Digikaksikud ja andmete rakendamine Euroopas ja Eestis

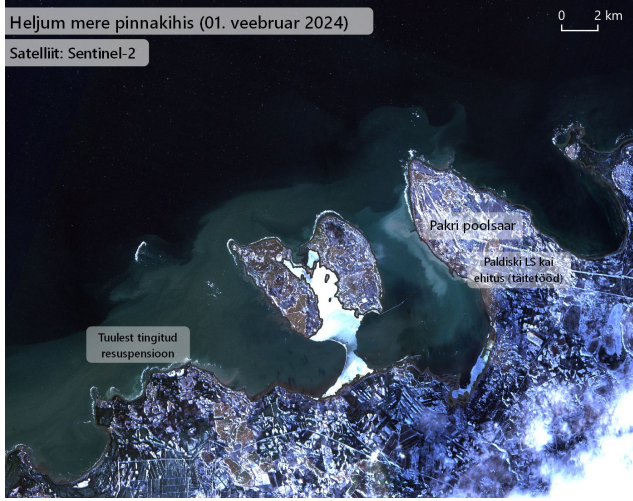
Kui kaugel on tulevik ja kas me sellist tulevikku tahtsimegi?

Rivo Uiboupin, Ilja Maljutenko
Meresüsteemide instituut
Tallinna Tehnikaülikool

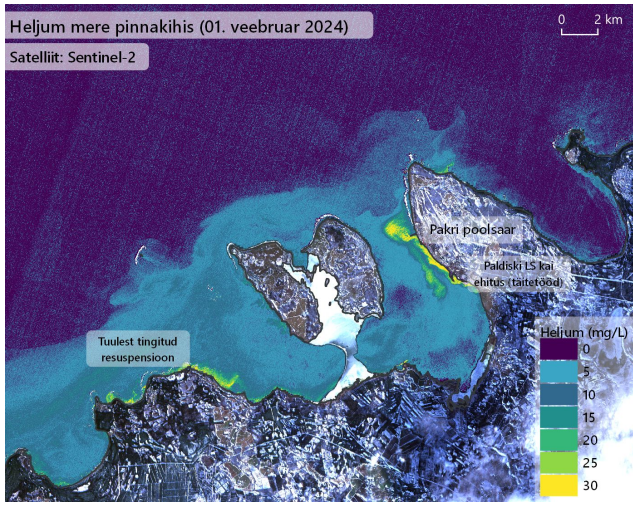
09.11.2026

Mileks digitaalsed mereteenused?





- Digitaalse jälgimis- ja prognoositeenuste vajadus tuleneb kahest peamisest tegurist:
  - Ärikeskne (optimaalne mõõtmine ja kulutõhus hooldus offshore-ehitustes, ressursside hindamine)
    Seadusandluse põhine (EIA, keskkonnakaitse, kliimamuutused)
- Otsuste tugi erinevatel ruumilistel skaalal
  - Piirkondlik (MSP)
    Kohalik (tuulepark, sadam)
- Otsustugi erinevatel ajaskaaladel
  - operatiivne teenus ja navigatsioon
    Pikaajaline planeerimine ja mõjude hindamine
- Kuidas digitehnoloogiad, sealhulgas Digital Twin of the Ocean, saavad toetada planeerimist ja ehitustegevusi avamere ja rannikualade arendustes.
  Erinevad mereseire ja prognoosimise rakendused energia- ja transpordisektoris



EcoDT
MEREÖKOLOOGIA DIGITAALNE KAKSIK

TemTa-38

DTO4OWE

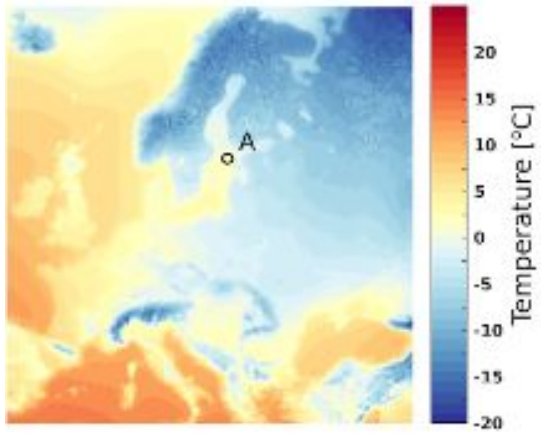
MARTE
Marine Technology Excellence Hub for Sustainable Blue Economy in Baltics

TerraDT
Digital Twin of Earth system for Cryosphere, Land surface and related interactions

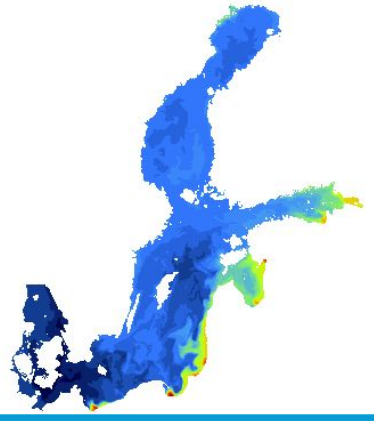
MEREPROTSESSIDE MITMEMASTAABILINE MODELLEERIMINE OPERATIIVSETES TEENUSTES JA RAKENDUSUURINGUTES

TAL TECH
DEPARTMENT OF MARINE SYSTEMS

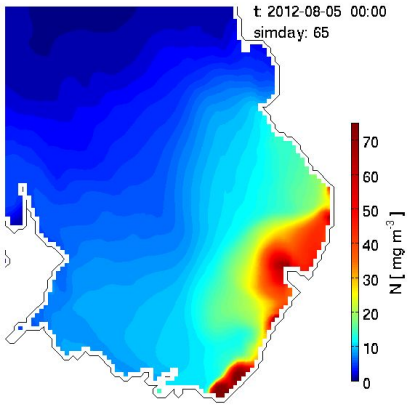
Globaalne (temperatuur)



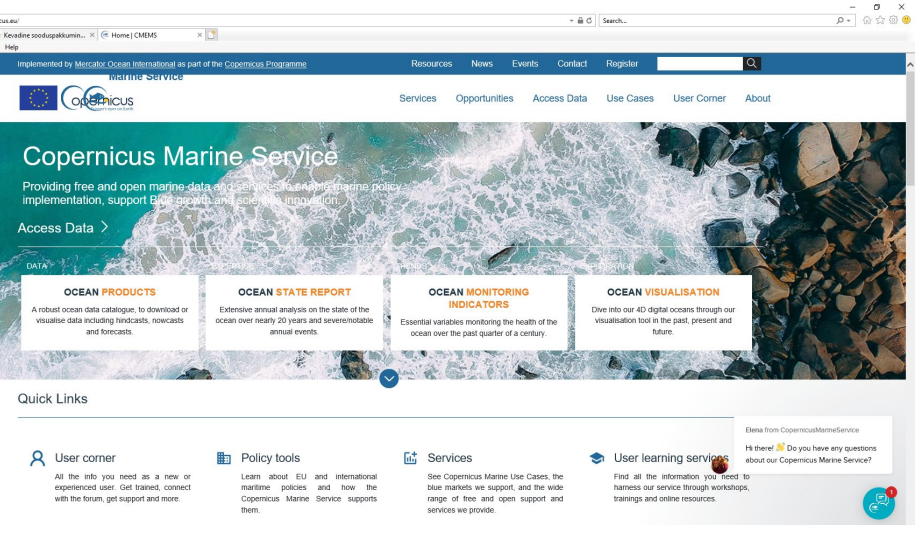
Regionaalne (aine transport Läänemeres)



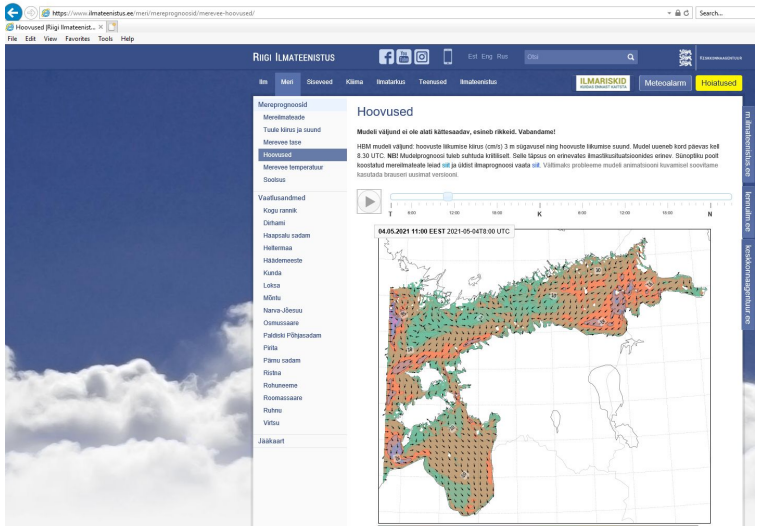
Kohalik (aine transport Tallinna lahes)



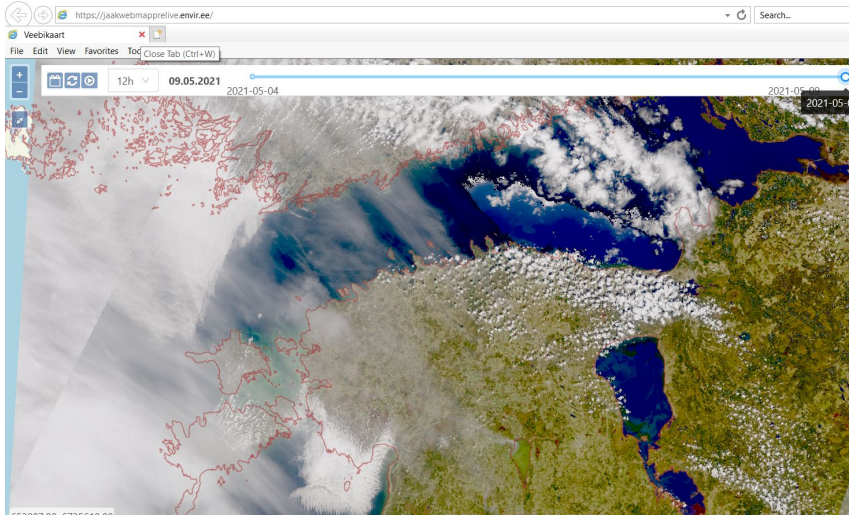
TalTech/MSI on paneuroopalise Copernicus Marine teenuse (CMEMS) partner ja arendaja



Eesti mereprognoositeenuse arendaja KAURi jaoks

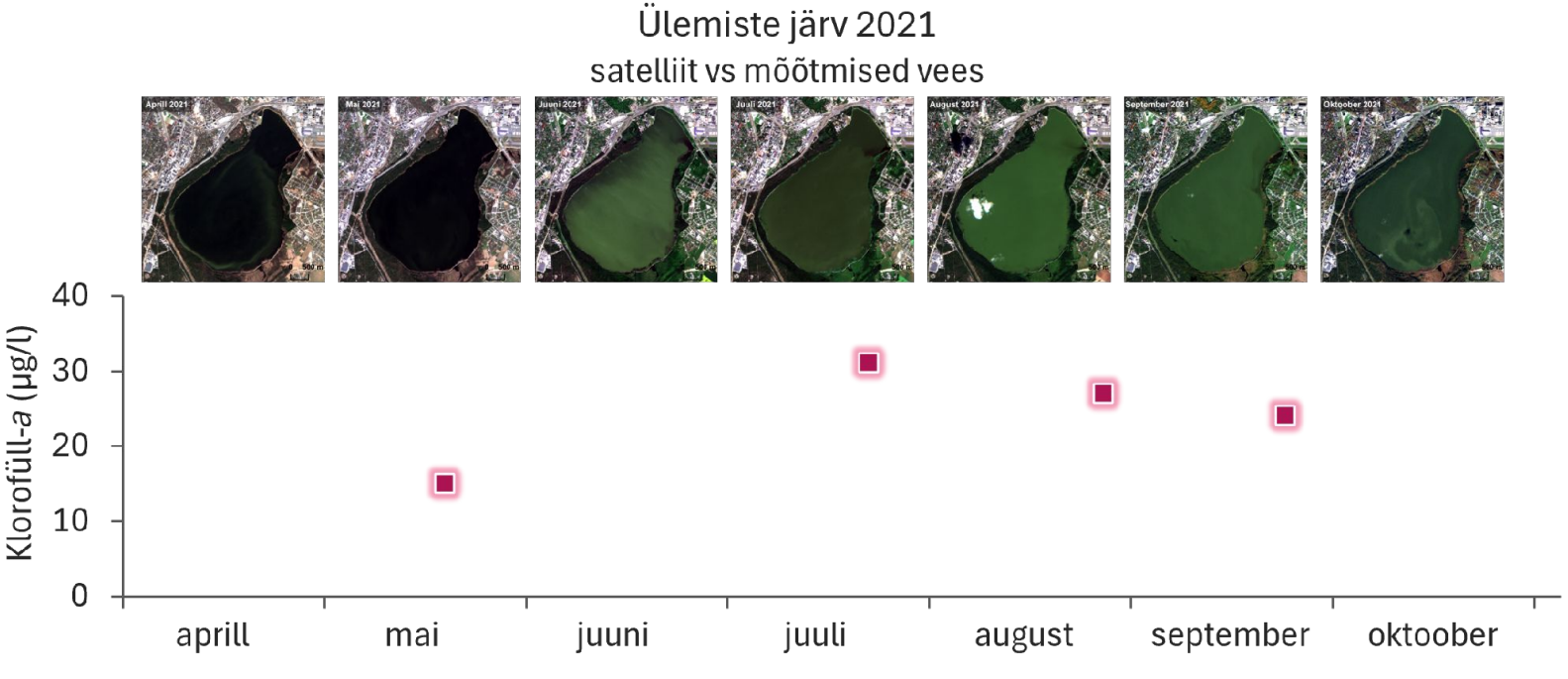


Operatiivsete kaugseire teenuste arendaja (nt merejää kaardistamine ja vee kvaliteedi jälgimine)

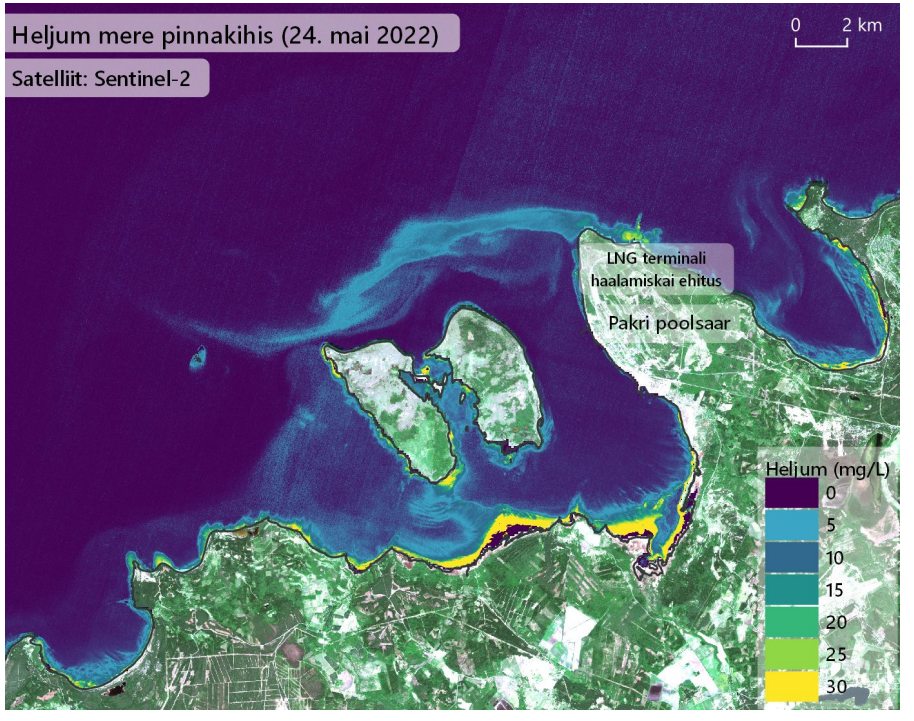


KULUTÕHUS VEEKVALITEEDI SEIRE SATELLIITPILTIDELT (keskkonnakahjude vältimine)

- Vee kvaliteedi seire ranniku ja avamererajatiste ehitamise ajal (süvendamine)
  Järvevee kvaliteedi seire riikliku seireprogrammi raames
- Seadusandlusest tulenevad nõuded

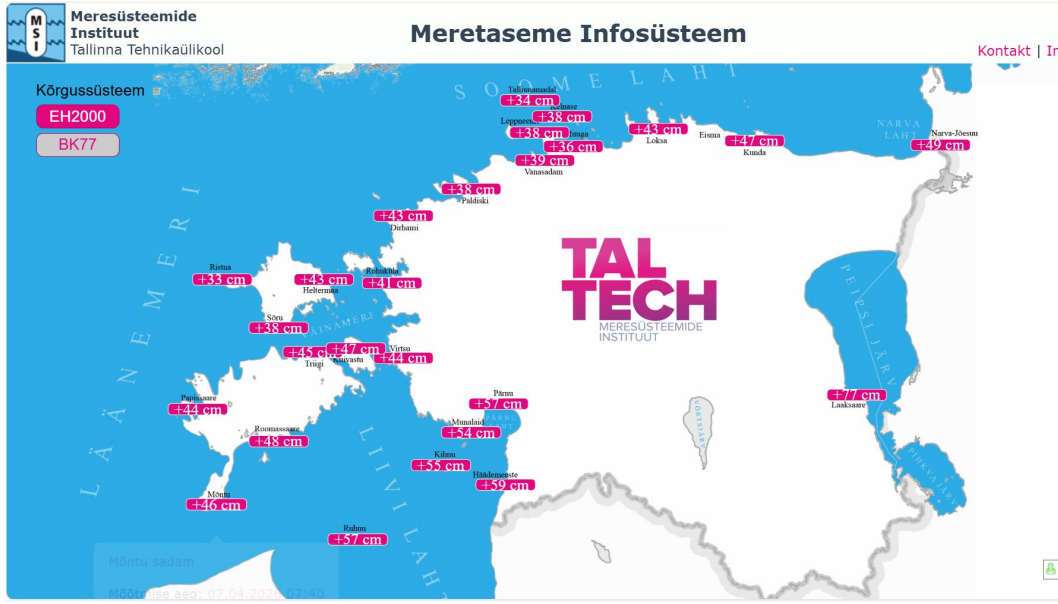


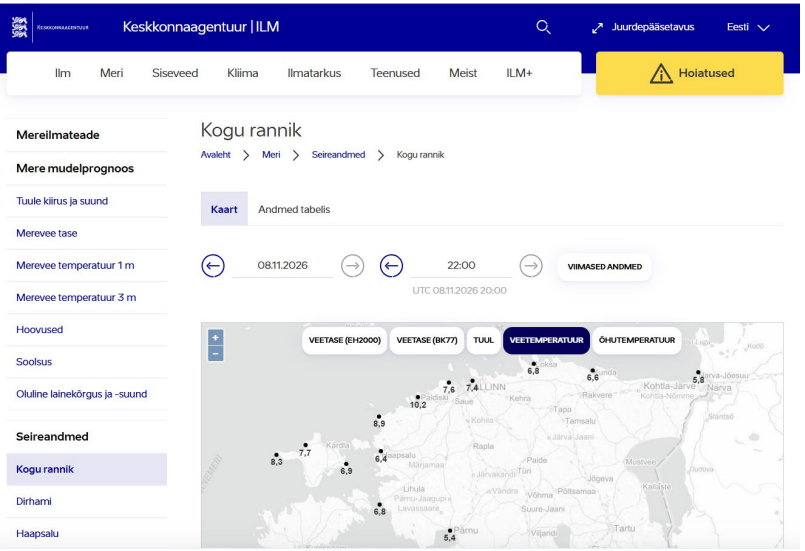


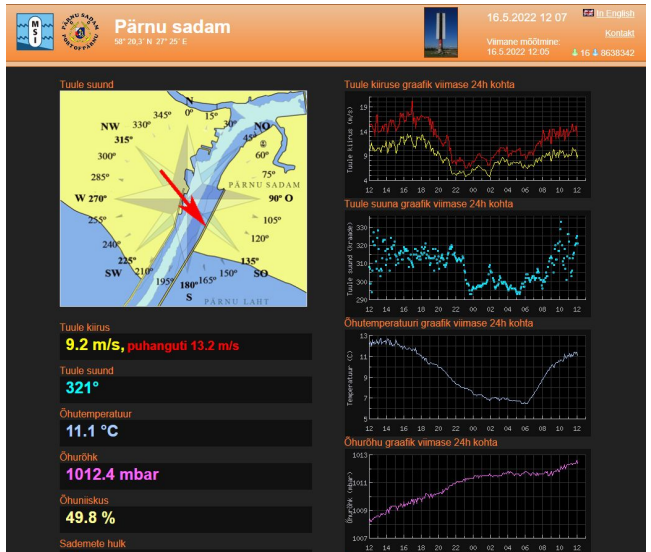


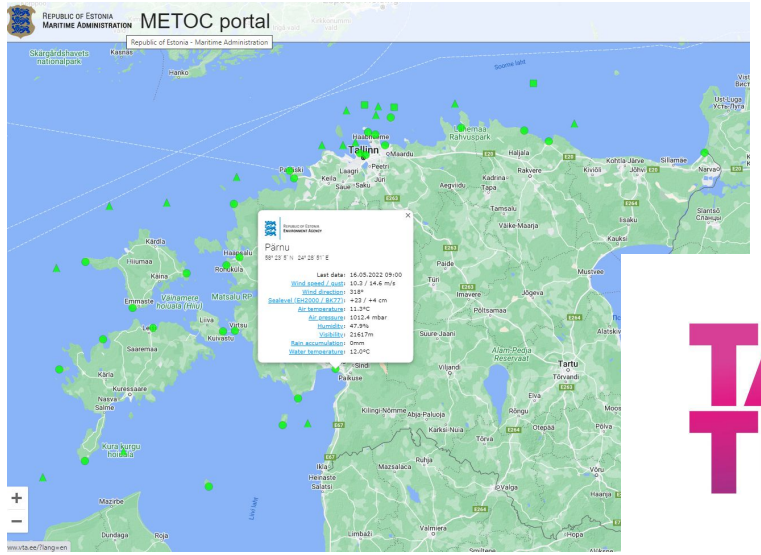
OPERATIIVSED MERESEIRETEENUSED (KONTAKTMÕÕTMISED): REAALAJA INFO AVALIKES TEENUSTES

- **Merepinna infosüsteem äärmuslike sündmuste varajaseks hoiatuseks** http://on-line.msi.ttu.ee/meretase/
- **Autonoomsed rannikujaamad – lahutamatu osa kaasaegsest sadamatööst** http://on-line.msi.ttu.ee/metoc/
- **Merekeskkonna seire (KAUR)**
- **Merehunt (RIL)**







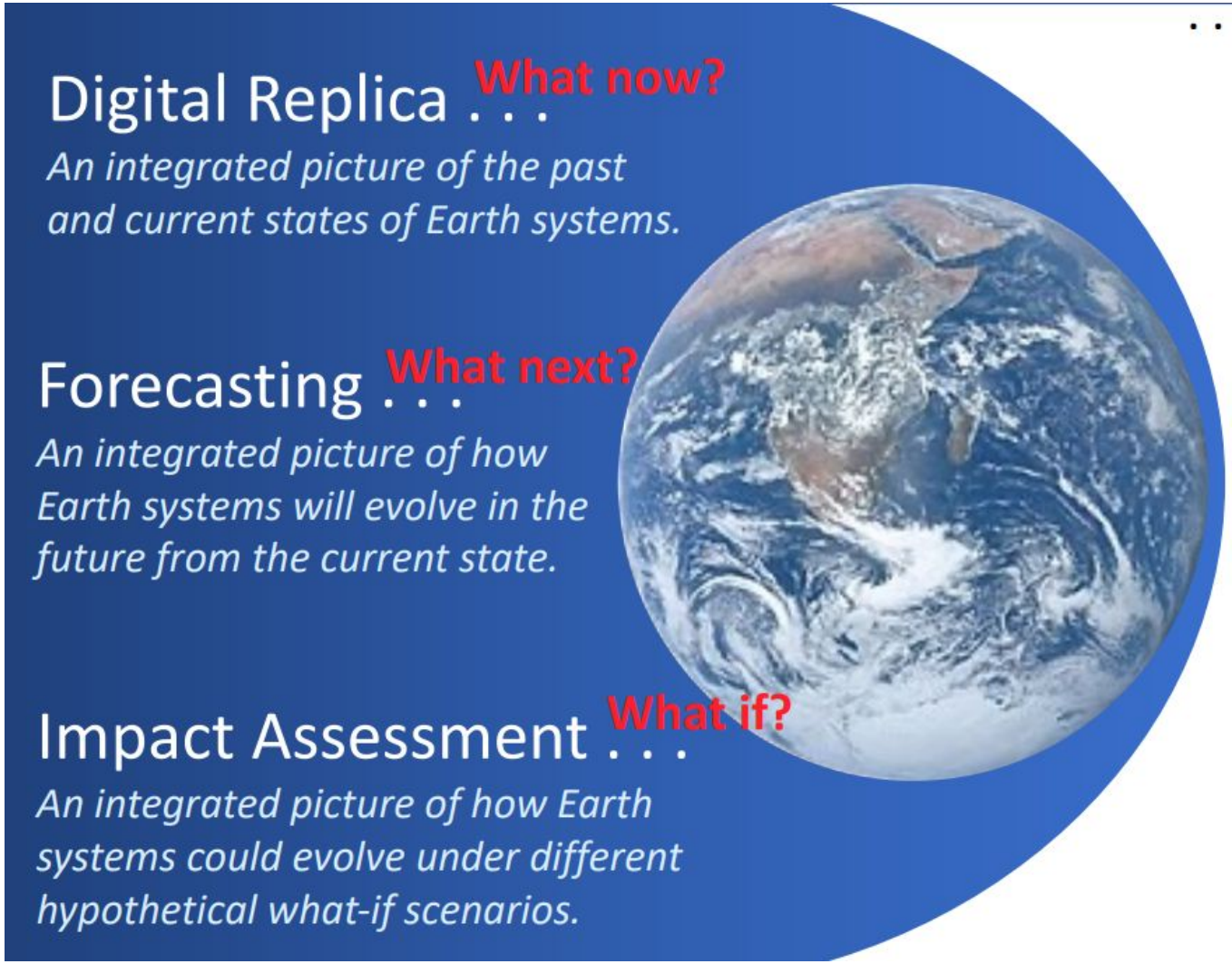


TAL TECH
MERESÜSTEEMIDE INSTITUUT

MIS ON OOKEANI/MERE DIGITAALNE KAKSIK (DTO- DIGITAL TWIN OF THE OCEAN)?

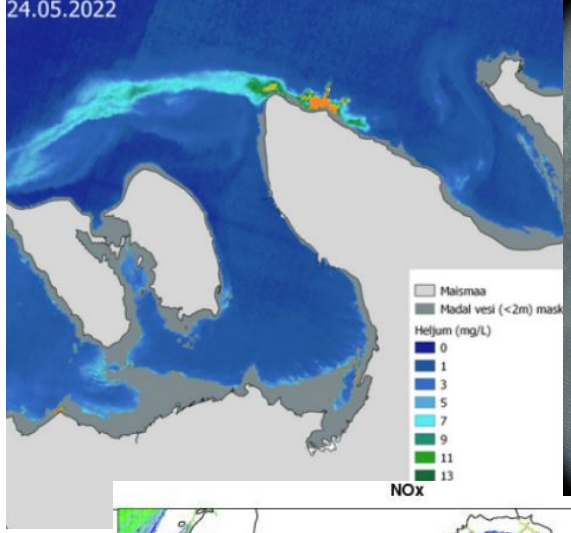
TAL TECH
DEPARTMENT OF MARINE SYSTEMS

- Digital Twin on dünaamiline ja interaktiivne infosüsteem, mis
  - pakub digitaalset koopiat ookeani/mere mineviku ja praeguste seisundite kohta võimalikult täpselt ja õigeaegselt,
  - võimaldab koostada/arvutada mere tulevaste olekute prognoose nominaalsete eelduste alusel ja praeguse koopia põhjal, ning
  - pakub võimalust uurida mitmeid hüpoteetilisi stsenaariume erinevate mõjueelduste korral.

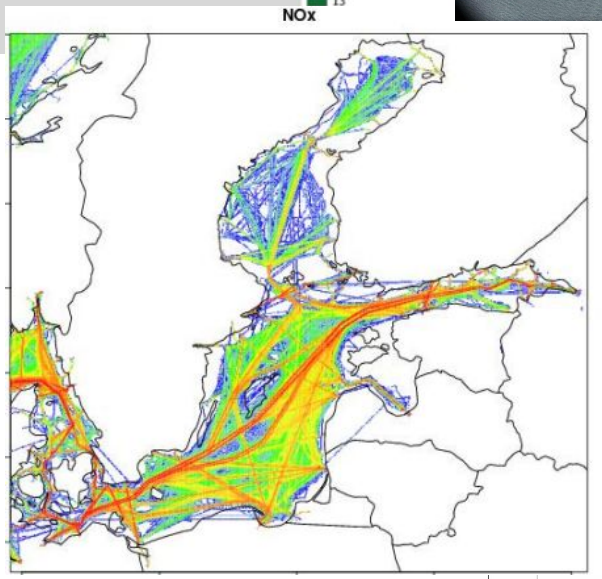


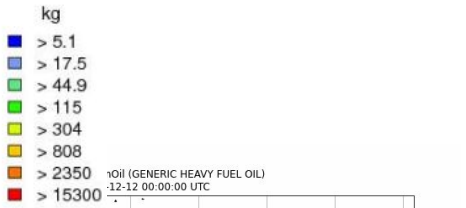
MERE DIGITAALSETE KAKSIKUTE ÜLDINE EESMÄRK

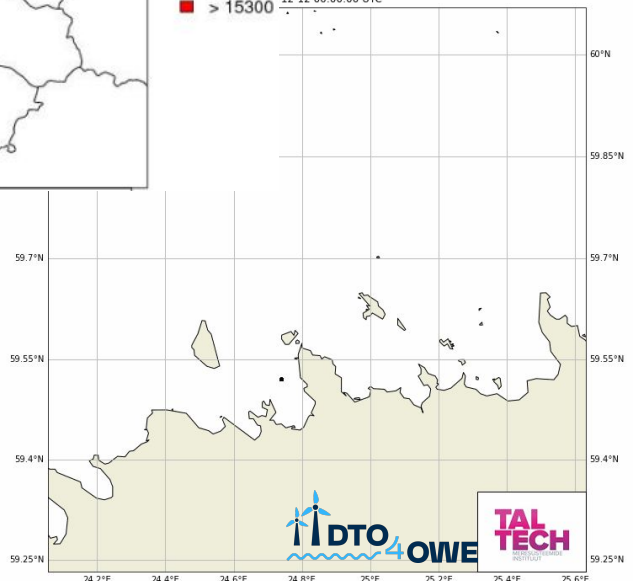
- **Parandaa merealade haldamist:** hinnata inimtegevuse mõju merekeskkonnale
- **Õnnetusjuhtumitele reageerimise parandamine:** varajaste hoiatussüsteemide arendamine
- **Mereala ruumiline planeerimine** toetamaks avamere ja rannikualade arendust
- **Ohutuse tagamine merel:** mereilma info navigatsiooni toetamiseks











Väljakutse: ülekantava ja universaalse DT lahenduse väljatöötamine erinevatele mõjusektoritele.

Igal kasutajagrupil on üsna spetsiifilised nõuded (nt operatiivne seire/prognoos reostuse korral vs kliima projektsioonid avamererajatiste mõjude hindamiseks).

TAL TECH
DEPARTMENT OF MARINE SYSTEMS

Euroopa DT komponendid

Implemented by MERCATOR OCEAN INTERNATIONAL

- **Integreeritus EU teenuste ja initsiatiividega, mis on Eesit merela Digitaalse kaksiku aluseks**
  - **Copernicuse mereteenus** (Mercator) on Euroopa Liidu Copernicuse programmi merekeskkonna komponent, mis pakub tasuta, korrapärast ja süstemaatilist usaldusväärset teavet sinise (füüsikalise), valge (merejää) ja rohelise (biogeokeemilise) ookeani seisundi kohta üleilmsel ja piirkondlikul tasandil.
    - https://marine.copernicus.eu/et/about
  - **EDITO -** Euroopa Ookeanide Digitaalne Kaksik, EL-i platvorm, mis pakub mereandmeid, prognoositööriistu ja rakendusi teadlastele, poliitikakujundajatele ja kodanikele
    - European Digital Twin Ocean - Powered by EDITO - EDITO
  - **Destination Earth** on Euroopa Komisjoni (ECMWF, ESA, EUMETSAT) initsiatiiv, mille eesmärk on välja arendada väga täpne digitaalne Maa mudel (Maa digitaalne kaksik), et modelleerida, jälgida ja simuleerida loodusnähtusi, ohte ning nendega seotud inimtegevusi.
    - https://destination-earth.eu/
    - https://platform.destine.eu/
  - **HPC arvutuskeskused -** CSC, BSC
  - **Riiklikud asuutsed -** mõjumudelite arendamine

EDITO European Digital Twin Ocean

Barcelona Supercomputing Center Centro Nacional de Supercomputación

CSC

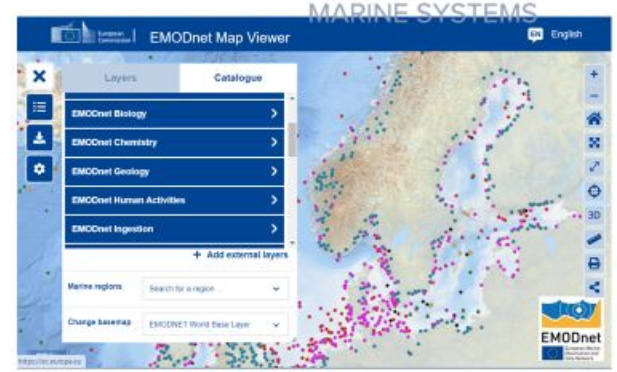
European Commission

Destination Earth Funded by the European Union Implemented by ECMWF esa EUMETSAT

MERE DIGITAALSE KAKSIKU EHITUSPLOKID

- Kohapealsed andmed (EMODnet, Copernicus, riiklik)
  - Operatiivsed mõõtmised
  - Mitte-ajakriitilised mõõtmised
- Kaugseire andmed (ESA, EUMETSAT)
- Mudelite järelanalüüsi andmed (Copernicus, ECMWF, riiklik)
- Mudelite prognoosid (Copernicus, riiklik)
- **Sektori-spetsiifilised mõjumudelid "mis-siis-kui" stsenaariumite jaoks (riiklikud, piirkondlikud)**
- Ookeani digitaalne kaksik tugineb olemasolevatele andmetele (satelliitpildid, kontaktmõõtmised ja mudelandmed), mida pakuvad Copernicus, EMODnet ning riiklikud (teadus)infrastruktuurid, võimaldades samal ajal alternatiivsete andmevoogude integreerimist

Väljakutse: erinevate andmeallikate integreerimine teadmistepõhiste otsuste toetamiseks







DTO INFRASTRUKTUUR: ARVUTUSRESURSS

TAL TECH
DEPARTMENT OF MARINE SYSTEMS

- Tänu arvutus- ja visualiseerimisvõimekuse arengule ning tehisintellekti tehnoloogiate, eriti masinõppe (ML) paralleelsele enneolematule arengule on saanud võimalikuks:
  - asjakohase info eraldamine suurtest andmemahtudest ja
  - keerukate mudelite kiirem “jooksutamine”.

- Arvutusressursile ligipääsu tagamine Eesti ettevõtetele ja asutustele.



LUMI



LEONARDO



MareNostrum

NÄITED MÕJUMUDELITEST JA DT PROJEKTIDEST

Kasutaja vastus kolmele küsimusele ja teeme teie vajadustesat lähtuva analüüsi/simulatsiooni

- ➢ **Millist asutust esindad?**
- ➢ **Millisest kasutusjuhtumist oled huvitatud?**
- ➢ **Palun täpsusta kasutusjuhtumit ja oma huvi**

EcoDT
MEREÖKOLOOGIA DIGITAALNE KAKSIK

TemTa-38

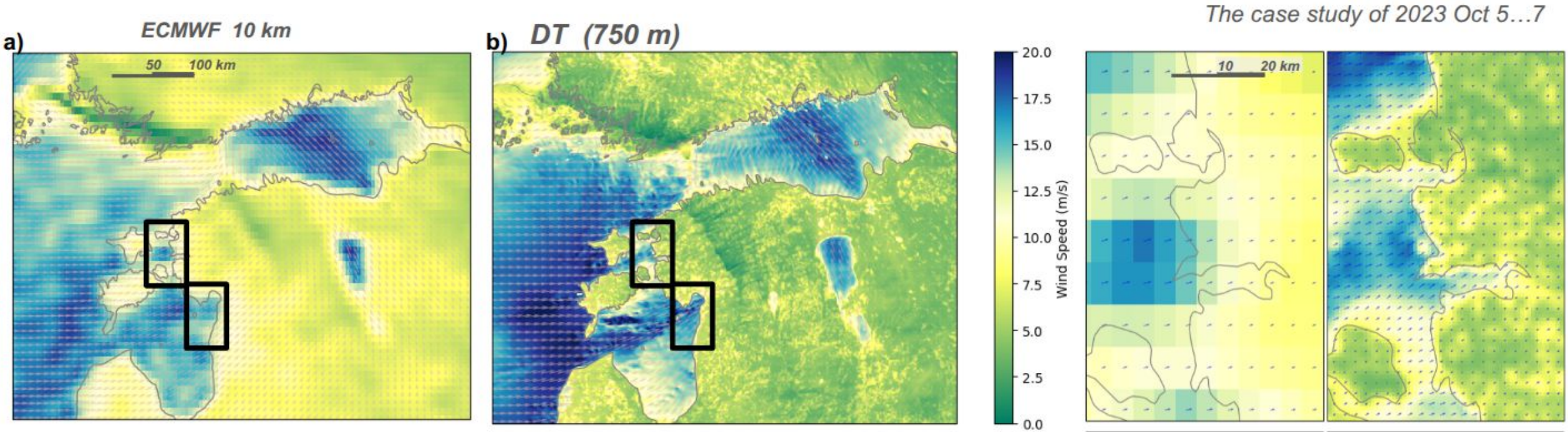
DTO4OWE

MARTE
Marine Technology Excellence Hub for Sustainable Blue Economy in Baltics

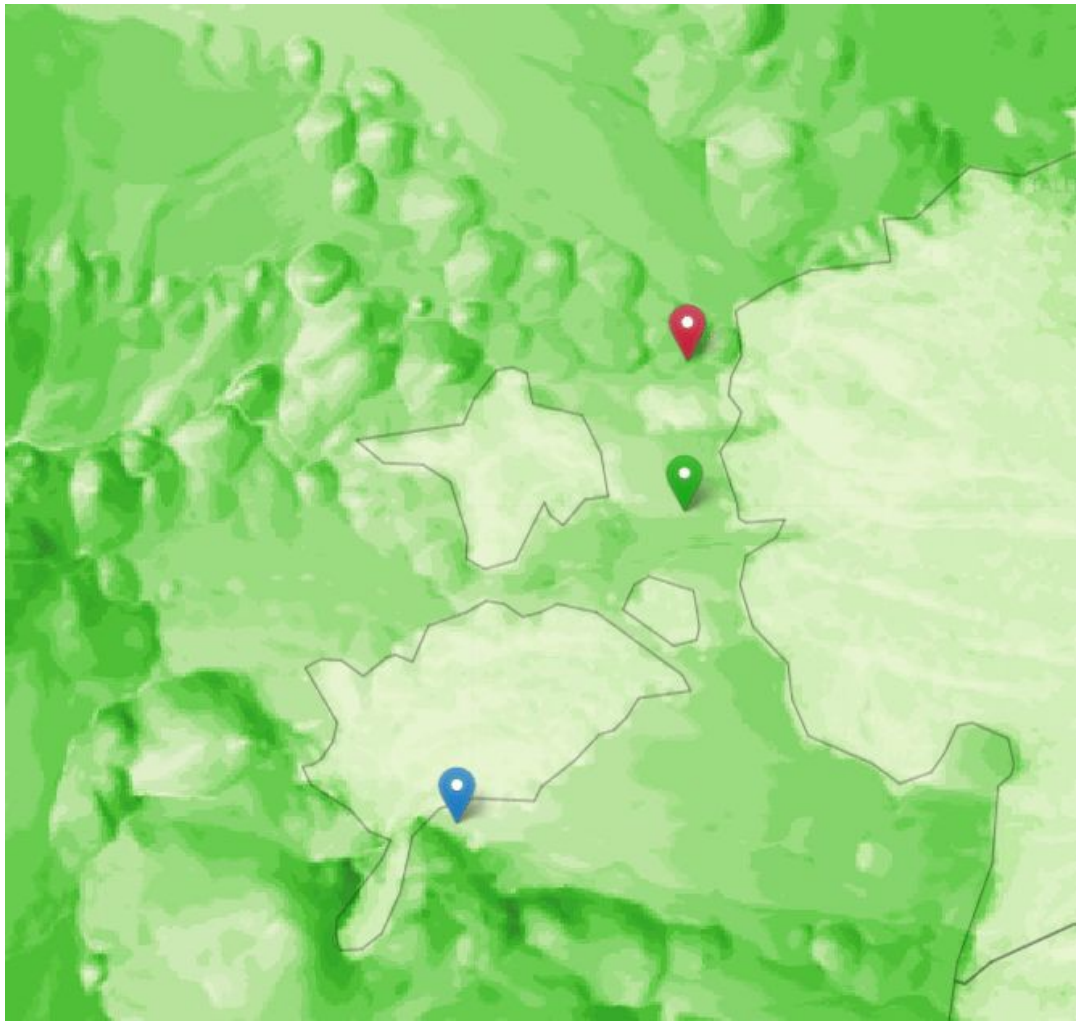
TerraDT
Digital Twin of Earth system for Cryosphere, Land surface and related interactions

Ekstreemsündmuste DigiKaksik

Kõrglahutuslikud meteorloogia mudelid on meremudelite sisendiks

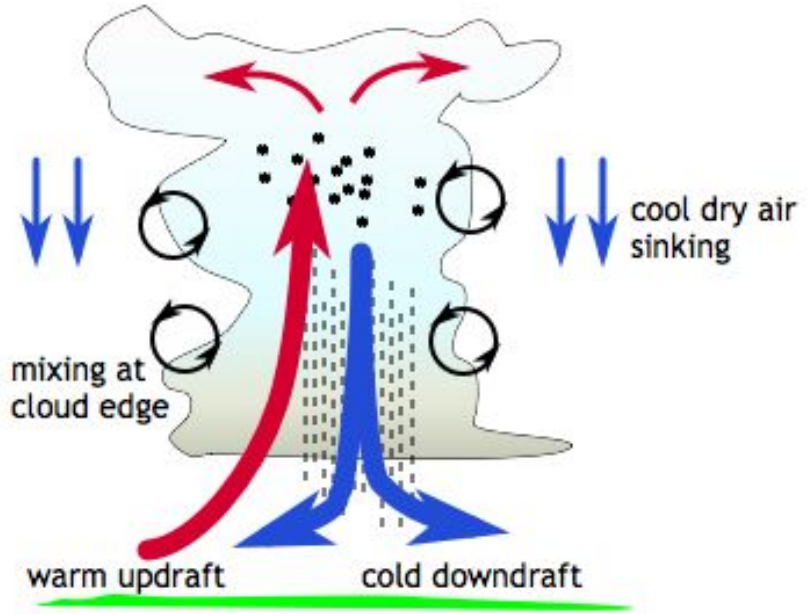


Ekstreemsündmuste DigiKaksik



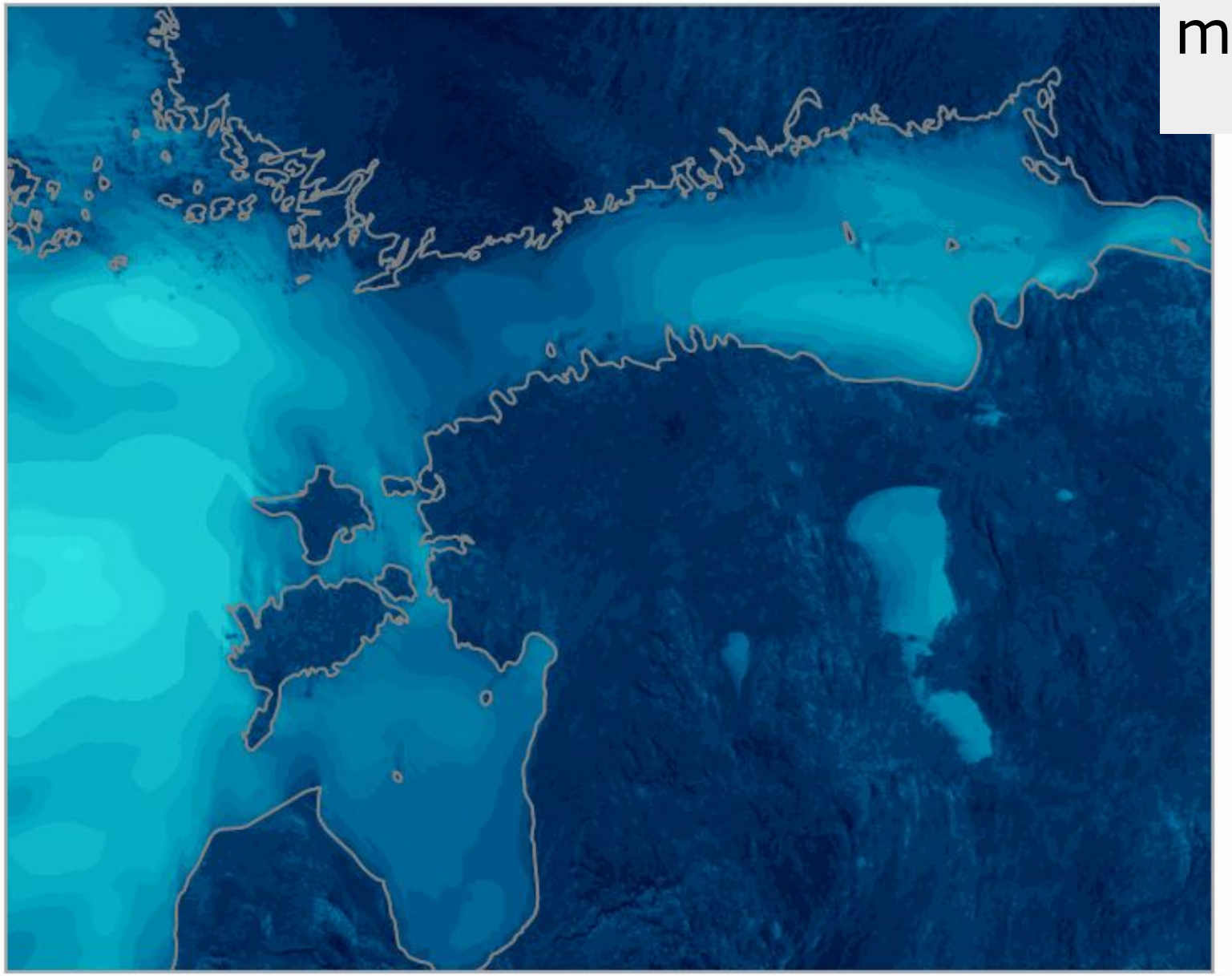
Kõrglahutuslikud meteorloogia mudelid ~500m

Konvektiivsetest sademetest tingitud lokaalsed iilid

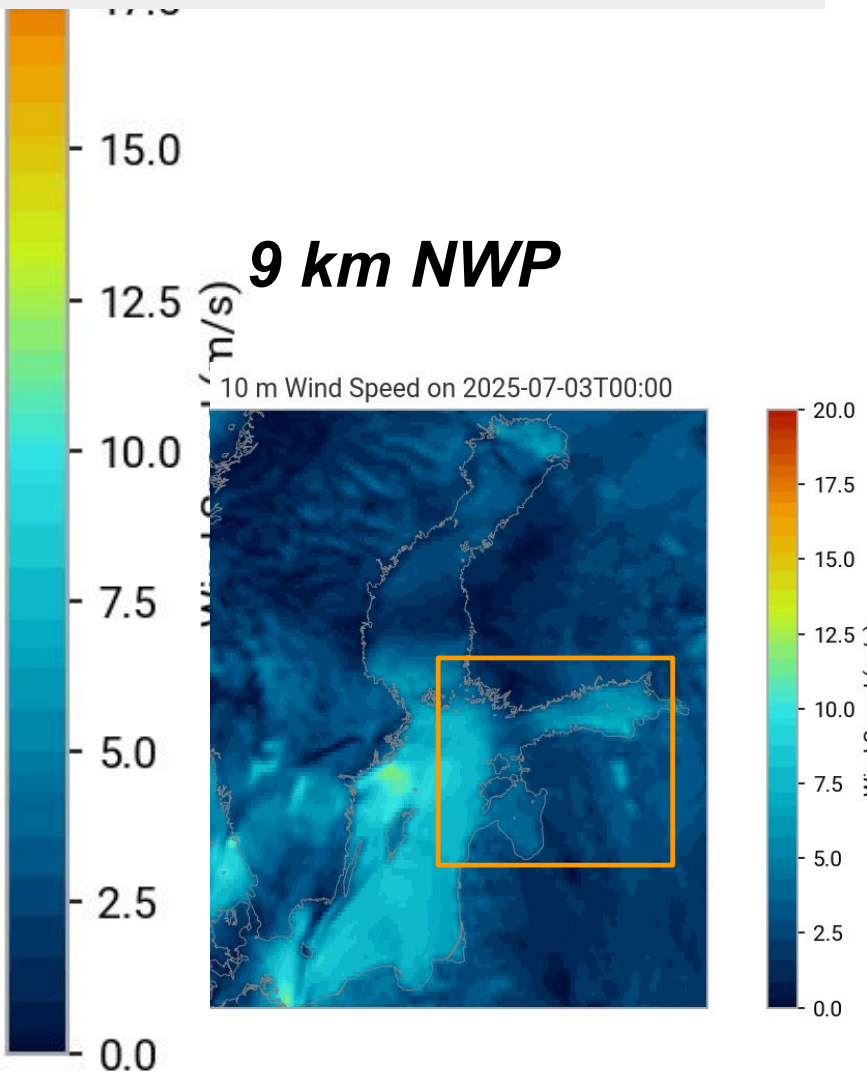


Kõrglahutuslikud meteorloogia mudelid

500 m NWP



9 km NWP



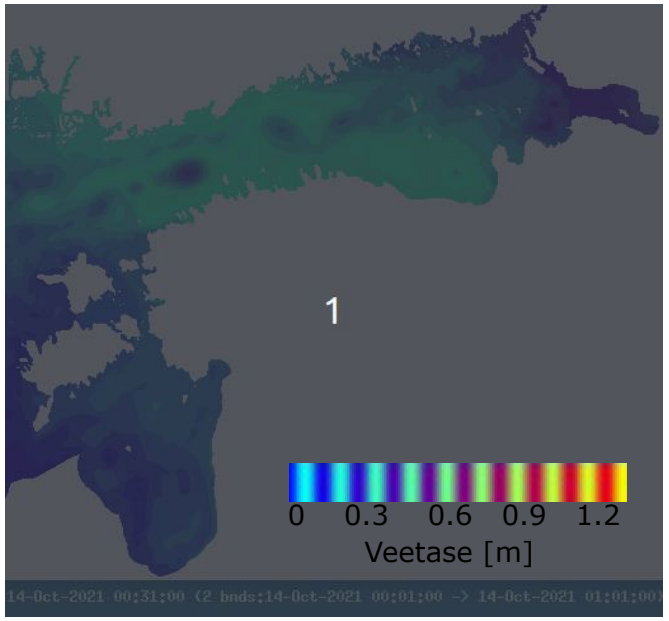
Mere operatiivprognoos teenused

veetase

Veetase liiga madal

Veetase liiga kõrge

***2026 talv kas on oht, et vesi tõuseb jääteele?**







AI kui digikaksikute komponent: veetase

Tehisintellektil põhinev veetaseme ennustus

Vaatlusandmed mudeli sisendina

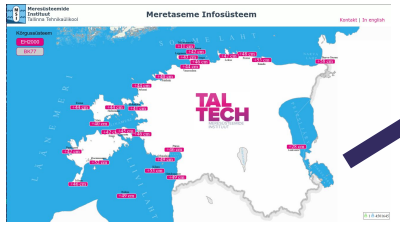
Destination Earth ExtremesDT

Kasutusnäide

Veebruar 2026

- Väinamere erakordselt madal veetase

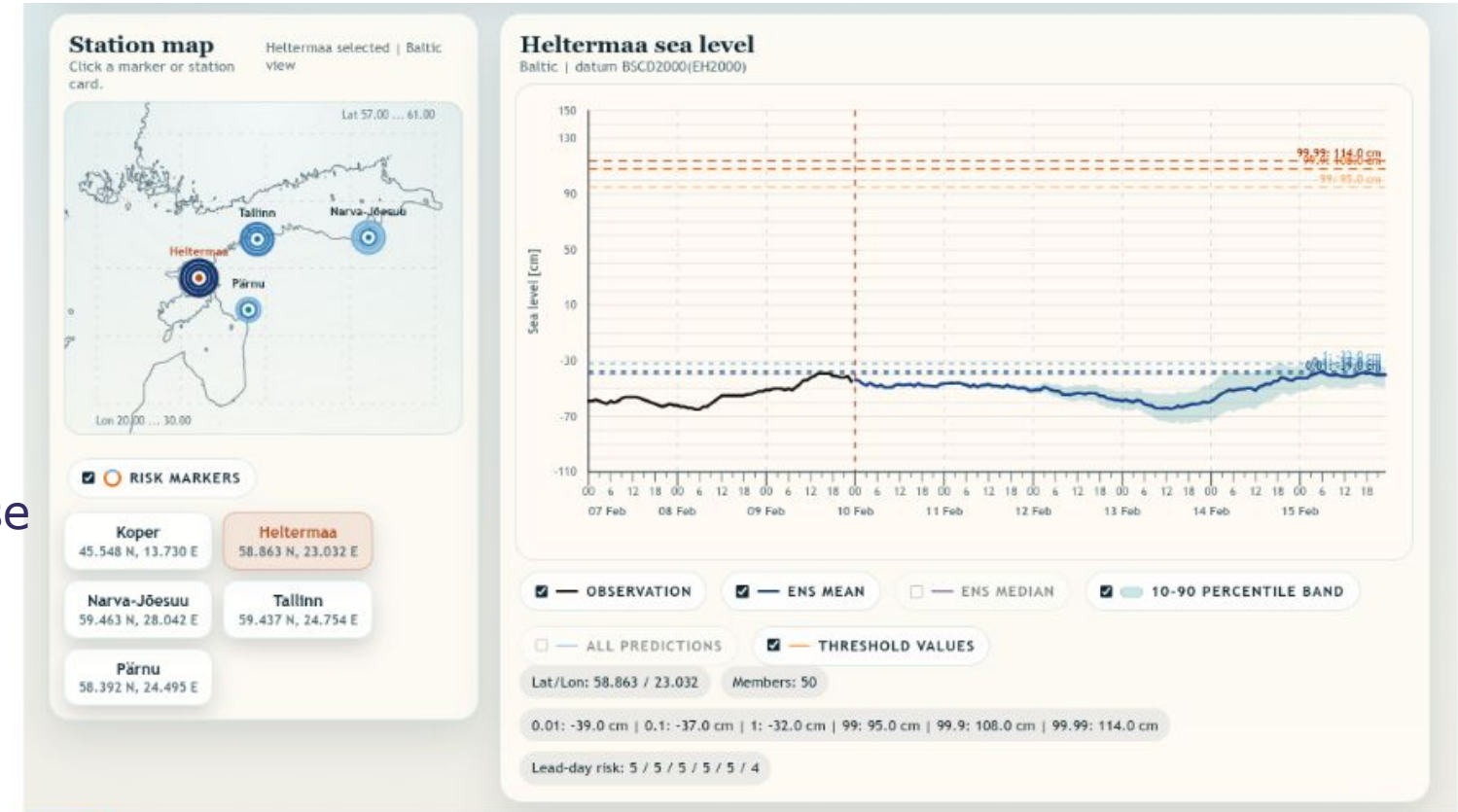
Vaatlused



Copernicus Marine Service

DT operatiivne prognoos





Funded by the European Union Destination Earth implemented by ECMWF esa EUMETSAT

Jää prognoos

Jäätriiv

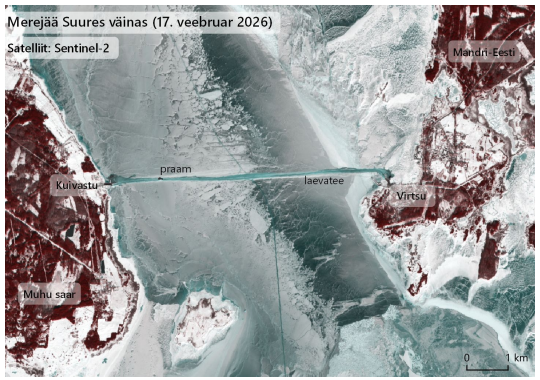
Jääkatte ruumiline jaotus ja triivkiirused

5 päeva prognoos

Prognoos koostatakse: kell 10.00

Kasutajad:

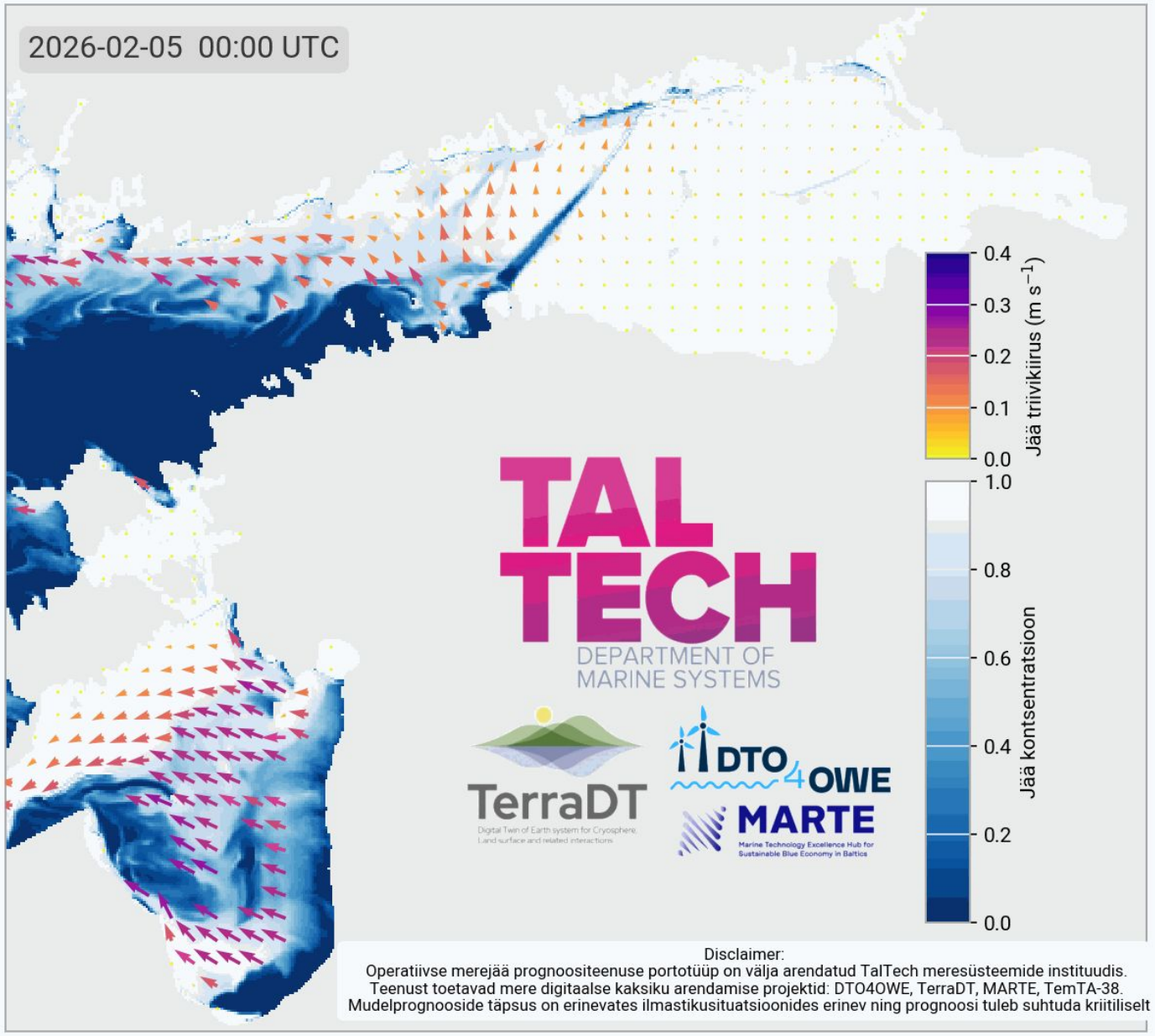
- **Transpordiamet**
  - **jäälõhkujad**
  - **sadamad**
  - **laevaomanikud**
  - **lootsid**



Käimasolev arendus:

Integreerimine Keskkonnaagentuuri **jääkaardi** rakendusse

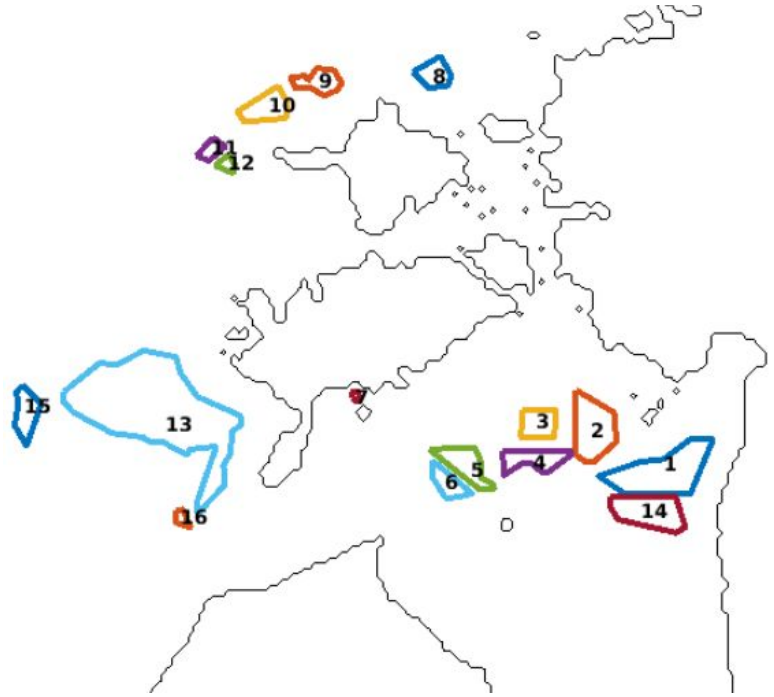
Paremal: Jääprognoosi näide: 5. veebruar 2026

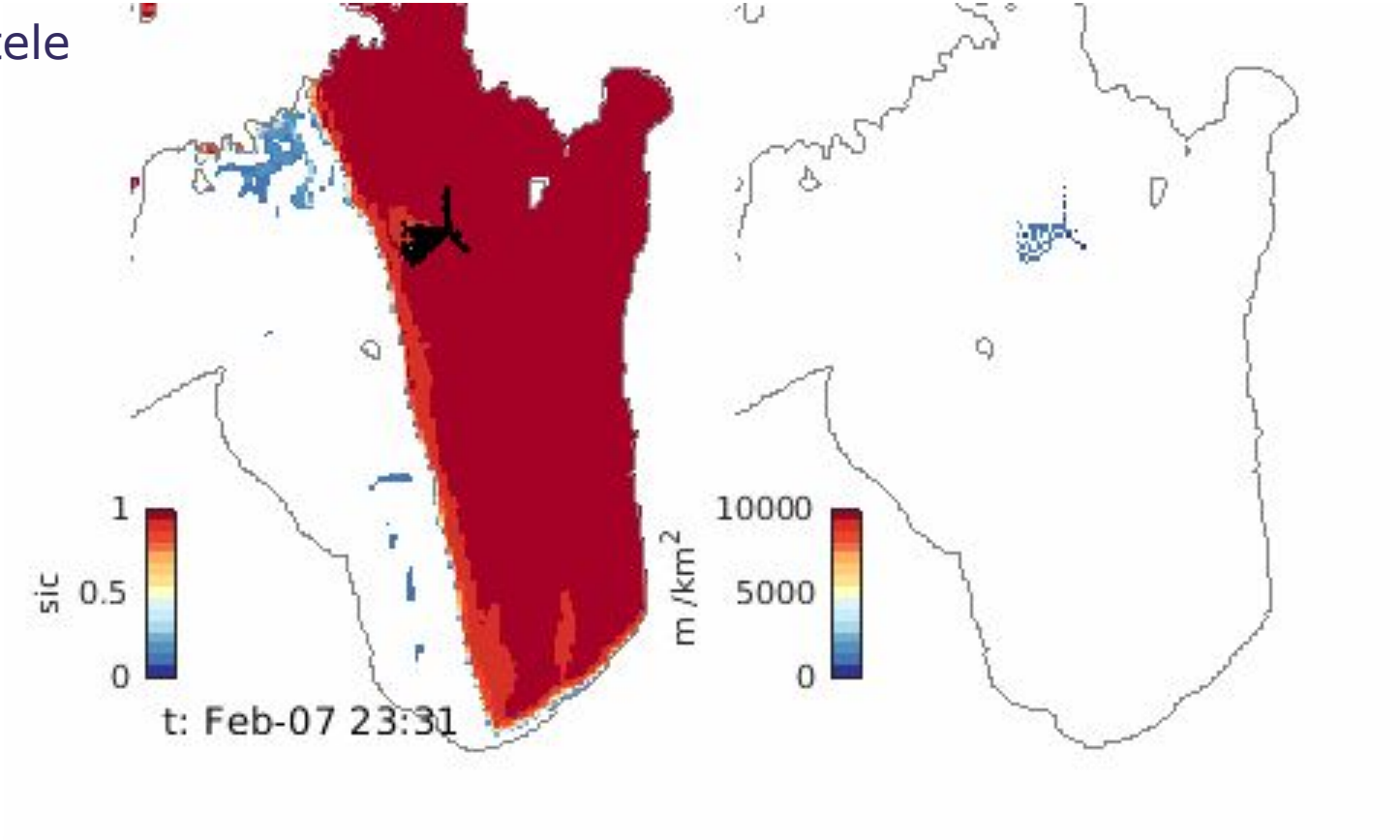


Jääolud kavandatavate meretuuleparkide piirkondades

Simulatsioonid erinevate meretuuleparkide arendusalade korral.

Mõjud laevateedele, sadamatele, teistele meretaristu objektidele.





Vasakul: erinevate meretuuleparkide arenduspiirkonnad Eesti rannikumeres
Paremal: simulatsioon deformeerunud jää levikust tuuleparkidest 2 ja 4

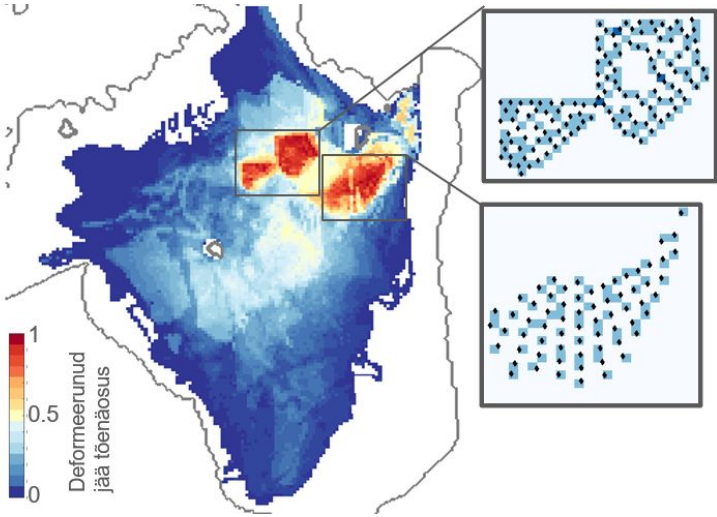
MERE TAASTUVENERGIA DIGITAALNE KAKSIK

TemTa-38

- **Mere taastuvenergia digitaalne kaksik on terviklik tööriist**, mis:
  - annab **ülevaate** merekeskkonna mineviku/oleviku seisundist ja **energia ressursist** (*replica*)
  - võimaldab **prognoosida** merekeskkonna ja **energia ressursside muutusi** (*forecast*)
  - võimaldab arvutada ***mis-siis-kui* stsenaariumeid** (*what-if)*

- **Kasutajad ja kasutusjuhtumid**
  - Ranniku ja avamere energiataristut arendavad ettevõtted/objektid (**Utilitas, Saarte Liinid, Kalasadama kinnisvara arendus / Kobras OÜ, Energiasalv, Tallinna Sadam** jne)
  - Riikliku planeeringu ja järelvalve eest vastutavad riigiasutused ja omavalitsused omavalitsused





Kasutaja vastus kolmele küsimusele ja teeme teie vajadustesat lähtuva analüüsi/simulatsiooni

➢ **Millist asutust esindad?**

➢ **Millisest kasutusjuhtumist oled huvitatud?**

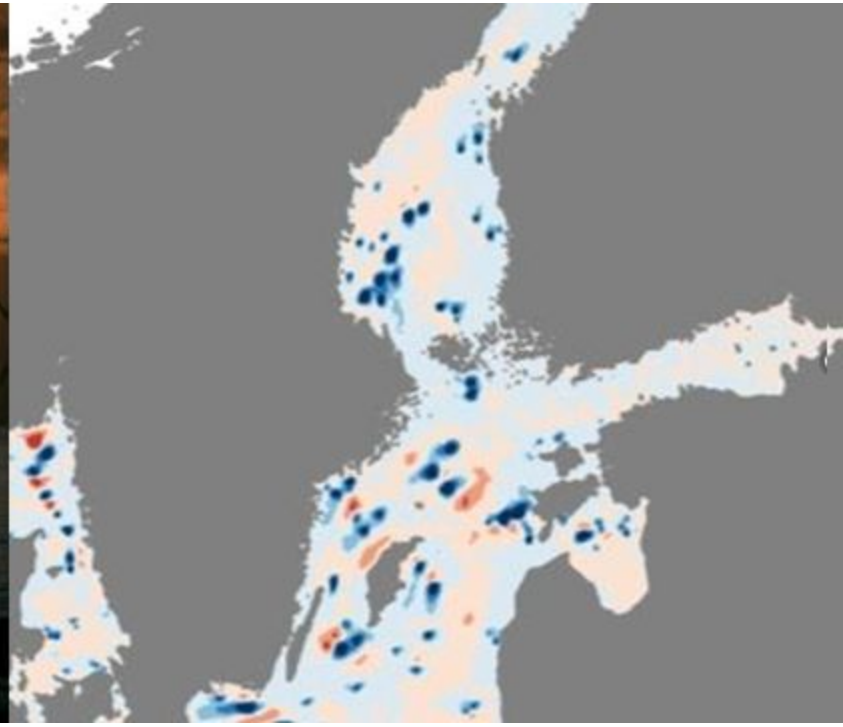
➢ **Palun täpsusta kasutusjuhtumit ja oma huvi**

Avamere tuuleparkide kumulatiivsed mõjud: *wake effects*

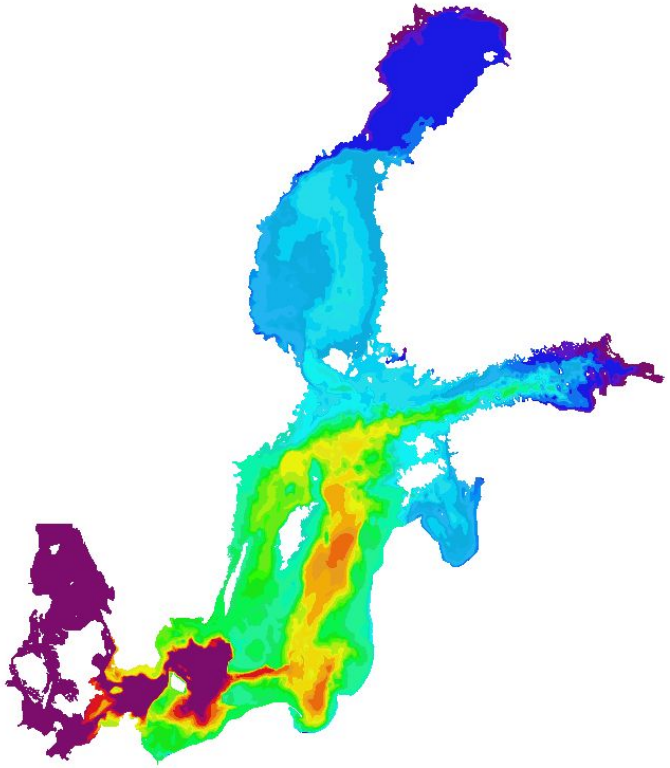
DTO4OWE

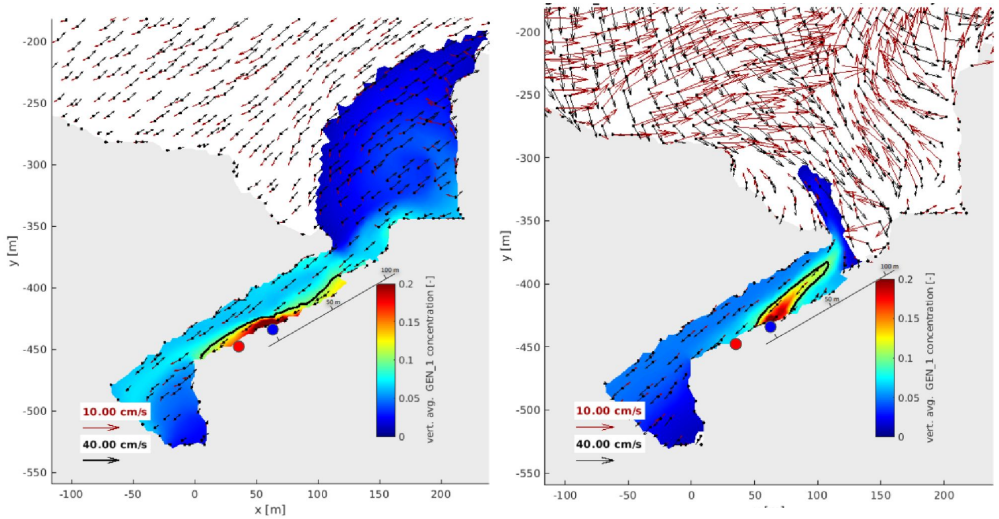
Sustainable Blue Economy Partnership

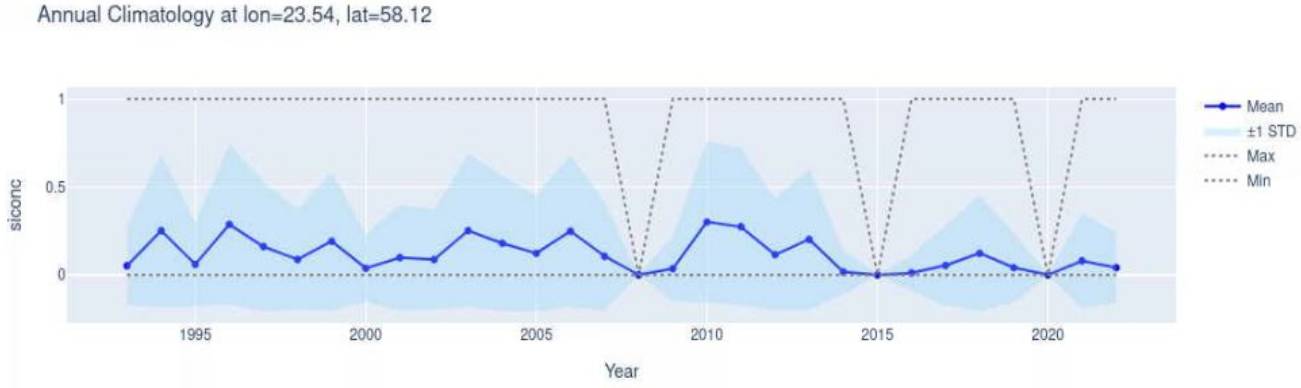





Kalasadam
Linnahall
Kalarannanna
Kursi
Maa-ja Ruumiamet 2026
Merevee haare
Merevee väljavool
Muudetud rannajoon




10.00 cm/s
40.00 cm/s
vert. avg. GEN_1 concentration [-]
x [m]
y [m]

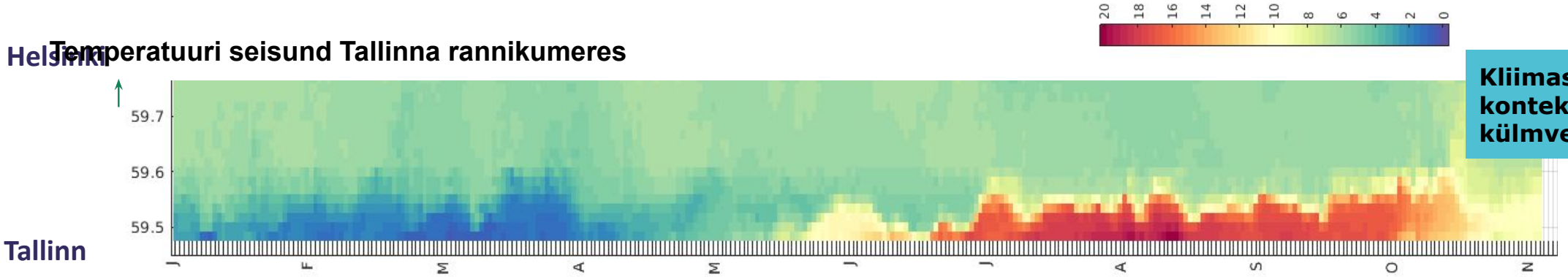

Annual Climatology at lon=23.54, lat=58.12
siconc
Year
Mean
±1 STD
Max
Min

Merevee temperatuur
soojusressursi ennustused

TEMTA38
Mere taastuvenergia digitaalne kaksik

UTILITAS

Temperatuuri seisund Tallinna rannikumeres



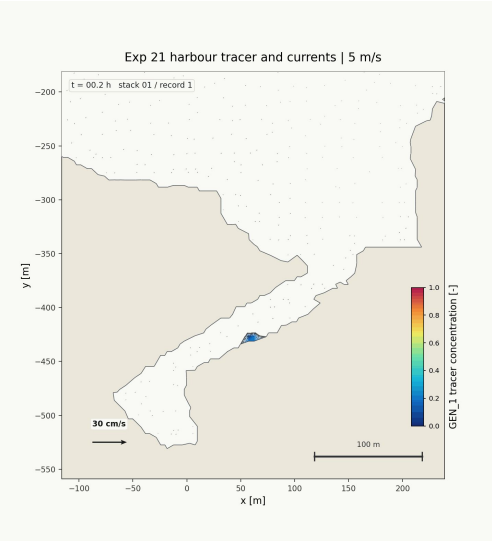
Kuud, alates 1 Jan 2023

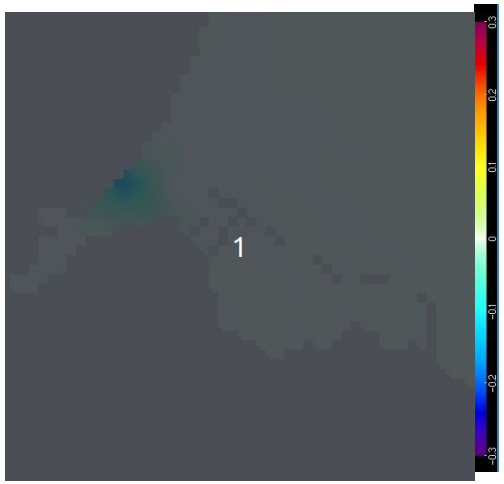
Kliimasoojenemise kontekstis on ka külmvesi suvel ressurss

Simulatsioonid mõjuhinnanguteks

mis juhtub akvatooriumis, kui hakatakse merest soojust pumpama?

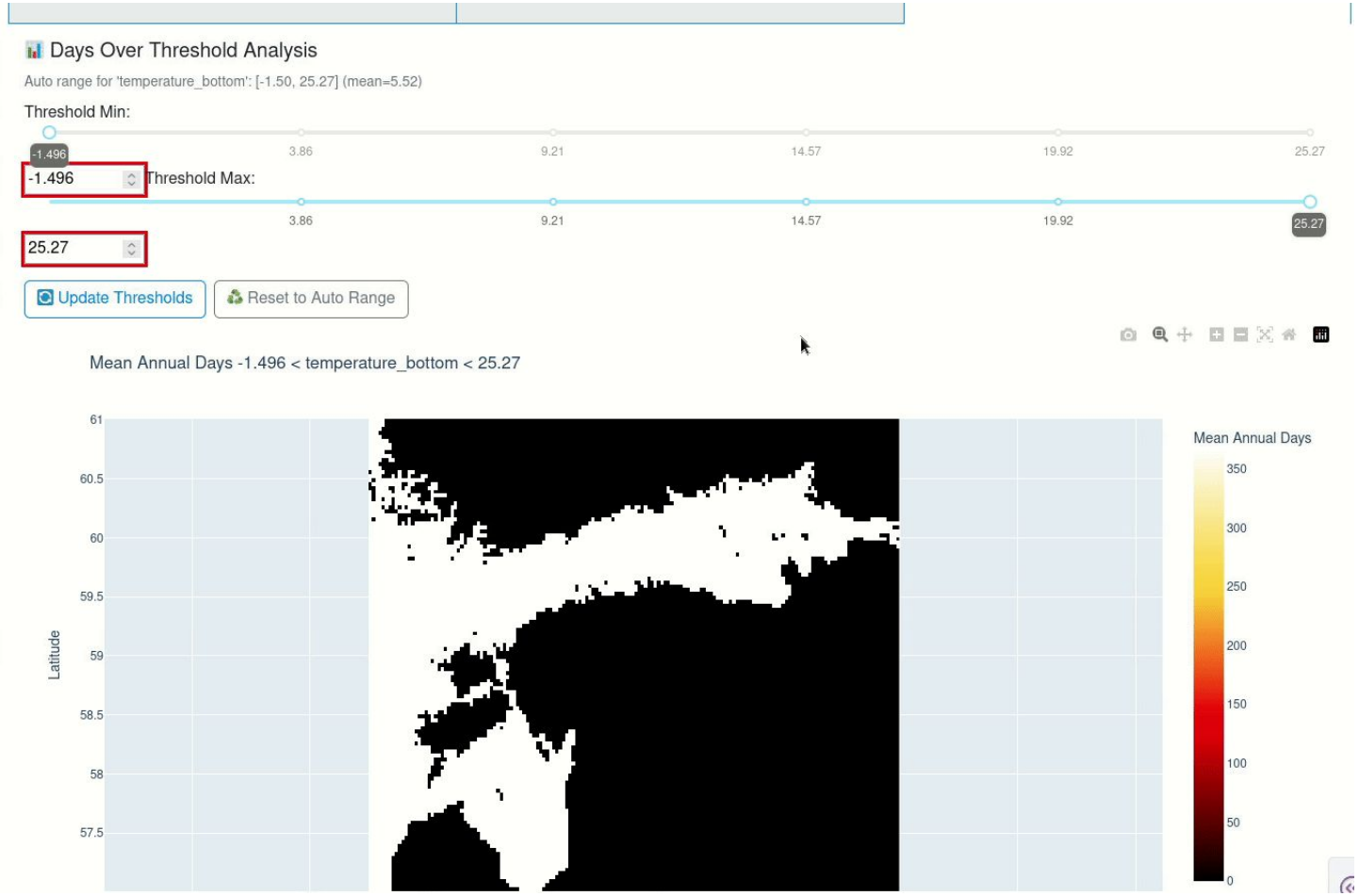
Paremal: Kui kaugele ulatub mõju Kalasadamas?
Vasakul: Veehaarde ja -lasu,
mõju Okt - Dets Hundipea sadamas.





Kasutusjuhtum: mereveesoojus

- Kütmiseks vajaliku temperatuuri määramine
- Päevade arv, mis on sobivad mereveest soojuse ammutamiseks ja kütmiseks



TAL TECH
MERESÜSTEEMIDE INSTITUUT

JÄRELDUSED

EcoDT
MEREÖKOLOOGIA DIGITAALNE KAKSIK

TemTa-38

DTO4OWE

MARTE
Marine Technology Excellence Hub for Sustainable Blue Economy in Baltics

TerraDT
Digital Twin of Earth system for Cryosphere, Land surface and related interactions

TAL TECH
DEPARTMENT OF MARINE SYSTEMS

- DT-d ühendavad mõõtmised, prognoosi ja "mis-siis-kui" stsenaariumid, et hinnata ja ennustada meretegevustega seotud võimalikke mõjusid.
- DT-d tuginevad suurel hulgal andmebaasidel
  - Operatiivsest seirest ja prognoosist -> kliima stsenaariumite /projektsioonideni
    täpsetest kohapealsetest mõõtmistest kuni kõrge lahutusvõimega satelliidiandmeteni
  - Tulevik on AI/ML lahenduste ja HPC ressursside ulatuslik kasutamine.
- Nõudlus on erinevate mõjumudelite järele, mis vastavad sektorite spetsiifilistele vajadustele:
  - avamere rajatised, MSP, navigatsioon, õnnetusjuhtumitele reageerimine, ohutu navigatsioon, kohanemine kliimamuutustega jne.
- Suur vajadus piirkondliku koostöö järele Läänemere DT-de (sh sektoripõhiste mõjumudelite ja rakenduste) väljatöötamiseks.



Kõik see muudab terviklike DTO-de väljatöötamise, mis toetavad teadmistepõhist otsustamist Sinimajanduse sektorites, keeruliseks, kuid võimalikuks.

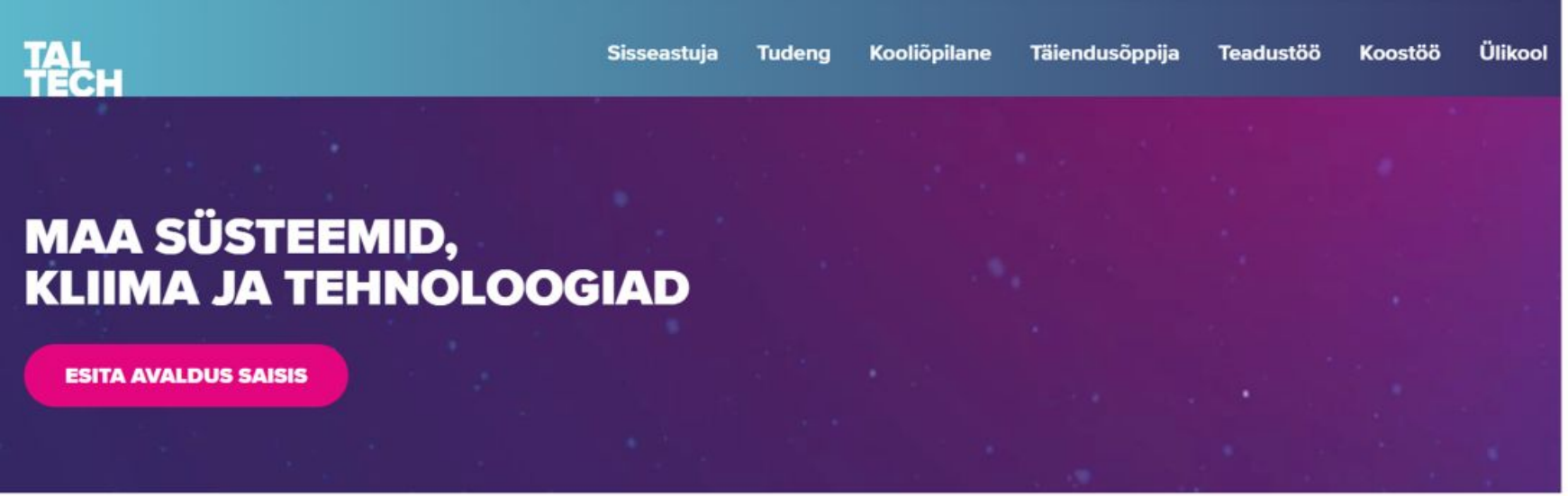
EESTI KESKKONNAANDMETE LAIALDANE KASUTUS JA KASUTJASÕBRALIK KÄTTESAADAVUS

-> Riigiplaani missioon/reform 2028+ ?

- **“Tädi liides” on Eesti keskkonnandmete hõives endiselt reaalsus**
- **Esineb juhtumeid, kui peale kirjalikku küsimist hakatakse “sahtlitest” anndmebaasidesse andmeid lisama või e-mailiga saatma**
- **Sellise andmehalduse korral on väga raske rääkida e-riigile kohastest keskkonnaandmete teenustes.**
- **Ehk vääriks keskkonna ruumiandmete korda tegemine järgmisel eelarveperioodil sisulist ministeeriumiteülest lähenemist, mitte lihtsalt hüüdlauseid stiilis “kõik andmed on riigipilves”.**
- **Keskkonna ruumiandmed eeldavad natuke spetsiifilisemat lähenemist, kui enamus muid andmeid riigi registrites.**

TAL TECH
MERESÜSTEEMIDE INSTITUUT

Eesti (mere)keskkonnaandmed ja infosüsteemid korda!



TAL TECH
MERESÜSTEEMIDE INSTITUUT

AITÄH!

RIVO.UIBOUPIN@TALTECH.EE

SISUKORD

↓ Eriala sisu
↓ Kas sobib mulle?
↓ Tulevik
↓ Õppekorraldus ja sisseastumistingimused

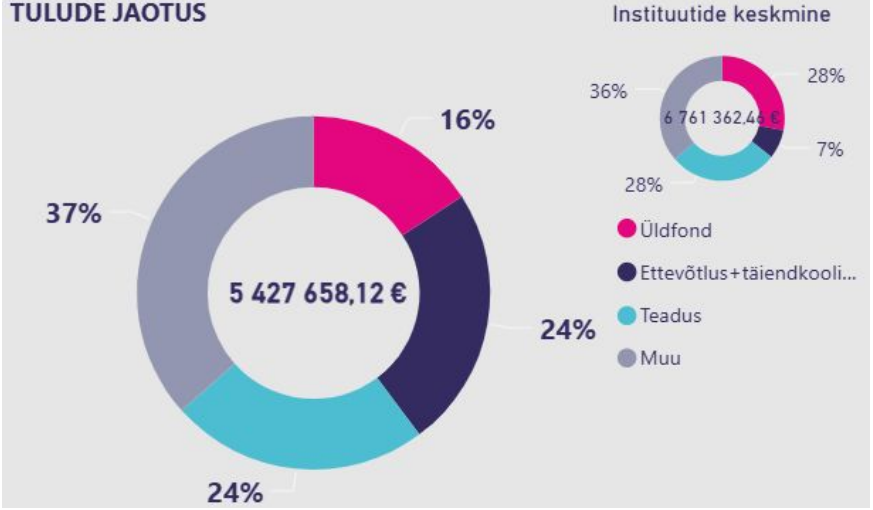
TalTechi kõige Maa-lähedasem eriala õpetab sind tundma planeedi muutuvat keskkonda, planeerima säästlikku ressursikasutust ning rakendama digiajastu nutikaid tehnoloogiaid.

TAL TECH



MERESÜSTEEMIDE INSTITUUT

Meresüsteemide instituut on Läänemere regiooni okeanograafia ja meteoroloogia valdkonna teadus-, ja arendusüksus, mis viib läbi protsessiuuringuid põhjus-tagajärg seoste leidmiseks, arendab merekeskkonna seireteenuseid ning panustab valdkondlikku teaduspõhisesse kõrgharidusse.



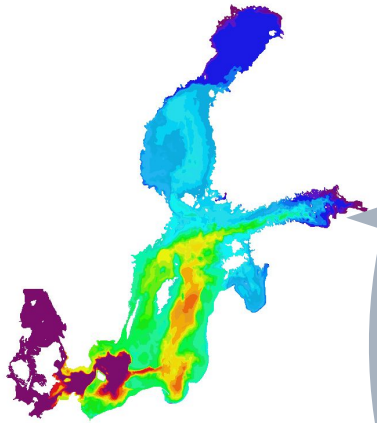
- **Struktuur/osakonnad**
  - Merefüüsika osakond (Taavi Liblik)
  - Modelleerimise ja kaugseire osakond (Aarne Männik)
  - Mereökoloogia labori (Sirje Sildever)
- **Osakondade baasil on moodustatud uurimisrühmad**
  - Gradientsüsteemide dünaamika uurimisrühm (Urmas Lips)
  - Meredünaamika modellerimise ja kaugseire uurimisrühm (Urmas Raudsepp)

- **Millega tegeleme?**
  - Protsessiuuringud meres
  - **Operatiivsete seire- ja prognoosisüsteemide arendamine olukorrateadlikkuse parandamiseks**
  - Suurandmete (järel)analüüs merenduses
  - Atmosfäärifüüsika ja meteoroloogia (s.h. kliima modelleerimine)
  - Merebioloogia ja –keemia (mereprügi, keskkonna DNA, ökotoksikoloogia
  - **Arendame nutipoide võrgustikku ja mere digitaalseid kaksikuid**
- **Rakendades meetodeid:** kontaktmõõtmised, pidevmõõtmised ja operatiivseire, numbriline nu modelleerimine, laborianalüüsid, kaugseire.
- **Mille jaoks?**
  - Teadusuuringud
  - Rakendusuuringud ettevõtetele ja riigiasutustele
  - Operatiivsed keskkonnaseire tehnoloogiad ja mõõteseadmete võrgustikud avalikkuse

MSI

TAL TECH
MERESÜSTEEMIDE INSTITUUT

„Pakume teaduspõhiseid lahendusi ettevõtete probleemide lahendamiseks ja riigi teenuste arendamiseks“



Modelleerimine
-Operatiivne prognoos
-Protsessiuuringud-
-Kliima projektsioonid

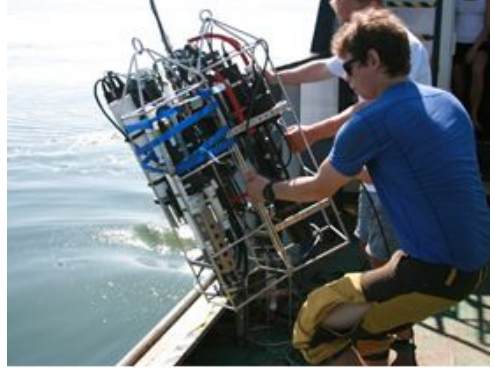
Mõõtmised
- Eksperimendid protsessi uuringuteks
-uurimislaev

Mereökoloogia labor
18 akrediteeritud metoodikat

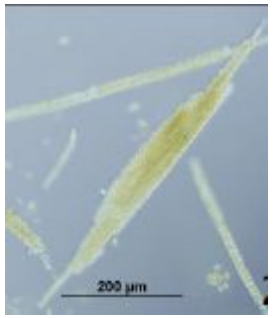
Mere digitaalne kaksik

Nutipoid
-pidev-mõõtmised
- operatiivsed mõõtejaamad

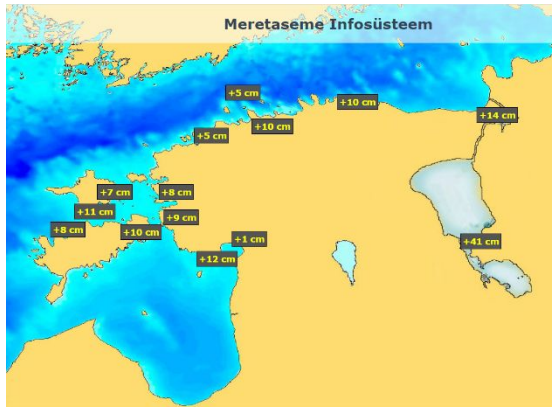
Kaugseire teenused
-Satelliidid
-Droonid

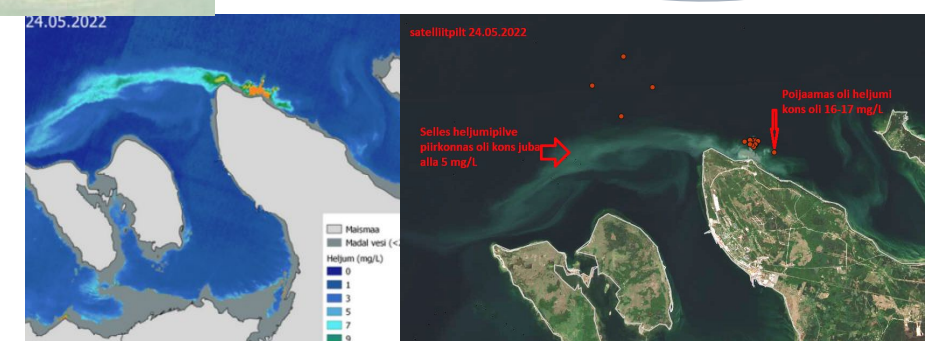














TAL TECH
MERESÜSTEEMIDE INSTITUUT

TAL TECH | Tallinna Tehnikaülikool
Meresüsteemide instituut

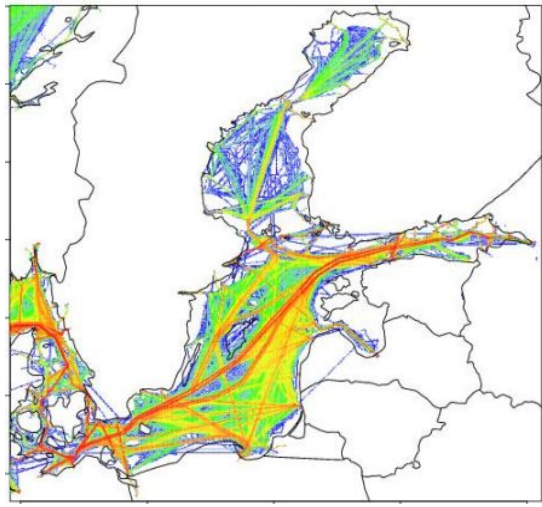
TALTECH MERESÜSTEEMIDE INSTITUUT

ON LÄÄNEMERE REGIOONI OKEANOGRAAFIA JA METEOROLOOGIA VALDKONNA TEADUS-, JA ARENDUSÜKSUS, MIS:

- **VIIB LÄBI PROTSESSIUURINGUID PÕHJUS-TAGAJÄRG SEOSTE LEIDMISEKS,**
- **ARENDAB MEREKESKKONNA SEIRE- JA PROGNOOSITEENUSEID NING**
- **PANUSTAB VALDKONDLIKKU TEADUSPÕHISESSE KÕRGHARIDUSSE.**

- **Mereseire tehnoloogiate/teenuste arendamine ja kasutamine**
  - LainePoiss, innovaatiliste seirelahenduste kasutamine (Glider), Keri jaam, rannikujaamade võrgustik, pidevseirejaamad
- **Mere(keskkonna)seire teostamine ja autonoomsete mõõtejaamade opereerimine**
  - Merekeskkonna seisundi hindamine riigi tellimusel (avamereseire)
  - Operatiivsed mõõtejaamade ja reaalajainfo kõrge avaliku huviga teenustes
  - Avamere ja rannikurajatiste (sadamad, tuulepargid torujuhtmed) arendamisega seotud keskkonnaseire ettevõtetele
  - Satelliitkaugseire teenuste arendaja (jääolude kaardistamine, üleujutusalade kaaristamine):https://jaakaart.envir.ee/
  - JERICO integreeritud üleeuroopaline multidistsiplinaarne teadustaristu: https://www.jerico-ri.eu/et/kodu/
- **Merekeskkonna operatiivsete prognoositeenuste arendamine**
  - meretaseme infosüsteem (http://on-line.msi.ttu.ee/meretase/)
  - Euroopa Copernicuse mereteenuse arendaja (https://marine.copernicus.eu/)
  - Mereilma prognoos (https://www.ilmateenistus.ee/meri/mereprognoosid/merevee-temperatuur/#layers/temperature)
  - Mereilma prognoosmudelite arendamine: https://www.ilmateenistus.ee/meri/mereprognoosid/oluline-lainekorgus-ja-suund/
- **Kliimateenused ja keskkonna suurandmete analüüs**
  - Klimmamuutuste modelleerimine (AdaptEst)
  - Kliima muutustega kohanemise strateegiate väljatöötamine
  - Protsessiuuringud





MARINE ECOLOGY DIGITAL TWIN (EcoDT): OBJECTIVE

EcoDT
MEREÖKOLOOGIA DIGITAALNE KAKSIK

- The aim of this project is to create a prototype of a digital twin of the ecology of the Estonian marine area, that enables:
  - to analyse the most important physical, chemical and biological processes in the Estonian marine area (2000–2050), including developing spatial models of species richness, species biomass, ecosystem processes and EIAs.
  - to predict the cumulative environmental impacts of different marine use and climate scenarios (baseline scenario, BSAP, sector-specific “what-if” scenarios) on different ecosystem elements.
  - to quantify changes in different marine areas in order to provide input to policy-making and planning, to implement the “polluter pays” principle more effectively and to assess the needs for the protection and restoration of marine areas.

Reviewer: “This is not a classic study, but the development of a complex and practical tool – a digital twin – that would be able to bring together and integrate different scientific models about the Estonian coastal sea.”

TAL TECH MERESÜSTEEMIDE INSTITUUT
Kaasrahastanud Euroopa Liit
Eesti tuleviku heaks