

Survetegurite kumulatiivsete mõjude hindamise raamistik

Deliverable 4.1.1. Methodological frame to assess cumulative impacts of anthropogenic pressures on nature assets.

Jonne Kotta, Kiran Liversage, Robert Szava-Kovats, Emil Kotta,
Georg Martin

Vesrioon 1/31.12.2019

Sisukord

Executive summary	3
Sissejuhatus.....	4
Survetegurite kumulatiivsete mõjude hindamise empiirilise raamistiku loomine	9
Loodud kontseptsiooni üldised põhimõtted.....	9
Survetegurite kumulatiivsete mõjude arvutusalgoritmid.....	10
Võimalikud uurimisteemad.....	16
Kokkuvõte	18
Kasutatud allikad.....	19

Executive summary

The dynamic nature of marine systems presents a formidable challenge for environmental management and maritime spatial planning, especially when planning is primarily ecosystem-based. Even relatively simple ecological systems display high levels of fluctuation in process and structure that are oscillatory or even chaotic. Development of frameworks that can provide realistic predictions in highly dynamic systems is a current priority, especially when complexity arises from cumulative impacts. Approaches emphasising cumulative impacts are very important in the Baltic Sea region, which is characterised by intensifying and diversifying human pressures.

Cumulative impacts are defined as impacts on the environment that result from several human activities and pressures acting together, as caused by past, present or any possible foreseeable actions in future and cumulative impact assessment is a way to evaluate such effects. Importantly, such assessments have to be based on solid ecological understanding of cause-effect relationships between pressures and biota and the ability to deliver estimates of associated uncertainties. As the total effect is not the sum of separate effects but interactions overwhelmingly prevail in nature, it is very important that the synergistic effects of different pressures on nature assets are also quantified and integrated into the assessment schemes. The existing assessment schemes in the Baltic Sea region as well in other European waters, however, are not yet able to incorporate such complexity.

Here, we adopted a procedure involving: 1) meta-analysis of published or raw data that indicated separate and/or synergistic impacts (either from experimental manipulations or ecosystem changes observed before and after impact) and 2) linking the impact data (effect-size estimates) and existing spatial prediction of different nature assets into an cumulative impact assessment framework. Some of these pressures are largely manageable and some are not (e.g. non-indigenous species) and in order to acknowledge the existing unmanageable pressures, the developed assessment scheme considers the cumulative impacts of manageable pressures in the context of unmanageable pressures. The current report shows in detail how to combine spatial patterns of human activities, distribution modelling of nature assets and meta-analysis of published or raw data into a cumulative impact assessment tool.

The ongoing Estonia – Russia Cross Border Cooperation Programme 2014-2020 project ADRIENNE provides in-depth analysis of cumulative impact assessment in neighbouring countries (Finland and Russia) and thereby enabled to harmonize our activities with other similar Baltic Sea initiatives. Moreover, as the current task of the RITA project involved 3 manmonths for all its activities (building up a theory, carrying out extensive literature review, running statistical analyses), the ADRIENNE project also supported the RITA project through literature review and statistical analyses.

Sissejuhatus

EL Merestrateegia Raamdirektiivi (MSRD) kohaselt on merekeskkond väärtuslik pärand, mis vajab kaitset, säilitamist ja võimaluse korral taastamist lõppeesmärgiga hoida alal bioloogilist mitmekesisust ning kindlustada ökoloogiliselt mitmekesised, dünaamilised, puhtad, terved ja produktiivsed ookeanid ja mered. MSRD täitmine põhineb ökosüsteemsel lähenemisel, kuna vaid sellisel lähenemisel on võimalik vältida inimtegevusest lähtuvaid keerukaid ebasoovitavaid tagajärgi looduskeskkonnale. Ökosüsteemipõhine lähenemine seab esikohale mereökosüsteemide kasutamise, kuid selliselt, et ökosüsteemide struktuur ja funktsioonid säilivad ning mereressursside kasutamine oleks jätkusuutlik. Sinise majanduskasvu strateegia rõhutab vajadust rakendada mere kasutamata ressursid uute töökohtade loomise ja majanduskasvu huvides selliselt, et oleks kaitstud bioloogiline mitmekesisus ning säilitatud ökosüsteemi teenused, mida pakuvad meile terved mere- ja ranniku ökosüsteemid. Eelpoolkirjeldatud tark meremajandamine eeldab operatiivse andme- ja teadmispõhise tööriista olemasolu, mis suudab usaldusväärselt hinnata erinevate inimetegevuste potentsiaalselt mõju merekeskkonnale.

Inimtegevus on Läänemeres muutumas üha intensiivsemaks ning selle olemus pidevalt mitmekesistub. Kiirete muutuste taustal on tekkimas täiesti uued merekeskkonda ümber kujundavad mehhanismid, mille sisu on teadusele veel ebaselge, kuid mis vääriwad väga suurt tähelepanu, kuna ohustatud on ökosüsteemide mitmekesisus, terviklikkus ja toimimine. Mereökosüsteemide tervikliku majandamise käigus tuleb teadlikult vältida erinevate merekasutuste jaoks ebasobivat ruumieraldust ning selle läbi vähendada mere ökosüsteemidele avalduvat survet. Selle eesmärgi täitmine pole aga lihtne, kuna ökosüsteemide mitmekesiseid tagasiside mehhanisme ei ole võimalik kirjeldada lihtsate prognoosimudelitega ja paljude keskkonnamõju aspektide kohta on teaduslik informatsioon endiselt üsna puudulik.

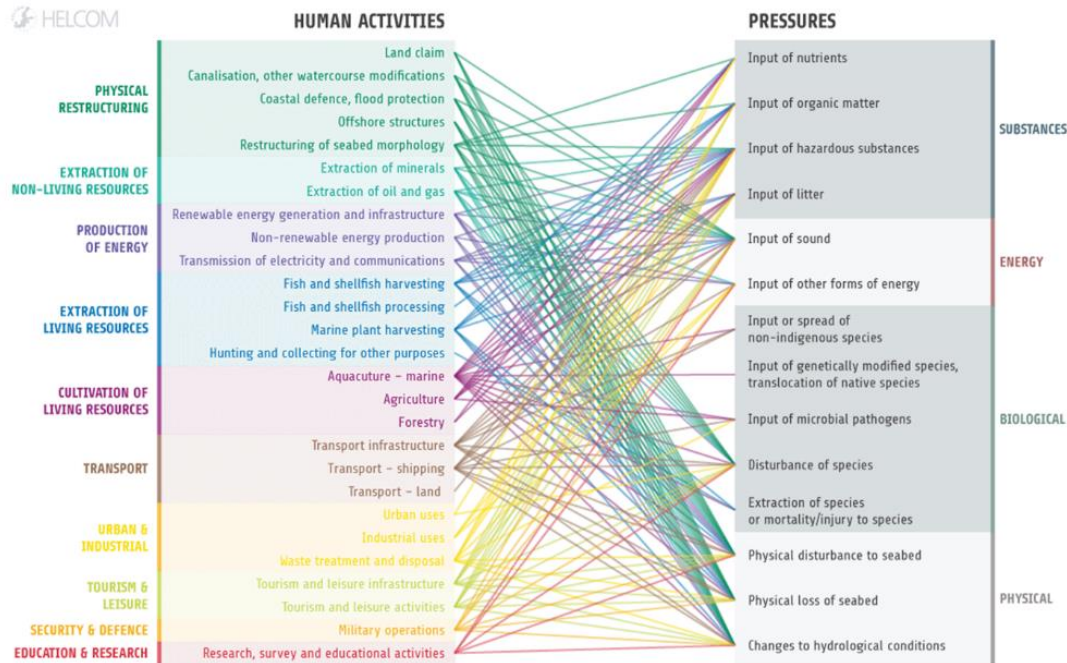
Inimtekkeliste survegurite kumulatiivsete mõjude analüüs võimaldab süsteemselt analüüsida inimtegevuste mõju looduskeskkonnale. Kumulatiivset mõju defineeritakse siin kui erinevate inimtegevuste ja nendest inimtegevustest tulenevate survete koosmõju ökosüsteemidele. Usaldusväärsete prognooside saamiseks peab kumulatiivsete mõjude hindamine lähtuma alusteadmistest erinevate survegurite ja loodusväärtuste vahelistest põhjus-tagajärg seostest. Veelgi enam, selline teoreetiline raamistik peab võimaldama eritüübiliste ja keerukate

vastastikmõjude kirjeldamist, kuna survetegurite mõju elustikule ei avaldu üldjuhul aditiivselt (üksikelementide liitmise kaudu), vaid on kirjeldatav keerukate interaktsioonidega.

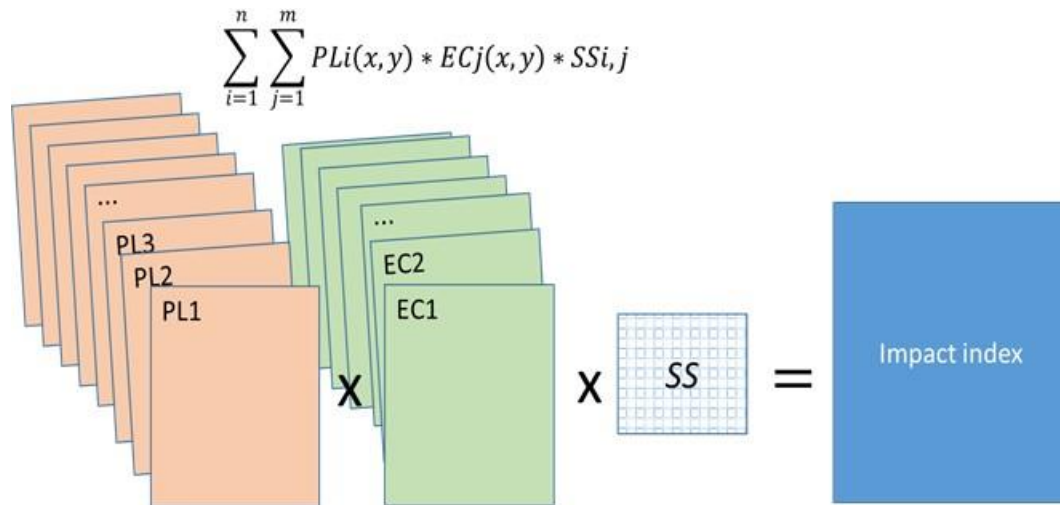
Mere ökosüsteemide seisundit mõjutavad nii maismaal kui Läänemeres toimuvad protsessid ja mõjurid, olulisim neist inimtegevus. TTÜ Meresüsteemide Instituut (2016) analüüsis erinevatest majandussektoritest lähtuvate survetegurite mõju merekeskkonnale ja nende võimalikke muutusi aastani 2020. Eesti merenduspoliitikas 2012–2020 jagatakse meremajandus viieks põhisektoriks: sadamate majandamine ja sellega seotud logistika, sõitjate- ja kaubavedu, laevaehitus ja -remont, kalandus ning mereturism. Aastaks 2020 oodatakse kõikides merendusega seotud valdkondades kas taseme püsimist või pigem kasvu. Maismaalt lähtuv surve on põhjustatud eelkõige põllumajandusest ja linnade-asulate ühiskanalisatsioonist. On tõenäoline, et hetke majandus- ja kasutustrendide jätkumisega kaasneb paratamatult ka keskkonnamõjude suurenemine, kusjuures Eesti merekeskkonna seisundit mõjutavad eelkõige sadamad, kaubavedu ja kalandus ning maismaalt jõgede ja reovee puhastusseadmete kaudu sisenevad toitained. TTÜ Meresüsteemide Instituudi (2016) analüüsi tulemusel valmis Eesti mereala survetegurite/koormuste indeks, mille põhjal on võimalik lihtsalt ja arusaadavalt Eesti merealal kirjeldada inimtegevuste survete intensiivsust. **Inimtegevuste survete kaartidest aga ei piisa, et hinnata inimtegevuste mõju ulatust looduskeskkonnale. Iga inimtegevus avaldab erinevatele loodusväärtustele erinevat mõju ja tihti avalduvad sellised mõjud ka kohaspetsiifiliselt. Sellist keskkonnamõjude mitmekesisust on vajalik põhjalikult uurida, et oskaksime maandada inimtegevustest tingitud negatiivseid keskkonnamõjusid.**

HELCOM'i ArcGis Model Builderi keskkonnas loodud rakendus (HELCOM, 2018) 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 1**). 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 2**).

HELCOM'i ArcGis Model Builderi tööriist on hea algatus hindamaks ühtsetel alustel Läänemere piirkonna inimtekkeliste survetegurite keskkonnamõju. Kuid nagu ikka esimeste lahenduste puhul, on ka selle tööriista arendamisel tehtud kvaliteedis liigselt järeleandmisi ning arvutusalgortimide võime kirjeldada ökosüsteemide tagasiside mehhanisme on väga piiratud. Selline lähenemine võimaldab vaid väga üldistatud kujul tuvastada piirkondi, kus inimtekkeliste survete intensiivsus on suurim, kuid keskkonnamõjude prognoosid on sõltuvalt esinevast survetegurite kombinatsioonist väga oluliselt üle- või alahinnatud.



Joonis 1. Erinevatest inimtegevustest (human activities) lähtuvad surved (pressures) looduskeskkonnale (HELCOM, 2018).



Joonis 2. Inimtekkeliste survetegurite kumulatiivse keskkonnamõju arvutamine HELCOM'i käsitluses (HELCOM, 2018): PL = surveteguri väärtus, EC = ökosüsteemi elemendi väärtus, SS = loodusväärtuse tundlikkus surveteguri suhtes.

HELCOM'i kumulatiivsete keskkonnamõjude hindamise meetodika suurimateks puudusteks on järgmised aspektid:

1. Arvutusalgoritm 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 meetodika 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 arvutusalgoritmide 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 suure osas loodusväärtuse ohtrusest ruumpunktis. 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 inimõjude foonil nt. vetika- ja/või karbikasvatuse kasutust kalakasvatuste negatiivse keskkonnamõju leevendamisel.

Selleks, et parandada olemasolevat olukorda, töötasime käesoleva projekti käigus välja uude meetodika, mille puhul kumulatiivsete mõjude hindamine lähtub teaduskirjanduses publitseeritud ja/või andmebaasidest arvatavatest kvantitatiivsetest alustadmistest erinevate survetegurite ja loodusväärtuste vahelistest põhjus-tagajärg seostest. Sellest tulenevalt

võimaldab meie meetodika arvutusalgoritmidesse 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. arvutusalgoritmi on võimalik lihtsalt täiendada uute teadmistega uutest surveteguritest ja nende mõjudest loodusväärtustele.

Survetegurite kumulatiivsete mõjude hindamise empiirilise raamistiku loomine

Loodud kontseptsiooni üldised põhimõtted

Väljatöötatud kumulatiivse keskkonnamõjude hindamise raamistik koosneb järgnevatest komponentidest:

1. *Loodusväärtuste sisendina kasutatakse merestrateegia raamidirektiivi valitud tunnuste indikaatorid või nendega seotud loodusväärtuste modelleeritud andmekihi.*
2. *Inimmõju sisendina kasutatakse tänapäevaseid survetegureid (nt. TTÜ Meresüsteemide Instituut, 2016) või tulevikku planeeritud inimtegevusi (nt. mereruumi planeerimise käigus tehtud ettepanekuid).*
3. *Mõjumaatriks, millesse on koondatud teadmised erinevate inimtegevuste potentsiaalsest keskkonnamõjust.*
4. *Arvutuseeskiri, mis kirjeldab, kuidas määratleda erinevate inimtegevuste kumulatiivset mõju ning mõjude usaldusväärsust mereruumis.*

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

Uurimisteema 4.1. „Survetegurite kumulatiivse mõju hindamise raamistiku ja mõjude arvutuste algoritmide loomine“ on jagatud kaheks loogiliseks etapiks: (4.1.1.) Survetegurite kumulatiivsete mõjude hindamise empiirilise raamistiku loomine (Methodological frame to assess cumulative impacts of anthropogenic pressures on nature assets) ja (4.1.2.) Veebipõhine tööriist hindamaks survetegurite kumulatiivset mõju loodusväärtustele (Online tool for assessing cumulative impacts of multiple pressures on key nature assets).

Käesolev aruanne kirjeldab teema „Survetegurite kumulatiivse mõju hindamise raamistiku ja mõjude arvutuste algoritmide loomine“ esimese etapi tulemusi. Aruandes kirjeldame detailselt survetegurite kumulatiivsete mõjude arvutusalgoritme so. kuidas on võimalik ühtsetel alustel olemasolevate andembaasidele ja teaduskirjandusele toetudes inimtegevuste

keskkonnamõjusid matemaatiliselt arvutada ning kuidas saame määratleda selliste mõjude statistilist määramatust. Tegevus paigutub eelpool toodud kumulatiivse keskkonnamõjude hindamise raamistiku komponendi 4 alla.

Uurimisteema teises osas „Veebipõhine tööriist hindamaks survetegurite kumulatiivset mõju loodusväärtustele“ (valmib 2020. aasta lõpuks) arendatakse väljatöötatud metoodika põhjal veebipõhine graafiline näidisrakendus võimaldamaks meremajandajatel ja mereruumi planeerijatel läbi mängida erinevaid inimkasutuse stsenaariume ning hinnata selliste stsenaariumite potentsiaalset keskkonnamõju. Uurimisteema teise etapi tegevus paigutub eelpool toodud kumulatiivse keskkonnamõjude hindamise raamistiku komponentide 1–3 alla. Teise etapi tegevuse käigus seotakse käesolevas aruandes kirjeldatud matemaatiline lähenemine konkreetse rakendusega so. kirjeldatakse sisendandmeid (loodusväärtusi, inimtegevusi, metaanalüüside käigus kogutud inimsurvete keskkonnamõju) ning loodud veebitööriista funktsionaalsust.

Veebipõhise portaali loomisel tehakse aktiivset koostööd Eesti-Vene koostööprogramm 2014-2020 projekti ADRIENNE'ga, mis võimaldab mõjualgoritmidesse kaasata naabermaade (Soome, Venemaa) alusandmestikku ja kogemust ning viia mereRITA projektis loodud kumulatiivsete mõjude hindamise kontseptsioon ja praktiline teostus HELCOM'i inimtegevuste keskkonnamõjude hindamise metoodikatesse. Pan Baltic Scope projekti raames (<http://www.panbalticscope.eu/>) oleme juba tutvustanud meie lähenemist ning nendel kohtumistel on HELCOM avaldanud selget soovi meie lahendust (arvutusalgoritmi ja veebipõhist rakendust) integreerida oma järgmise põlvkonna kumulatiivsete mõjude hindamise tööriista.

Survetegurite kumulatiivsete mõjude arvutusalgoritmid

Survetegurite kumulatiivsete mõjude hindamiseks kasutasime metaanalüütilist lähenemist, mis võimaldab olemasolevatest andmebaasidest ja publitseeritud teadusartiklitest välja noppida erinevate inimtegevuste eraldi- ja koosmõju erinevatele loodusväärtustele (Borenstein et al., 2009). Sellisel lähenemisel on võimalik keskkonnamõju hindamiseks kasutada suuremat osa piirkondlikest vaatlustest ja eksperimentaaluuringutest. Seejärel tuleb siduda olemasolevad modelleeritud loodusväärtuste andmekihid väljatöötatud arvutusalgoritmidega (so. teadmise, kuidas erinevad inimkasutused ja kasutuste intensiivsus potentsiaalselt mõjuvad loodusväärtustele konkreetsetes merepiirkonnas). Kumulatiivsete keskkonnamõjude hindamisel tuleb igas ruumipunktis esiteks määratleda seal esinevad erinevad surved ja loodusväärtused ning seejärel kasutada väljatöötatud arvutusalgoritme, et hinnata üksikust survetegurist või

erinevate survetegurite kombinatsioonidest tulenevat keskkonnamõju konkreetses ruumipunktis esinevatele erinevatele loodusväärtustele (joonis 3).

Väljatöötatud inimtegevuste kumulatiivsete mõjude hindamise kontseptsioon käsitleb loodusväärtustena selliseid keskkonnaandmeid, millel on püsiv asukoht ning mida kasutatakse Merestrateegia Raamdirektiivi tunnuste indikaatoritena. Inimtegevuste keskkonnamõjude hindamise alustalaks on faktilistele andmetele toetuv mõjumaatriks, milles kirjeldatakse matemaatilisi seoseid erinevate inimkasutuste intensiivsuse ja keskkonnamõju ulatuse vahel (täpsed arvutusalgoritmid on valemite näol toodud allpool). Leitud seosed võtavad arvesse piirkondlikku elustiku iseloomu.

Varasemad kumulatiivsete keskkonnamõjude hindamise meetodid ei käsitle erinevate survetegurite interaktsioone ehk vastastikmõjusid. Käesolev meetodika võimaldab mõjude kombineerumist summeerumise, kompenseerimise ja muude vastastikmõjude kaudu. Siit tulenevalt saame analüüsida manageeritavate survetegurite (tuuleparkide ja kalafarmide rajamine) mõju mittemanageeritavate survetegurite (võõrliikide esinemise) mõjude kontekstis. Näiteks saab võrrelda tuuleparkide või kalafarmide rajamise keskkonnamõju võõrliikide massesinemise ja hõreda asustuse korral. Selline analüüs võimaldab vältida planeeringulahendusi, mille korral võõrliigid võimendavad tuuleparkide või kalafarmide rajamise negatiivset keskkonnamõju.

Loodud kumulatiivse mõjude hindamise meetodiline raamistik on dünaamiliselt täiendatav, seda nii alusandmete kihtide osas kui ka inimkasutuse interaktiivsete mõjude maatriksi osas. Kumulatiivsete mõjude hindamise meetodika võimaldab erinevatel huvirühmadel läbi mängida erinevaid ruumialduse stsenaariume ning hinnata eri stsenaariumite potentsiaalse keskkonnamõju ulatust.

Merekasutuste ja survetegurite kohaspetsiifiliste mõjude hindamiseks sobivad enim Merestrateegia Raamdirektiivi mere hea keskkonnaseisundi Tunnuse 1 (bioloogiline mitmekesisus) ja Tunnuse 6 (merepõhja terviklikkus) alla kuuluvad indikaatorid. Tunnuse 3 (töenduslikel eesmärkidel kasutatavad kalapopulatsioonid) puhul lähtutakse ruumilist dimensiooni omavatest töenduslike kalade koelmualade kaardikihtidest. Hetkel ei ole võimalik suurt osa Merestrateegia Raamdirektiivi tunnuste indikaatoritest otseselt kasutada kumulatiivsete mõjude hindamise raamistikus, kuna nende indikaatorite kohta ei ole publitseeritud kaarte, kus Eesti mereala iga 1 km² suuruse ala kohta oleks teada indikaatori väärtus. Selleks, et tagada maksimaalne ühildatavus loodud kumulatiivsete mõjude hindamise meetodika ja Merestrateegia Raamdirektiivi lähenemise vahel kasutame oma analüüsidest Meresstrateegia Raamdirektiivi indikaatorite aluseks olevaid loodusväärtuste andmekihte.

Järgnevalt kirjeldame matemaatiliselt, kuidas leidsime andmebaasidest ja olemasolevast teaduskirjandusest erinevatest inimtegevustest lähtuvate survete mõju erinevatele loodusväärtustele ning kuidas hindasime selliste mõjude määramatust.

Esmalt tuleb arvutada algallikatest (teaduskirjandusest, andmebaasidest) bioloogilise tunnuse keskväärts uuritava inimtegevuse surve e_i (või survete kombinatsiooni) ja surve puudumise korral e_c . Seejärel tuleb saadud keskväärtsused logaritmidada.

$$E_i = \ln(e_i) \text{ ja } E_c = \ln(e_c) \quad (1)$$

Üksiku uuringu mõju (E_S) on määratletav uuritava inimtegevus(t)e mõju (E_I) ja kontrolli (E_C) keskväärtsuste erinevusena:

$$E_S = E_I - E_C \quad (2)$$

Samamoodi sõltub üksiku uuringu määramatus (U_S) inimtegevus(t)e mõju (U_I) ja kontrolli (U_C) 95% usaldusvahemikust:

$$U_S = \sqrt{U_I^2 + U_C^2} \quad (3)$$

Vajadusel saab 95% usaldusvahemiku (U) arvutada ka standardhälbe (SD) või standardvea (SE) põhjal:

$$U = SD * t_{0.05(2),N-1} / \sqrt{N} \quad (4)$$

$$U = SE * t_{0.05(2),N-1} \quad (5)$$

, kus N on proovide arv ja $t_{0.05(2),N-1}$ on t-skoor

Allpool kirjeldame erinevaid võimalusi inimtegevus(t)e surve mõju ja selle määramatuse arvutamiseks. Erinevad lähenemised on vajalikud seetõttu, et alusandmete iseloom on tihti erinev ja/või teaduskirjanduses ei sisaldu alati kogu vajalik informatsioon. Sõltuvalt publitseeritud statistikute iseloomust tuleb konkreetse lahenduse jaoks kasutada kõige sobivamat lähenemist.

Versioon 1: Mõjude arvutamine algandmetest, milles ei esine nullväärtusi

$$E = (\sum \ln x) / N \quad (6)$$

, kus x on valimi väärtused ja N on proovide arv.

U arvutatakse võrrandi (4) abil võrrandi (6) tulemustest.

Versioon 2: Mõjude arvutamine algandmetest, milles esinevad nullväärtused

$$E = (\sum \ln(x + \sqrt{x^2 + 1}))/N \quad (7)$$

U arvutatakse võrrandi (4) abil võrrandi (7) tulemustest.

Versioon 3: Teadusartiklist ekstraheeritud logaritmitud andmed

E on antud, vajaduse korral arvutatakse U kasutades võrrandit (4) või (5).

Versioon 4: Teadusartiklist ekstraheeritud aritmeetilised andmed, mille puhul mõlema esitatud keskmise (e_i ja e_c) väärtus on suurem nullist

$$E = \ln \bar{x} - \frac{1}{2} \ln \left(\frac{SD^2}{\bar{x}^2} + 1 \right) \quad (8)$$

, kus \bar{x} on esitatud keskmine, SD on selle standardhälbe. Vajadusel arvutatakse SD võrranditega (4) või (5).

$$U = \sqrt{\frac{\ln\left(\frac{SD^2}{\bar{x}^2} + 1\right)}{N}} * t_{0.05(2), N-1} \quad (9)$$

Versioon 5: Teadusartiklist ekstraheeritud aritmeetilised andmed, mille puhul üks esitatud keskmistest = 0

Kui keskmine = 0, siis $E = 0$, $U = 0$.

Vastasel juhul kasutada võrrandeid (9) ja (10) \bar{x}_i ja SD_i arvutamiseks.

$$\bar{x}_i = \exp(\ln(\bar{x} + \sqrt{\bar{x}^2 + 1})) \quad (10)$$

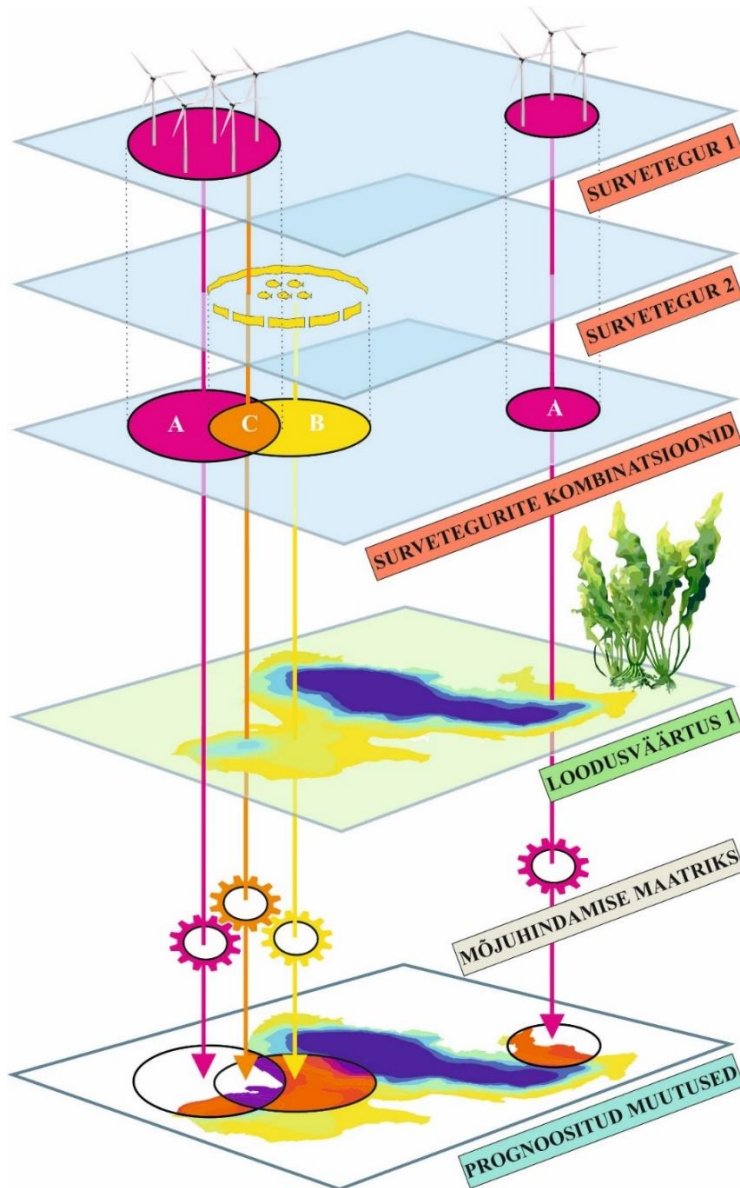
$$SD_i = \exp(\ln(SD + \sqrt{SD^2 + 1})) \quad (11)$$

Uuringute (n) netomõju (E_n) ja selle määramatus (U_n) on arvutatav järgnevalt:

$$E_n = \sum E_s / n \quad (12)$$

$$U_n = \sqrt{\sum U_S^2} / n$$

(13)



Joonis 3. Inimtekkeliste survetegurite kumulatiivse keskkonnamõju arvutamine kahe erineva inimtegevuse näitel. Kumulatiivsete keskkonnamõjude hindamisel tuleb igas ruumipunktis esiteks määratleda seal esinevad erinevad surved ja loodusväärtused ning seejärel kasutada väljatöötatud arvutusalgortime, et hinnata surveteguri(te)st tulenevat keskkonnamõju

14

konkreetses ruumpunktis esinevatele loodusväärtustele.

Mõjuhindamise maatriksi teoreetilised alused ehk arvutusvalemid on välja toodud tekstis. Antud ruumiline lähenemine võimaldab surveegurite üksikmõjude (vt. ala A ja B) ja interaktiivse mõjude avaldumist (vt. ala C), arvestab loodusväärtuste ohtrusega ning sellest tulenevalt võimaldab kvantitatiivselt hinnata kumulatiivsetest inimsurveetest tulenevat loodusväärtuste kadu/lisandumist uurimisalal.

Inimtekkeliste surveegurite kumulatiivsete keskkonnamõjude hindamise arvutusmetoodikasse on hetkel integreeritud allpooltoodud loodusväärtuste andmekihid ja inimtegevused. Nimekiri pole lõplik ning tegevuse 4.1.2. „Veebipõhine tööriist hindamaks surveegurite kumulatiivset mõju loodusväärtustele“ käigus on seda vajadusel võimalik täiendada.

Loodusväärtused:

bentosetoidulised linnud
kalatoidulised linnud
lindude rändeteed
lindude talvitumisalad
räime koelmualad
koha koelmualad
merisiia koelmualad
põisadru elupaik
agariku elupaik
kõrgemate taimede elupaik
põhjataimede ja -loomade liigirikkus
filtreerijate karpide elupaik
meriheina elupaik
hülged
LD elupaigatüüp - liivamadalad
LD elupaigatüüp - mudased ja liivased laugmadalikud
LD elupaigatüüp - karid

Inimtegevuse surved:

tuulepark
allveekaablid
liiva kaevandamine
süvendamine
sadamad
tehnorannad

laevandus
töenduslik kalapüük
vetikapüük
kalakasvatus
uudsed vesiviljelused (vetika- ja karbikasvatused)
turism
militaaralad
munitsipaalsed hetitvee väljalaske kohad
jõgedest tulev toitainete koormus
vöörligid (ümarmudil ja rändkrabi)

Kui analüüsi ruumiliseks resolutsiooniks võtta 1 km², siis inimtegevuste kumulatiivsete mõjude arvutus kogu Eesti mereala kohta võtab praeguste serverite arvutusvõimsuste juures aega umbes 10 minutit.

Võimalikud uurimisteemad

Käesoleva projekti käigus töötati välja uudne metoodika, mille puhul kumulatiivsete mõjude hindamine lähtub teaduskirjanduses publitseeritud ja/või andmebaasidest arvatavatest kvantitatiivsetest alusteadmistest erinevate survetegurite ja loodusväärtuste vahelistest põhjustagajärg seostest. Sellest tulenevalt võimaldab loodud metoodika koondada arvutusalgoritmidesse suurema osa piirkondlikest vaatlustest ja eksperimentaaluuringutest, mis demonstreerivad erinevate survetegurite eraldi- ja koosmõju erinevatele loodusväärtustele.

Kuna teaduskirjanduse hulk, mis käsitleb erinevate survetegurite interaktiivset mõju Läänemere loodusväärtustele, on väga suur, siis esindusliku survetegurite mõjumaatriksi loomiseks ei piisa vaid käesoleva projekti vahenditest. Probleemile pakub lahendust koostöö Eesti-Vene koostööprogramm 2014-2020 projekti ADRIENNE'ga, mis vajab sisendit inimtegevuste kumulatiivsete survete keskkonnamõju hindamise teoreetilise raamistiku osas (loodud RITA projekti toel) ning mille vahenditega on võimalik kokku koondada kogu olemasolev teave survetegurite mõjude kohta. Selline ühistegevus võimaldab mõjualgoritmidesse kaasata naabermaade (Soome, Venemaa) alusandmestikku ja kogemust ning viia mereRITA projektis loodud kumulatiivsete mõjude hindamise kontseptsioon ja praktiline teostus HELCOM'i inimtegevuste keskkonnamõjude hindamise metoodikatesse. Veelgi enam, Pan Baltic Scope

projekti raames (<http://www.panbalticscope.eu/>) oleme juba tutvustanud meie lähenemist ning nendel kohtumistel on HELCOM avaldanud selget soovi meie lahendust (arvutusalgoritmi ja veebipõhist rakendust) integreerida oma järgmise põlvkonna kumulatiivsete mõjude hindamise tööriista.

Kuna viimastel aastakümnetel on inimtegevuste surved Läänemere regioonis oluliselt mitmekesistunud, siis puuduvad osade survetegurite kombinatsioonide kohta (nt. mikropastid, suuremastaapsed vesiehitused, võõrliigid, karbi- ja vetikafarmid) alusteadmised, kuidas need mõjutavad erinevaid loodusväärtusi. Käesoleval hetkel on selliste survetegurite ja loodusväärtuste kombinatsioonide puhul kasutatud mõjumaatriksis suures osas ekspertarvamust, kuid prognooside parandamiseks tuleks Läänemere regioonis algatada (eksperimentaalseid) alusuuringuid, et määratleda selliste survetegurite interaktiivset keskkonnamõju.

Vaja oleks tagada parem ühildatavus merekeskkonna seisundi hindamise aluseks olevaid MSRD Tunnuste indikaatorite, seire ja käesoleva RITA projekti käigus loodud survetegurite kumulatiivsete mõjude hindamise meetodika. Selline arendustöö võimaldaks keskkonnaseisundit määratleda planeeringu mõistes olulistes (so. väiksemates) ruumilistes mastaapides. Vastavalt Planeeringu Direktiivile on merealade ruumilise planeerimise kontekstis kohustus kasutada HKS-i hindamiseks sobivaid indikaatoreid, et vältida keskkonnavaenulikku merekasutuste ruumialadust. Olemasolevate HKS-i indikaatorite kohta ei ole publitseeritud kaarte, kus Eesti mereala iga 1 km² suuruse ala kohta oleks teada indikaatori väärtus. Sellest tulenevalt ei ole võimalik läbi nende indikaatorite hinnata erinevate merekasutuste ja survetegurite kohaspetsiifilist mõju mereelustikule. Näiteks antakse enamike indikaatorite alusel kogu Liivi lahe kohta vaid üks seisundihinnang, kuid ei iseloomustata Liivi lahe erinevate ruumiosade olukorda. Sama uuring peab andma ka juhised nende indikaatorite praktilise kasutuse kohta (HKS-i piirid ja seireandmestiku allikas). Uuringu läbiviimisel ja vastava seire algatamisel on võimalik planeeringute mõju hinnata MSRD Tunnuste indikaatorite kaudu nagu seda eeldab Planeeringudirektiiv. Praegu lähtub meie loodud meetodiline raamistik MSRD tunnuste indikaatorite aluseks olevast keskkonnainfost ning tehtud hinnangutel pole sellist keskkonnapoliitilist tähendust kui MSRD Tunnuste indikaatoritel. Väljatöötatud meetodika alusel tehtud järeldused keskkonnamõjude ulatuse kohta on aga suures plaanis siiski õiged (järelduste määramatus sõltub alusandmete täpsusest).

Kokkuvõte

RITA projekti käigus töötati välja meetodika, mis võimaldab hinnata erinevate survetegurite kumulatiivset mõju Eesti mereala erinevatele loodusväärtustele. Loodusväärtustest käsitletakse selliseid keskkonnaandmeid, millel on püsiv asukoht ning mida kasutatakse Merestrateegia Raamdirektiivi tunnuste indikaatorite loomisel. Survetegurite kumulatiivsete mõjude hindamise alustalaks on faktilistele teadusandmetele toetuv mõjumaatriks, milles kirjeldatakse matemaatilisi seoseid erinevate inimtegevuste survete ja keskkonnamõju ulatuse vahel. Leitud seosed võtavad arvesse piirkondlikku elustiku iseloomu. Kasutatud meetodika võimaldab mõjude kombineerumist summeerumise, kompenseerimise ja muude vastastikmõjude kaudu. Loodud kumulatiivse mõjude hindamise meetodiline raamistik on dünaamiliselt täiendatav, seda nii alusandmete kihtide osas kui ka inimkasutuse interaktiivsete mõjude maatriksi osas.

Loodud meetodikat testitakse Eesti merealade ruumilise planeeringu käigus, kus hinnatakse planeeringu mõistes olulisemate inimtegevuste kumulatiivset mõju valitud loodusväärtustele. Kumulatiivsete mõjude hindamise meetodika võimaldab erinevatel huvirühmadel läbi mängida erinevaid ruumialduse stsenaariume ning hinnata eri stsenaariumite potentsiaalse keskkonnamõju ulatust. Väjatöötatud inimtegevuste survetegurite kumulatiivsete mõjude hindamise meetodikat tutvustati Rahandusministeeriumile (5.11.2019 koosolek Rahandusministeeriumis) ja Läänemeremaade planeerijatele (PanBalticScope projektikoosolek 23–25.09.2019 <http://www.panbalticscope.eu/>). Lisaks on RITA projekti toel esitatud teadusajakirjadesse kaks artiklit, milles on kirjeldatud meie uudset lähenemist inimsurve kumulatiivsete mõjude hindamisel. Samades teadusartiklites on antud ülevaade ka teistest Euroopas kasutusel olevatest kumulatiivsete keskkonnamõjude hindamise tööriistadest (Depellegrin et al. submitted manuscript; Galparsoro et al. submitted manuscript).

Kasutatud allikad

- Borenstein, M.; , Hedges, L.V.; Higgins, J.P.T.; Rothstein, H. 2009. Introduction to Meta-Analysis. Chichester, Wiley.
- Depellegrin, D.; Hansen, H. S.; Schrøder, L.; Bergström, L.; Romagnoni, G.; Steenbeek, J.; Gonçalves, M.; Carneiro, G.; Hammar, L.; Pålsson, J.; Schmidtbauer Crona, J.; Hume, D.; Kotta, J.; Menegon, S. (submitted manuscript to Science of the Total Environment). Current advancements in geospatial decision support tools for multi-objective marine spatial planning in European Seas.
- Galparsoro, I.; Pınarbaşı, K.; Gissi, E.; Culhane, F.; Gacutan, J.; Kotta, J.; Cabana, D.; Wanke, S.; Aps, R.; Bazzucchi, D.; Cozzolino, G.; Custodio, M.; Fetissof, M.; Inácio, M.; Jernberg, S.; Piazzzi, A.; Paudel, K. P.; Ziemba, A.; Depellegrin, D. (submitted manuscript to Ocean and Coastal Management). Operationalizing ecosystem services in support of ecosystem-based marine spatial planning.
- HELCOM (2018). Thematic assessment of cumulative impacts on the Baltic Sea 2011-2016.
- TTÜ Meresüsteemide Instituut (2016). Eesti mereala survegurite indeksi väljatöötamine ja rakendamine. Lõpparuanne, Tellija: Keskkonnaministeerium, Leping 4-2/16/15, 12.02.2016.