseks sisendiks erinevate meetmete ettevalmistamisel võimaldamaks laevanduse keskkonnamõju vähendamist tulevikus. Oluline on arvesse võtta Eesti laevandussektori arenguid ja analüüsida regulatsioonide kehtestamise sotsiaal-majanduslikku mõju.

Operatiivne otsustustööriist

Selleks, et parandada otsuste vastuvõtmist ja muuta see operatiivseks on vajalik arendada veebipõhiseid tööriistu. Käesolev laevanduse keskkonnamõju hinnang lähtub parimatest olemasolevatest teadmistest, seda nii survetegurite ja loodusväärtuste kui ka teaduskirjanduse osas. Projekti toel läbi viidud arvutused on aga tehtud lokaalses arvutis suuresti käsitööna. Selleks, et tagada laevandusega seotud keskkonnamõjude operatiivne hindamine, on vajalik publitseerida projekti toel kogutud alusandmestik ja teadmine (survetegurid ja laevanduse keskkonnamõju arvutamist võimaldav algoritm) PlanWise4Blue veebirakenduses (nt. Eesti merealalde kumulatiivsete mõjude hindamise sektsioonis <http://www.sea.ee/adrienne>). Selline arendus võimaldaks otsustajatel läbi mängida laevanduse ja muude inimtegevustega seotud erinevaid stsenaariume ning selle kaudu tagada, et mere kaitse ja majandamisega seotud otsused saaksid tehtud parimal võimalikul moel.

Operatiivse keskkonnamõjude hindamist toetavad ka survetegurite ruumiandmete kättesaadavus ja ajakohasus. Sellest tulenevalt **on oluline, et laevandusest tulevad survetegurid publitseeritakse kaarditeenustena ning neid ka uuendatakse regulaarselt.** Selline arendus võimaldaks kõiki publitseeritud survetegurite kaardikihte integreerida PlanWise4Blue portaaliga tagades kõige uuemate alusandmete automaatse kättesaadavuse ja selle kaudu parandada ka vastuvõetavate otsuste operatiivsust.

Juhul, kui survetegurite andmed muutuvad operatiivselt kättesaadavaks (nt. veebis jagatud kaardirakenduste kaudu), on tulevikus võimalik operatiivselt (reaalajas) modelleerida erinevate survetegurite ruumilist mõju merekeskkonna seisundile.

Reostuse sündmused

Seoses meretranspordi intensiivsuse suurenemisega Läänemerel ja eriti Soome lahes suureneb võimalike laevaõnnetuste põhjustatud keskkonnakahjustuste tõenäosus. Suurenevate keskkonnariskide leevendamiseks on äärmiselt oluline arendada ja täiustada asjakohaseid otsustustoe vahendeid laevaõnnetustest tingitud võimaliku naftareostuse keskkonnamõjude hindamiseks.

Seatrack Web (STW) on Rootsi Meteoroloogia- ja Hüdroloogiainstituudi (SMHI) ja Taani Meresõiduohutuse Ameti (DAMSA) poolt välja töötatud efektiivselt toimiv veebipõhine hädaolukorrast tingitud naftareostuse liikumise prognoosisüsteem Läänemere ja osa Põhjamere jaoks (Ambjörn et al., 2011). STW on ametlik HELCOM otsustustoe süsteem, mida riiklikud asutused ja teadusasutused kasutavad hädaolukorrast tingitud naftareostuse liikumise simuleerimiseks merel (HELCOM, 2020). STW võimaldab kasutajatel simuleerida serveris naftareostuse liikumist ning ruumilised tulemused kuvatakse kasutaja arvutis ühe minuti jooksul. Serveril on juurdepääs kõige värskematele ilma- ja ookeaniprognosidele, pakkudes kasutajale seega optimaalset otsustustoe vahendit naftalaigu ruumilise paiknemise ja selle mere rannikuvööndisse jõudmise hindamiseks. STW kasutamine võimaldab naftalekke asukoha kindlakstegemist õnnetusest juba mõne tunni möödumisel. Otsustustoe kasutamine võimaldab samuti naftareostustõrje vahendite optimaalset jaotamist avamere ja rannikuala kaitse osas. Naftareostuse hädaolukordadele reageerimise otsustustugi hõlmab tavaliselt naftareostuse käitumise ja liikumise lühiajalisi prognoose taktikalise reageerimise planeerimiseks, kuid praegusel kujul kahjuks ta ei võimalda mere- ja rannikualade naftareostuse võimalikku keskkonnamõju hindamist. STW otsustustool puudub seos mere- ja rannikualade keskkonnaandmetega. Naftareostuse korral on võimalik kombineerida Seatrack Web rakendust PlanWise4Blue rakendusega so. Seatrack Web prognoosib naftareostuse levikut õnnetusele järgnevatel päevadel ning PlanWise4Blue kasutab seda kaarti sisendina, et hinnata sellise stsenaariumi mõju mereelustikule.

Teeme ettepaneku edasi arendada rahvusvahelisel tasandil mere naftareostusest tingitud keskkonnamõjude operatiivse hindamise otsustustuge seose loomise kaudu kahe asjakohase portaali vahel STW ja PlanWise4Blue. Koostöös Rootsi Meteoroloogia- ja Hüdroloogiainstituudi partneriga saavutame, et STW tulemused on publitseeritud nt kaarditeenusena ja siis kasutame neid sisendandmetena PlanWise4Blue portaalis. See võimaldab operatiivselt hinnata naftareostuse võimalikku keskkonnamõju, kuna PlanWise4Blue portaalis hoitakse üldjuhul kõige uuemaid looduskeskkonna andmekihte. Selline seose loomine kahe rahvusvahelise otsustustoe portaali vahel võimaldab ka hinnata võimaliku naftareostuse piiriülest keskkonnamõju.

Seose loomine kahe rahvusvahelise tasandi portaali vahel STW ja PlanWise4Blue on seotud otseselt rahvusvahelise koostööga HELCOM Response to Spills and Shipping suunal.

Viited

- Ambjörn C., Liungman O., Mattsson J., Håkansson B., 2011. Seatrack Web: The HELCOM Tool for Oil Spill Prediction and Identification of Illegal Polluters. In: Kostianoy A., Lavrova O. (Eds) Oil Pollution in the Baltic Sea. The Handbook of Environmental Chemistry, vol 27, Springer, Berlin, Heidelberg, 155-184. https://doi.org/10.1007/698_2011_120
- Amir-Heidari, P., Arneborg, L., Lindgren, J.F., Lindhe, A., Rosén, L., Raie, M., Axell, L. and Hassellöv, I.M., 2019. A state-of-the-art model for spatial and stochastic oil spill risk assessment: A case study of oil spill from a shipwreck. *Environment international*, 126, pp.309-320.
- Aulinger, A., Matthias, V., Zeretzke, M., Bieser, J., Quante, M., Backes, A., 2016. The impact of shipping emissions on air pollution in the greater North Sea region – Part 1: Current emissions and concentrations. *Atmospheric Chemistry and Physics* 16, 739–758. <https://doi.org/10.5194/acp-16-739-2016>
- Banda, O.A.V., Goerlandt, F., Montewka, J. and Kujala, P., 2015. A risk analysis of winter navigation in Finnish sea areas. *Accident Analysis & Prevention*, 79, pp.100-116.
- Bartnicki, J., Semeena, V.S., Fagerli, H., 2011. Atmospheric deposition of nitrogen to the Baltic Sea in the period 1995–2006. *Atmospheric Chemistry and Physics* 11, 10057–10069. <https://doi.org/10.5194/acp-11-10057-2011>
- Bellebaum, J., A. Diederichs, J. Kube, A. Schulz, and G. Nehls. 2006. Flucht- und Meidedistanzen überwinternder Seetaucher und Meeresenten gegenüber Schiffen auf See. *Ornithologischer Rundbrief Mecklenburg-Vorpommern* 45:86–90.
- Biernacki, M., 2015. Environmental Life Cycle Costing (ELCC) in the aspect of cost management in the company. *Finanse, Rynki Finansowe, Ubezpieczenia*, (77).
- Borenstein, M.; , Hedges, L.V.; Higgins, J.P.T.; Rothstein, H. 2009. *Introduction to Meta-Analysis*. Chichester, Wiley.
- Bye, R. J., & Aalberg, A. L. (2018). Maritime navigation accidents and risk indicators: An exploratory statistical analysis using AIS data and accident reports. *Reliability Engineering & System Safety*, 176, 174–186. doi:10.1016/j.ress.2018.03.033
- Ebert, U., & Welsch, H. (2004). Meaningful environmental indices: a social choice approach. *Journal of Environmental Economics and Management*, 47(2), 270–283. doi:10.1016/j.jeem.2003.09.001
- Elektroonline Mereinfosüsteem [WWW Document], 2022. URL <https://www.emde.ee/> (accessed 8.29.22).
- Elektroonilise mereinfosüsteemi põhimäärus [WWW Document], 2022. URL <https://www.riigiteataja.ee/akt/110112020013?leiaKehtiv> (accessed 8.29.22).

Endresen, Ø., Sørsgård, E., Sundet, J.K., Dalsøren, S.B., Isaksen, I.S., Berglen, T.F. and Gravir, G., 2003. Emission from international sea transportation and environmental impact. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108(D17).

Euroopa Komisjon, 2022. EUROPA - Keskkond noortele eurooplastele - Vesi - Mida teeb Euroopa Liit [WWW Document]. URL https://ec.europa.eu/environment/archives/youth/water/water_what_the_european_et.html (accessed 8.29.22).

European Commission, 2022. EU legislation to control F-gases [WWW Document]. URL https://ec.europa.eu/clima/eu-action/fluorinated-greenhouse-gases/eu-legislation-control-f-gases_en (accessed 8.29.22).

European Commission. Directorate General for Climate Action., 2022. Phasing down F-gases and ozone depleting substances to deliver on our climate targets. Publications Office, LU.

European Council, 2021. Fit for 55 [WWW Document]. 2021. URL <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/> (accessed 8.29.22).

European Environment Agency, European Maritime Safety Agency, 2021. European maritime transport environmental report 2021. Publications Office of the European Union, LU.

Fang, I.H.C., Cheng, F., Incecik, A. and Carnie, P., 2013. Global marine trends 2030. Lloyd's Register Group Limited, QinetiQ and University of Strathclyde.

Fridell et al. , Clean Shipping Index, 2022. Methodology and Reporting Guidelines 2022. Clean Shipping Index, Gothenburg, Sweden. <https://www.cleanshippingindex.com/projektwebbar/clean-shipping-index/methodology.html>

Hansson, J., Månsson, S., Brynolf, S. and Grahn, M., 2019. Alternative marine fuels: Prospects based on multi-criteria decision analysis involving Swedish stakeholders. *Biomass and Bioenergy*, 126, pp.159-173.

HELCOM, 2018a. Proposal for a continuous anthropogenic sound layer. Document 4-13 to HOLAS II 9-2018. Available at: <https://portal.helcom.fi/meetings/HOLAS%20II%209-2018-524/MeetingDocuments/4-13%20Proposal%20for%20a%20continuous%20anthropogenic%20sound%20layer.pdf>

HELCOM, 2018b. Thematic assessment of cumulative impacts on the Baltic Sea 2011-2016.

HELCOM, 2020. HELCOM STW oil drift modelling. <https://helcom.fi/action-areas/response-to-spills/helcom-seatrackweb-and-oil-drift-modeling/>

HELCOM, 2021a. Inputs of nutrients (nitrogen and phosphorus) to the subbasins (2019). HELCOM core indicator report. November 2021.

<https://helcom.fi/wp-content/uploads/2017/06/HELCOM-core-indicator-on-inputs-of-nutrients-for-period-1995-2019.pdf>

HELCOM, 2021b. Michael Gauss. Atmospheric nitrogen deposition to the Baltic Sea. HELCOM Baltic Sea Environment Fact Sheet (BSEFS).

https://helcom.fi/wp-content/uploads/2021/12/B_BSEFS_N_dep_v2.pdf

HELCOM, 2022. Helcom Map And Data Service [WWW Document]. URL

<https://maps.helcom.fi/website/mapservice/?datasetID=4987669b-262e-46ef-8800-3ccfb3b93313> (accessed 8.29.22).

HELCOM, 2022. Shipping. URL <https://helcom.fi/action-areas/shipping/> (accessed 8.29.22).

Herz, M., Davis, J., 2002. Cruise control: A report on how cruise ships... - Google Scholar [WWW Document]. URL

https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Cruise%20control&publication_year=2002&author=M.%20Herz&author=J.%20Davis (accessed 8.29.22).

Hänninen, S., & Sassi, J. (2009). Estimated nutrient load from waste waters originating from ships in the Baltic Sea area: Updated 2009. VTT Technical Research Centre of Finland. VTT Research Report No. VTT-R-07396-08 https://publications.vtt.fi/julkaisut/muut/2009/VTT_R_07396_08.pdf

IHS_Global: SeaWeb database of the global ship fleet, IHS Markit Global Headquarters, London, United Kingdom, 2016

International Maritime Organisation, 2022. Implementing the Ballast Water Management Convention [WWW Document]. URL

<https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Implementing-the-BWM-Convention.aspx> (accessed 8.29.22).

International Maritime Organization, 1973. International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL) [WWW Document]. URL

[https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-\(MARPOL\).aspx](https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-(MARPOL).aspx) (accessed 8.29.22).

International Maritime Organization, 1992. BWM Convention and Guidelines [WWW Document].

URL <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/BWMConventionandGuidelines.aspx> (accessed 8.29.22).

International Maritime Organization, 2001. International Convention on the Control of Harmful Anti-fouling Systems on Ships [WWW Document]. URL

[https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-on-the-Control-of-Harmful-Anti-fouling-Systems-on-Ships-\(AFS\).aspx](https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-on-the-Control-of-Harmful-Anti-fouling-Systems-on-Ships-(AFS).aspx) (accessed 8.29.22).

International Maritime Organization, 2022. International Maritime Organization [WWW Document]. URL <https://www.imo.org/en> (accessed 8.29.22).

J.-P. J., Brink, A., Kalli, J., Pettersson, H., Kukkonen, J., Stipa, T., 2009. A modelling system for the exhaust emissions of marine traffic and its application in the Baltic Sea area. *Atmospheric Chemistry and Physics* 9. <https://doi.org/10.5194/acpd-9-15339-2009>

Jain, K.P., Pruyn, J.F.J. and Hopman, J.J., 2017. Material flow analysis (MFA) as a tool to improve ship recycling. *Ocean Engineering*, 130, pp.674-683.

Jalkanen, J.-P., Johansson, L., Granhag, L., Ytreberg, E., Eriksson, K.M., Yngsell, D., Hassellöv, I.-M., Magnusson, K., Raudsepp, U., Maljutenko, I., Styhre, L., Moldanova, J., 2018a. Discharges to the sea from Baltic Sea shipping in 2006 - 2018 18.

Jalkanen, J.-P., Johansson, L., Kukkonen, J., Brink, A., Kalli, J., Stipa, T., 2012. Extension of an assessment model of ship traffic exhaust emissions for particulate matter and carbon monoxide. *Atmospheric Chemistry and Physics* 12, 2641–2659. <https://doi.org/10.5194/acp-12-2641-2012>

Jalkanen, J.-P., Johansson, L., Liefvendahl, M., Bensow, R., Sigra, P., Östberg, M., Karasalo, I., Andersson, M., Peltonen, H., Pajala, J., 2018b. Modelling of ships as a source of underwater noise. *Ocean Science* 14, 1373–1383. <https://doi.org/10.5194/os-14-1373-2018>

Jalkanen, J.-P., Johansson, L., Wilewska-Bien, M., Granhag, L., Ytreberg, E., Eriksson, K.M., Yngsell, D., Hassellöv, I.-M., Magnusson, K., Raudsepp, U., Maljutenko, I., Styhre, L., Winnes, H., Moldanova, J., 2020. Modeling of discharges from Baltic Sea shipping (preprint). *Surface/Numerical Models/Baltic Sea/Transports/cycling (nutrients, C, O, etc.)/Oceanic pollution*. <https://doi.org/10.5194/os-2020-99>

Jalkanen, J.P., Johansson, L., Wilewska-Bien, M., Granhag, L., Ytreberg, E., Eriksson, K.M., Yngsell, D., Hassellöv, I.M., Magnusson, K., Raudsepp, U. and Maljutenko, I., 2021. Modelling of discharges from Baltic Sea shipping. *Ocean Science*, 17(3), pp.699-728. <https://doi.org/10.5194/os-17-699-2021>

Johansson, L., Ytreberg, E., Jalkanen, J.-P., Fridell, E., Eriksson, K. M., Lagerström, M., Maljutenko, I., Raudsepp, U., Fischer, V., and Roth, E.: Model for leisure boat activities and emissions – implementation for the Baltic Sea, *Ocean Sci.*, 16, 1143–1163, <https://doi.org/10.5194/os-16-1143-2020>, 2020.

Johansson, L., Jalkanen, J.-P., and Kukkonen, J.: Global assessment of shipping emissions in 2015 on a high spatial and temporal resolution, *Atmos. Environ.*, 167, 403–415, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.08.042>, 2017.

Jägerbrand, A.K., Brutemark, A., Barthel Svedén, J., Gren, I.-M., 2019. A review on the environmental impacts of shipping on aquatic and nearshore ecosystems. *Science of The Total Environment* 695, 133637. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133637>

Kaiser, M. J., M. Galanidi, D. A. Showler, A. J. Elliott, R. W. G. Caldow, E. I. S. Rees, R. A. Stillman, and W. J. Sutherland. 2006. Distribution and behaviour of common scoter *Melanitta nigra* relative to prey resources and environmental parameters. *Ibis* 148:110–128.

Kaluza, P., Kölzsch, A., Gastner, M.T. and Blasius, B., 2010. The complex network of global cargo ship movements. *Journal of the Royal Society Interface*, 7(48), pp.1093-1103.

Karl, M., Bieser, J., Geyer, B., Matthias, V., Jalkanen, J.P., Johansson, L. and Fridell, E., 2019. Impact of a nitrogen emission control area (NECA) on the future air quality and nitrogen deposition to seawater in the Baltic Sea region. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 19(3), pp.1721-1752. 10.5194/acp-19-1721-2019

Kasak, K., Pindus, M., Piirmäe, K., 2022. Veetranspordi reostusjuhtumite analüüs ja reostustõrje võimekuse hindamine aastatel 2012-2021 [WWW Document]. URL [https://www.google.com/search?q=Kasak%2C+K.%2C+Pindus%2C+M.%2C+%26+Piirim%C3%A4e%2C+K.+\(2022\).+Veetranspordi+reostusjuhtumite+anal%C3%BC%C3%BCs+ja+reostust%C3%B5rje+v%C3%B5imekuse+hindamine+aastatel+2012-2021.&oq=Kasak%2C+K.%2C+Pindus%2C+M.%2C+%26+Piirim%C3%A4e%2C+K.+\(2022\).+Veetranspordi+reostusjuhtumite+anal%C3%BC%C3%BCs+ja+reostust%C3%B5rje+v%C3%B5imekuse+hindamine+aastatel+2012-2021.&aqs=edge..69i57.331j0j4&sourceid=chrome&ie=UTF-8](https://www.google.com/search?q=Kasak%2C+K.%2C+Pindus%2C+M.%2C+%26+Piirim%C3%A4e%2C+K.+(2022).+Veetranspordi+reostusjuhtumite+anal%C3%BC%C3%BCs+ja+reostust%C3%B5rje+v%C3%B5imekuse+hindamine+aastatel+2012-2021.&oq=Kasak%2C+K.%2C+Pindus%2C+M.%2C+%26+Piirim%C3%A4e%2C+K.+(2022).+Veetranspordi+reostusjuhtumite+anal%C3%BC%C3%BCs+ja+reostust%C3%B5rje+v%C3%B5imekuse+hindamine+aastatel+2012-2021.&aqs=edge..69i57.331j0j4&sourceid=chrome&ie=UTF-8) (accessed 8.29.22).

Klauson, A., & Laanearu, J. (2018). EL merestrateegia raamdirektiivi (2008/56/EÜ) kohane merekeskkonna seisundihinnang teemal pidev veealune müra (D11).

Klauson, A., & Mustonen, M. 2022. Veealuse müra uuring ja seire. Lõpparuanne. Seiretöö kood: ST00002922.

Kotta, J.; Fetissof, M.; Szava-Kovats, R.; Aps, R.; Martin, G. 2020a. Online tool to integrate evidence-based knowledge into cumulative effects assessments: Linking human pressures to multiple nature assets. *Environmental Advances*, 2, 100026.

Kotta, J.; Liversage, K.; Szava-Kovats, R.; Kotta, E.; Martin, G. 2020b. Survetegurite kumulatiivsete mõjude hindamise raamistik. Deliverable 4.1.1. Methodological frame to assess cumulative impacts of anthropogenic pressures on nature assets. Lõpparuanne. Eesti Mereinstituut, Tartu Ülikool.

Kotta, J.; Štökov, S.; Fetissof, M. 2021. Tallinna Sadama keskkondliku mõju ja kasvuhoonegaaside emissiooni hindamine 2019. a. andmete põhjal. Lõpparuanne. Tallinna Tehnikaülikool, Eesti Mereakadeemia.

Kulkarni, K., Goerlandt, F., Li, J., Banda, O.V. and Kujala, P., 2020. Preventing shipping accidents: Past, present, and future of waterway risk management with Baltic Sea focus. *Safety science*, 129, p.104798.

Lauri, V., 2022. Eesti merealal olevad ohtlikumad laevavrakid saavad ohuhinnangu [WWW Document]. ERR. URL

<https://www.err.ee/1608479303/eesti-merealal-olevad-ohtlikumad-laevavrakid-saavad-ohuhinnangu> (accessed 8.29.22).

Maljutenko, I., Hassellöv, I.-M., Eriksson, M., Ytreberg, E., Yngsell, D., Johansson, L., Jalkanen, J.-P., Kõuts, M., Kasemets, M.-L., Moldanova, J., Magnusson, K., Raudsepp, U., 2021. Modelling spatial dispersion of contaminants from shipping lanes in the Baltic Sea. *Marine Pollution Bulletin* 173, 112985. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112985>

MARPOL, 2018. Simplified overview of the discharge provisions of the revised MARPOL Annex V which entered into force on 1 March 2018.

<http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/Garbage/Documents/Simplified%20overview%20of%20the%20discharge%20provisions%20of%20the%20revised%20MARPOL%20Annex%20V.pdf>. (viimati saadaval 2022, august)

Maslov, N., Claramunt, C., Wang, T., Tang, T., 2017. Method to estimate the visual impact of an offshore wind farm. *Applied Energy* 204, 1422–1430. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.05.053>

Moldanová, J., Hassellöv, I.M., Matthias, V., Fridell, E., Jalkanen, J.P., Ytreberg, E., Quante, M., Tröltzsch, J., Maljutenko, I., Raudsepp, U. and Eriksson, K.M., 2022. Framework for the environmental impact assessment of operational shipping. *Ambio*, 51(3), pp.754-769. <https://doi.org/10.1007/s13280-021-01597-9>

Pesce, M., Terzi, S., Al-Jawasreh, R.I.M., Bommarito, C., Calgaro, L., Fogarin, S., Russo, E., Marcomini, A. and Linkov, I., 2018. Selecting sustainable alternatives for cruise ships in Venice using multi-criteria decision analysis. *Science of the total environment*, 642, pp.668-678.

Piirimäe, K., Pihor, K., Rozeik, H., Piirits, M., Poliitikauuringute keskus Praxis, 2016. Mereala planeeringu alusuuring: merekeskkonna ressurside kasutamise saadava majandusliku kasu mudel : lõppversioon 01.12.2016 [WWW Document]. K. URL <https://www.digar.ee/arhiiv/nlib-digar:297371> (accessed 8.29.22).

Pimentel, D., Zuniga, R. and Morrison, D., 2005. Update on the environmental and economic costs associated with alien-invasive species in the United States. *Ecological economics*, 52(3), pp.273-288.

Prinçaud, M., Cornier, A., & Froélich, D. (2010). Developing a tool for environmental impact assessment and eco-design for ships. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*, 224(3), 207–224. doi:10.1243/14750902jeme185

Qin, G., Zhang, P., Hou, X., Wu, S. and Wang, Y., 2020. Risk assessment for oil leakage under the common threat of multiple natural hazards. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(14), pp.16507-16520.

Raudsepp, U., Maljutenko, I., Kõuts, M., Granhag, L., Wilewska-Bien, M., Hassellöv, I.-M., Eriksson, K.M., Johansson, L., Jalkanen, J.-P., Karl, M., Matthias, V., Moldanova, J., 2019. Shipborne nutrient dynamics and impact on the eutrophication in the Baltic Sea. *Science of The Total Environment* 671, 189–207. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.264>

Rhein, M., Rintoul, S. R., Aoki, S., Campos, E., Chambers, D., Feely, R. A., Gulev, S., Johnson, G. C., Josey, S. A., Kostianoy, A., Mauritzen, C., Roemmich, D., and Talley, L. D.: Observations: Ocean, in: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, edited by: Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., and Midgley, P. M., Cambridge University Press, Cambridge, GB, 255–316, 2013.

Reckermann, M., Omstedt, A., Soomere, T., Aigars, J., Akhtar, N., Bełdowska, M., Bełdowski, J., Cronin, T., Czub, M., Eero, M., Hyytiäinen, K. P., Jalkanen, J.-P., Kiessling, A., Kjellström, E., Kuliński, K., Larsén, X. G., McCrackin, M., Meier, H. E. M., Oberbeckmann, S., Parnell, K., Pons-Seres de Brauer, C., Poska, A., Saarinen, J., Szymczycha, B., Undeman, E., Wörman, A., and Zorita, E., 2022. Human impacts and their interactions in the Baltic Sea region, *Earth Syst. Dynam.*, 13, 1–80, <https://doi.org/10.5194/esd-13-1-2022>

Schim van der Loeff, W., Godar, J., & Prakash, V. (2018). A spatially explicit data-driven approach to calculating commodity-specific shipping emissions per vessel. *Journal of Cleaner Production*. doi:10.1016/j.jclepro.2018.09.053

Selin, H., Zhang, Y., Dunn, R., Selin, N. E., Lau, A. K. H.: Mitigation of CO₂ emissions from international shipping through national allocation, *Env. Res. Lett.*, 16, 045009, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abec02>, 2021.

Sustainable Shipping and Environment of the Baltic Sea region (SHEBA) [WWW Document], 2022. URL <https://www.sheba-project.eu/index.php.en> (accessed 8.29.22).

Zuin, S., Belac, E. and Marzi, B., 2009. Life cycle assessment of ship-generated waste management of Luka Koper. *Waste management*, 29(12), pp.3036-3046.

Tapaninen, U., Palu, R., 2022. Recovery of ro-pax ferry traffic from covid-19 under tightening environmental regulations: case Helsinki-Tallinn. *Journal of Shipping and Trade* 7, 10. <https://doi.org/10.1186/s41072-022-00112-x>

Teuchies, J., Cox, T. J., Van Itterbeeck, K., Meysman, F. J., and Blust, R.: The impact of scrubber discharge on the water quality in estuaries and ports, *Environ. Sci. Eur.*, 32, 103, <https://doi.org/10.1186/s12302-020-00380-z>, 2020.

TTÜ Meresüsteemide Instituut, 2016. Eesti mereala survegurite indeksi väljatöötamine ja rakendamine. Lõpparuanne, Tellija: Keskkonnaministeerium, Leping 4-2/16/15, 12.02.2016.

Turner, D. R., Edman, M., Gallego-Urrea, J. A., Claremar, B., Hasselöv, I.-M., Omstedt, A., and Rutgersson, A.: The potential future contribution of shipping to acidification of the Baltic Sea, *Ambio*, 47, 368, <https://doi.org/10.1007/s13280-017-0950-6>, 2018.

United States Environmental Protection Agency, 1999. Phase I uniform national discharge standards for vessels of the armed forces: technical development document.. DIANE Publishing.

Vabariigi Valitsus, 2022. Mereala planeering | Rahandusministeerium [WWW Document]. URL <https://www.fin.ee/riik-ja-omavalitsused-planeeringud/ruumiline-planeerimine/mereala-planeering> (accessed 8.29.22).

Wang, H., Oguz, E., Jeong, B. and Zhou, P., 2018. Life cycle cost and environmental impact analysis of ship hull maintenance strategies for a short route hybrid ferry. *Ocean Engineering*, 161, pp.20-28.

Wankhede, A., 2019. General Overview of Central Cooling System on Ships [WWW Document]. Marine Insight. URL <https://www.marineinsight.com/guidelines/general-overview-of-central-cooling-system-on-ships/> (accessed 8.29.22).

Vierth, I. and Johansson, M., 2020. The impact of alternative environmentally differentiated fairway dues systems in Sweden. *Journal of Shipping and Trade*, 5(1), pp.1-20.

Majandus- ja kommunikatsiooniministri määrus “Laevatatavatel sisevetel liiklemise kord” [WWW Document], 2003. URL <https://www.riigiteataja.ee/akt/258035> (accessed 10.17.22).

Lisad

Tabel L1. Eesti sadamaid külastanud laevade statistika enim levinud laeva tüüpide lõikes 2017-2021.

Allikas: Elektrooniline Mereinfosüsteem, 2022

Laeva tüüp	2017	2018	2019	2020	2021	Kokku
Parvlaev	6499	6323	6261	5702	6091	30876
Segalastilaev	2519	2636	2591	2326	2416	12488
Kemikaalitanker	539	592	522	653	632	2938
Veeremilaev	328	351	623	713	333	2348
Konteinerlaev	441	407	400	335	309	1892
Naftasaaduste tanker	377	402	485	326	291	1881
Matkelaev (kruisilaev)	340	350	343	12	46	1091
Puistlastilaev	162	195	200	211	260	1028
Toornaftatanker	82	110	170	206	197	765
Vedurlaev	125	146	183	130	147	731
Reisilaev	615	2	7	1	2	627
LPG tanker	44	43	73	72	57	289
Kalapüügilaev	3	5	70	113	91	282
Traaler	8	5	46	96	59	214
Muud laevad	15	19	32	10	20	96
LNG tanker	2	0	13	10	40	65
Külmutuslaev	12	14	5	14	17	62
Põhjasüvendaja	1	15	20	14	1	51
Jaht	9	12	14	2	10	47
Tsemendilaev	7	12	4	0	12	35
Raskelastilaev	4	7	8	3	4	26

Laeva tüüp	2017	2018	2019	2020	2021	Kokku
Avamererajatiste teeninduslaev	2	0	13	0	2	17
Punkrilaev	0	7	1	1	5	14
Muud tüüpi kalalaevad	0	3	1	3	6	13
Uurimislaev	4	0	1	1	5	11
Muu sõjaväe laev	6	1	0	3	0	10
Jäämurdja	0	4	1	1	4	10
Varustuslaev	0	1	8	0	0	9
Mereväelaev / mereväe abilaev	1	1	2	0	1	5
Torupaigalduslaev	0	1	4	0	0	5

Tabel L2. Laevandusega seotud heitmed vette

	Laevandusega seotud heitmed vette	Saasteallikas	Keskkonnamõjud ja/või tagajärjed
1	Ballastvesi (European Environment Agency and European Maritime Safety Agency, 2021; HELCOM, 2022; Jalkanen et al., 2020; Maljutenko et al., 2021)	Laevad võtavad ballastvett lasti mahalaadimisel ja tühjendavad oma ballastitanke, kui lasti laevale laaditakse (Jalkanen et al., 2021)	Võõrliigid. Laevade ballastvee ja -setete kaudu võõrliikide leviku ja võõrliikide kujutatavate riskide vähendamiseks võttis Rahvusvaheline Mereorganisatsioon IMO 2004. aastal vastu laevade ballastvee ja -setete kontrolli ning käitlemise rahvusvahelise konventsiooni ehk ballastvee käitlemise konventsiooni, mis jõustus 2017 (International Maritime Organisation, 2022; Jalkanen et al., 2021)

2	Pilsivesi (õli) (European Environment Agency and European Maritime Safety Agency, 2021; Jägerbrand et al., 2019; Jalkanen et al., 2020, 2018a; Maljutenko et al., 2021)	Kondensatsioon ja lekked masinaruumis; laeva suurus (European Environment Agency and European Maritime Safety Agency, 2021)	Nafta ja selle lagunemisel tekkivad ühendid avaldavad mõju kogu ökosüsteemile alates kahjustustest DNA-tasemel kuni muudatusteni elukeskkonnas tervikuna. Pilsivee eraldumine, sõukruvi võlli laagrite määrimine või paakide ebaseaduslik puhastamine, võivad moodustada üle 70% kogu laevandusega seotud õliheitest (Jägerbrand et al., 2019)
3	Jõuseadmete (sõukruvi) määrdeainetest puhastamise vesi (European Environment Agency and European Maritime Safety Agency, 2021; Jägerbrand et al., 2019; Jalkanen et al., 2021; Maljutenko et al., 2021)	Sõukruvi ja masinate tööga seotud jäätmevedelikud (Jalkanen et al., 2021)	
4	Tankide puhastamise vesi (õlisete, jääkõli) (European Environment Agency and European Maritime Safety Agency, 2021; Jägerbrand et al., 2019; Jalkanen et al., 2020, 2018a; Maljutenko et al., 2021)	Paagi puhastuste arv; lastimahutavus (European Environment Agency and European Maritime Safety Agency, 2021)	
5	Heitgaasi puhastussüsteemi vesi (Jägerbrand et al., 2019; Jalkanen et al., 2021, 2018a)	Heitgaasi puhastussüsteemidest pärit madala pH-ga saastunud vesi (Jägerbrand et al., 2019)	Heitgaaside puhastusseadmetega tehtud katsetes on täheldatud aerjalaliste (ehk kopepoodide) suremuse suurenemist ja toitumise vähenemist (Jägerbrand et al., 2019), kuigi mõju on vähene
6	Merepraht või tahke prügi (peamiselt plastik, paber, vanametall) (Jägerbrand et al., 2019)	Laevadel tekkivad tahked jäätmed näiteks klaas, tina, plast, paber (Jägerbrand et al., 2019)	Mereprügi ei ole ainult esteetiline probleem, vaid sellega kaasnevad sotsiaal-majanduslikud kulud, see ohustab inimeste tervist ning avaldab mõju mereorganismidele. Mikroplasti tarbimine võib kahjulikud kemikaalid toiduahelasse. Lisaks on teada, et mereprügi kahjustab elupaiku, nt põhjustab loomadel lämbumist ning

			on üks võimalik võõrliikide edasikandumise viise (HELCOM, 2022)
7	Toidujäätmed (Jalkanen et al., 2021)	Toidujäätmed poodidest, söögikohtadest jne, kariloomad (European Environment Agency and European Maritime Safety Agency, 2021)	Toidujäätmete väljutamine võib põhjustada suurenenud bioloogilist või keemilist hapnikuvajadust, kuna orgaaniline aine laguneb merekeskkonnas. See võib oma toitainete sisalduse kaudu kaasa aidata ka eutrofeerumisele (Jalkanen et al., 2021)
8	Prügi ja muud jäätmed, sh ohtlikud jäätmed (Jalkanen et al., 2021)	Juhuslikult, nt konteineritega koos vette sattunud jäätmed (European Environment Agency and European Maritime Safety Agency, 2021)	Ohtlike jäätmete kogused ei ole kokkuvõtvalt väga suured (European Environment Agency and European Maritime Safety Agency, 2021)
9	Must vesi; reovesi reisilaevadelt (HELCOM, 2022; Jägerbrand et al., 2019; Jalkanen et al., 2021, 2018a; Maljutenko et al., 2021)	Reovesi tuleb parda tualettruumidest (Jägerbrand et al., 2019). Kogus sõltub reisijate arvust pardal; tualettruumide tüüpidest; reisi pikkusest (European Environment Agency and European Maritime Safety Agency, 2021)	Toitainete liigne heide põhjustab veekeskkonna eutrofeerumist (Jägerbrand et al., 2019)
10	Hall vesi (Jägerbrand et al., 2019; Jalkanen et al., 2021, 2018a; Maljutenko et al., 2021)	Reovesi, sealhulgas äravool duširuumidest, köökidest ja pesumajadest (Jägerbrand et al., 2019)	Toitainete liigne heide põhjustab veekeskkonna eutrofeerumist (Jägerbrand et al., 2019)

11	Jahutusvesi (Jägerbrand et al., 2019)	Merevee jahutussüsteem - merevett kasutatakse vahetult masinasüsteemides soojusvahetite jahutusvahendina. Magevee- või keskjahutussüsteem - magevett kasutatakse suletud ahelas masinaruumi masinate jahutamiseks. Pärast masinate jahutamist soojusvahetist naasvat magevett jahutatakse täiendavalt mereveega merevesijahutis (Wankhede, 2019). Merevesi pumbatakse läbi soojusvahetite, kus see neelab soojust ja lastakse seejärel kõrgemal temperatuuril üle parda (United States Environmental Protection Agency, 1999)	On olemas väike võimalus võõrliikide transportimiseks. Lisaks on võimalus, et jahutusvesi, mis heidetakse merre, tekitab termilisi keskkonnamõjusid. Heide keskkonda koosneb merevee jahutussüsteemist merre juhitud jahutusveest koos merevee jahutussüsteemi lahustunud ainetest ja põhjasetetest, mis tuuakse pardale kingstoni kaudu (United States Environmental Protection Agency, 1999)
12	Laevakere kasvumistõrjajad värvid (Jägerbrand et al., 2019; Jalkanen et al., 2021; Maljutenko et al., 2021)	Organismide kuhjumise vältimiseks laevakerele kasutatakse värvides erinevaid kasvumistõrjajaid aineid (Jägerbrand et al., 2019)	Kasvumistõrjajad värvid eraldavad merekeskkonda vaske. TBT põhjustab meretigude soovahetust. Teatud ühendid inhibeerivad organismide fotosünteesi (Jägerbrand et al., 2019)

Tabel L3. Laevandusega seotud heitmed õhku

	Laevandusega seotud heitmed õhku	Saasteallikas	Keskkonnamõjud ja/või tagajärjed
--	----------------------------------	---------------	----------------------------------

1	Lämmastikuühendid (NOx) (HELCOM, 2022; Jägerbrand et al., 2019)	Tekib kütuse põlemisel (Jägerbrand et al., 2019)	Kütuse põlemisel tekkivad SOx- ja NOx-heitmed põhjustavad teadaolevalt mageveesüsteemide hapestumist, ehk "happevihmasid". Lisaks hapestamisele põhjustavad NOx ühendid vee eutrofeerumist lämmastiku sisalduse suurenemise kaudu. NOx on eelkäija maapinnalähedase osooni ja osakeste tekkeks (Jägerbrand et al., 2019)
2	Väävliühendid (SOx) (HELCOM, 2022; Jägerbrand et al., 2019)	Tekib laevakütuste kasutamisel laeva masinates, aga ka seadmetes, näiteks õli küttel töötavad katlad (Jägerbrand et al., 2019)	Kütuse põlemisel tekkivad SOx- ja NOx-heitmed põhjustavad teadaolevalt mageveesüsteemide hapestumist, ehk "happevihmasid" (Jägerbrand et al., 2019)
3	Muud tahked osakesed, mida võetakse arvesse osakeste suuruse järgi (orgaaniline süsinik) (HELCOM, 2022; Jägerbrand et al., 2019)	Vabaneb fossiilkütuste põletamisel või tekib reaktsioonis SOx-ga (Jägerbrand et al., 2019)	Orgaaniliste ühendite kuhjumine võib põhjustada hapnikupuudust (Jägerbrand et al., 2019)
4	Kasvuhoonegaas CO ₂ (HELCOM, 2022; Jägerbrand et al., 2019)	Tekib kütuse põlemisel (Jägerbrand et al., 2019)	CO ₂ heitkogused on seotud keskkonna keemiliste muutustega, nagu ookeanide hapestumine. Ookeani hapestumine mõjutab erinevate lupjuvate liikide, sealhulgas riffe moodustavate korallide, kestade moodustumist, kusjuures kõige kiiremad muutused ja suurimad mõjud on täheldatud polaar- ja troopilistes piirkondades. Lisaks võib pH langus olla suurem piirkondades, kus puhverdava lahustunud anorgaanilise süsiniku kontsentratsioon on väiksem, nagu näiteks Läänemeri (Jägerbrand et al., 2019)
5	Kasvuhoonegaas CH ₄ (metaan)		

6	Lenduvad orgaanilised ühendid (Jägerbrand et al., 2019)	Tekib toornafta käitlemisest kaubana (Jägerbrand et al., 2019)	Naftakomponentide (nt PAH - polüaromaatsed süsivesinikud) allaneelamine või sissehingamine võib mõjutada seede-, hingamis- ja vereringesüsteeme (Jägerbrand et al., 2019)
7	Osoonikihti kahandavad ained (Jägerbrand et al., 2019)	Tuleneb halogeensüsivesinike ulatuslikust kasutamisest külmutusagensina (Jägerbrand et al., 2019)	Külmutusagensite kasutamise kaudu aitab laevandus ka inimtekkelist mõju osoonikihile. Osoonikihi kahanemisest tulenev UVB-kiirguse suurenemine avaldab negatiivset mõju veeliikidele ja võib muuta veekoosluste struktuure (Jägerbrand et al., 2019)
8	Fluoritud kasvuhoonegaasid (F-gaasid) (Interview with Andrus Vaher, Tallink Environmental & Sustainability Officer, 2022; European Commission. Directorate General for Climate Action., 2022)	Kõige levinumad gaasid on fluoroosüsivesinikud (HFC), mida tavaliselt leidub laevade pardal kliima-, jahutus- ja inertgaasi kuivatussüsteemides. Neid võib leida ka tulekustutusseadmetes (European Commission, 2022)	1 kg R-404A (külmutusagensi) atmosfääri paiskumise globaalse soojenemise potentsiaal on võrdne 3922 kg CO ₂ -ga (European Commission, 2022)

Tabel L4. Laevandusega seotud füüsikaline reostus

	Laevandusega seotud füüsikaline reostus	Saasteallikas	Keskkonnamõjud ja/või tagajärjed
--	--	----------------------	---

1	Veealune müra (HELCOM, 2022; Jägerbrand et al., 2019; Jalkanen et al., 2021)	Suurimad müra saastajad on konteineri- ja reisilaevad ning tankerite propellerid (Jägerbrand et al., 2019)	Heli intensiivsust saab hõlpsasti mõõta, kuid heli mõju ei ole paljude loomaliikide puhul hästi mõistetav, mistõttu on veealuse müra juhtimine keeruline ülesanne [3] Ohtlik tsoon on müraallika lähedus, mille ulatuses helirõhk on piisavalt kõrge, et põhjustada elusorganismi kudede kahjustusi, mis kutsuvad esile ajutist kuulmisläve tõusu, alalist kuulmisläve tõusu või veelgi tõsisemaid kahjustusi nagu elusorganismi surm (Klauson & Laanearu, 2018)
2	Tehisvalgus (Jägerbrand et al., 2019)	Kruiisilaevandus (Jägerbrand et al., 2019)	Kruiisilaevandus võib kõrge tehisvalguse taseme tõttu kutsuda esile tundlike mereliikide reaktsioone (eriti öisel ajal). Valgusreostus võib põhjustada bioloogilise mitmekesisuse vähenemist ja elupaikade killustumist või kadumist. Laevadelt või avamere platvormidelt tulev tehisvalgus võib eksitada merelindusid, kes võivad kokku pörgata ehitistega, nälgida või sattuda röövlomade kätte (Jägerbrand et al., 2019)
3	Visuaalne reostus (Maslov et al., 2017)	Liikuvad ja seisvad laevad	Visuaalne reostus laevandusest tulenevate keskkonnamõjude kontekstis on laevade vältimine mereelustiku (peamiselt merelindude ja -imetajate) poolt. Nii on näiteks teada, et merelinnud üldjuhul väldivad peatumist peamistel laevateedel ja ankrusseisvate laevade läheduses ning tihe laevaliiklus suurendab seetõttu ka lindude energiatarvet (Bellebaum et al., 2006; Kaiser et al., 2006).
4	Lainetus ja hoovused (Jägerbrand et al., 2019)	Laevad tekitavad laineid ja hoovusi, mis põhjustavad füüsilisi mõjusid rannikualadele ja vooluveekogudele (Jägerbrand et al., 2019)	Erosiooni tagajärjel surutakse rannajoone taimestik pidevalt veepiirist kaugemale ning puude ja põõsaste juured paljanduvad, mis võib põhjustada nende mahalangemist. (Jägerbrand et al., 2019)

Tabel L5. PlanWise4Blue keskkonda integreeritud loodusväärtuste kaardikihid (2022. aasta jooksul saadaolevate loodusväärtuste andmekihtide hulk oluliselt suureneb, käimasolevate projektide ADRIENNE ja MAREA tulemused vt. <http://adrienne.ut.ee/> ja <http://marea.balticseaportal.net/>)

Indikaatori nimetus	Seotud MSRD indikaator
Mereimetajad (lesilate ruumiline paiknemine)	Hallhülge (D1C2.1) ja viigerhülge (D1C2.2) arvukus; D1C4.1 - D1C4.2 Hallhülge ja viigerhülge levikumustrid
Bentosetoidulised linnud (liikide summeeritud esinemistõenäosus)	D1C2.3 - Veelindude arvukus pesitsusperioodil
Kalatoidulised linnud (liikide summaarsed asustustihedused km2 kohta)	D1C2.3 - Veelindude arvukus pesitsusperioodil
Taimetoidulised linnud (liikide summaarsed asustustihedused km2 kohta)	D1C2.3 - Veelindude arvukus pesitsusperioodil
Lindude rändeteed (võtmetähtsusega rändekoridorid)	MSRD indikaator puudub
Lindude talvitumisalad (talvituvate liikide summaarsed asustustihedused km2 kohta)	D1C2.4 - Talvituvate veelindude arvukus
Räime koelmualad (esinemistõenäosus)	D4C1.1 - Kalakoosluse troofsus; D4C2.3 - Troofiliste gildide vaheline tasakaal
Koha koelmualad (esinemistõenäosus)	D4C1.1 - Kalakoosluse troofsus; D4C2.2 - Röövkalade CPUE; D4C2.3 - Troofiliste gildide vaheline tasakaal

Indikaatori nimetus	Seotud MSRD indikaator
Merisiia koelmualad (esinemistõenäosus)	D4C1.1 - Kalakoosluse troofsus; D4C2.3 - Troofiliste gildide vaheline tasakaal
Mändvetikate elupaiga levikuala (esinemistõenäosus)	D6C5.3 - Elupaigatüübi liivamadalad seisund
Põisadru elupaiga levikuala (esinemistõenäosus)	D6C5.1 - Elupaigatüübi karid seisund
Agariku elupaiga levikuala (esinemistõenäosus)	D6C5.1 - Elupaigatüübi karid seisund
Kõrgemate taimede elupaiga levikuala (esinemistõenäosus; ei sisalda meriheina)	D6C5.3 - Elupaigatüübi liivamadalad seisund
Meriheina elupaiga levikuala (esinemistõenäosus)	D6C5.3 - Elupaigatüübi liivamadalad seisund
Filtreerijate karpide elupaiga levikuala (esinemistõenäosus)	D6C5.1 - Elupaigatüübi karid seisund
Settes elavate merekarpide elupaiga levikuala (esinemistõenäosus)	D6C5.3 - Elupaigatüübi liivamadalad seisund
Loodusdirektiivi elupaigatüübi levikuala - liivamadalad	D6C5.3 - Elupaigatüübi liivamadalad seisund
Loodusdirektiivi elupaigatüübi levikuala - mudased ja liivased laugmadalikud	D6C5.2 - Elupaigatüübi laugmadalikud seisund
Loodusdirektiivi elupaigatüübi levikuala – karid	D6C5.1 - Elupaigatüübi karid seisund

Tabel L6. CMAQ mudeli õhukvaliteedi parameetrite loetelu grupeerituna nende mõjude järgi

Mõju	Parameetri tähis (Species)	Kemikaali nimi (i/k)
Eutrofeerumine	HNO3	Nitric Acid
	HONO	Nitrous Acid
	PAN	Peroxy Acetyl Nitrate
	PM_NO3	Nitrate
	HNO4	Peroxy Nitric Acid (PNA)
	N2O5	Dinitrogen Pentoxide
	NO	Nitrogen Oxide
	NO2	Nitrogen Dioxide
	NO3	Nitrate Radical
	OPAN	Oxydized PAN
	NH3	Ammonia
	PM_NH4	Ammonium
Hapestumine	HCHO	Formaldehyde
	HNO3	Nitric Acid
	HONO	Nitrous Acid
	PAN	Peroxy Acetyl Nitrate
	PM_NH4	Ammonium
	PM_NO3	Nitrate
	PM_SO4	Sulfate
	SO2	Sulfur Dioxide
Muu	PM_ASH	Mineral Ash
	PM_EC	Elemental Carbon
	PM_POA	Primary Organic Carbon