

Läänemere seisundist muutuva inimmõju ja kliima taustal

Urmas Lips

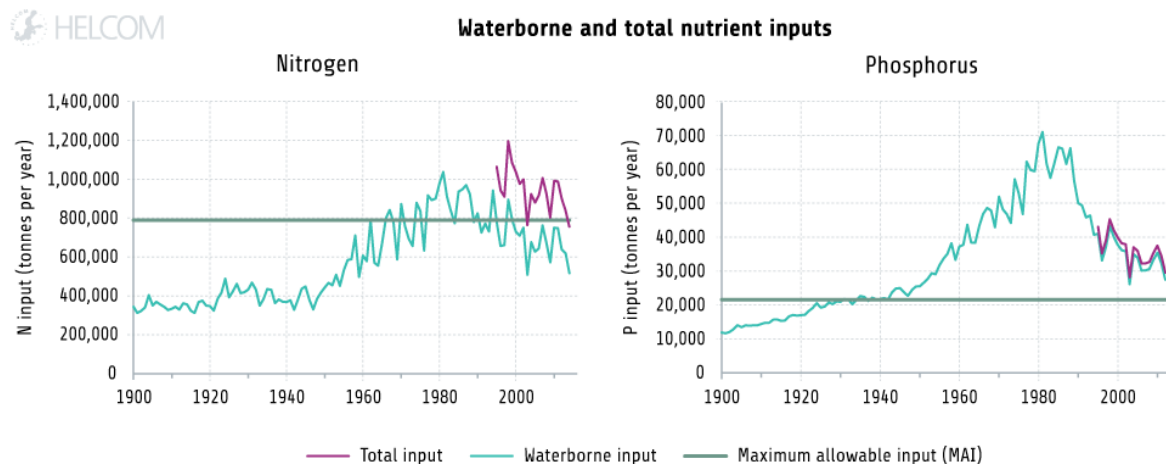
Tallinna Tehnikaülikool



METEOPÄEVA VEEBIKONVERENTS
„OOKEAN; MEIE KLIIMA JA ILM“
23. märts 2021

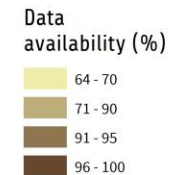
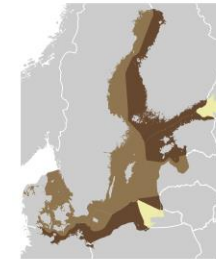
Läänemere peamised keskkonnaprobleemid

- Eutrofeerumine – liigne toitainete koormus, peamiselt maismaalt jõgede kaudu, lämmastik ka õhu kaudu; inimtegevuse valdkonnad on põllumajandus, transport, tööstus, olme jmt
- Ohtlikud ained – samuti peamiselt maismaalt jõgede ja atmosfääri kaudu (lokaalselt ka otselasud); tööstusest, transpordist, olmest jmt.
- Kalapüük, sh üleüüü, põhjatraalimine, kaaspüük jmt
- Võõrliigid
- Transpordi ja muu infrastruktuuri rajamine ja kasutamine (sadamate arendamine, kaevandamine, süvendamine ja kaadamine, avamere rajatised jmt)
- Prügi ja müra



HELCOM, 2018. BSEP 153.

Baltic Sea Pressure Index



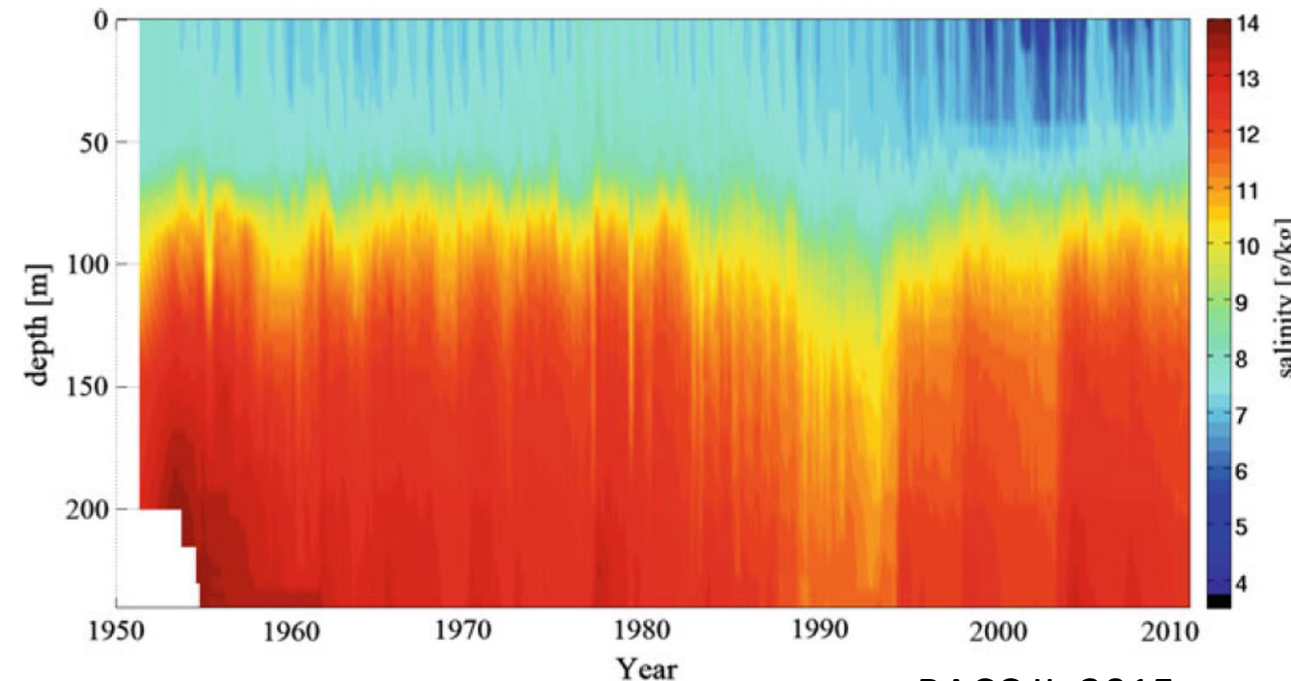
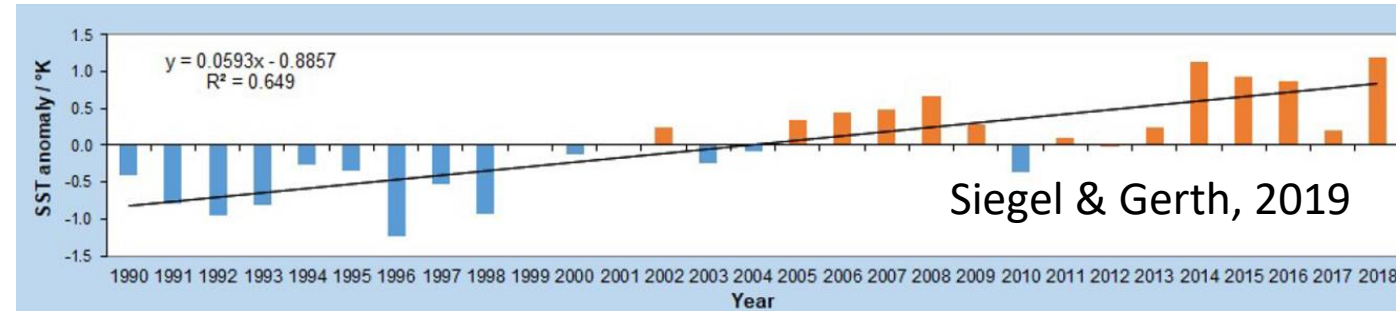
150km

HELCOM, 2018. BSEP 159.

OOKEAN, MEIE KLIIMA JA ILM. 23. märts 2021

Läänemere iseärasused ja kliimamuutused

- Suletud meri, vee viibeage ca 25 aastat
- Riimveeline, liikide levik ja mitmekesisus sõltub soolsusest
- Vertikaalne stratifikatsioon, Läänemere avaosas sõltub suurel määral Põhjamere vete sissevooludest
- Eksisteerivad hapnikuvaegusega alad
- Kliimamuutused ja mõnekümne aastase perioodiga muutlikkus, sh:
 - Merepinna temperatuur on tõusnud 0,03-0,06 °C 10 aasta jooksul perioodil 1856-2005 (Kniebusch et al., 2019) ja 0,59 °C 10 aasta kohta perioodil 1990-2018 (Siegel & Gerth, 2019)
 - Viimase rohkem kui 100 aastaga on jää maksimaalne ulatus Läänemeres vähenenud keskmiselt 30% (BACC II, 2015)
 - Enamuses sügavates piirkondades on vertikaalne stratifikatsioon tugevnenud perioodil 1982-2016 (Liblik & Lips, 2019)
 - Aastal 2016 hinnati hüpoksilise ala ulatuseks Läänemeres 70 000 km², samas kui 150 aastat tagasi oli see ala oluliselt väiksem (Carstensen et al., 2014).

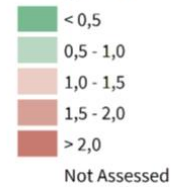


BACC II, 2015

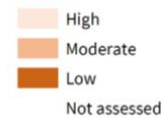
Läänemere keskkonnaseisund – eutrofeerumine

Integrated Eutrophication Status Assessment

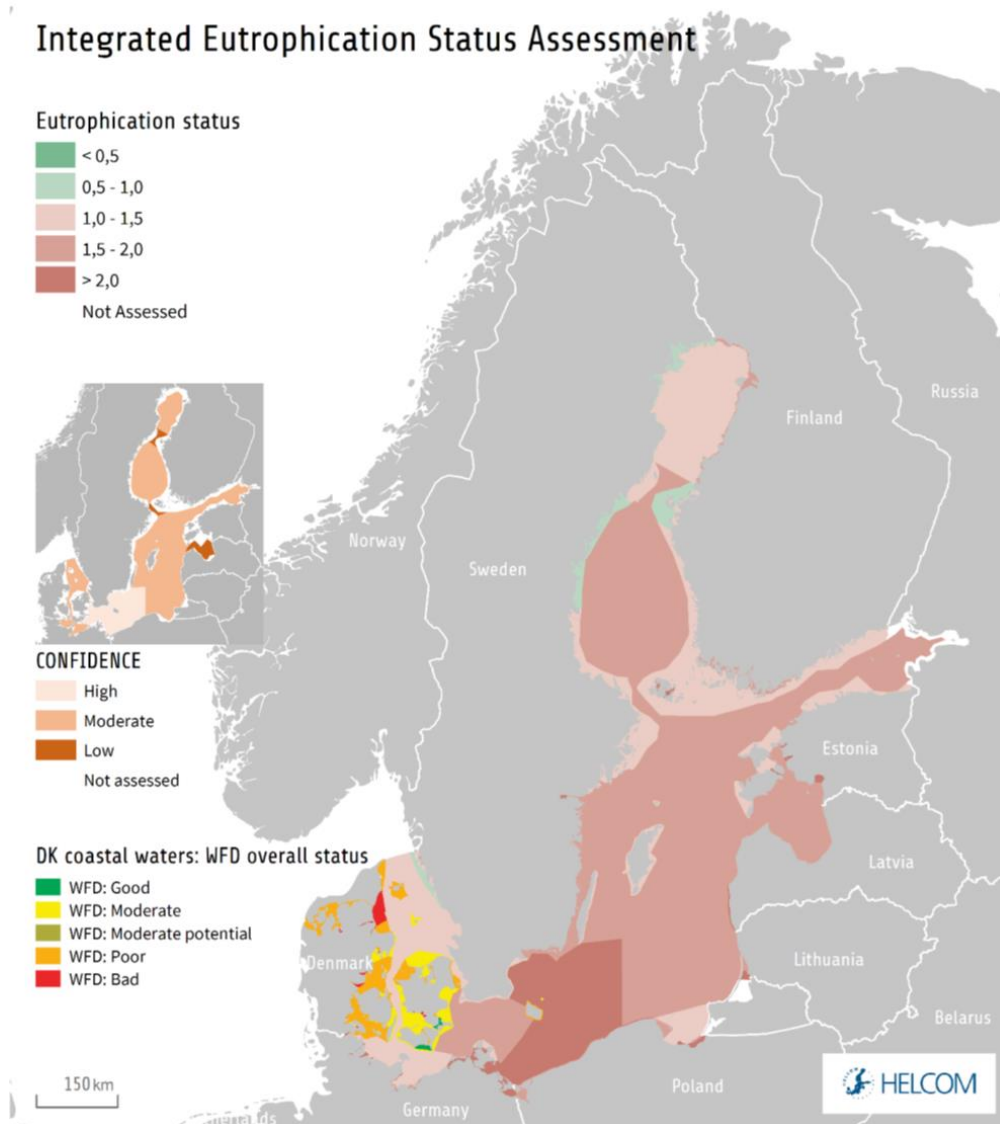
Eutrophication status



CONFIDENCE



DK coastal waters: WFD overall status



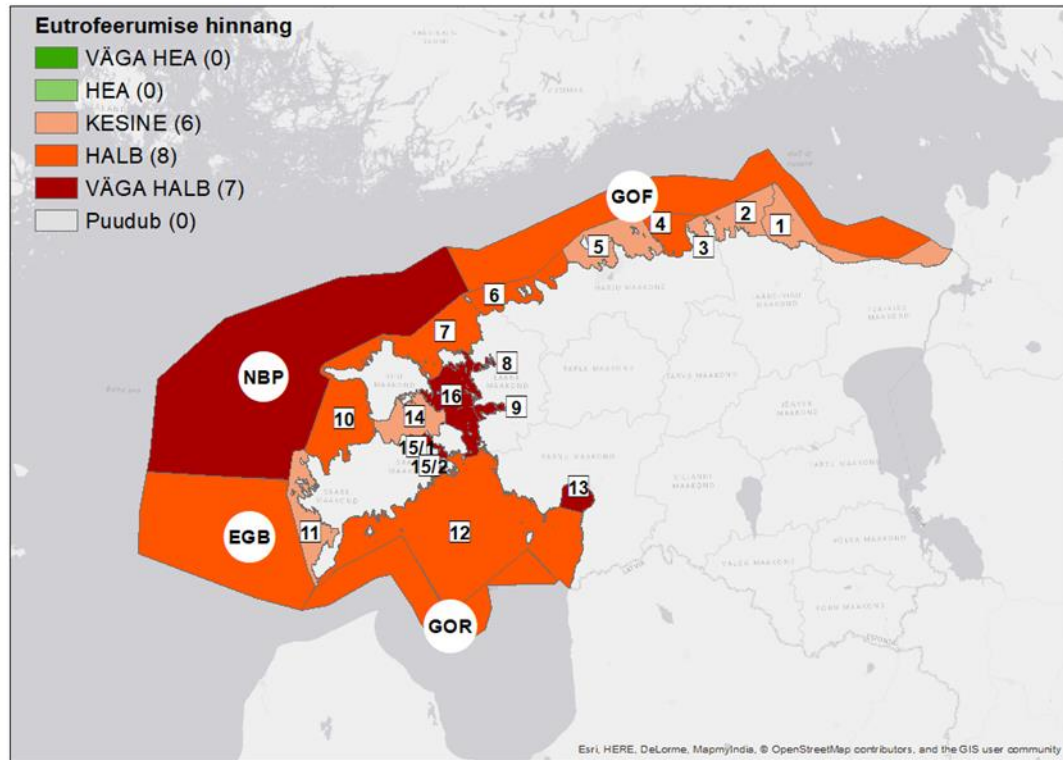
Enamus Läänemerest ei ole heas seisundis eutrofeerumise mõttes, va mõned rannikumere piirkonnad

Eestit ümbritsevatel avamere aladel on seisund 2011-2016 jäänud samaks või pigem halvenenud võrreldes varasema perioodiga



| | NUTRIENT LEVELS | | | | DIRECT EFFECTS | | INDIRECT EFFECTS | | INTEGRATED STATUS ASSESSMENT |
|------------------------------|-----------------|----|------------------|----|----------------|---------------|--------------------|-------------|------------------------------|
| | DIN | TN | DIP ¹ | TP | Chla | Water clarity | Cyano ² | Oxygen debt | |
| Bothnian Bay | ↔ | ↔ | ▲ | ↔ | ↔ | ▲ | ● | ● | ↔ |
| The Quark | ↔ | ↔ | ▲ | ▼ | ↔ | ↔ | ● | ● | ▲ |
| Bothnian Sea | ↔ | ↔ | ▲ | ↔ | ↔ | ▲ | ● | ● | ▲ |
| Åland Sea | ↔ | ↔ | ▲ | ↔ | ↔ | ↔ | ● | ● | ↔ |
| Gulf of Finland ³ | ↔ | ↔ | ↔ | ▲ | ▲ | ↔ | ↔ | ● | ↔ |
| Northern Baltic Proper | ▲ | ↔ | ▲ | ↔ | ▲ | ↔ | ↔ | ● | ↔ |
| Gulf of Riga ⁴ | ▲ | ▼ | ▲ | ↔ | ▲ | ↔ | ▲ | ● | ▲ |
| Western Gotland Basin | ▲ | ↔ | ▲ | ↔ | ↔ | ↔ | ↔ | ● | ↔ |
| Eastern Gotland Basin | ↔ | ↔ | ↔ | ● | ↔ | ↔ | ↔ | ● | ↔ |
| Gdansk Basin | ↔ | ▲ | ↔ | ▲ | ↔ | ↔ | ▼ | ● | ▼ |
| Bornholm Basin ⁵ | ▲ | ● | ↔ | ● | ↔ | ↔ | ↔ | ● | ▲ |
| Arkona Basin | ↔ | ● | ↔ | ● | ↔ | ↔ | ↔ | ● | ↔ |
| Bay of Mecklenburg | ↔ | ● | ▲ | ● | ↔ | ↔ | ▲ | ● | ↔ |
| Kiel Bay | ↔ | ● | ↔ | ● | ↔ | ↔ | ● | ● | ↔ |
| The Sound | ▲ | ▼ | ↔ | ↔ | ▼ | ▲ | ● | ● | ↔ |
| Great Belt | ↔ | ▲ | ↔ | ▲ | ▼ | ▼ | ● | ● | ↔ |
| Kattegat | ↔ | ▲ | ↔ | ↔ | ▼ | ▼ | ● | ● | ↔ |

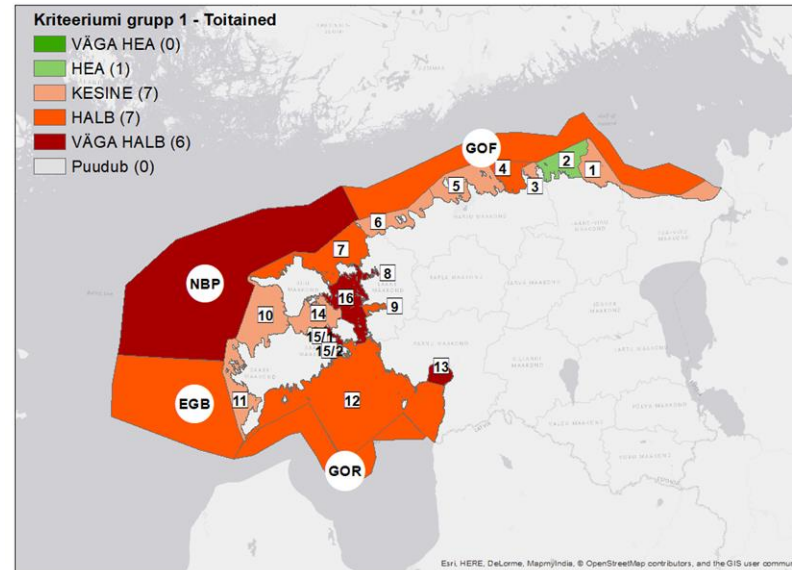
Eesti mereala seisund – eutrofeerumine



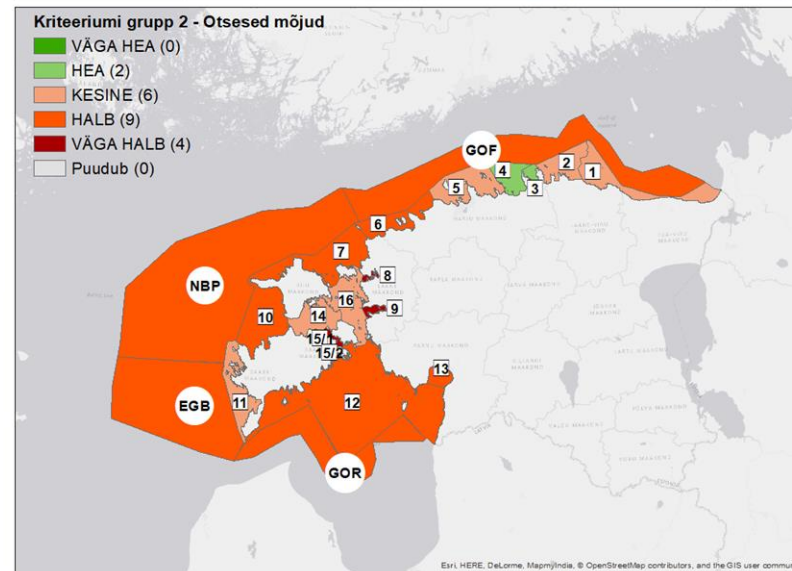
Eesti merealal ei ole ühtegi hinnanguala (rannikumere veekogum või avamere ala), kus seisund oleks eutrofeerumise mõttes hea

Rannikumeres on seisund halvem Väinameres ja Pärnu lahes, avamerel Läänemere avaosa põhjasseinis

Üldiselt on avamere seisund halvem kui rannikumere seisund



Toitainete sisalduse osas on peamiseks probleemiks fosforühendite sisaldus (üldfosfori sisaldus suvel ja fosfaatide sisaldus talvel).



Otseste mõjude osas on seisundi halva hinnangu põhjuseks klorofüllü sisaldus suvel, eriti avamere aladel

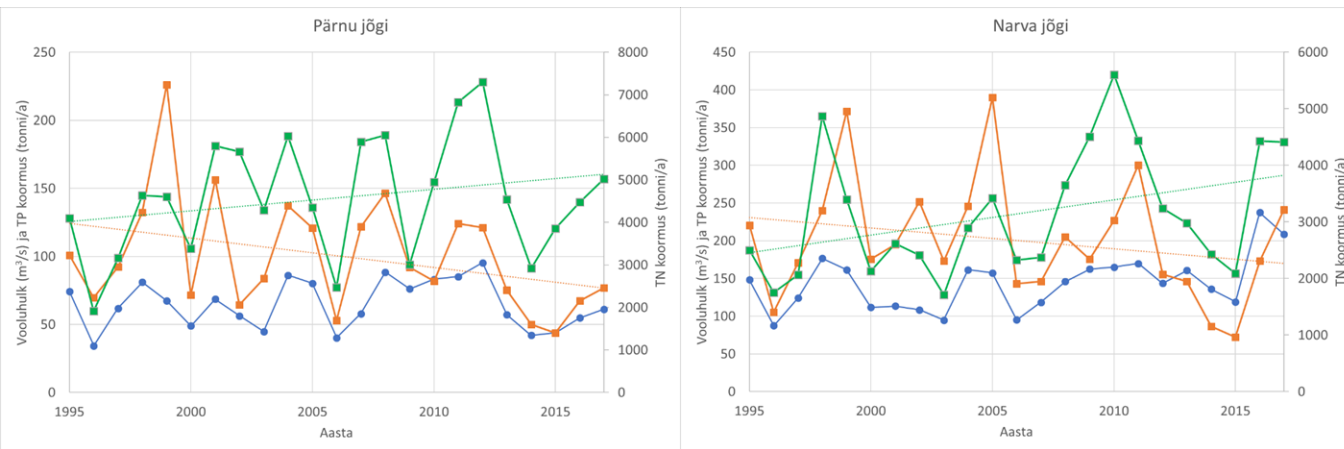
Eutrofeerumine – koormus

Toitainete koormus kogu Läänemerele ja igale basseinile eraldi on võrreldes perioodiga 1997-2003 vähenenud

Praegu kehtiva Läänemere tegevuskava eesmärgid koormuse vähendamise osas ei ole täidetud aga ühelgi Eestit ümbritseval merealal

Kõige vähem on koormused langenud Liivi lahes, sh näiteks Pärnu jõe lämmastikukoormus on hoopis kasvanud

Aastate vaheline muutlikkus on tunduvalt suurem kui keskmine koormuse langus (tõus) viimase rohkem kui 20 aasta jooksul



Aasta keskmised vooluhulgad (sinine) ning fosfori (oranž) ja lämmastiku (roheline; parempoolne telg) koormused Pärnu ja Narva jõest aastatel 1995-2017 (PLC andmed)

Maximum Allowable Inputs (MAI)

A significant reduction of nutrient inputs has been achieved for the whole Baltic Sea by 2015. The last assessment shows that the normalized input of nitrogen was reduced by 12% and phosphorus by 25% since the reference period (1997-2003) (Results for N&P Fig. 2, 3). The Maximum Allowable Inputs (MAI) of nitrogen in this period were fulfilled in the Kattegat, Danish Straits, Bothnian Bay and Bothnian Sea (Table 1a). The nitrogen input into the Gulf of Riga is below MAI but cannot be considered as fulfilled due to statistical uncertainty. MAI for phosphorus input is fulfilled in the Kattegat, Danish Straits and Bothnian Sea (Table 1b). The inputs to the Gulf of Finland and Bothnian Bay are below MAI but cannot be considered as fulfilled due to statistical uncertainty.

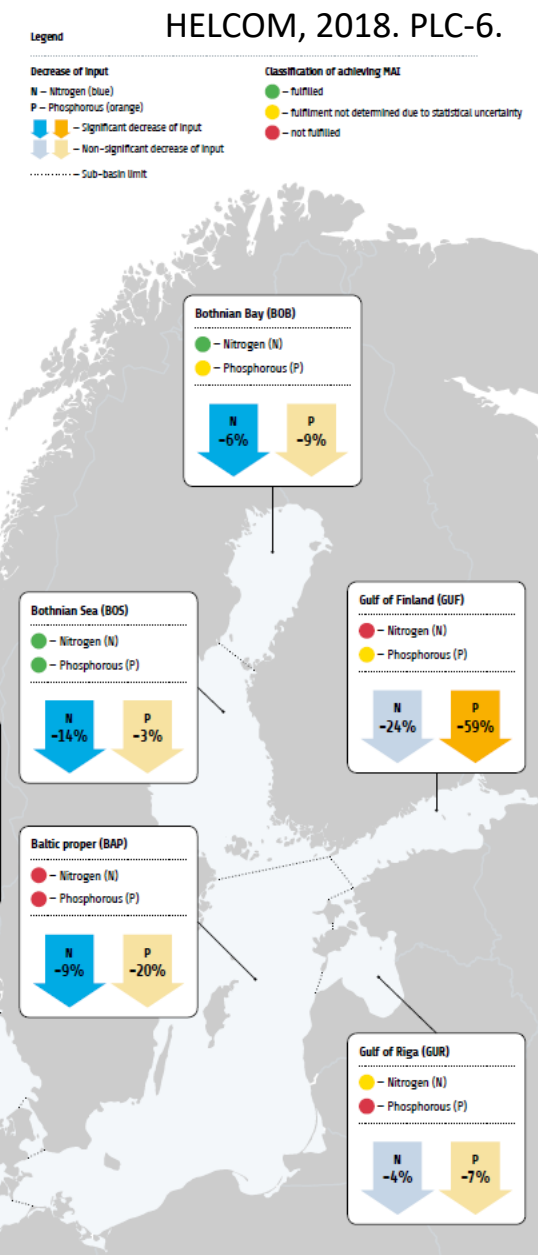
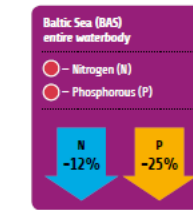
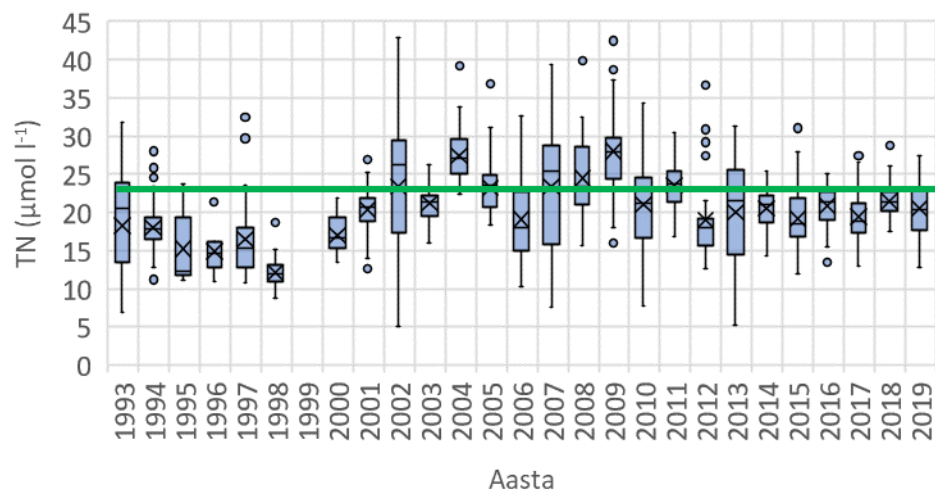


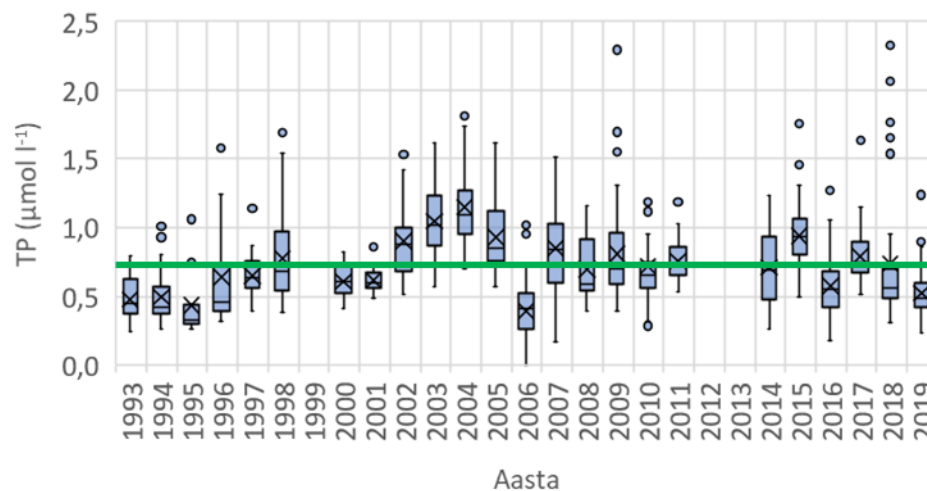
Figure 2. Reduction of nitrogen (N) and phosphorus (P) inputs achieved in 2015 since the reference period (1997-2003), with classification of achieving MAI

Eutrofeerumine – toitainete sisalduse muutused

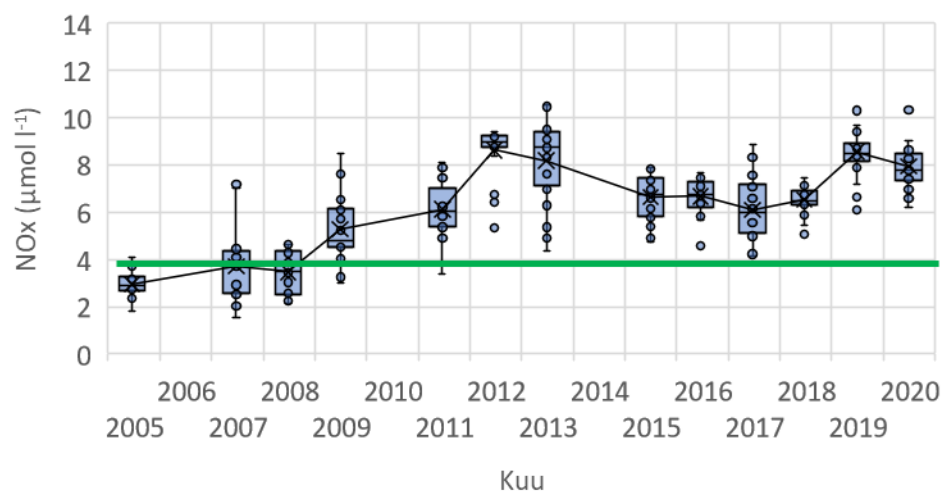
Üldlämmastiku sisaldus suvel Tallinna lahes



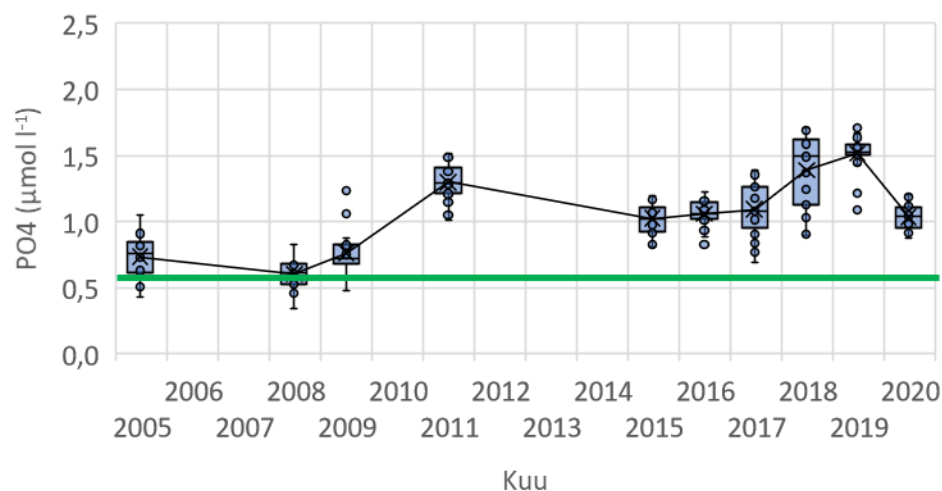
Üldfosfori sisaldus suvel Tallinna lahes



Soome laht - nitritid-nitraadid



Soome laht - fosfaadid



Eesti rannikumeres on üldlämmastiku ja üldfosfori sisaldused suvel pigem langevad

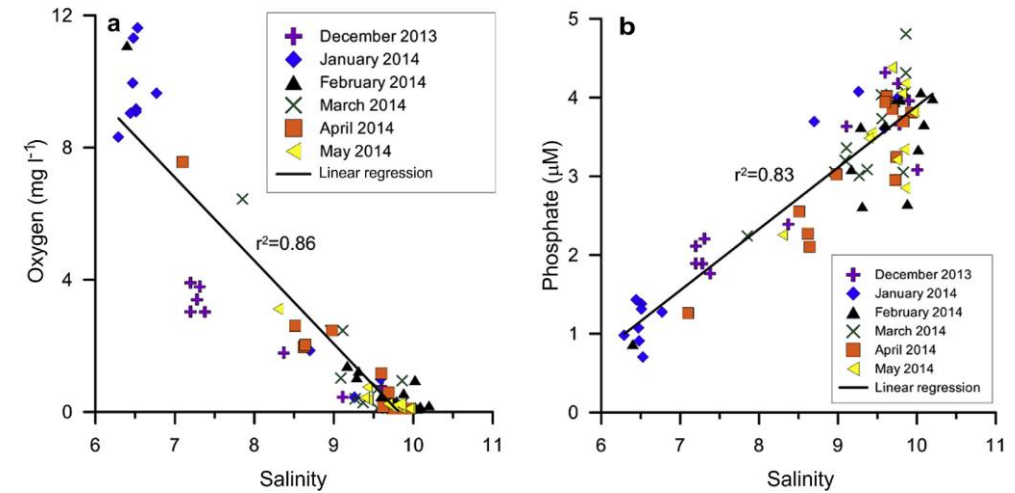
Avamere basseinides on anorgaanilistesse ühenditesse seotud lämmastiku ja fosfori sisaldused viimase 15 aasta jooksul tõusnud (eriti fosfaatide sisaldus Läänemere põhjaosas)

Esialgu ei ole näha, et hea seisund oleks saavutatav, sest viimase kümne aasta jooksul ei ole Soome lahes (ka mujal) nii madalaid toitainete sisaldusi mõõdetud kui on HELCOM raames kokku lepitud läviväärtused

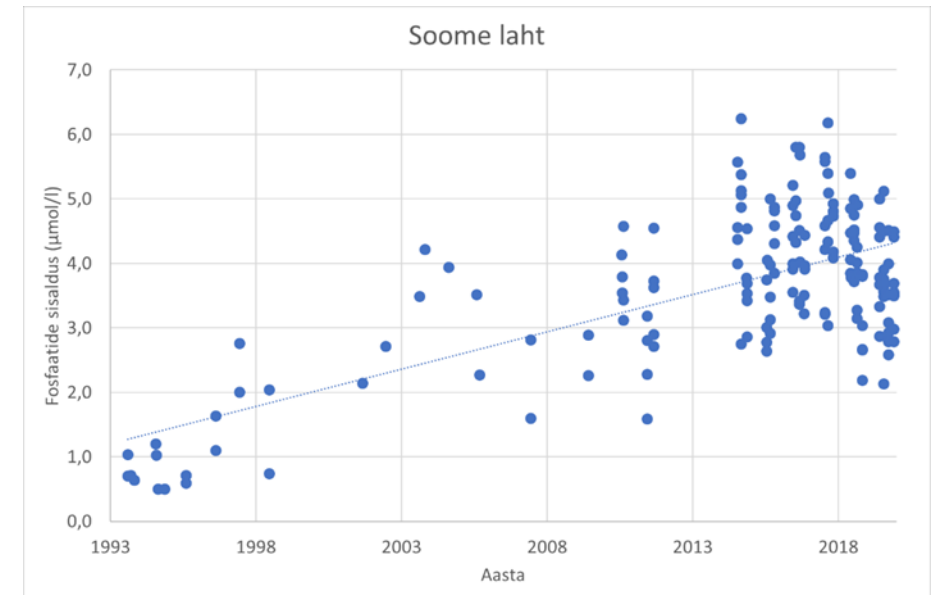
Eutrofeerumine

Kui koormused on oluliselt vähenenud, siis miks ei ole seda näha seisundi muutustes, eriti avamerel?

- 1) Koormuste pikaajalised muutused on tunduvalt väiksemad kui aastate vaheline muutlikkus koormustes
- 2) Koormuste muutused on rohkem kui suurusjärg väiksemad kui muutused toitainete koguhulkades basseinides – mõju avaldub väiksemates poolsuletud piirkondades, kuid avamere basseinides alles pika aja jooksul
- 3) Sisemised protsessid on seotud muutustega hüdrooloogilises režiimis – stratifikatsiooni tugevnemine on aidanud kaasa hüpoksiliste alade laienemisele, hüpoksia tingimustes vabaneb setetest fosforit, mis talvise segunemise tagajärjel ülemistesse kihtidesse segatakse
- 4) Talvised fosfaatide sisaldused ei ole eutrofeerumise otsene indikaator vaid kaudne, ajaloolise koormuse mõju näitav indikaator
- 5) Hinnangud näitavad (Markager et al., 2020), et sisemist toitainete varu (veesambas ja aktiivses settekihis) jagub ca 40 aastaks, et peale seda, kui koormuste vähendamise eesmärgid on saavutatud, jõuaks merekeskkond heasse seisundisse



Hapniku ja fosfaatide sisalduse sõltuvus soolsusest Soome lahe süvakihis 2013-2014 (Lips et al., 2017).



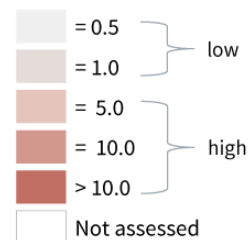
Fosfaatide sisaldus Soome lahe süvakihis (mereseire andmetel).

Läänemere keskkonnaseisund – ohtlikud ained

Integrated Contamination Status Assessment



Contamination score

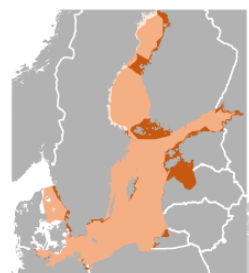


Indicator substances (groups) assessed

- Substances (groups) achieve threshold
- Substances (groups) fail threshold
- Substances (groups) not assessed

Indicator substances (groups) included:

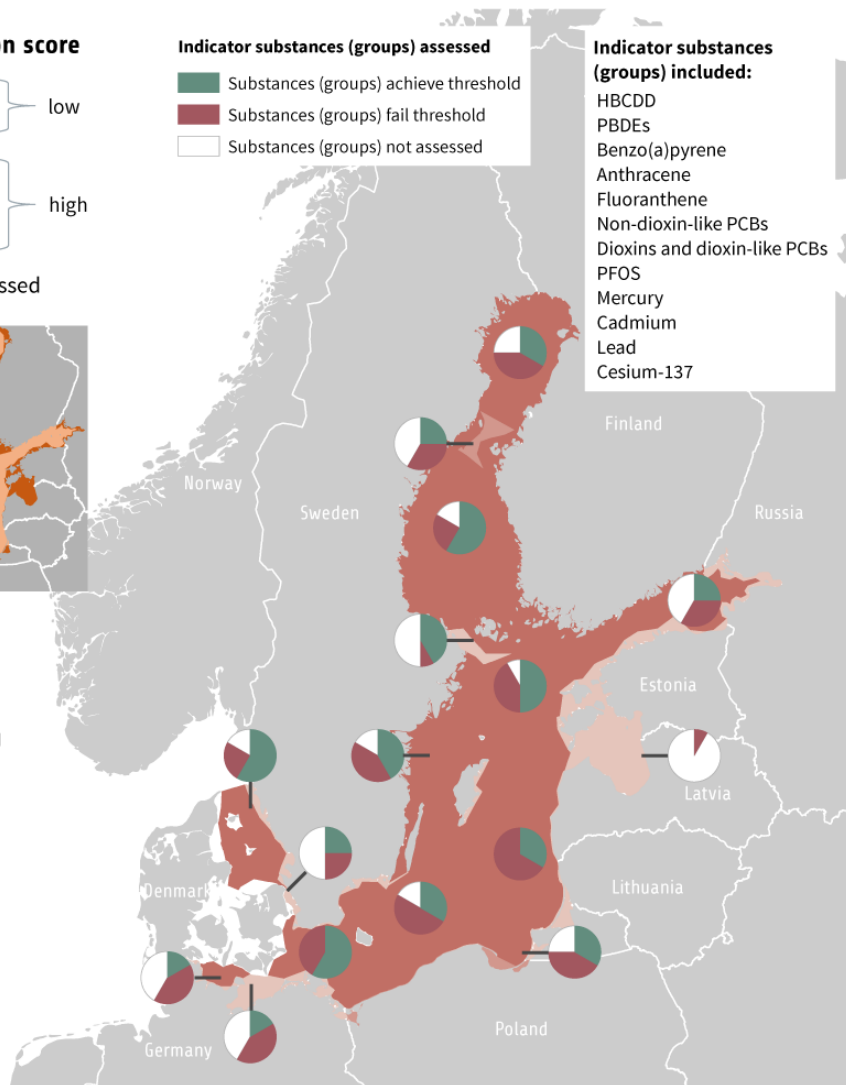
- HBCDD
- PBDEs
- Benzo(a)pyrene
- Anthracene
- Fluoranthene
- Non-dioxin-like PCBs
- Dioxins and dioxin-like PCBs
- PFOS
- Mercury
- Cadmium
- Lead
- Cesium-137



Confidence

- High
- Moderate
- Low
- Not assessed

160 km



| CORE INDICATOR | SUBSTANCE (OR GROUP) | MATRIX | Kattegat | The Sound | Kiel Bay | Bay of Mecklenburg | Arkona Basin | Bornholm Basin | Gdansk Basin | Eastern Gotland Basin | Western Gotland Basin | Gulf of Riga | Northern Baltic Proper | Gulf of Finland | Aland Sea | Bothnian Sea | The Quark | Bothnian Bay |
|-----------------------------------|------------------------------|--------|----------|-----------|----------|--------------------|--------------|----------------|--------------|-----------------------|-----------------------|--------------|------------------------|-----------------|-----------|--------------|-----------|--------------|
| HBCDD | HBCDD | B | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| | S | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| PBDEs | PBDEs | B | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| | S | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| PAHs AND PCBs, DIOXINS AND FURANS | Non-Dioxin-like PCBs | B | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| | Dioxins and dioxin-like PCBs | B | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| | Benzo(a)pyrene | B | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| | Anthracene | S | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| | Fluoranthene | W | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| | PFOS | PFOS | B | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| METALS | Mercury | B | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| | Cadmium | S | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| | Lead | B | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| | Lead | S | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| RADIOACTIVE SUBSTANCES | Cesium-137 | B | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| | Cesium-137 | W | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| TBT AND IMPOSEX* | Imposex | B | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| | TBT | S | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| | TBT | W | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |

Probleemid (HELCOM, 2018): polübroomitud difenüüleetid, elavhõbe ja plii elustikus ning kaadmium ja TBT setetes

Eesti mereala hinnang (EKUK, 2018) tõi välja halva seisundi põhjustena peamiselt elavhõbeda, aga kohati või üksikutes proovides ka Ni, TBT, PBDE, DEHP ja antratseeni; avameres ka kaadmium setetes.

Ohtlikud ained – mõju väheneb ajanihkega

- Ohtlikud ained, mille sisaldus ületab keskkonnakvaliteedi piirväärtusi, on reguleeritud, st nende keskkonda sattumist oluliselt vähendatud
- Kaua ja mis põhjustel kahjulikult mõjuvad kontsentratsioonid püsivad?
- Raskmetallide Hg, Cd, Pb peamised allikad on energia tootmine (kütuste põletamine), transport ja jäätmete põletamine
- Merre satuvad läbi atmosfääri (70% Hg) ja jõgede kaudu (60-80% Pb ja Cd)
- Emissioon Läänemere riikidest on ajavahemikul 1990-2016 vähenenud 45% Hg ja 37% Cd
- Suur osa õhu kaudu levivatest ainetest tuleb mujalt, mitte Läänemere riikidest
- TBT ei ole enam täiskasvamise vastase vahendina lubatud, kuid alused, millel aine sisaldub, on endiselt kasutuses
- Ohtlikud ained on akumulunud maismaal pinnases ja meres setetes, mis on sekundaarseteks allikateks
- Koormus võib jääda suhteliselt kõrgeks veel aastakümneteks, sest valgala pinnasest pestakse ohtlikke aineid välja ja transporditakse merre kui muudetakse maakasutust, asendatakse looduslik pinnas tehispinnasega, suuremate ja pikemate sademete rohkete perioodide kordumisega, tormide ja üleujutustega
- Setetest, kuhu ohtlikud ained on akumulunud, jõuavad need veesambasse ja toiduahelasse kas inimtegevuse tagajärjel (süvendamine) või looduslike protsessidega, mis sõltuvad muudest keskkonnatingimustest – resuspensioon (lainetus, hoovused), difusioon, gaaside eraldumine setetest, põhjaloomastiku elutegevus

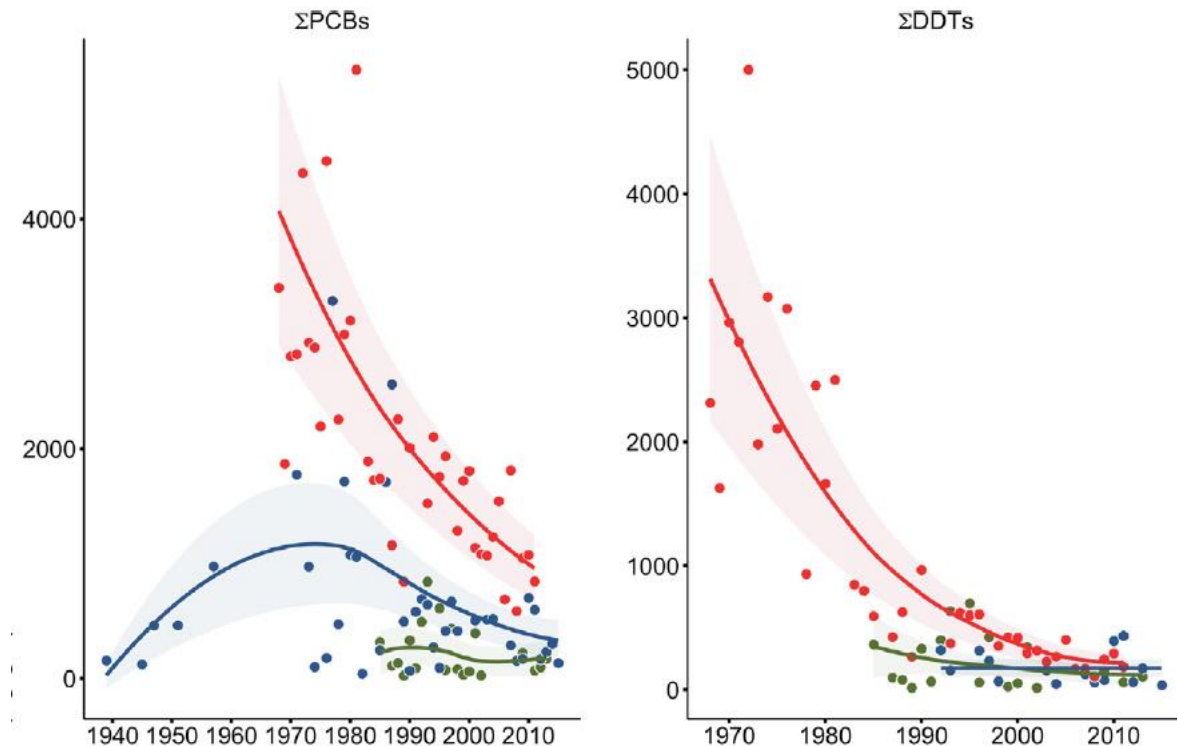
Ohtlikud ained – mõju väheneb ajanihkega

Ajalooliste proovide analüüs näitab, et aastakümneid tagasi keelatud ühendite sisaldus Läänemere äärses merikotka populatsioonis jäi kümneteks aastateks kõrgemaks võrreldes Norra ja Gröönimaa lindudega (näites on tegu merikotka kehasulgedest tehtud analüüsidega)

Elavhõbeda viibeaega merekeskkonnas on hinnatud kuni 30 aastat – st isegi kauglevi olulisel järsul vähenemisel ei ole oodata kontsentratsioonide kohest langust

TBT küll laguneb vähem toksilisteks ühenditeks, kuid sõltuvalt keskkonnatingimustest setetes (anoksia, pH tase jmt) võib säilida väga pikka aega – hinnang on 8-80 aastat

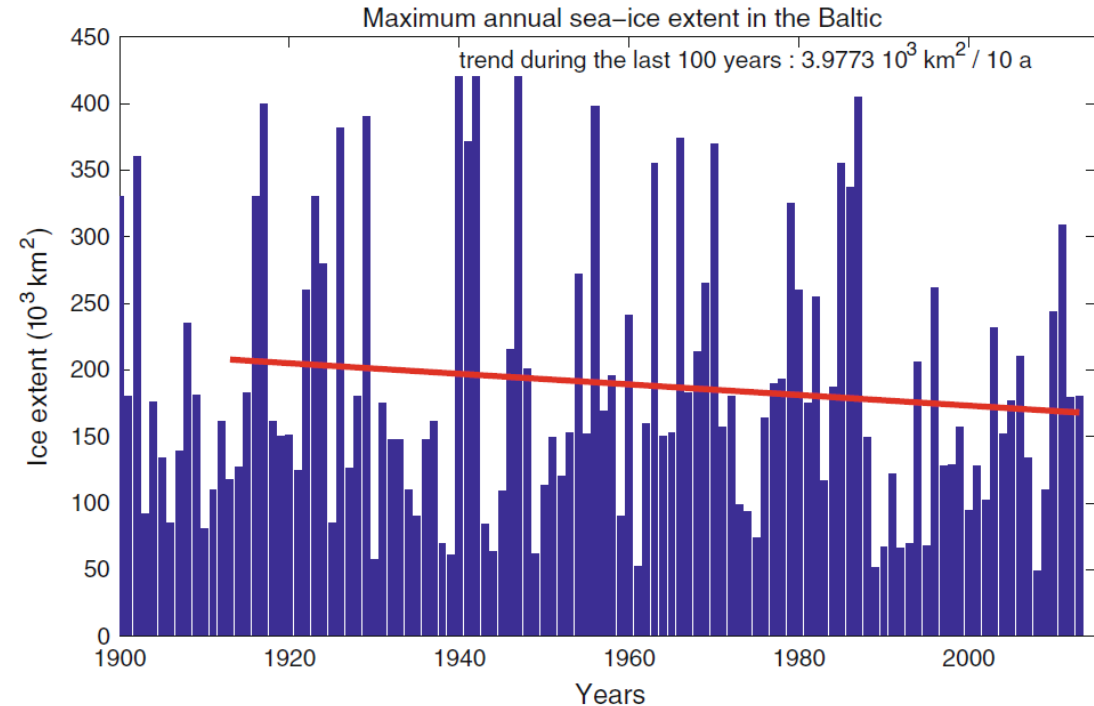
Järelilikult on ohtlike ainete mõju vähenemine pikaajaline protsess, mis sõltub nii inimtegevusest (meetmete rakendamisest) kui ka muudest teguritest, nagu sademed, tormid, üleujutused, mere hüdroloogiline režiim, sh stratifikatsioon ja hapnikutingimused jmt



PCB ja DDT sisaldused merikotka sulgedes (ng/g) Rootsis (punane), Norras (sinine) ja Gröönimaal (roheline) (Sun et al., 2020).

Hülged – arvukuse aeglane kasv

- Hüljeste arvukuse drastiline vähenemine 20. sajandil oli seotud eelkõige nende jahtimisega ja sajandi teises pooles ohtlike ainete mõjuga
- Hallhülge arvukus on kasvanud, kuid mitte nii kiiresti kui loodeti üle kogu Läänemere (HELCOM hinnang 2018, *Thematic assessment of biodiversity 2011-2016* – hallhüljes on heas seisundis, v.a. sigimisedukus)
- Viigerhülge arvukus ja leviala on tunduvalt väiksemad kui olid 20. sajandi alguses (HELCOM hinnang 2018 – viigerhüljes on heas seisundis Botnia lahes, mitte mujal)
- Viigerhülge puhul on peamiseks põhjuseks jääkatte vähenemine
- Hallhülge puhul on jää või talvede temperatuur samuti määravaks faktoriks – on leitud, et täiskasvanud hüljeste tervis sõltub nende sündimise aasta (talve) karmusest (Kauhala et al., 2017)
- Oluliseks teguriks on ka toidubaas – leiti, et täiskasvanud isaste hüljeste toitumus on sõltuvuses nende sünniaasta räime/kilu seisundi ja suurusega (Kauhala et al., 2019)
- Järelikult on seosed keerulised, põimunud on nii inimtegevuse tagajärjel (kalapüük) kui looduslikest tingimustest tingitud mõjud ja muutused



Maksimaalne jääkatte ulatus Läänemeres aastatel 1900-2012. Punane joon näitab vähenemise trendi ca 2% kümne aasta kohta (BACC II. Haapala et al., 2015).

Kokkuvõtteks

- Keskkonnaseisund sõltub nii inimtegevusest ja selle mõjudest kui ka Läänemere looduslikest tingimustest ja kliimamuutustest ning pika perioodiga muutlikkusest meteoroloogilistes ja hüdrooloogilistes tingimustes
- Seosed põhjuse ja tagajärje vahel ei ole lineaarsed, vaid iga valdkonna puhul on vaja analüüsida mitmeid olulisi mõjutavaid tegureid ja nende koosmõju
- Eutrofeerumise puhul on täna peamiseks probleemiks merekeskkonda akumulunud toitainete varud, kuid ilma maismaalt koormust vähendamata ei ole võimalik head keskkonnaseisundit saavutada; keskkonnaseisundi paranemiseks kulub rohkem aega, kui varasemalt arvati
- Ohtlike ainete sisalduse ja nende mõju kadumine on samuti aeglane protsess arvestades pinnasesse ja setetesse akumulunud ühendeid, kuid koormust on võimalik vähendada veelgi
- Arvestades keskkonnas akumulunud toitainete ja ohtlike ainete ja ohtlike ainete ja ohtlike ainete ja ohtlike ainete võib oodata lokaalseid ja ajutisi seisundi halvenemise juhtumeid, mis kaasnevad erakordsete ilmastikutingimustega:
 - kõrge temperatuur ja vaikne ilm põhjustab hüpoksiat rannikumeres,
 - sademed ja tormid põhjustavad ohtlike ainete välja pesemist ja sekundaarset reostust jne
- Kliimamuutuste ja pikaajalise muutlikkuse mõjudega tuleb arvestada nii interpreteerides hinnangute tulemusi kui plaanides meetmeid, sh vastates küsimustele:
 - mis on keskkonnavalused eesmärgid (viigerhülge levikuala) ja millal neid on võimalik saavutada,
 - temperatuuri tõus ja stratifikatsiooni tugevnemine mõjutab hapnikutingimusi, mis omakorda avaldab mõju põhjaelustikule, kalastikule jne, seeläbi kogu ökosüsteemile, sh mereimetajad

Täna tähelepanu eest!

Urmas Lips (urmas.lips@taltech.ee)

Tallinna Tehnikaülikool



KESKKONNAMINISTEERIUM

22.10.2020

ETA_g PRG602



Co-funded by the
European Union



KESKKONNAINVESTEERINGUTE
KESKUS