



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

EESTI MEREAKADEEMIA

Merenduskeskus

Alina Brussenkova

**COPERNICUS MEREKESKONNA SEIRE TEENUSE
VEEPINNA TEMPERATUURI PRODUKTIDE ANALÜÜS
LÄÄNEMERE KOHTA**

Lõputöö

Juhendajad:

TTÜ Eesti Mereakadeemia, lektor Lia Pahapill
Keskkonnaagentuur, peaspetsialist Liis Sipelgas

Tallinn, 2019

Olen koostanud töö iseseisvalt.

Töö koostamisel kasutatud kõikidele teiste autorite töödele, olulistele seisukohtadele ja andmetele on viidatud.

Alina Brussenkova

.....

(allkiri, kuupäev)

Üliõpilase kood: 154690VDVR

Üliõpilase e-posti aadress: alinabrussenkova@gmail.com

Juhendaja : lektor, Lia Pahapill

Töö vastab lõputööle esitatud nõuetele

.....

(allkiri, kuupäev)

Kaitsmiskomisjoni esimees: PhD, Inga Zaitseva-Pärnaste

Lubatud kaitsmisele

.....

(ametikoht, nimi, allkiri, kuupäev)

KASUATUD LÜHENDID

CMEMS	Copernicus merekeskkonna seire teenus; Copernicus mereteenus
SST	Merevee pinnatempertuur
ESA	Euroopa Kosmoseagentuur
EUMETSAT	Euroopa Meteoroloogiline Satelliitide Organisatsioon
ECMWF	Euroopa Keskpika Ilmaennustuse Keskus
GHRSSST	Kõrge eraldusvõimega merepinna temperatuuri rühm
IR	Infrapunane radiomeetria
PMW	Passiivsemikrolaine radiomeetria
INS TAC	In-situ temaatiline assamblee keskus
MFC	Järelevalve- ja prognoosimiskeskused
DMI	Taani Meteoroloogia Instituut
FMI	Soome Meteoroloogia Instituut
BSH	Mere- ja hüdrograafiaamet Saksamaal
SMHI	Rootsi Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituut
MSI	Tallinna Tehnikaülikooli Meresüsteemide Instituut
HBM	Läänemere kõrge eraldusvõimega operatsioonimudel
BOOS	Baltimaade Piirkondliku Vaatlussüsteem
SSTint	Temperatuur õhu-mere liides
SSTskin	Merepinna temperatuur 10-20 mikromeetri sügavusel vees
SSTsubskin	Merepinna temperatuur ~ 1 mm sügavusel vees

SSTdepth	Merepinna temperatuur sügavusel SSTsubskin-ist kuni SSTfnd-ni
SSTfnd	Merepinna aluse temperatuur
NetCDF	Võrgu ühine andmevorm
SeaDataNet	Euroopa projekt, mis ühendab ELi riiklike okeanograafiliste andmekeskuste võrgustiku
L3C	Ühe satelliidi poolt mõõdetud
L3S	Mitme satelliidi poolt mõõdetud
AVHRR	Väga kõrge eraldusvõimega infrapunane radiomeeter

ANNOTATSIOON

Copernicus mereteenuse peaesmärk on esitada merega seotud andmed produktide kujul CMEMS-veebiportalis. Produktidena käsitletakse mudeli andmeid, satelliidi ja in-situ mõõtmistulemusi sisaldavaid tooteid. Produktide võrdluse eesmärk oli valida sobivaim mere pinnatemperatuuri produkt, mis oleks aluseks Eesti jääkardile isothermide lisamisel. Uuringu raames kasutati kvalitatiivset meetod, et võrrelda erinevaid produkte ja leida, milline neist vastab Riigi Ilmateenistuse seatud kriteeriumitele. Isotherme kasutatakse merejää analüüsimiseks ja prognoosimiseks. Töö käigus tehtud analüüsi tulemusena selgus, et sobib ainult mudeli produkt, mille alusel lisati samatemperatuuri jooned jääkaardile.

Võtmesõnad: CMEMS, merevee pinnatemperatuur, SST produktid.

SISUKORD

Kasutatud lühendid	3
Annotatsioon.....	5
Sisukord.....	6
Sissejuhatus	7
1. Copernicus programm.....	9
1.1. Copernicus merekeskkonna seire teenus	9
2. Kasutatud andmed.....	11
2.1. Merepinna temperatuur satelliitandmetest	11
2.2. In-situ mõõdetud merepinna temperatuur	13
2.3. Merepinna temperatuur mudelandmetest.....	15
2.4. Produktide ülevaade.....	17
3. Analüüs.....	19
3.1. Andmete töötlemise tase	19
3.2. Ruumipunktide kontroll	20
3.3. Produktide ruumilise lahutuse võrdlus	22
3.4. Produktide ajaline sobivus võrdlus.....	23
3.5. Tulemused	24
Kokkuvõtte	27
Summary	30
Kasutatud allikad	31
Lisad.....	33
Lisa 1. Ruumipunktide kontrolltabel.....	33
Lisa 2. Lineaarsed profiilid	35
Lisa 2.1. Profiili trajektoor	38
Lisa 2.2. Profiili tabelid.....	38
Lisa 3. Kvaliteedikontrolli lipud	39

SISSEJUHATUS

Copernicus on Euroopa Maa seire süsteem, mida koordineerib ja haldab Euroopa Komisjon. See koosneb süsteemidest, mis koondavad andmeid erinevatest allikast: satelliitidel ja in-situ anduritest ja mudelandmed. Copernicus programm hõlmab kuut valdkonda ja üks nendest on merekeskkonna seire. Teenus pakub pidevat ja süstemaatilist informatsiooni ookeanide ja merede ökosüsteemide kohta nii globaalsel kui ka regionaalsel tasemel (Copernicus programmi brošüür, 2015). Läbi Copernicus merekeskkonna seire teenuste (CMEMS) veebiportali võib tasuta alla laadida andmed, mis on esitatud produktide kujul. Produktid põhinevad satelliitseirel, in-situ mõõdistustel ja mudelitel, hõlmates näitajaid nagu - temperatuur, hoovuste kiirus ja suund, merejää soolsus ja paksus, vee kvaliteedi näitajad, klorofüllü kontsentratsioon, fosfaadi, nitraadi ja hapniku sisaldus. (Marine Copernicus, 2016)

Lõputöö eesmärk on valida sobivaim mere pinnatemperatuuri produkt CMEMS-veebikataloogist, mis oleks aluseks Eesti jääkaardile temperatuuri samajoonte lisamisel. Produkt peab vastama Riigi Ilmateenistuse seatud kriteeriumitele. Esimene kriteerium on võimalikult pinna lähedane veetemperatuur. Teine on hea ruumiline lahutus, sobivaim oleks kui 1x1 km. Lisaks peab temperatuuri väli katma kõik ruumipunktid, nii et väljas ei oleks auke (augud temperatuuriväljas takistavad isothermide joonistamist). Kolmas tingimus on kättesaadavus - produkt peab olema kättesaadav iga päev hommikul enne kella 12.00 sellepärast, et jääkaart koostatakse sel ajal. Töö tulemusena saadakse isothermidega jääkaart, mis vastab ilmateenistuse kriteeriumitele.

Praegu ei ole mingit rahvusvahelist kokkulepet, mis kohustaks jääkaardile lisama veetemperatuuri samajooni, kuid isojooned annaksid jääkaardi kasutajatele lisainformatsiooni. Merejää lähedal pinnavee temperatuur iseloomustab kas algab sulamine või jää tekkimine. Seega pinnatemperatuur on üks vaheneid, mida kasutatakse merejää analüüsimiseks või ennustamiseks. Eesti jääkaardil puuduvad veetemperatuuri samajooned, seega on töö käigus tehtud CMEMC produktide analüüs tulevikus kasutatav paremate jääkaartide koostamiseks Riigi Ilmateenistuse poolt.

Lõputöö koosneb kolmest peatükist. Esimeses peatükis on kirjeldatakse Copernicus programmi ja selle programmi merekeskkonna seire teenust (CMEMS).

Teises peatükis antakse ülevaade töös kasutatud andmetest ja sellest, kuidas need koguti. Lisaks tuuakse tabelina töös kasutatud produktide ülevaade.

Kolmas peatükk sisaldab teises peatükis esitatud produktide võrdlust. Võrreldakse selliseid parameetreid nagu andmete taseme kontroll, ruumipunktide kattuvus, ruumiline lahutus ning ajaline sobivus.

Lõputöö raames kasutati kvalitatiivset ja kvantitatiivset uurimismeetod. Kvalitatiivne meetod oli kasutusel erinevate produktide võrdlusel ja kvantitatiivse meetodiga leiti produktide merepinna temperatuuri erinevused.

1. COPERNICUS PROGRAMM

Copernicus (eelmine nimetus GMES, Global Monitoring for Environment and Security) on Euroopa Liidu Maa seire programm, mis töötab alates aastast 1998. Programmi eesmärgiks on kasutada suurt hulka globaalseid andmeid satelliitidelt, mudelitest ja in-situ õhu- ja meremõõtmis süsteemidelt aitamaks teenusteosutajaid, riigiasutusi ja rahvusvahelisi organisatsioone, et seireta ja parandada Euroopa kodanike elukvaliteeti. Programm koosneb kuuest valdkonnast: atmosfääri seire; merekeskkonna seire; maa seire; kliimamuutused; hädaolukordade ohjamine ja julgeolek. (Copernicus programmi brošüür, 2015)

1.1. Copernicus merekeskkonna seire teenus

Copernicus merekeskkonna seire teenus (CMEMS) on osa Copernicuse programmist, mis on Euroopa Komisjoni hallatav ELi programm. Seda rakendab Mercator Ocean (organisatsioon, mis pakub ookeani infoteenuseid avalikes huvides) koostöös rahvusvaheliste organisatsioonidega, ESA, EUMETSAT, ECMWF. Programmi eesmärk on välja töötada Euroopa teabeteenuste kogum, mis põhineb Maa seirel ja in-situ andmetel. (Marine Copernicus, 2016)

CMEMS hakkas tegutsema 2015.aasta aprillis. See annab regulaarset ja süstemaatilist teavet ookeani ja mere ökosüsteemide seisundi ja dünaamika kohta maailmamerel ja Euroopa piirkondlikel meredel. Need andmed hõlmavad praeguse olukorra analüüsi ja prognoosi ning retrospektiivsete andmete salvestamist (re-analüüsi). Copernicuse mereteenus pakub tooteid, mis kirjeldavad hoovusi, temperatuuri, tuult, soolsust, merepinna taset, merejää ja biogeokeemiat. Need tegurid toetavad mere- ja merendusalseid rakendusi ning nendega seotud ELi poliitikavaldkondi, nt: meresõiduohutus; mere- ja rannikukeskkond; mereressursid; ilm, hooajalised prognoosid ja kliima. (Ibid.)

Näiteks hoovuste, tuule ja merejää andmed aitavad parandada laevade navigeerimisteenuseid, aidates seega kaasa **meresõiduohutuse** tagamisele.

CMEMS teenus aitab kaasa ka **elusressursside** kaitsele ja säästvate majandamisele, eelkõige vesiviljelusele, säästva kalavarude majandamisele või piirkondlike kalandusorganisatsioonide otsustusprotsessidele.

Mere füüsikalised ja biogeokeemilised komponendid on kasulikud vee kvaliteeti jälgimiseks ja reostuse kontrollimiseks. Mere taseme ja temperatuuri tõus on kliimamuutuse peamine näitaja ning see aitab ka ranniku erosiooni hinnata. Merepinna temperatuuri tõus avaldab otsest mõju mere ökosüsteemidele ja troopiliste tsüklonite ilmumisele. Tulemusena toetab teenus mitmesuguseid **ranniku- ja merekeskkonna rakendusi**.

Paljud teenuse poolt edastatud andmed (nt veetemperatuur, soolsus, merepinna tase, hoovused, tuul ja merejää) mängivad samuti olulist rolli **ilma, kliima prognoosimise** valdkonnas. (Ibid.)

ESA ja EUMETSAT koordineerivad üle 30 satelliiti andmete edastamise kasutajatele. Copernicuse teenuste oluliseks komponendiks on satelliidiandmed. ESA on projekteerinud Copernicuse programmiks kuus Sentinel-satelliidimissiooni, millel on oma eesmärk. (Sentineli missioonid, 2019,6)

Sentinel-1 on radarsatelliit, mille andmeid kasutatakse nii mere kui maismaa teenuste aga ka eriolukordade (maanhked) seireks.

Sentinel-2 on optiline multispektraalne spektomeeter mille andmeid kasutatakse nii mere kui maismaa seireks.

Sentinel-3 satelliit ühendab kolme erinevat satelliitsensorit, mis mõõdistavad andmeid eelkõige mere seire teenuste jaoks.

Sentinel-4 ja Sentinel-5- eesmärk on jälgida õhukvaliteedi muutust ning aerosoole ja teiste gaaside levimist üle Euroopa.

Sentinel-6 on mõeldud ookeanide veetaseme määramiseks. (European Space Agency, 2016)

2. KASUTATUD ANDMED

Selles peatükis on kirjeldatud, millised on mere pinnatemperatuuri andmete hankimise võimalused.

Copernicus merekeskonna seire teenuste süsteemi andmed on esitatud produktide kujul, mille saab leida veebiportaali CMEMS elektroonilisest kataloogist. Eraldi produktidena arvestatakse mudeli andmeid, satelliidi ja in-situ mõõtmistulemusi sisaldavaid tooteid.

2.1. Merepinna temperatuur satelliitandmetest

Merepinna temperatuur (SST) on oluline geofüüsikaline näitaja, mis annab informatsiooni atmosfääri-meri soojusvoo hindamisel. Ülemaailmsel tasandil on see oluline kliima modelleerimiseks, Maa soojustasakaalu uurimiseks ning atmosfääri- ja ookeani ringluse muustrite ja anomaaliate uurimiseks.

Meetodid SST määramiseks satelliidi kaugseirest hõlmavad **termilise infrapunane (IR)** ja **passiivsemikrolaine (PMW)** radiomeetriat. Mõlemal meetodil on oma tugevad ja nõrgad küljed, mida kirjeldatakse allpool.(Marine monitoring, 2016)

Termilise infrapunane SST-mõõtmistel on pikk ajalugu, mis kestab umbes 20 aastat. Need on radiomeetristest vaatlustest lainepikkustel $\sim 3.7 \mu\text{m}$ ja/või ligikaudu $10 \mu\text{m}$. Kuigi $3,7 \mu\text{m}$ kanal on SST suhtes tundlikum, kasutatakse seda peamiselt öistel mõõtmistel, sest päevasel ajal on päikesekiirguse peegeldumine sellises lainepikkuse piirkonnas suhteliselt tugev ning segab SST hindamist. Mõlemad ribad on tundlikud pilvede ja aerosoolide suhtes. Sel põhjusel vajavad SST termilised infrapunane mõõtmised esmalt atmosfääri signaali korrigeerimist ja neid saab kasutada ainult pilvevabade pikslite jaoks. Seega SST-kaardid, mis on koostatud IR mõõtmistest iganädalased või igakuised komposiidid.(John Maurer, 2002)

Passiivsete mikrolaineandurite SST-vaatlused on laialdaselt tunnustatud IR-vaatluste olulise alternatiivina. Passiivsete mikrolaineandurite eeliseks on see, et pilved ei mõjuta oluliselt nende lainepikkuste kiirgust ja neid on kergem korrigeerida atmosfääri mõjude suhtes. Ilmingud, mis mõjutavad passiivset mikrolainesignaali, on seotud tuulest põhjustatud ookeani

pinnakareduse ja sademetega. Neid võib siiski korrigeerida mitme sagedusega. SST-mõõtmised tehakse peamiselt kanaliga, mis asub 7 GHz juures ja mille korrigeerimine veeauru suhtes toimub kanalil 21 GHz. Teised sagedused, mida kasutatakse pinna kareduse (sh vaht), sademete ja mikrolainekiirguse vähese mõju korrigeerimiseks on 11, 18 ja 37 GHz. (Ibid.)

Satelliidi SST saadakse mikrolaine (PMW) ja termilise infrapunakiirguse (IR) abil. Need kaks andurit mõõdavad SST-i erinevatel sügavustel, mis on seotud satelliit-anduri sagedusega. Näiteks mõõdavad IR-andurid SST-d umbes 10-20 mikromeetrise sügavusega, samas kui PMW-andurid mõõdavad SST-d mõne millimeetri sügavusel. (Marine monitoring, 2016)

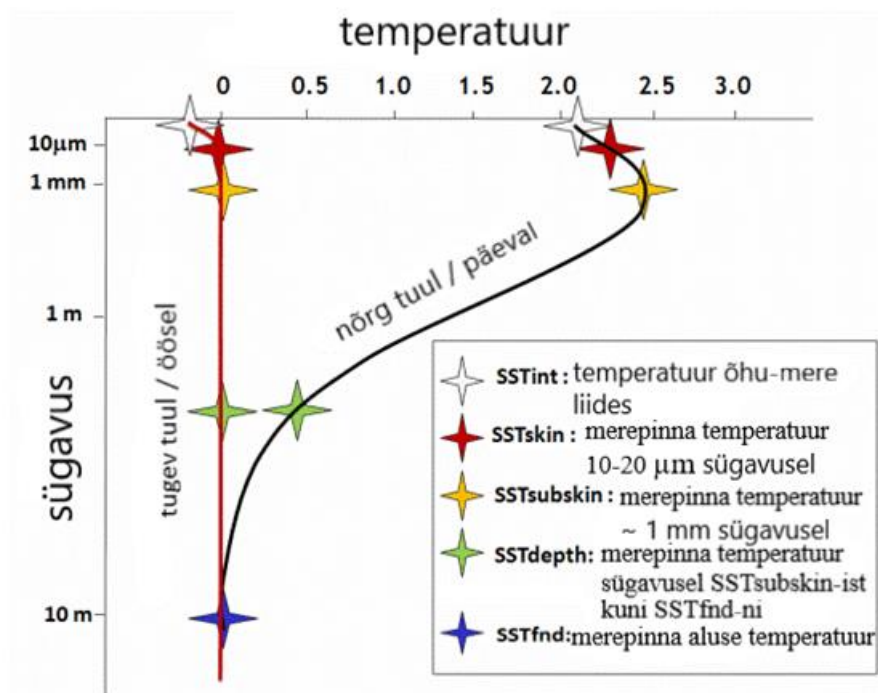
Selleks, et erinevate SST sügavuste vahel segadust vältida, annavad CMEMS merepinna temperatuuri satelliiditoodet teavet SST kohta umbes 10 meetri sügavusel (SST_{fnd}) ja SST sügavusel umbes 20 mikromeetrit (SST_{skin}). (GHRSSST products, 2012)

SST_{tint} (joonis 1) on teoreetiline temperatuur õhu-mere liides juures. See kujutab endast ookeanivee ülemise kihi hüpoteetilist temperatuuri. SST_{tint} ei ole praktiliselt kasutatav, sest seda ei saa mõõta praeguse tehnoloogia abil.

SST_{skin} (joonis 1) temperatuur, mis on mõõdetud 10-12 μ m spektraalribaga töötava infrapunane radiomeetri abil. Seega kujutab see temperatuuri ligikaudu 10-20 mikromeetri sügavusel vees. SST_{skin} võib muutuda ööpäeva jooksul. Näiteks, öösel pilvitu taeva ja nõrga tuulega tekib jahtunud kihi efekt, aga päeviti tekib soojenenud kihi efekt.

SST_{subskin} (joonis 1) on ookeani pinnal ~ 1 mm paksuse kihi temperatuur. Praktilistel eesmärkidel võib SST_{subskin} 6–11 GHz sagedusalas töötava mikrolaine radomeetri abil. Kõiki veetemperatuuri mõõtmisi kihist SST_{subskin} kuni kihini SST_{fnd} nimetatakse SST_{depth}.

SST_{fnd} (joonis 1) temperatuur on määratletud sügavusega, kuhu ööpäevane soojenemine ei ulatu. Läänemeres SST_{fnd} on öösel kihis 1 mm kuni ~3 m ning päevasel ajal umbes 2-3 meetri sügavuses kihis (joonis 1). (Peter Minnett., Andrea Kaiser-Weiss, 2012)



Joonis 1. Ookeani temperatuuri vertikaalne gradient tugeva tuule / öise aja (punane) ja nõrga tuule / päevase aja (must) tingimustes.

Allikas: (GHRSSST Discussion document: Near-surface oceanic temperature gradients, 2012)

2.2. In-situ mõõdetud merepinna temperatuur

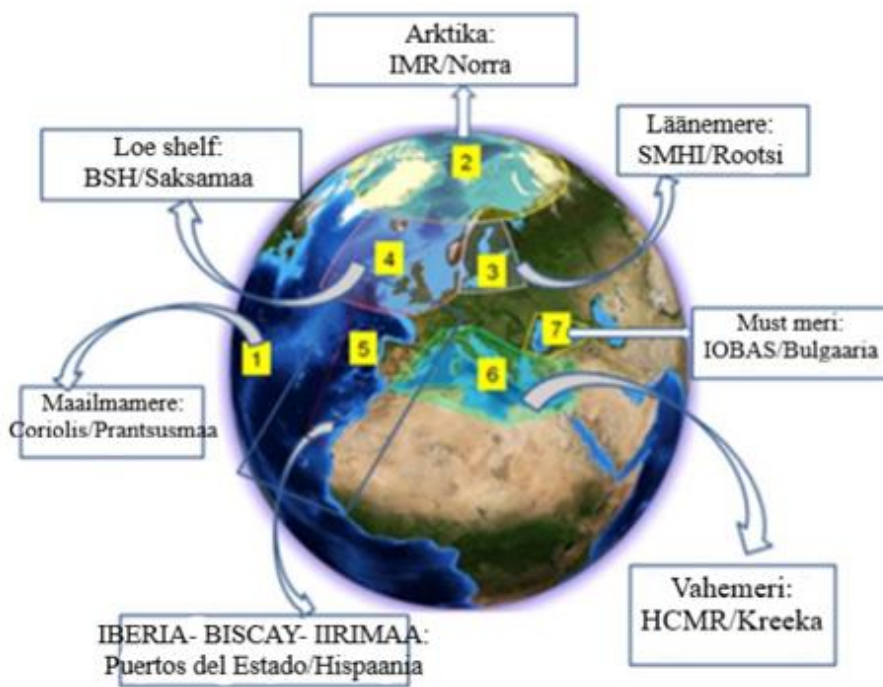
Programmi Copernicus teenused tuginevad maapealsetele, merekeskkonnas või õhus toimivatele seire süsteemidele, mida üldiselt nimetatakse „in-situ” andmeteks.

Mereteenuse in-situ vaatlused on merevee omaduste kohtmõõtmised. Neid saadakse kohapeal paiknevate andurite abil. Platvormid asuvad merel paiknevatel autonoomsetel vaatluskeskustel (nt ujukid, triivpoid, sildumiskohad) ja erinevatel uurimislaevadel. (In-situ TAC, 2017)

CMEMS vajab in-situ andmeid: mudelite koostamiseks; satelliitvaatluste valideerimiseks ning kasutajatele vaatlusandmete pakkumiseks. Kohtandurid mõõdavad järgmisi parameetreid: meretase, lained, SST, tuul, hoovused. Kuna andurid on seotud konkreetse asutusega ja ei ole alati kättesaadavad, siis Copernicus programm lõi spetsiaalse keskuse INS TAC, mille eesmärk on andmete kogumine, kvaliteedikontroll ja levitamine ühises

formaadis (NetCDF) ning reaajas (24 tunni jooksul) CMEMSi mere prognoosimiskeskustele assimilatsiooniks nende numbrilistesse ookeanimudelitesse. (In-Situ Thematic Asseby Center, 2017)

INS TAC on jaotatud keskus, mis on korraldatud 7 okeanograafiapiirkonna ümber: globaalne ookean ja 6 piirkondlikud keskused (joonis 2). (In-Situ Thematic Asseby Center, 2017) Läänemere in-situ andmetega tegeleb Copernicuse mereteenuse raames SMHI, kes on BOOS-i liige. BOOS partnerid: DMI, SMHI, BSH, MSI, FMI. Läänemeres on paigaldatud kokku 235 andurit sildumiskohadel, tõusu mõõturitel, FerryBoxidel. FerryBox on operatiivse okeanograafia automatiseeritud monitooringu instrument, mis asub liikuvatel platvormidel ehk laevadele. FerryBox-i sensorid ja automaatsed analüüsiaparaadid mõõdavad füüsilisikalisi, bioloogilisi ja keemilisi parameetreid. (EUROPEAN SEAS, 2015)



Joonis 2. In-situ TACpiirkonna jaotus

Allikas:(H. Wehde et al., 2016)

Tarnitud toodete kvaliteet peab olema samaväärne kõikjal, kus andmeid töödeldakse. Iga piirkond rakendab nelja põhifunktsiooni:

Andmete kogumine: kättesaadavate andmete kogumine rahvusvahelistest võrkudest ja/või koostöös piirkondlike partneritega.

Andmete kvaliteedi kontroll: in-Situ TAC tasemel kokkulepitud automaatse kontroll juhtimissüsteemi rakendamine. Need protseduurid määratletakse parameetritega, mis on välja töötatud kooskõlas rahvusvaheliste lepingutega, eelkõige SeaDataNetiga ja dokumenteeritud CMEMSi kataloogis. Kvaliteedikontrolli lipud määratakse pärast kvaliteedikontrolli protseduuride teostamist. Lipp näitab faili väärtuste kvaliteeti (lisa 3).

Toote valideerimine: andmete järjepidevuse hindamine teatud aja jooksul.

Toote levitamine: andmete kättesaadavaks tegemine nii CMEMSi piires, kui ka väljaspool.

Kogub INS TACi globaalne komponent andmeid piirkondlikest komponentidest ja integreerib need globaalsesse tootesse, mis toimib piirkondlike keskuste varukoopia. (H.Wehe et al., 2016)

2.3. Merepinna temperatuur mudelandmetest

Ookeani modelleerimine on operatiivse okeanograafia oluline osa. Ookeani numbrilised mudelid on globaalsete ja piirkondlike okeanograafia süsteemide olulised elemendid. Selles kontekstis kasutatakse ookeani mudelitena andmete assimilatsiooni meetodeid satelliit- ja in-situ vaatluste kaasamiseks mudelitesse. See võimaldab parandada ookeani mudelit samaks täpsemaid tulemusi. (Julien Le Sommer et al., 2018)

Ookeani mudelid kirjeldavad ookeani omadusi, kasutades füüsikalisi (temperatuur, soolsus, hoovused, veetaset, merejää jne) ja biogeokeemilisi (klorofüll, primaarproduktioon, lahustunud hapnik jne) suhteid.

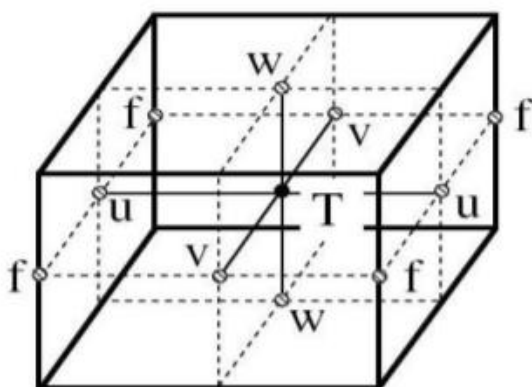
HIROMB-BOOS mudel on kolmemõõtmeline mere hüdrodünaamika tsirkulatsioonimudel, mis on saanud alguse 1995. aastal Rootsis. Mudel kasutab sfäärilisi koordinaate, mis liiguvad vastavalt Maa pöörlemisele. Mudelite arvutusvõrguna on kasutatud Arakawa C-võrku (3D) ja z-kihte (2D). Arakawa võrk näitab erinevaid viise, kuidas esitada ja

arvutada ortogonaalseid füüsikalisi suurusi ristkülikukujulistel võrkudel, mida kasutatakse Maa süsteemi mudelites meteoroloogia ja okeanograafia jaoks. Muutuja Arakawa C-võrgus (temperatuur, soolsus, meri tase, jää ja biogeokeemilised muutujad) on tsentreeritud võrku T-punktis; võrguraku sõlmes. Kiiruskomponendid paiknevad külgnevatel võrgurakkude sõlmedel. See tähendab, et kiirusvektori (u , v) komponendid on ruumiliselt paigutatud (joonis 3).

Mudelite tarbeks töötavad iga päev super-arvutid tees miljoneid tehteid moodustamaks ookeani mudelivõrku. Tänu ookeani mudelile saame teha mineviku analüüsi (CMEMS pakub taasanalüüsi 20 aasta kohta), praeguste tingimuste analüüsi ja 60-tunni prognoosi. (Ocean Model Products, 2016)

CMEMS MFC vastutab ookeanianalüüsi ja prognoositavate toodete pakkumise eest erinevatele Euroopa piirkondadele. Läänemere prognoosimiskeskus koosneb viiest instituudist viiest erinevast riigist: DMI, BSH, FMI, MSI ja SMHI. (L. Tuomi et al., 2018)

HBM-i kasutatakse nii piirkondlikku kui ka kohaliku skaala mere operatiivprognooside süsteemis ja kliimamuutuste simulatsiooni jaoks atmosfäär-ookean-jääühendatud süsteemi osana. Lainemudeli, suspendeeritud osakeste mudeli, õlireostuse mudeli ja ökosüsteemimudelite ühendamise abil kasutatakse HBM-i mitmesugustes rakendustes näiteks: nafta triivprognoosi, keskkonnahindamise ja ökosüsteemi prognoosimise ja modelleerimise alal. (Berg, P., Weismann Poulsen, 2012)



Joonis 3. Arakawa C-võrk

Allikas: (V. Huess, 2018)

2.4. Produktide ülevaade

Iga toote veebiportaalil on toodud kaks dokumenti: toote kasutusjuhend (sisaldab produkti loomise protsessi üksikasjalikku kirjeldust, algandmeid, mudeleid, produkti sisalduvaid muutujaid, andmete esitamise vormingut, digitaalsete rivide alla laadimise mehhanisme jne) ja kvaliteediteave (sisaldab teavet algoritmide kohta, mida kasutatakse andmete produkti kvaliteedi hindamiseks).

Veebiportaal võimaldab valida süsteemi tooteid vastavalt järgmistele kriteeriumidele: piirkondlik domeen, parameetrid ja ajaline katvus.

Tabelis number 1 tuuakse Copernicuse mereteenistuse operatsioonisüsteemi hetkel kättesaadavate toodete lühiülevaade merepinna temperatuuri kohta Läänemerele.

Tabel 1. Produktide ülevaade

Mudelid / vaatlus	Nimi	Ruumiline lahutus	Uuendatakse (UTC)	Kihid	Töötlemise tase
Mudel	BALTICSEA_ANALYSIS_FORECAST_PHY_003_006	2km x 2km	kell 10.00 ja 22.00	25 kihti [m]: 0, 5, 10, ...	L4
In-situ	INSITU_BAL_NRT_OBSERVATIONS_013_032		24-48 tunni jooksul		L2 dis
Satelliit	SST_EUR_SST_L3S_NRT_OBSERVATIONS_010_009_a	0.02° x 0.02° ~2km	päeva keskmine, kella 10.00-ks	1 kiht. (pind)	L3
	SST_EUR_SST_L3C_NRT_OBSERVATIONS_010_009_b	0.02° x 0.02° ~2km	päeva keskmine, kella 10.00-ks	1 kiht. (pind)	L3
	SST_BAL_SST_L3S_NRT_OBSERVATIONS_010_032	0.02° x 0.02° ~2km	päeva keskmine -määratlemata	1 kiht. (pind)	L3
	SST_BAL_SST_L4_NRT_OBSERVATIONS_010_007_b	0.02° x 0.02° ~2km	päeva keskmine, kella 13.00-ks	1 kiht. (pind)	L4

Allikas: (Autori koostatud, 2019)

Sellel tabelil põhjal võib teha järelduse, et hetkel on kättesaadavad Läänemere merepinna temperatuuri andmed kuues tootes/produktis milledest: 1 mudelandmete SST, 1 in-situ vaatlusandmetest SST ja 4 toodet SST-satelliidi vaatlusest.

Produkt `BALTICSEA_ANALYSIS_FORECAST_PHY_003_006` sisaldab Läänemere füüsikalise mudeli HBM arvutuste tulemusi. HBM teostab 60-tunnise prognoositsükli ja produkt ajakohastatakse CMEMS-kataloogi kaks korda ööpäevas kell 10.00 ja 22.00 UTC. Produkti ruumiline lahutus on 2x2 km (st laiuskraadi: $1/0.017^\circ$ ja pikkuskraadi: $1' 40''/0.028^\circ$).

Produkti `INSITU_BAL_NRT_OBSERVATIONS_013_032` uuendatakse pidevalt ja esitatakse CMEMS-veebikatalogis 24-48 tundi jooksul, see sisaldab in-situ mõõtmiste andmeid. Mõõtmistulemused saadakse BOOS liikmetelt, andmed läbivad automatiseeritud kontrolli.

Produktide `SST_EUR_SST_L3S_NRT_OBSERVATIONS_010_009_a` multi sensori (L3S) ja `SST_EUR_SST_L3C_NRT_OBSERVATIONS_010_009_b` mono-sensori (L3C) tooted hõlmavad Euroopa merealaid horisontaalsete resolutsiooniga 0.02° . L3C sensoriga saadud produkti korrigeeritakse L3S tootega. Mõlemad merepinna temperatuuri satelliidi mõõtmised uuendatakse iga päev kell 10.00. Kokku kasutatakse kaheksat erinevat sensorit, millest on põhiline AVHRR, mis on paigaldatud MetOp-B satelliidile.

Produkt `SST_BAL_SST_L3S_NRT_OBSERVATIONS_010_032` pakub igapäevaseid L3S andmeid mille horisontaalne eraldusvõime on $0.02^\circ \times 0.02^\circ$, kasutades infrapunane radiomeetrite satelliidiandmeid. Nimetatud produkti hakati CMEMS-i kataloogis operatiivselt pakkuma alles alates 16.04.2019 ja tema uuendamise aeg on hetkel määratlemata.

Produkt `SST_BAL_SST_L4_NRT_OBSERVATIONS_010_007_b` sisaldab andmeid neljanda töötlastaseme (vt tabel 2) merepinna temperatuuride kohta, ruumilise eraldusvõimega $0.02 \times 0.02^\circ$. Kasutatakse infrapunane ja mikrolainete radomeetrite satelliidiandmeid.

3. ANALÜÜS

Eesti Riigi Ilmateenistuse seatud kriteeriumid jääkaardile isotermide lisamiseks sobivate merepinna produktide valimisel:

- Võimalikult pinna lähedane veetemperatuur
- Hea ruumiline lahutus, sobivaim 1x1 km
- Kõik ruumipunktid peavad olema kaetud
- Produkt peab uuenema enne kella 12.00.

3.1. Andmete töötlemise tase

Produktide andmete töötlemise taseme kirjeldamiseks on kaugseire kogukond määranud 0 kuni 4 taset. Tase 0 esindab satelliidi toorandmeid, samal ajal kui 4. taseme andmetel on kasutatud kõige rohkem töötlust. Andmete töötlemise tase on näidatud tabelis 2. (Françoise ORAIN et al., 2019)

Tabel 2. SST töötlemise tase

Töötlemise tase	Kirjeldus
L0	Satelliidi toorandmed
L1	Toorandmed korrigeerimisega (ajastatud)
L2	Tuletatud geofüüsikalised muutujad samal eraldusvõimel ja asukohal 1. taseme lähteandmetena (atmosfääri korrektsioon, maa pikslite maskeerimine, geofüüsikalised produktid nt SST)
L3	Muutujad, mis on kaardistatud ühtse ruumi-ajavõrkude skaalal, tavaliselt mõningase täielikkuse ja järjepidevusega. (ühendatud produkte on lihtsam kasutada)
L4	Sarnane L3'ga, kuid lisaks on GapFreeGrid, et pole andmete lüngad
L2 dis	In-situ mõõtmised vaatluste kvaliteedikontrolli lippudega, mis näitavad vaatluste kvaliteeti

Allikas: (Hayley Evers-King, 2019)

3.2. Ruumpunktide kontroll

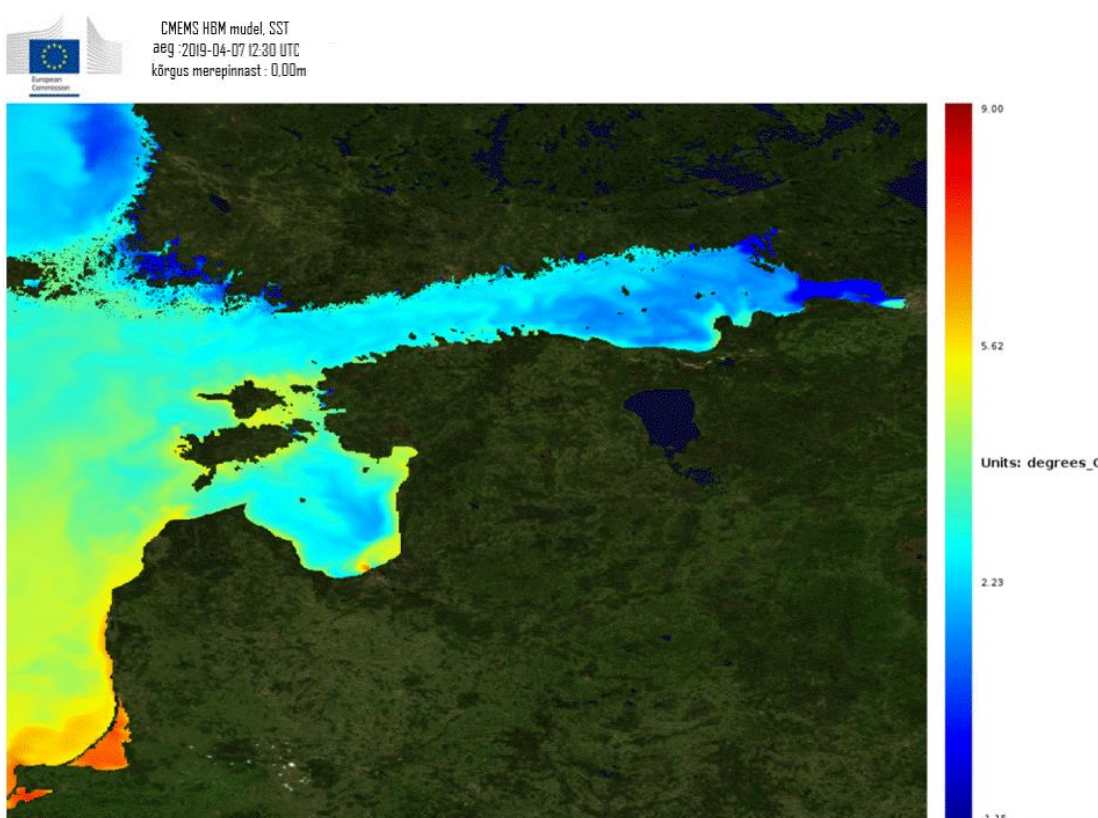
Andmete töötlemise tase aitab mõista, kas andmed katavad terve ala või on andmeväljas augud. Tabel, mis on toodud lisas 1, koosneb kolmel päeval erinevates ilmatingimustes sooritatud mõõtmistest, millest saame vaadata kas SST väli katab kõiki ruumpunkte. Kolmel erineval päeval (7., 10. ja 13. aprill 2019) oli võetud päevakeskmised sama temperatuuri skaalaga andmed. Mudelis ja in-situ produktidel oli see -1,15 kuni 9 kraadi Celsiuse järgi ja satelliit produktidel oli 272 kuni 282,15 kraadi Kelvini järgi. Joonistel 4 ja 5 on näidatud temperatuuri skaalad mudeli ja satelliit produkti kohta.

Tabelist me saame teada, et HBM mudelis BALTICSEA_ANALYSIS_FORECAST_PHY_003_006 ega satelliidi tootes SST_BAL_SST_L4_NRT_OBSERVATIONS_010_00 ei ole mingeid lünki ning tulemus ei sõltu ilmastikust. See on võimalik tänu neljanda taseme andmete töötlemisele, kus kõik lüngad on täidetud. Erinedes satelliidi toodetest SST_EUR_SST_L3S_NRT_OBSERVATIONS_010_009_a, SST_EUR_SST_L3C_NRT_OBSERVATIONS_010_009_b ja SST_BAL_SST_L3S_NRT_OBSERVATIONS_010_032 on rohkem lünki, sellepärast et nende töötlemise tase on L3 ja infrapunane radiomeetria ei saa läbi pilvede mõõta. Teise päeva (10.04.19) toodetest on hästi näha, et puudub vihmase ilmaga suurem osa andmetest. Mis puudutab toodet INSITU_BAL_NRT_OBSERVATIONS_013_032, siis seal on väga palju lünki. See on nii sellepärast, et in-situ andurid asuvad ainult kindlates kohtades, samuti tulemus sõltub sellest, kui palju platvorme asub käesolevas piirkonnas. Mida rohkem on platvorme, seda kvaliteetsem on info.

Sellest võrdlusest võib teha järelduse, et neljanda töötlemise tasemega sobib kaks toodet. Need on BALTICSEA_ANALYSIS_FORECAST_PHY_003_006 ja SST_BAL_SST_L4_NRT_OBSERVATIONS_010_007_b. Autor tegi toodete võrdluse lineaarsete profiilide kujul samadel päevadel, et aru saada, milline produkt on parim (Lisa 2). Need profiilid olid tehtud QGIS programmis, mis on mõeldud ruumiliste andmete töötlemiseks. Profiilid on koostatud tarkvara funktsiooniga "terrain profile" niimoodi, et y-telg näitab mere pinnatemperatuuri ja x-telg on trajektoori punktid (lisa 2.1). Satelliit produktil on temperatuur Kelvinites, aga mudelil Celsiuse kraadides ($^{\circ}\text{C} + 273,15 = \text{K}$). Profiilidest võib teha järelduse,

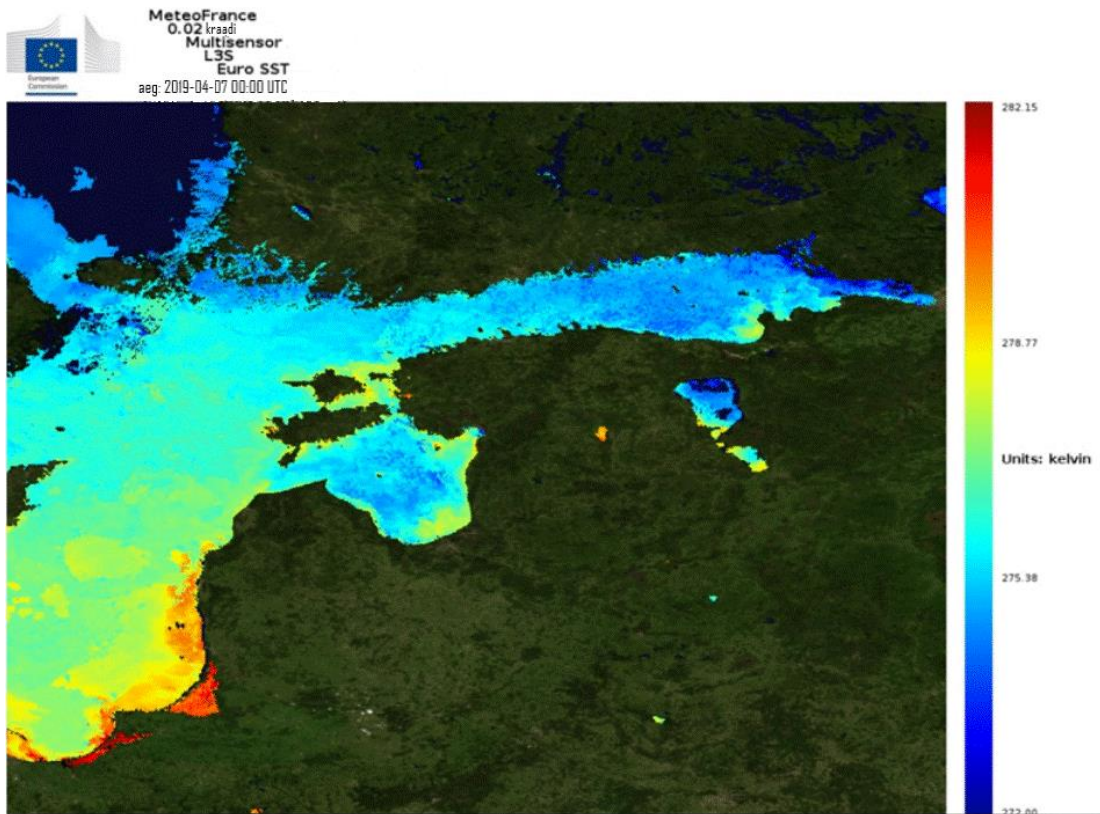
et mudeli produkt näitab pinna temperatuuri täpsemini kui satelliit produkt, sest mudelist on võetud 0 sügavuse kiht, aga satelliit produkt annab kihi 1 mm kuni 3 meetrini sügavuseni.

Produktide temperatuuri määramine on erinev ning autor tegi profiilidest tabelid (lisa 2.2), et oleks lihtsam võrrelda temperatuuride erinevust. Tabelis on toodud trajektooris märgitud viis punkti ja pinnatemperatuur nendes punktides. Tabelitest võib teha järelduse, et temperatuuri erinevus on 0°C kuni 1,6°C. Konstantset temperatuuride erinevust ei esine, sest põhitemperatuur (SST_{nd}) varieerub 1 mm kuni 3 meetrini.



Joonis 4. Mudeli temperatuuri skaala näide.

(Allikas: Copernicuse CMEMS veebikataloog, 2019)



Joonis 5. Satelliidi temperatuuri skaala näide.

(Allikas: Copernicuse CMEMS veebikataloog, 2019)

3.3. Produktide ruumilise lahutuse võrdlus

Resolutsioon on kvantitatiivne näitaja, mis iseloomustab piltide ja nende detailide visuaalset kvaliteeti. Resolutsioon määrab kindlaks võimalused kasutada pilte teatud ülesannete lahendamiseks. Ruumiline eraldusvõime sobib kujutises kuvatava minimaalse objekti (või selle üksiku detaili) suuruse hindamiseks. (Барановичский Государственный Университет, 2018)

HMB produktil (BALTICSEA_ANALYSIS_FORECAST_PHY_003_006) ruumiline lahtus on 2x2 km, mis teeb temast kõrge ruumilise lahutusvõimega toote. HMB produkti horisontaalne eraldusvõime on 1 meremiil (nm) (st 1' ehk 0.017° laiuskraadi ja 1' 40" ehk 0.028° pikkuskraadi).

Ruumiline lahtus satelliidi toodetes näidatakse piksli suurusena (kilomeetrites või kraadides). Termilist eraldusvõimet iseloomustab erinevate objektide temperatuuride vahe,

parimatel produktidel on see kümnendiku täpsusega. (Барановичский Государственный Университет, 2018)

Tootel SST_EUR_SST_L3C_NRT_OBSERVATIONS_010_009_b on horisontaalsed eraldusvõimed, mis varieeruvad sõltuvalt andurist 0,02° kuni 0,25°. Samal ajal, kui SST_EUR_SST_L3S_NRT_OBSERVATIONS_010_009_a (ruumiline lahutus on 0.02°) on koostatud korrigeeritud L3C mono anduriga kogutud toodetest. Kui L3C horisontaalne eraldusvõime on suurem kui 0,02 °, on lõplik SST-väärtus keskmine, mis põhineb parimal usaldustasemel ja muud muutujad arvutatakse järjepidevalt. Tootedel SST_BAL_SST_L4_NRT_OBSERVATIONS_010_007_b ja SST_BAL_SST_L3S_NRT_OBSERVATIONS_010_032 on eelnimetatud toodetega sarnane horisontaalne eraldusvõime (0.02°), mis on määratud nagu 2x2 km ruumiline lahutus.

In-situ toote ruumiline lahutus sõltub platvormide hulgast ning olemasolevatest headest andmete kogusest, seepärast tema ruumiline lahutus on palju halvem kui teistel.

3.4. Produktide ajaline sobivus võrdlus

Ajaline sobivus on väga oluline meie analüüsis, kuna Eesti Ilmateenistus koostab jääkaarti iga päev kell 12.00 ja produkt peab olema uuenenud sama päeva hommikul enne 12.00. Tasub arvestada, et Copernicus on Euroopa Liidu programm ning produktid uuenevad koordineeritud maailmaaja (UTC) järgi, ajaline erinevus Eestiga on seega +2 tundi ja suveajal +3 tundi. Allpool on toodud ajalise sobivuse võrdlus.

Kõikidest võimalikest produktidest ei sobi ükski satelliidi produkti. Võttes esimeseks produktiks SST_BAL_SST_L3S_NRT_OBSERVATIONS_010_03 näeme, et uuendamise aeg on määratlemata. Teise SST_BAL_SST_L4_NRT_OBSERVATIONS_010_007_b puhul toimub uuenemine kell 13.00 UTC. Ülejäänud kaks satelliit tooded SST_EUR_SST_L3S_NRT_OBSERVATIONS_010_009_a, SST_EUR_SST_L3C_NRT_OBSERVATIONS_010_009_b uuendatakse iga päev kell 10.00 UTC. Arvestades UTC ja Eesti kellaaja erinevusi selgubki, et ükski satelliidi produkt ei sobi.

Tavaliselt tooted uuenevad üks kord päevas ja kasutavad päeva keskmisi andmeid, aga HBM mudelit BALTICSEA_ANALYSIS_FORECAST_PHY_003_006 uuendatakse kaks korda päevas kell 10.00 ja 22.00 (UTC). Mitu kord päevas uuendatakse ka in-situ andmeid, need andmed esitatakse veebiportaalis 24-48 tunni jooksul.

Kokkuvõttes võib teha järelduse, et eelpool loetletud toodetest sobib ajalise konteksti põhjal ainult HBM mudeli produkt, mida uuendatakse kell 22.00 UTC.

3.5. Tulemused

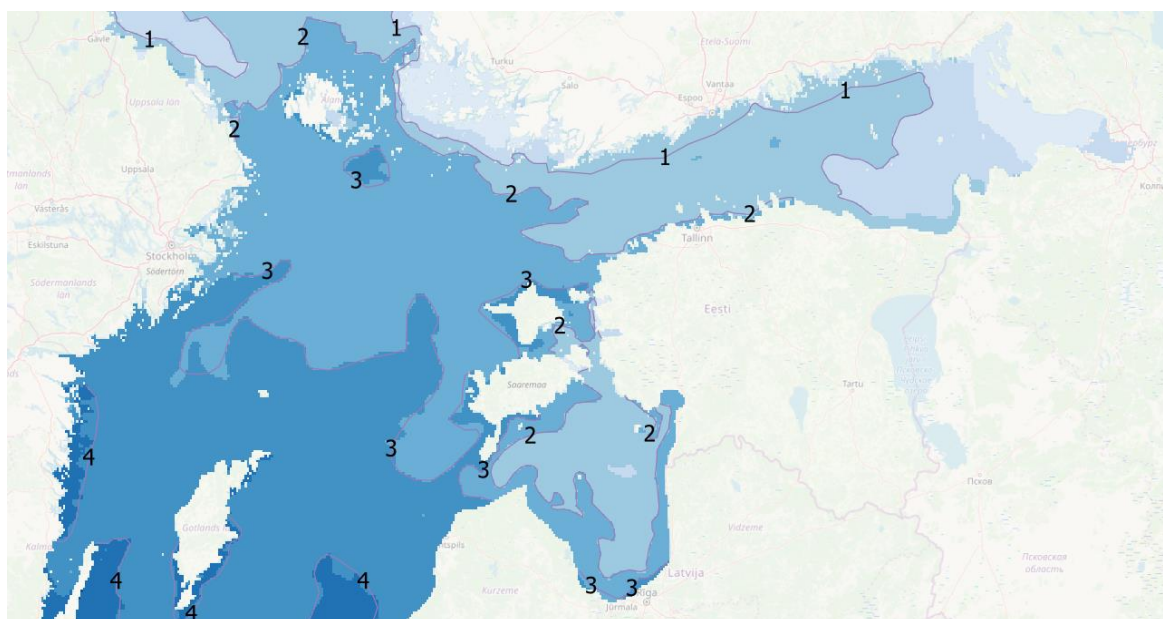
Pärast analüüsimist võib teha järelduse, et kolm satelliidi produktid SST_EUR_SST_L3S_NRT_OBSERVATIONS_010_009_a, SST_EUR_SST_L3C_NRT_OBSERVATIONS_010_009_b ja SST_BAL_SST_L3S_NRT_OBSERVATIONS_010_032 ei sobi isojoonte joonistamise aluseks, sest nende töötlemis tase on L3 ja kihtides on andmete lünki. In-situ produkt INSITU_BAL_NRT_OBSERVATIONS_013_032 ei sobi sellepärast, et andurid asuvad üksikutes kohtades Läänemeresel ning ruumipunktide kattuvus on halb. Ülejäänud kaks produktid HBM mudel BALTICSEA_ANALYSIS_FORECAST_PHY_003_006 ja SST_BAL_SST_L4_NRT_OBSERVATIONS_010_007_b on kõige sobivamad, sest nende andmetes ei ole auke ning kõik ruumipunktid on kaetud sõltumata ilmastikutingimustest. Hindamaks milline on nende kahe produkti vaheline erinevus tehti lineaarsed profiilid, kust on näha, et erinevus on 0°C kuni 1,6°C. See on tingitud asjaolust, et mudel näitab 0 sügavuse kiht, aga satelliit näitab SST_{fnd}, mis on 1 mm kuni 3 meetrini.

Ajalise sobivuse võrdlus näitab, et HBM mudel uuendatakse kaks korda päevas kell 10.00 ja 22.00 UTC, aga satelliit L4 produkt uuendatakse kell 13.00 UTC. Satelliit produkt ei sobi sellepärast, et Riigi Ilmateenistus koostab jääkaart iga päev kell 12.00, seega produkt peab uuendama enne 12.00.

Kokkuvõttes kõikide võrreldud toodete kriteeriumite põhjal sobib ainult üks mere pinnatemperatuuri produkt Eesti jääkaardile temperatuuri samajoonte lisamisel – HBM mudel BALTICSEA_ANALYSIS_FORECAST_PHY_003_006, mida uuendatakse öhtul kell 22.00 UTC (Eesti aeg on 00.00 või suveajal 01.00 öösel).

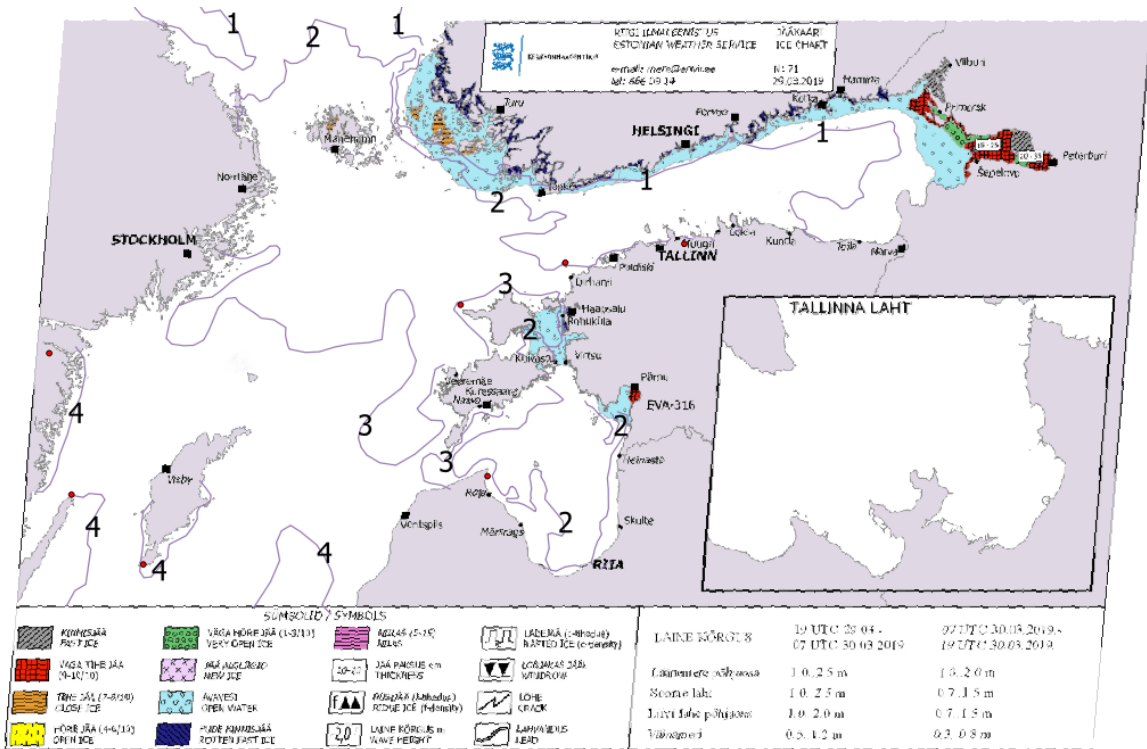
Temperatuuri samajoonte joonistamine toimus QGIS programmis. Autor võttis mudeli produkti 29.03.2019 pinnatemperatuuri välja null sügavuse kihi ning joonistas isotermid ja lisas need Eesti jääkaardile (joonised 6,7).

Kuna HBM mudel näitab veetemperatuur sügavusel 0 kuni 400 m, siis saab selle produkti andmeid kasutada näiteks uuringutes, mis käsitlevad veetemperatuuri mõju merekeskkonna bioproduksioonile. Temperatuuri muutus võib kiirendada või aeglustada üksikute liikide arvu kasvu ja isegi põhjustada organismide massilist surma.



Joonis 6. Isojoonte joonistamine Qgis programmis.

(Allikas: Qgis programm, 2019)



Joonis 7. Isojoonte lisamine Eesti jääkaardi.

(Allikas: Qgis programm, 2019)

KOKKUVÕTTE

Copernicuse merekeskkonna seire teenus on üks osa kuuest Copernicuse programmist, mis hakkas tegutsema 2015. aasta aprillis ja annab regulaarset ja süstemaatilist teavet ookeani ja mere ökosüsteemide seisundi kohta. CMEMS pakub tooteid, mis aitavad mereohutuse korraldamist, ilmteadete ja hooajaliste prognooside tegemist, ranniku erosiooni ja vee kvaliteedi jälgimist, reostuse kontrollimist.

Antud töös autor analüüsis kuut toodet: üks mudel, üks in-situ vaatlus ja neli produkti merevee pinnatemperatuuri kohta satelliitide vaatlusest. Produktid kirjeldavad merevee pinnatemperatuuri Läänemeres, mis võimaldavad tulevikus joonistada Eesti jääkardile isoterme. Isotermid aitavad omakorda prognoosida ja analüüsida merejää tekkimist või sulamist jääkaardi kasutajatel.

Merevee pinnatemperatuuri võib mõõta satelliitidelt ja in-situ anduritest. Merepinna temperatuuri mõõtvad satelliidid on varustatud infrapunane või passiivse mikrolaine või mõlema radiomeetriaga. Infrapunane andur mõõdab kuni 20 mikromeetri sügavusel merevee pinnatemperatuuri ehk SSTskin'i või SSTsubskin'i, kuid ei mõõda pilvedest läbi. Passiivsed mikrolaineandurid mõõdavad 1 millimeetrist kuni 10 meetrini ilmastikutingimustest hoolimata. Satelliitandmed kasutatakse enamasti töötlustasemel L3 (satelliit algandmed on eeltöödeldud ja arvutatud ümber SST numbriliseks väärtuseks), kuid nimetatud L3 tasemel esinevad satelliit produktides ilmastikuoludest sõltuvad augud.

In-situ mõõtmised saadakse andurite abil, mis paiknevad erinevatel mere platvormidel (ujukid, triivpoid, sildumiskohad, uurimislaevad). Copernicus INS TAC kogub, kontrollib ja levitab kõiki in-situ mõõtmised, kuna in-situ andurid on seotud konkreetse asutusega ja ei ole need alati kättesaadavad. In-situ andmed mängivad olulist rolli ka L4 taseme produktide koostamisel, kuna kasutatakse satelliitide andmetes olevate lünkade täitmiseks.

Käesoleva eesmärgiks oli leida parim produkt Riigi Ilmateenistuse jaoks, mis vastab nende kriteeriumitele.

Produktide ruumilise lahutuse võrdluse järgi võib teha järelduse, et peaaegu kõikidel toodetel on sama ruumiline lahusus – 2x2 km HBM mudelis ja satelliitidel 0,02° x 0,02°.

Ainsaks erandiks on in-situ produkt, kus ruumiline lahutus sõltub platvormide hulgast ning heade andmete kogusest.

Ruumipunktide kontroll näitab, kas andmed katavad terve ala või andmeväljas esinevad augud. Kui merevee pinnatemperatuuri kihis on andmetes augud, siis isoterme joonistada ei ole võimalik. Autor võttis päevakeskmised andmed kolmel erineval päeval ja sama temperatuuri skaalaga produktid. Pärast kontrollimist on näha, milline produkt on sobivaim. Kolmel satelliidi tootel

SST_EUR_SST_L3S_NRT_OBSERVATIONS_010_009_a,
SST_EUR_SST_L3C_NRT_OBSERVATIONS_010_009_b ja

SST_BAL_SST_L3S_NRT_OBSERVATIONS_010_032 on rohkem lünki, sellepärast et nende töötlemise tase on L3, sest infrapunane radiomeetria ei läbi pilvi. Teise päeva (lisa 1, päev 10.04.19) toodetest on hästi näha, et vihmase ilmaga puudub suurem osa andmetest. Mis puudutab toodet INSITU_BAL_NRT_OBSERVATIONS_013_032, siis selles on väga palju lünke (lisa 1). See on nii sellepärast, et in-situ andurid asuvad ainult üksikutes kohtades Läänemerele. Läänemeres on paigaldatud 235 platvormi. HBM mudelis BALTICSEA_ANALYSIS_FORECAST_PHY_003_006 ja satelliidi produktis SST_BAL_SST_L4_NRT_OBSERVATIONS_010_00 lünki ei esine ning tulemus ei sõltu ilmastikust. See on võimalik tänu sellele, et satelliitandmete L4 taseme töötlus ühendab satelliit ja in-situ mõõtmised. Kuna need kaks produkti sobivad, tegi autor mudeli ja satelliidi toote (L4) võrdluse lineaarsete profiilide kujul samadel päevadel, et vaadata temperatuuride erinevusi. Profiilidest võib teha järelduse, et mudeli produkt näitab pinna temperatuur täpsemalt kui satelliidi produkt. Veel on vaja arvestada, et mudelis oli arvestatud null sügavusega, aga satelliidi produkt näitab põhitemperatuuri (SST_{fnd}) ühest millimeetrist kuni kolme meetrini sügavuseni. Seetõttu produktide temperatuuride erinevus on 0°C kuni 1,6°C.

Kahe produkti sobivuse tõttu võrdles autor nende uuendamise aegasid. Eesti jääkaart koostatakse iga päev kell 12.00, seepärast produkt peab uuenema samal päeval enne 12.00. Copernicus on Euroopa Liidu programm ning produktid uuenevad koordineeritud maailmaaja (UTC) järgi, ajaline erinevus Eestiga on +2 või +3 tundi suveajal. HBM mudel BALTICSEA_ANALYSIS_FORECAST_PHY_003_006 uuendatakse kaks korda päevas kell 10.00 ja 22.00 UTC, aga satelliidi produkti SST_BAL_SST_L4_NRT_OBSERVATIONS_010_007_b uuendatakse kell 13.00 UTC. Sellest võib teha kokkuvõtte, et kõikidest produktidest sobib ainult HBM mudeli produkt

(BALTICSEA_ANALYSIS_FORECAST_PHY_003_006), mis uueneb õhtul kell 22.00 UTC (Eesti aeg on 00.00 või suveajal 01.00 öösel).

Kokkuvõttena võeti null sügavuse pinna veetemperatuuri HBM mudeli produkt, mille alusel autor joonistas isoterminid Qgis programmis ning lisas need jääkaardile.

SUMMARY

COPERNICUS MARINE ENVIRONMENT MONITORING SERVICE ANALYSIS OF WATER SURFACE PRODUCTS FOR THE BALTIC SEA

Alina Brussenkova

The aim of the thesis is to find the sea surface temperature product from Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS) web-catalogue that would be the basis for adding isotherms to the Estonian ice chart. Isotherm is used to analyze and predict sea ice. The products were compared according to the Estonian Weather Service criteria: close to the sea surface; spatial resolution; sea surface temperature layer must be covered by all points so that there would be no holes; product must be available every day before midday (12.00).

CMEMS products are presented in the form of three-dimensional model, satellite and in-situ measurements. In-situ measurement is not suitable because of its spatial resolution and coverage depends on the number of platforms. Sea surface temperature satellites measure by thermal infrared (IR) and passive microwave (PMW) radiometers. IR does not measure through the clouds and rainy weather in contrast to PMW. Basically satellite products have data holes and are not suitable for drawing isotherms. Three-dimensional hydrodynamic circulation model includes satellite and in-situ measurements due to which it has full point coverage.

CMEMS products are renewed according Coordinated Universal Time (UTC) and the time difference with Estonia is +2h and in summer time +3h. Considering that all satellite and in-situ products are unsuitable and only model product updates twice a day at 10.00 am and 22.00 pm UTC.

In conclusion the only suitable product is the three-dimensional model what update at 22.00 pm UTC (the Estonian time is 00.00 and at 01.00 during the summer).

KASUTATUD ALLIKAD

Copernicus programmi brošüür: Copernicus Euroopa Silmad Planeedil Maa. Euroopa Komisjon. (2015)

https://www.copernicus.eu/sites/default/files/documents/Copernicus_brochure_%20ET_web_Oct2017.pdf (15.01.2019)

Marine Copernicus. (2016). Marine Environment Monitoring Servicebooklet.

https://www.copernicus.eu/sites/default/files/documents/Copernicus_MarineMonitoring_Feb2017.pdf (20.01.2019)

European Space Agency. (2016). Copernicus observing the earth: Sentinel satelliidid.

https://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus/Overview4 (21.01.2019)

John Maurer. (2002). Infrared and microwave remote sensing of sea surface temperature (SST)

<http://www2.hawaii.edu/~jmaurer/sst/> (13.02.2019)

Marine monitoring. (2016). CMEMS Sea Surface Temperature Satellite products.

<http://marine.copernicus.eu/wp-content/uploads/2017/10/CMEMS-SEA-SURFACE-TEMP-SATELLITE.pdf> (13.02.2019)

GHRSSST products. (2012). Group for High Resolution Sea Surface Temperature.

<https://www.ghrsst.org/ghrsst-data-services/products/> (2.04.2019)

Peter Minnett., Andrea Kaiser-Weiss. (2012). Discussion document: Near-surface oceanic temperature gradients. GHRSSST.

<https://www.ghrsst.org/wp-content/uploads/2016/10/SSTDefinitionsDiscussion.pdf> (10.04.2019)

In-Situ Thematic Assembly Center. (2017). Copernicus Marine Environment Monitoring Service.

<http://www.marineinsitu.eu/about-us/> (25.01.2019)

In-situ TAC. (2017). Copernicus Marine Environment Monitoring Service.

<http://marine.copernicus.eu/about-us/about-producers/insitu-tac/> (05.02.2019)

EUROPEAN SEAS: IN SITU DATA PROVIDERS. (2015).

<http://marine.copernicus.eu/training/education/observation/in-situ/> (15.05.2019)

H. Wehde, K. V. Schuckmann, S. Pouliquen, A. Grouazel, T. Bartolome, J. Tintore, M. De Alfonso Alonso-Munoyerro. (2016). Quality Information Document (QUID) INSITU_BAL_NRT_OBSERVATIONS_013_032.

<http://resources.marine.copernicus.eu/documents/QUID/CMEMS-INS-QUID-013-030-036.pdf> (10.04.2019)

Julien Le Sommer., Eric P. Chassignet., Alan J. Wallcraft. (2018). Ocean Circulation Modeling for Operational Oceanography: Current Status and Future Challenges.

https://www.godae.org/~godae-data/School/Chapter12_LeSommer_et_al.pdf
(18.02.2019)

Ocean Model Products. (2016). Copernicus Marine Environment Monitoring Service.

<http://marine.copernicus.eu/wp-content/uploads/2017/10/CMEMS-OCEAN-MODEL.pdf> (20.02.2019)

Berg, P., and Weismann Poulsen. (2012). Implementation details for HBM.

https://www.atm.helsinki.fi/peex/images/modellingplatform/Model_HBM.pdf
(15.03.2019)

L. Tuomi, J. She, I. Lorkowski, L. Axell, P. Lagema, F. Schwichtenberg, V. Huess. (2018). OVERVIEW OF CMEMS BAL MFC SERVICE AND DEVELOPMENTS.

https://www.researchgate.net/publication/324588098_Overview_of_CMEMS_BAL_MFC_Service_and_Developments (2.03.2019)

Françoise ORAIN, Météo-France. (2019). Product user manual dokument (PUM) For SST Level 3 products over European Seas.

<http://resources.marine.copernicus.eu/documents/PUM/CMEMS-SST-PUM-010-009.pdf> (2.04.2019)

[Барановичский Государственный Университет.](#) (2018). [Методы дистанционных исследований](#) : Лекция 3.

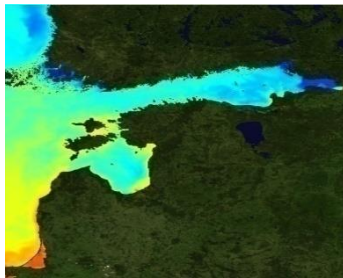
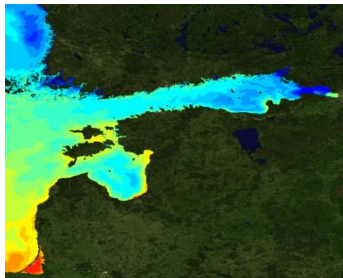
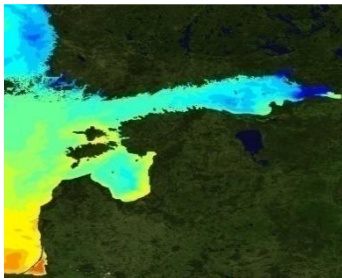



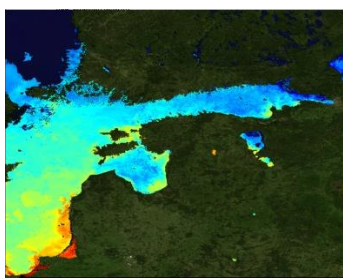

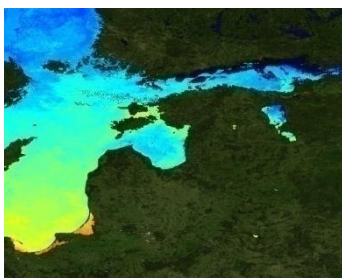


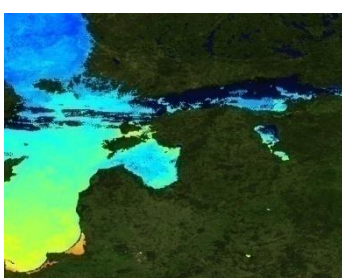
<https://studfiles.net/preview/6876994/> (15.04.2019)

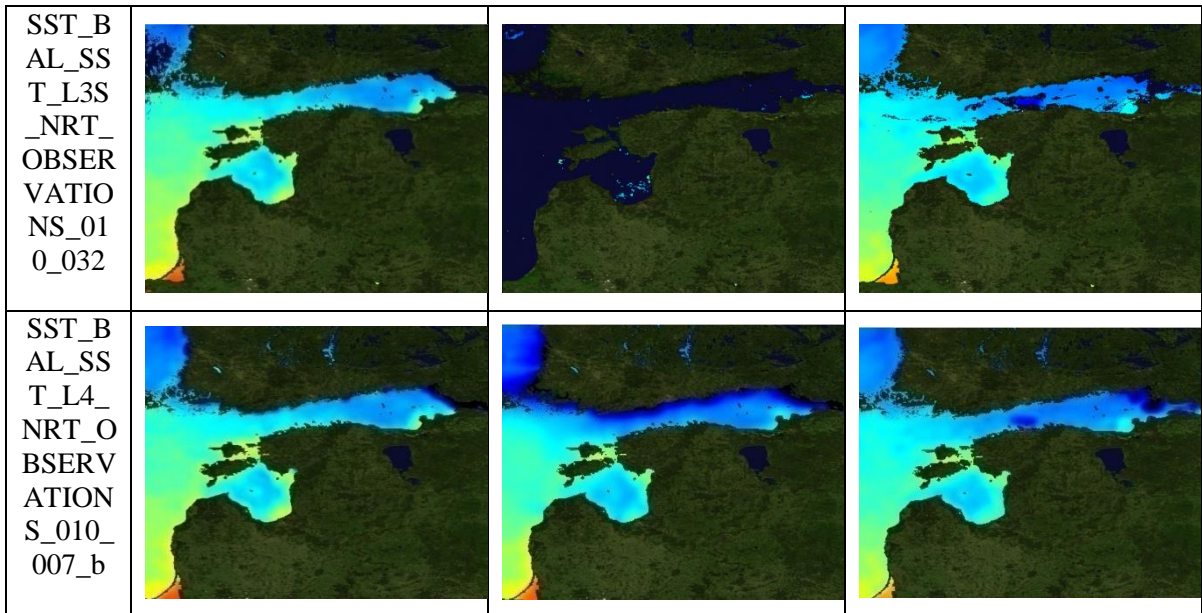
Hayley Evers-King. Plymouth Marine Laboratory on behalf of EUMETSAT. Accessing and working with Copernicus Marine data.

<http://ioccg.org/wp-content/uploads/2018/07/evers-king-cmds.pdf> (23.04.2019)

LISAD

Lisa 1. Ruumipunktide kontrolltabel

Nimi	Päev 1 (7.04.19) päikesepaisteline ilm	Päev 2 (10.04.19) kerge vihm	Päev 3 (13.04.2019) hea ilm
BALTI CSEA_ ANAL YSIS_F OREC AST_P HY_00 3_006			
INSIT U_BAL _NRT_ OBSER VATIO NS_01 3_032			
SST_E UR_SS T_L3S _NRT_ OBSER VATIO NS_01 0_009_ a			
SST_E UR_SS T_L3C _NRT_ OBSER VATIO NS_01 0_009_ b			



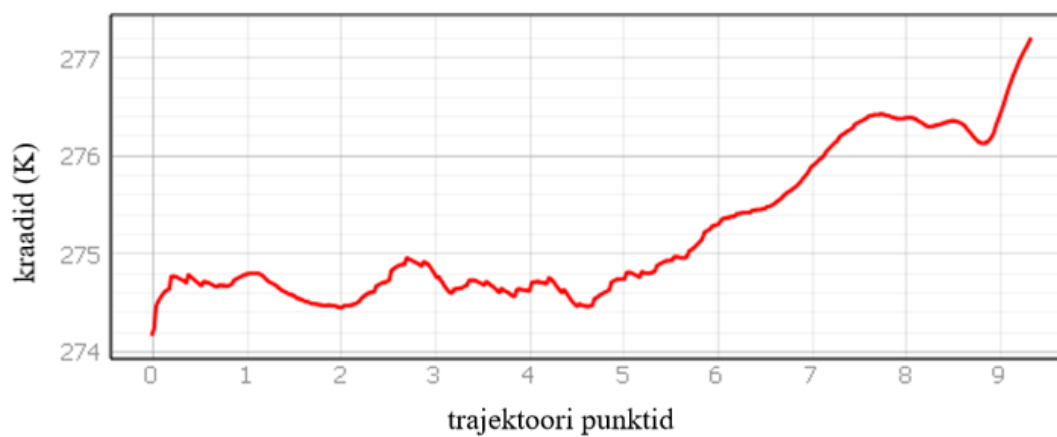
Allikas: (Autori koostatud)

Lisa 2. Lineaarsed profiilid

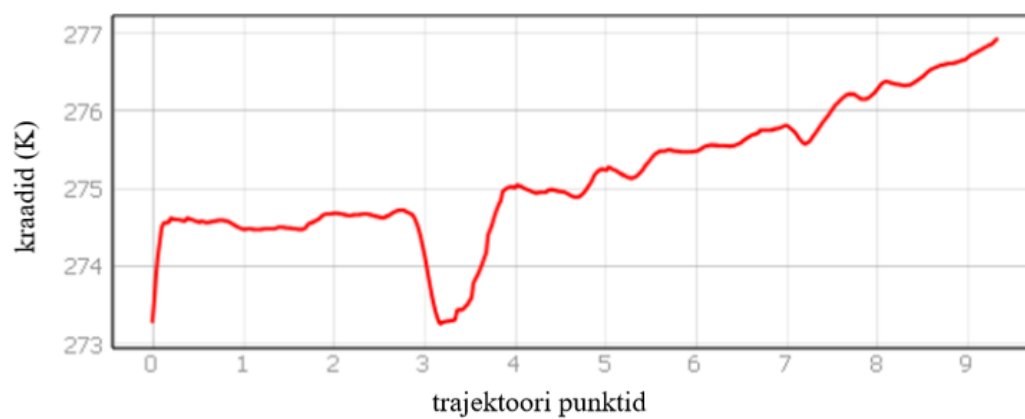
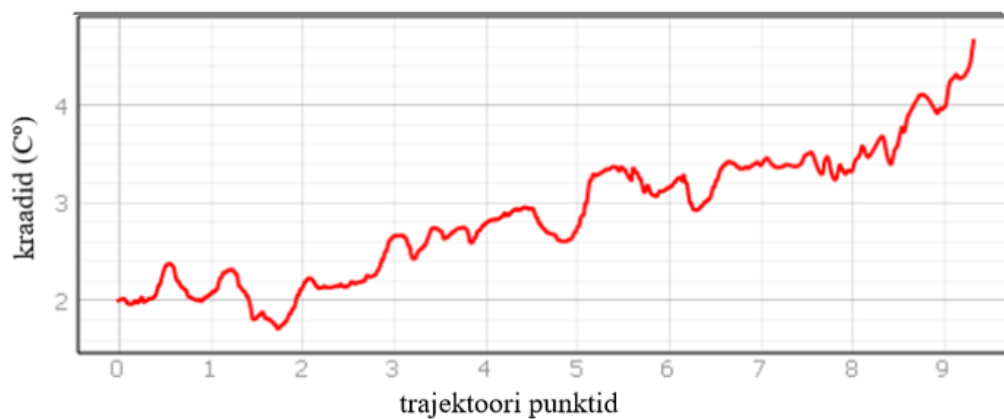
Lineaarsed profiilid 7.04.2019 mudel ülemine ja L4 satelliit alumine



Lineaarsed profiilid 10.04.2019 mudel ülemine ja L4 satelliit alumine

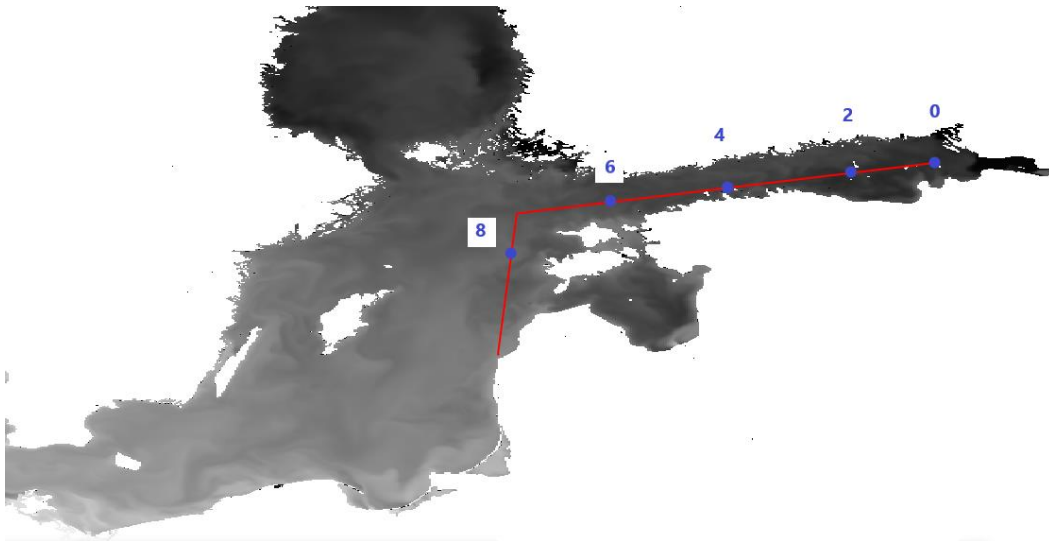


Lineaarsed profiilid 13.04.2019 mudel ülemine ja L4 satelliit alumina



(Allikas: QGIS programm)

Lisa 2.1. Profiili trajektoor



Punasega - profiili trajektoor ja sinisega - punktid, mis võeti temperatuuri võrdlemiseks.

Lisa 2.2. Profiili tabelid

Tabel 7.04.2019

Punktid	0	2	4	6	8
BALTICSEA_ANALYSIS_FORE CAST_PHY_003_006	2°C	1,9°C	2,6°C	2,9°C	3,8°C
SST_BAL_SST_L4_NRT_OBSER VATIONS_010_007_b	275,2 K = 2°C	274,7 K = 1,7°C	275,4 K = 2,3°C	275,8 K = 2,6°C	276,6 K = 3,5°C
Kraadide erinevus	0°C	0,3°C	0,3°C	0,3°C	0,3°C

Tabel 10.04.2019

Punktid	0	2	4	6	8
BALTICSEA_ANALYSIS_FORE CAST_PHY_003_006	1,7°C	1,9°C	2,5°C	2,8°C	3,1°C
SST_BAL_SST_L4_NRT_OBSER VATIONS_010_007_b	274,1 K = 0,97°C	274,6 K = 1,5°C	274,7 K = 1,6°C	275,3 K = 2,2°C	276,2 K = 2,9°C
Kraadide erinevus	0,73°C	0,4°C	0,9°C	0,6°C	0,2°C

Tabel 13.04.2019

Punktid	0	2	4	6	8
BALTICSEA_ANALYSIS_FORE CAST_PHY_003_006	2°C	2°C	2,8°C	3,2°C	3,4°C
SST_BAL_SST_L4_NRT_OBSER VATIONS_010_007_b	273,5 K = 0,4°C	274,5 K = 1,4°C	275,0 K = 1,9°C	275,5 K = 2,4°C	276,3 K = 3,2°C
Kraadide erinevus	1,6°C	0,6°C	0,9°C	0,8°C	0,2°C

Lisa 3. Kvaliteedikontrolli lipud

Kvaliteedi lipp	Tähendus	Määratlus
0	Puudub kvaliteedikontroll	-
1	Head andmed	Andmed läbisid kõik testid
2	Tõenäoliselt head andmed	Neid andmeid tuleks kasutada ettevaatusega
3	Halvad andmed, mis on potentsiaalselt parandatav	Neid andmeid ei kasutata ilma paranduseta
4	Halvad andmed	Andmed ei läbinud üht või mitut testi
5	Väärtus muutus	Andmeid saab taastada pärast vea parandust
6	Pole kasutatud	-
7	Nominaalväärtus	Lisatud väärtus on meetodi mõõtepiir
8	Interpoleeritud väärtus	Puuduvaid andmeid võib interpoleerida naaberandmetest
9	Väärtus puudub	Väärtus puudub, ei ole edastatud

Allikas: (H. Wehde et al., 2016)