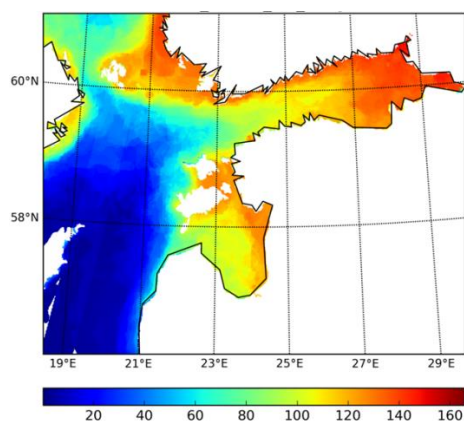


## Mereala planeeringu alusuuring: jäälolude analüüs ja kaartide koostamine



**Rivo Uiboupin ja Ove Pärn**

### **TTÜ MERESÜSTEEMIDE INSTITUUT**

Akadeemia tee 15a, Tallinn 12 618 tel. 6 204 302 faks. 6 204 301  
Internet: [www.msi.ttu.ee](http://www.msi.ttu.ee) e-mail: [msi@msi.ttu.ee](mailto:msi@msi.ttu.ee)

**Tellijä: Rahandusministeerium**

## **Eessõna**

Antud uuring kirjeldab jää olusid Eesti rannikumeres mereala ruumilise planeerimise kontekstis. Töös on kirjeldatud Eesti mereala jääolusid kasutades satelliitpilte ja Riigi Ilmateenistuse jääkaarte aastatest 2000-2016 (kokku 14002 pilti/produkti). Analüüsi aluseks on koostatud 1km × 1km võrgusammuga kaardikihid, mis on raportile digitaalsel kujul lisatud. Töös on jagatud Eesti mereala 6 piirkonnaks ja kirjeldatud nendes regioonides jääolusid. Samuti on hinnatud, millised jääga seotud peamised aspektid (jäakatte kestus, jäätriiv) mõjutaks igas piirkonnas avamere rajatiste (tuulepargid, vesiviljelus ) ehitamist, arendamist ja hooldamist/haldamist ning milline on jää mõju talvisele navigatsioonile erinevates regioonides.

## Sisukord

1. Sissejuhatus.....	4
2. Andmed.....	5
3. Meetodid: satelliitpiltide töötlemine ja kaardikihtide koostamine.....	6
3.1 Statistiliste jää kaartide arvutamise meetodika.....	6
3.2 Statistiliste jääkaartide projektsioon.....	7
4. Jääolude kirjeldus Eesti merealal.....	8
4.1 Jääkatte kestus.....	8
4.2. Jää esinemise tõenäosus.....	10
4.3. Jää triivi kiirus.....	11
4.4. Rüsede esinemise sagedus.....	16
4.5 Viimase karmi talve 2010/2011 jääolud.....	16
4.6. Jääolude kirjeldus erinevates Eesti mereala piirkondades.....	18
5. Kokkuvõte.....	19
Kasutatud materjalid .....	20
Lisad.....	21

# 1. Sissejuhatus

Jää on oluline parameeter ohutu laevaliikluse, avamererajatiste (nt. tuulepark) ja ranniku rajatiste (nt. sadamate) ehitamise, arendamise ja haldamise kontekstis (Eik 2011, Gu et al. 2013). Seega on merejää olusid kirjeldav informatsioon oluline ka merealade ruumilise planeerimisel (MRP), mis on seotus konkreetsete arendustega rannikul ja avameres (Hendrikson & Ko, 2015). MRP raames läbi viidav pikaajalisel mereruumi kasutuse kavandamisel tuleks arvesse võtta erinevaid merejääga seotud aspekte. Hinnata tuleks erinevate merealade sobivust konkreetsete kasutusvaldkondade jaoks lähtuvalt sellest, (i) kui pikk on jääkatte kestus, mis piirab alale ligipääsu ja (ii) millised on piirkonna jäätriivi kiirused, mis võivad põhjustada vigastusi mere rajatistel ja raskendada laevade optimaalse marsruudi valikut talvisel navigatsiooniperioodil. Jääolude analüüsimisel MRP protsessi kontekstis tuleks arvestada ekstreemseid jää olusid (mitte ainult keskmiseid), mis Eesti tingimustes esinevad 1-2 korda 10 aasta jooksul, mil kogu Eesti mereala on jääga kaetud. Ekstreemsed olud seavad piirid/nõuded nii talvisele laevaliiklusele (nt. jäämurdjate teenuse planeerimine), kui ka merre planeeritavatele rajatistele (nt. ehitiste vastupidavus triivjää põhjustatud jõule, mererajatise teeninduse/hooldus perioodi pikenemine tänu raskendatud ligipääsule).

Jää olusid (nt. jääkatte kestvust) Läänemeres ja Eesti vetes on varasemalt analüüsitud erinevates teadus töödes ja enamasti on seal kasutatud laevadelt ja rannikult teostatud vaatlusandmeid (nt. Jevrejeva ja Leppäranta 2002; Jevrejeva, et al. 2004). Samas on kasutatud Läänemere jääolude ruumilisel analüüsil ja arengustsenaariumite prognoosimisel ka numbriliste mudelite andmeid (Vihmaja Haapala, 2009). Viimastel aastatel on siiski kujunenud primaarseks jää informatsiooni allikaks nii talvises navigatsioonis, kui ka statistilistes kliima uuringutes satelliidi pildid. Kaugseire andmed pakuvad optimaalset ajalist ja ruumilist lahutust jääga seotud protsesside jälgimisel ja analüüsimisel (Karvonen, 2015, Siitam et al 2016, GORWIND).

Käesoleva töö eesmärk on Eesti mereala jääolude ja nende mõju kirjeldamine MRP jaoks läbi kahe tegevuse:

- digitaalsete kaardikihid koostamine Eesti mereala jääolude kirjeldamiseks;
- jääolude mõju hindamine avamere ja ranniku rajatiste arendamisele/hooldamisele ning talvisele navigatsioonile.

## 2. Andmed

Jääolude statistiliseks iseloomustamiseks Eesti merealal kasutati kaugseire produkte, mis on arvutatud erinevate satelliitide andmetest. Statistiliste jääkaartide koostamisel võeti aluseks 16 talve andmed (2000/2001-2015/2016). Kasutati kolme erinevat produkti:

- a) Copernicus mereteenuse jää kontsentratsioon produkt: SST\_BAL\_SST\_L4\_REP\_OBSERVATIONS\_010\_016 (Høyer,2013). Jää kontsentratsioon produktid näitavad mitu protsenti iga võrgu punkti pindalast on kaetud jääga.
- b) Copernicus mereteenuse jää triivi produkt: SEAICE\_BAL\_SEAICE\_L4\_NRT\_OBSERVATIONS\_011\_011 (Eastwood et al. 2016). Jää triivi produkt näitab keskmist jää triivi distantsi ja jää liikumise kiirust kahe järjestikuse satelliitpildi salvestamise vahelisel ajal.
- c) Ilmateenistuse klassikaline jää kaart (Riigi Ilmateenistus), millel on näidatud rüside paiknemine.

Jää kontsentratsiooni ja jää triivi produktid pärinevad Copernicuse merekeskkonna seire teenuse andmebaasist (Copernicus mereteenus, <http://marine.copernicus.eu/>). Euroopa Liidu Copernicuse programmi Mereteenuse (ehk merekeskkonna seireteenus) andmebaasi on koondatud maailmamere, sealhulgas ka Läänemere seisundit kirjeldavad andmed, mis põhinevad satelliitseirel, merel tehtud mõõdistustel ja numbrilistel mudelitel. Käesolevas uuringus on jää olude kirjeldamiseks kasutatud Copernicus mereteenuse satelliitidelt pärinevate andmete produkte. Ülevaade kasutatud andmete hulgast, ajalistest raamidest ja nende põhjal loodud kaardikihtidest on toodud Tabelis 1.

Jääkaartidel, mis on saadud Riigi Ilmateenistusest, kajastuvad igapäevaselt ja operatiivselt kogutud jää andmed. Rüside paiknemise informatsioon pärineb jää vaatlustest ja laevade (s.h jäämurdjate) edastatud andmetel. Ülevaade kasutatud jääkaartide kohta on toodud Tabelis 1.

**Tabel.1.** Ülevaade kasutatud jää produktidest ja arvutatud parameetritest. Välja on toodud ka kaartide koostamisel kasutatud produktide/satelliitpiltide hulk ja kaetud ajavahemik.

Andmetüüp	Parameetrid	Aastad	Andmebaas	Piltide/produktide arv
Copernicuse jää kontsentratsiooni produkt	-Jää esinemise tõenäosus; -Jääkatte kestvus	2000-2016	Copernicuse mereteenus	5840
Copernicuse jää triivi produkt	Jää triivi kiirus	2011-2016	Copernicuse mereteenus	5662
Jääkaart	Jää rüsid	2000-2016	Ilmateenistus	2500

### 3. Meetodid: satelliitpiltide töötlemine ja kaardikihtide koostamine

#### 3.1 Statistiliste jää kaartide arvutamise meetoodika

Iseloomustamiseks jääolusid Eesti merealal arvutati kaugseire andmetest (satelliit pildid) iga võrgupunkti (1km × 1km) jaoks järgmised parameetrid: jää esinemise tõenäosus erinevate talvestsenaariumite korral, jääkatte kestvus erinevate talve stsenaariumite korral, keskmine jää triivi kiirus ja rüside esinemise sagedus. Vastavalt jääkatte kestusele ja esinemise tõenäosusele liigitati talved karmideks, keskmisteks ja pehmeteks (Tabel 2). Kasutades antud klassifitseerimist arvutati jääkatte kestuse ja esinemise tõenäosuse kaardid erinevate talvestsenaariumite jaoks. Jääolude kirjeldamiseks jagati Eesti mereala 6-ks regiooniks, kus jääolude muutlikkuses olid tuvastatavad iseäralikud mustrid:

- Väinameri ja Pärnu laht
- Liivil lahe avaosa
- Saaremaa ja Hiiumaa läänerannik
- Soome lahe lääneosa (Hiiumaast ja Vormsist põhjapool asuv ala)
- Soome Lahe keskosa (Kundast Paldiskini)
- Soome lahe idaosa (Narva laht)

Iga alamregiooni piires olid jääolud sarnased ja MRP seisukohast on regiooni piires mereliste tegevustele sarnased jääst tingitud piirangud.

**Jääkatte kestus** näitab päevade arvu jää tekkest selle kadumiseni igas võrgupunktis. Sügisel on jääperioodi alguseks loetud päev, millele järgneva 10-ne päeva keskmine jääkontsentratsioon on vähemalt 10% vaadeldavas võrgupunktis. Alates sellest tingimusest loetakse päevad kokku ajani, mil jälle 10-ne päeva keskmine jääsisaldus langeb alla 10%-i. Antud 10% tingimustega välistatakse sügisel üksikud väga varajased või kevadel üksikud hilised jääpäevad, mil jää katte ei takista (või mõjutab minimaalselt) laevatatavust, mererajatiste ehitamist ja hooldamist.

**Jää esinemise tõenäosus** näitab mitmel protsendil päevadest esines jää antud võrgupunktis ajavahemikul 15. detsember - 1.mai. Kui võrgusilmast vähemalt 10% oli jääga kaetud (s.t. jää kontsentratsioon oli üle 10%), siis loeti antud võrgupunkt jääga kaetuks. Erinevalt jääkatte kestuse kaardist on jää esinemise tõenäosuse puhul võetud arvesse ka jää triivist tingitud lühiajalised muutused. Praktilisest aspektist näitab jää esinemise tõenäosus protsentuaalselt aega, kui antud piirkonnas asuva rajatise juurde transport (näiteks hooldustööd talvisel ajal) oleks raskendatud.

**Rüsi jää esinemise sagedus** kaardil on näha (i) rüsid esinemise asukohad ja (ii) päevade arv 16 aasta jooksul, kui antud punktis esines jäärüsi või ladejääd (rüsi jää alam liik, kui üks „jääplaati“ liigub teise peale). Rüsi on suhteliselt lokaalne nähtus ja seetõttu tema visualiseerimiseks korrektsem kasutada punktväärtusi, kui interpoleeritud kaarti.

**Jäätriiv** näitab jäämassi keskmist liikumiskiirust (m/s) igas ruumipunktis. Satelliitpildilt määrati jäämassiivi asukoht kahel erineval päeval. Vahemaa kahelt pildilt tuvastatud asukoha vahel ja selleks kulunud aeg (kahe satelliitpildi „tegemise“ vaheline aeg) annab jää triivi kiiruse. Jäätriivi iseloomustamiseks arvutati pildi paaridest igas ruumipunktis keskmine kiirus ja ka kiirusvälja x- ja y-komponendid. Kiirusvälja x- ja y-komponendid näitavad, kas domineeriv jää triiv on ida-lääne suunaline (x-komponent) või põhja-lõuna suunas (y-komponent). Keskmise jäätriivi kaardi arvutamisel võeti arvesse ainult need andmed, kus esines jää triiv (kiirus oli üle 0 m/s). Seega ei arvestatud näiteks andmepunkte, kus oli vaba vesi või liikumatu kinnis jää.

### 3.2 Statistiliste jääkaartide projektsioon

Jäälusid kirjeldavad kaardikihid on Euroopa Keskkonna Agentuuri (EEA - *European Environment Agency*) soovitatud ja INSPIRE (*Infrastructure for spatial information in Europe*) direktiiviga defineeritud projektsioonis ja interpoleeritud vastavale 1km × 1km geograafilisele võrgule (EEA). Kaardikihtide projektsiooni peamised parameetrid on järgmised:

- Geodeetiline referents süsteem: ETRS89 (*European Terrestrial Reference System 1989*)
- Projektsioon: Lamberti asimutaalprojektsioon (*Lambert Azimuthal Equal Area*)
- Lähtepunkti geodeetilised koordinaadid: 10.0 °E; 52.0 °N
- Lähtepunkti ristkoordinaadid - x0= 4321000 m; y0=3210000m

Kaardikihid on esitatud digitaalsel kujul raporti lisana (Lisa1-Lisa12).

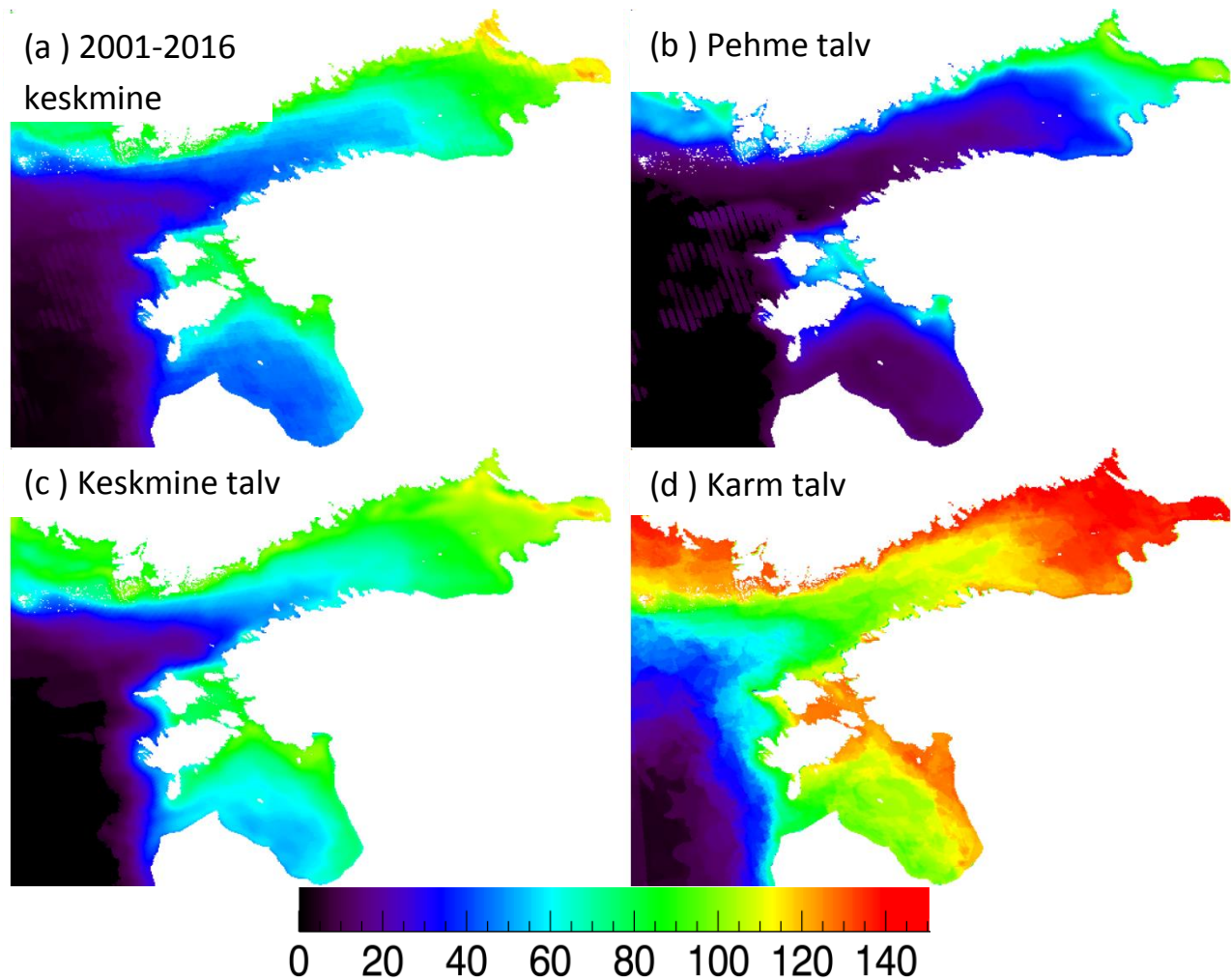
## 4. Jääolude kirjeldus

### 4.1 Jääkatte kestus

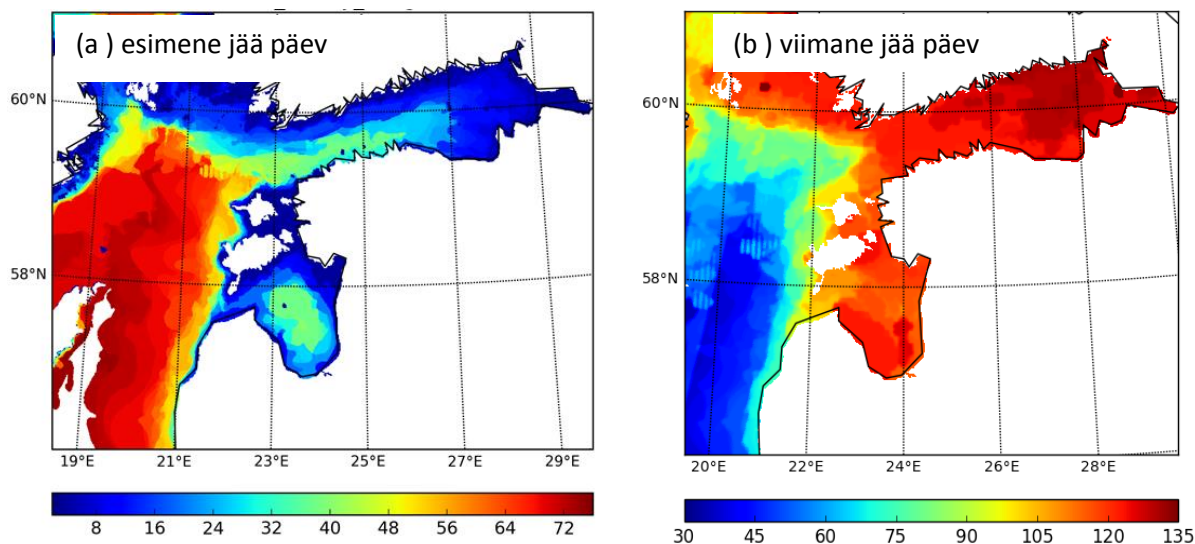
Jääkatte kestvus Eesti merealal erinevate talvestsenaariumite korral on näha Joonisel 4.1.1. Eesti merealal esineb jääkate igal aastal vähemalt Pärnu lahel ja Väinameres. Ekstreemselt pehmetel talvedel (nt. 2007/2008) esineb jää vaid Pärnu lahes ja Väinamere lahtedes. Karmidel talvedel (nt. 2010/2011) on jääga kaetud kogu Eesti mereala ( Joonis 4.1.1c) ning isegi Hiiumaa ja Saaremaa läänerannikul esineb jääd 30 päeva jooksul.

Lisaks jääkatte kestusele on oluline teada esimese jää tekkimise ja viimase jää sulamise/lagunemise kuupäeva. Need kuupäevad seavad ajalised raamid arendajale ja laeva/jäämurdja haldajale, kui ta peab arvestama potentsiaalsete jääst põhjustatud komplikatsioonidega (nt. lisakulud ranniku või avamere rajatiste hooldamisel ning ehitamisel, lisa kütusekulu laeva transpordis, jäälõhkuja teenuse vajadus). Joonisel 4.1.2a näidatud esimese jää tekkimise kuupäeva kaardist nähtub, et jäähooaeg võib alata ranniku tsoonis novembri alguses (näiteks Pärnu laht, Väinameri ja Narva laht) samas kui Saaremaast ja Hiiumaast lääne pool ning Soome lahe lääneosas võib esimene jää tekkida alles jaanuari keskel. Kõige hilisemad jää tuvastused on enamasti samades piirkondades (Pärnu laht, Väinameri ja Narva laht), kus ka kõige varasemad jää tuvastused. Erandiks on siin Soome lahe lääneosa (Joonis 4.1.2b), kus jää võib püsida kauem (aprilli lõpuni) tänu Soome rannikult Eesti rannikule triivinud jääle (Joonis 4.3.1a ja 4.3.1c).

Jääkatte kestus on oluline takistus avamere tegevustele – laevaliiklus ja ehitiste rajamine/hooldamine/teenindamine. Sõltuvalt piirkonnast peab avamere rajatise haldaja/arendaja arvestama karmidel talvedel kuni 4.5 kuu pikkuse perioodiga, mil rajatise juurde pääsemine (nt hooldustööd) on raskendatud/võimatu (mööda merd) või kulukas (jäämurdmise teenus, õhustransport) (Tabel 2). Talvise navigatsiooni seisukohast tuleb karmidel talvedel jäämurdmise teenust pakkuda vähemalt 4 kuud Pärnu ja Kunda sadamates ning kuni 3 kuud Tallinna ja Muuga sadamates.



**Joonis 4.1.1.** Joonisel (a) on näidatud jää hooaja keskmine kestus päevades perioodil 2000-2016 igas võrgupunktis. Jää hooaja kestvus päevades erinevate talve stsenaariumite korral: (b) pehmete talvede keskmine, (c) keskmiste talvede keskmine ja (d) karmide talvede keskmine.



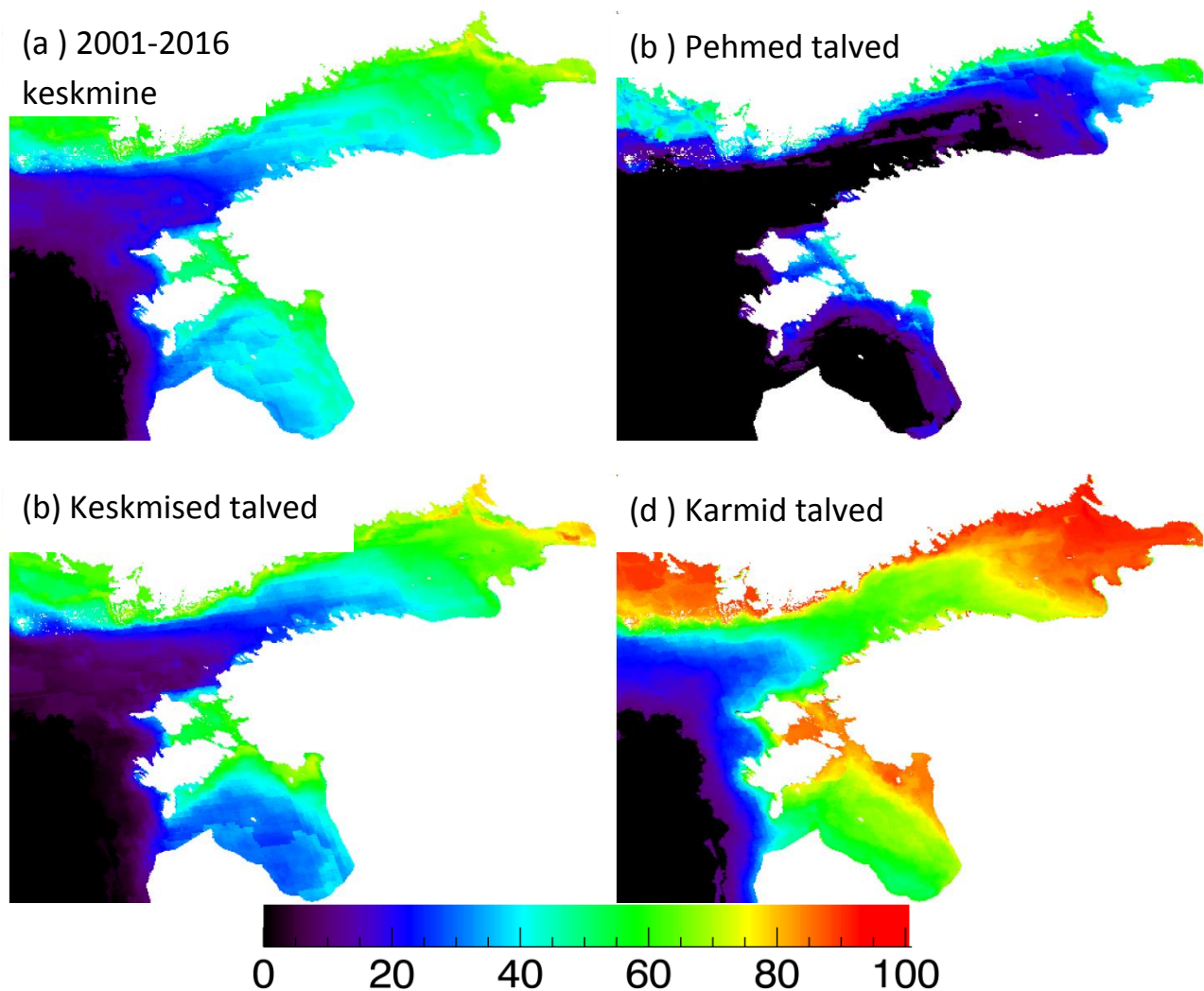
**Joonis 4.1.2.** (a) Varaseim jää esinemise päev vahemikus 2000-2016. Skaalal on märgitud päevad ja 0 väärtus tähistab 1. novembrit. (b) Hiliseim jää esinemise päev vahemikus 2000-2016. Skaalal on märgitud päevad ja 0 väärtus vastab 1.jaanuarile.

**Tabel 2.** Perioodi 2001-2016 talved klassifitseeriti vastavalt jääkatte ulatusele ja kestusele karmideks, keskmisteks ja pehmeteks. Tabelis on toodud jää katte kestuse ja esinemistõenäosus erinevate Eesti mereala osades kolme erineva talve stsenaariumi korral.

	<b>Pehmed talved</b>	<b>Keskmised talved</b>	<b>Karmid talved</b>
<b>Aastad</b>	2001/2002, 2007/2008, 2008/2009, 2013/2014, 2014/2015 2015/2016	2000/2001, 2003/2004, 2004/2005, 2005/2006, 2006/2007, 2011/2012, 2012/2013	2002/2003, 2009/2010, 2010/2011
<b>Jää esinemise tõenäosus</b>	Väinameres, Narva lahes all 40%	Väinameres, Narva lahes 40% - 70%	Liivi lahes, Väinameres, Narva lahes üle 70%
<b>Jääkatte kestvus (päeva)</b>	Narva lahes ja Väinameres alla 60 päeva; Pärnu lahes all 70 päeva; Tallinna ja Helsingi liinil all 30 päeva	Narva lahes, Väinameres ja Pärnu lahes 70 kuni 110 päeva; Tallinna ja Helsingi liinil 30 kuni 80 päeva	Narva lahes, Väinameres ja Pärnu lahes üle 110 päeva; Tallinna ja Helsingi liinil üle 80 päeva

#### 4.2. Jää esinemise tõenäosus

Jää esinemise tõenäosus näitab mitmel protsendil päevadest on ligipääs avamere rajatisele piiratud. Keskmiselt on Pärnu laht, Väinameri ja Narva laht jääga kaetud 50% ajast (15. detsember-1. mai), kuid karmidel talvedel võib vastav arv olla 85% (Joonis 4.2.1). Soome lahe lääne- ja keskosas on jää periood lühem – keskmiselt 30% ja karmidel talvedel 60% ajast. Kuid Soome lahe lääne- ja keskosa puhul on oluliseks merelisi tegevusi takistavaks teguriks jäätriiv ja selle tekitatud potentsiaalsed kahjud avamere ja rannikurajatistele (vt. peatükk 4.3).



**Joonis 4.2.1.** Joonisel on näidatud jää esinemise tõenäosus (%) perioodil 2000-2016 igas ruumi punktis. Jää esinemise tõenäosuse erinevate talve stsenaariumite korral: (b) pehmetel talvedel, (c) keskmistel talvedel ja (d) karmidel talvedel.

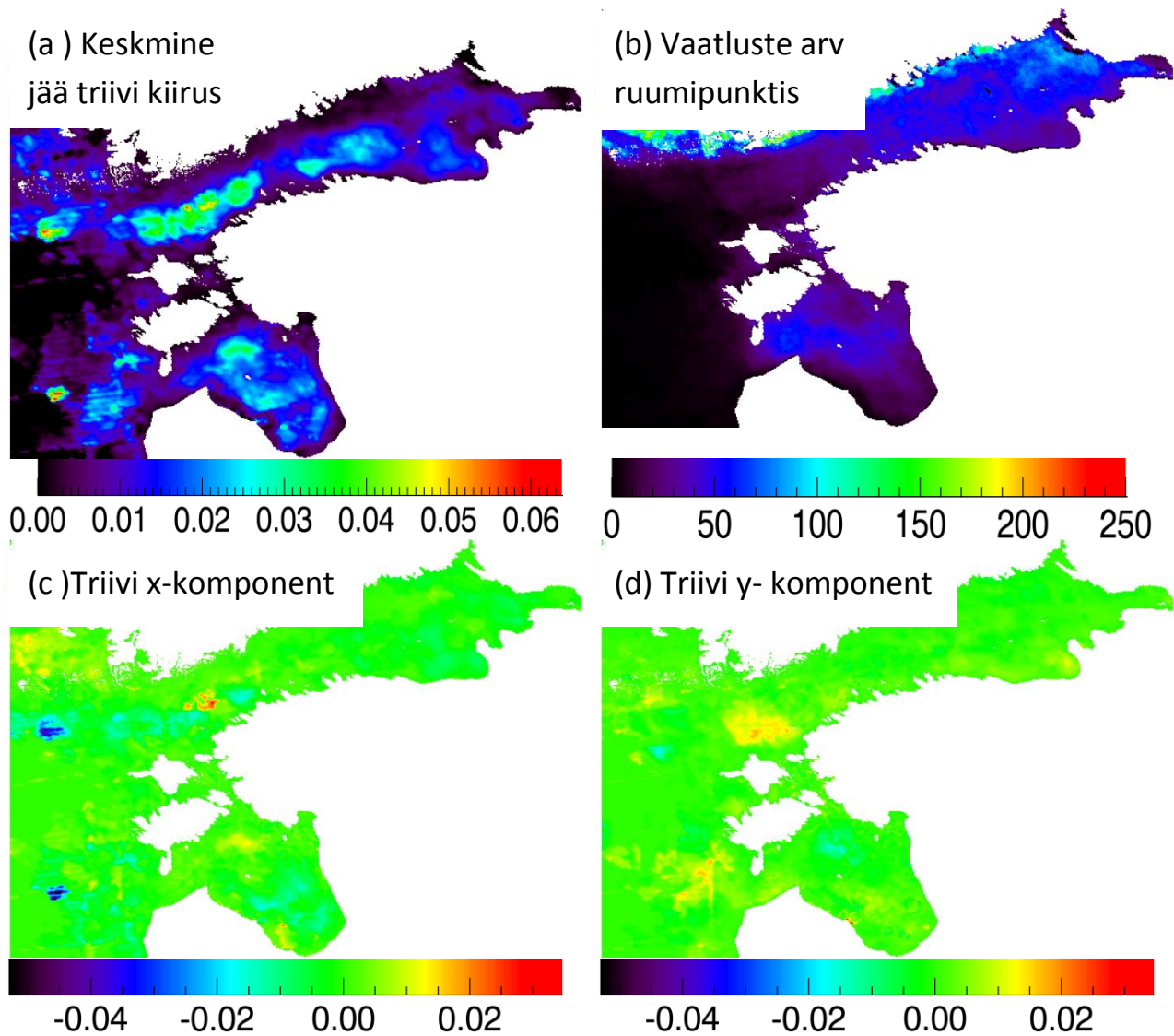
#### 4.3. Jää triivi kiirus

Triivjää võib põhjustada olulisi kahjustusi statsionaarsetele avamere rajatistele ja raskendada laevade navigatsiooni. Triivjää esineb peamiselt piirkondades, kus jääkatte kestvus on keskmiselt lühem – Soome lahe lääne- ja keskosa, Liivi lahe avaosa ning Saaremaa läänerannik (Joonis 4.3.1a). Antud piirkondades on meri sügavam ja rannajoon ei võimalda jääkattel püsivalt kinnituda nagu Väinameres saarte ja mandri vahele või suletud Pärnu lahes. Soome lahe lääneosale (Hiiumaast ja Vormsist põhjapool) on iseloomulik jää liikumine nii ida-lääne suunas (keskmiselt 0.02 m/s), kui ka põhjalõunasuunas (keskmiselt 0.025 m/s) (Joonis 4.3.1c ja Joonis 4.3.1d). Samas Soome lahe keskosas (Paldiskist Kundani) on, tulenevalt Soome lahe väljavenitatud kujust, domineerivaks piki lahte triiv, mille keskmine kiirus võib olla kuni 0.04m/s.

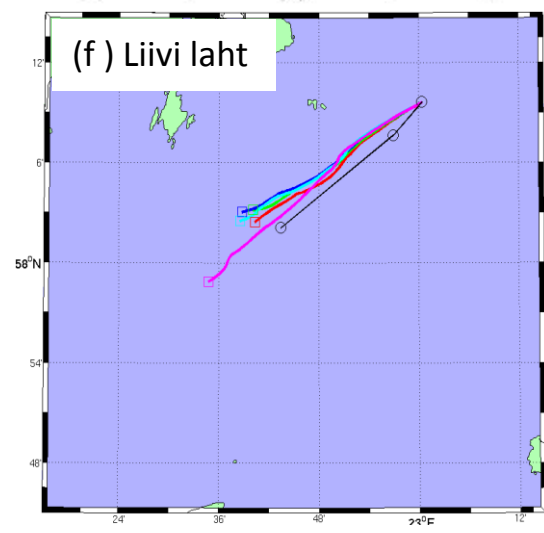
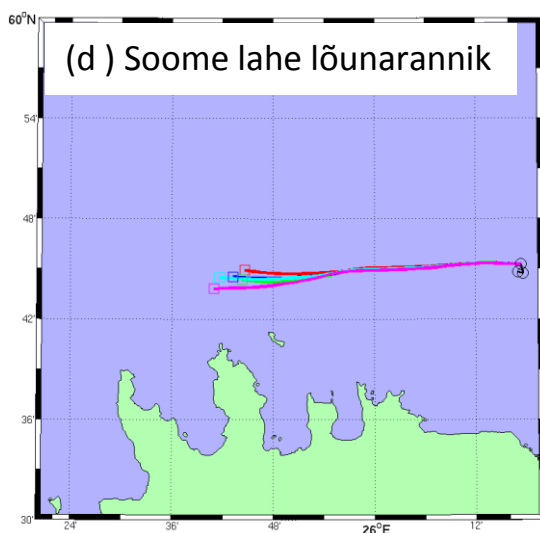
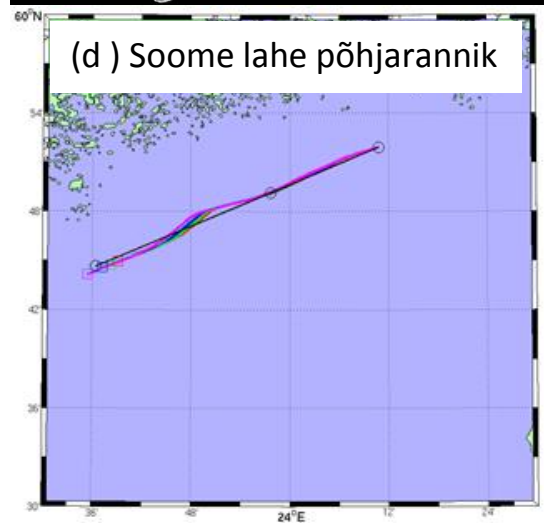
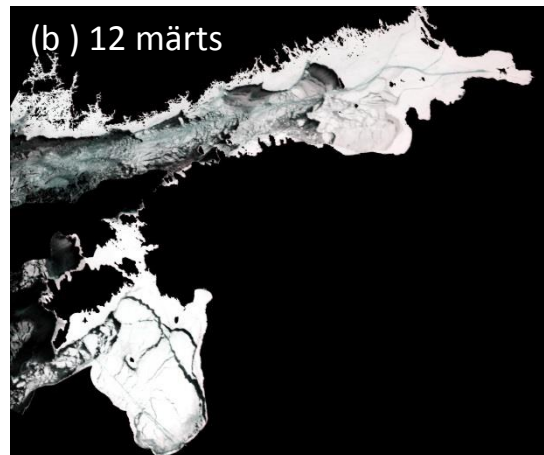
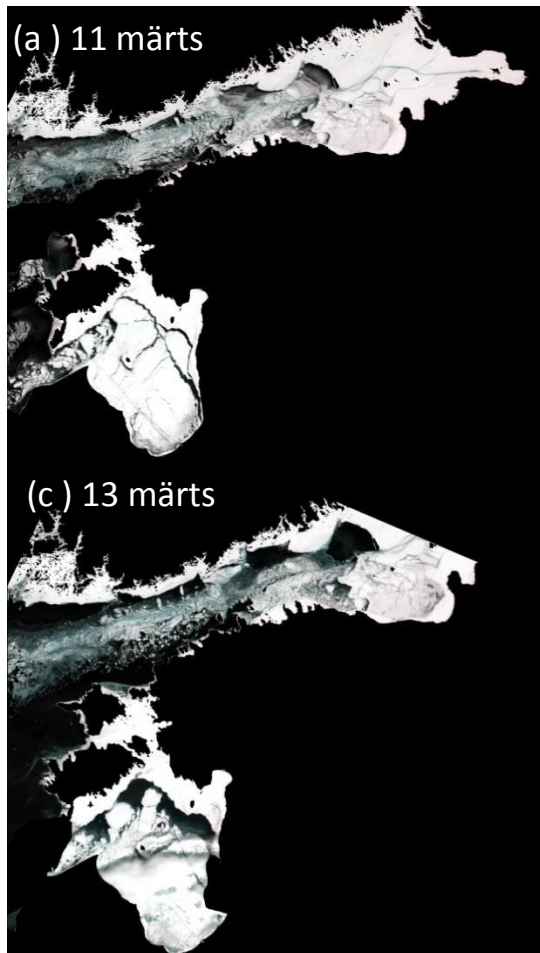
Erinevate asjaolude – tuule ja hoovuse kiirus, jää ruumilise jaotuse, jää vaba triiv - kokkulangemisel võib triivjää põhjustada olulisi kahjustusi avamere rajatistele ja raskendada

laevade navigatsiooni. Iseloomustamiseks jäätriivi olulisust ekstreemsetes oludes ja selle poolt põhjustatavat potentsiaalset kahju on Joonisel 4.3.2. näidatud jääväljade triiv piki Soome lahe põhja rannikut (Joonis 4.3.2d), piki Soome lahe lõuna rannikut (Joonis 4.3.2e) ja Liivi lahe põhjaosas (Joonis 4.3.2f). Jooniselt nähtub, et 48 tunni jooksul triivisid Liivi lahes ja Soome lahes Muhumaasuurused jääväljad 30-40 km edela suunas, mis teeb keskmiseks triivi kiiruseks 0.17-0.23 m/s. Samas võib eeldada, et 48 tunnise perioodi vältel esines olukordi, kus hetkeline kiirus oli oluliselt suurem, kui 0.23 m/s. Varasemates uuringutes (Lilover et al. 2013) on Soome lahes ja Liivi lahes mõõdetud maksimaalseteks jää tiivkiiruse hetkeväärtusteks vastavalt 1.01 m/s ja 0.66 m/s. Sõltuvalt jäämassiivi suurusest võib kiirusega 1 m/s liikuv jää põhjustada olulisi kahjustusi avamererajatistele. Näiteks lihtsustatud teoreetiliste arvutuste kohaselt mõjutaks jäätükk/jääväli paksusega 30 cm ja mõõtmetega 5km x 5km, mis liigub kiirusega 1m/s mererajatist sellega põrkudes hetkelise jõuga 1500 kN/m (Riska, 2011). Joonisel 4.3.3 on toodud lihtsustatud teoreetilised hinnangud jää poolt avaldatava maksimaalse jõu suuruse kohta sõltuvalt jää paksusest, liikumise kiirusest ja jäävälja pindalast. Reaalsetes oludes mõjutaks triivjää rajatist pikema aja vältel ja seega tuleks arvestada kumulatiivse jää triivi poolt tekitatud mõjuga.

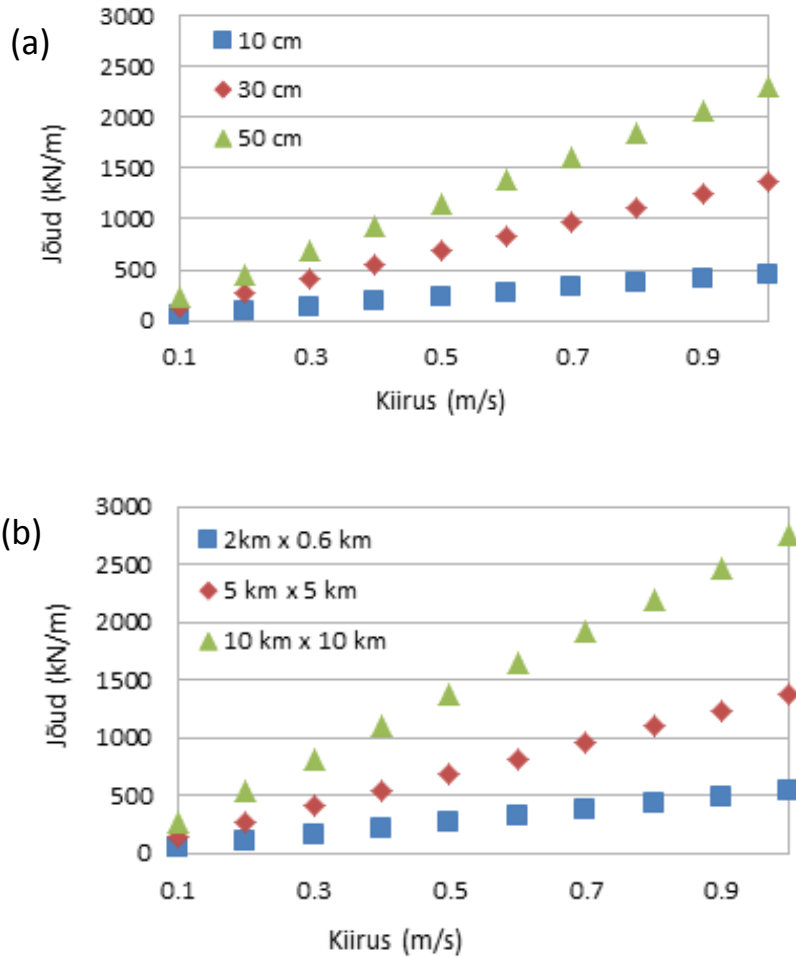
Jää triivi poolt kahju tekitamine statsionaarsetele avamere rajatistele on kõige tõenäolisem Soome lahe lääne- ja keskosas ning Liivi lahe avaosas. Potentsiaalne triivjää tekitatav kahju sõltub iga konkreetse rajatise konstruktsioonist.



**Joonis 4.3.1.** Keskmise jää triivi kiirus igas võrgupunktis (a) ja satelliidilt tehtud vaatluste arv igas võrgupunktis (b). Keskmise triivi kiiruse x-suunaline komponent, mis näitab ida lääne suunalist keskmist jää liikumise kiirust (c) ja y-komponent, mis näitab põhja-lõuna suunalist jää liikumise kiirust (d).



**Joonis 4.3.2.** Satelliidi pilt kolmel järjestikusel päeval (11, 12 ja 13 märts 2006) kus on näha jää triiv kirdest edelasse. Konkreetsete jääväljade/tükkide trajektoorid 48 tunni jooksul (d) Soome lahe põhja rannikul, (e) Soome lahe lõunarannikul Pärissaare poolsaare lähedal ja (f) Liivi lahe põhjaosas.



**Joonis 4.3.3.** (a) Jäävälja (5km x 5km) poolt mererajatise konstruktsiooni meetrilaiusele osale avaldatava maksimaalse hetkelise jõu sõltuvus jää triivkiirusest erineva paksusega jää korral. (b) Erineva suurusega jää väljade poolt mererajatise konstruktsiooni meetrilaiusele osale avaldatava maksimaalse jõu sõltuvus jää hetkelisest triivkiirusest 30 cm paksuse jää korral. Tegemist on teoreetiliste arvutustega maksimaalse jõu kohta eeldustel, et jää konsentratsioon on 100% ja lõtkusid ei esine jäävälja ulatuses.



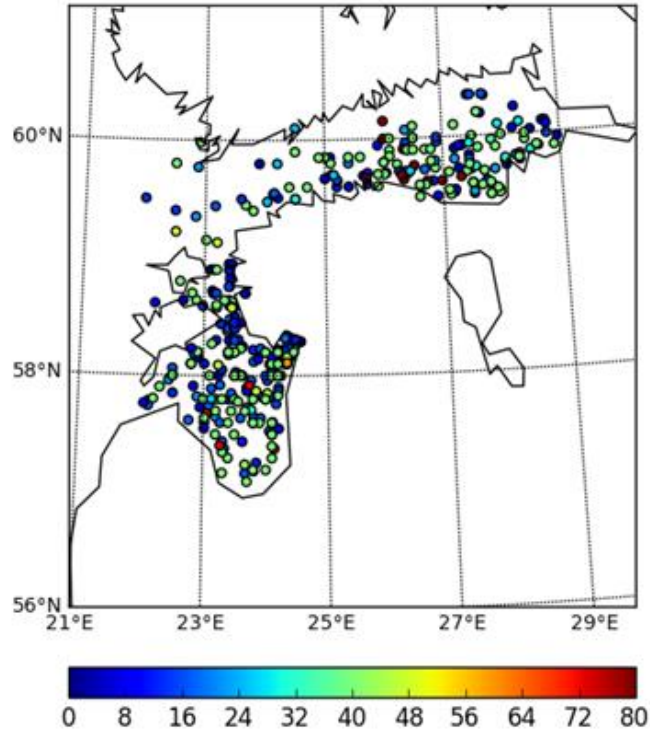
**Joonis 4.3.4.** Näide triivjää poolt põhjustatud kahjustusest kaldarajatisele.

#### **4.4. Rüsede esinemise sagedus**

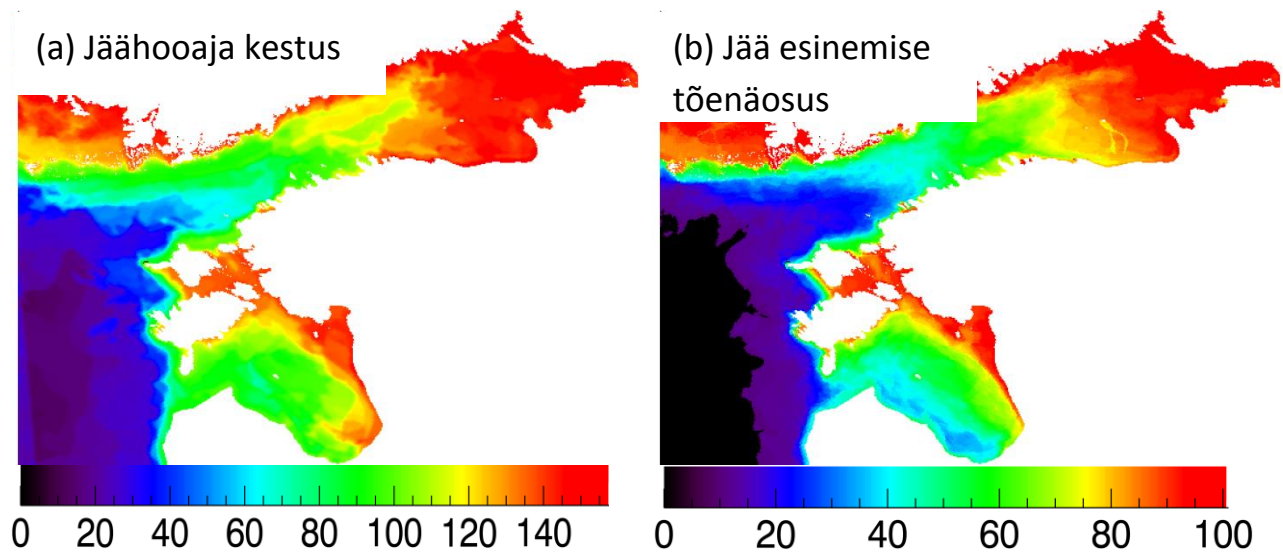
Triivjää liikumine põhjustab rüsede tekkimist, mis raskendab laevade liikumist talvisel perioodil. Analüüsitud 16 aasta andmetest nähtub, et olulisel hulgal rüsidid tekkis kinnisjää piirialadele, kuhu tuule ja hoovuse mõjul kuhjati/lükati triivjää. Igapäevaselt uuendatavatelt Ilmateenistuse jää kaartidel tuvastati kokku 11649 lokaalset rüsisunud piirkonda, mis asusid 439 erinevas punktis (Joonis 4.4.1). Karmidel talvedel võib rüsidid esineda pea kogu Eest merealal s.h Soome lahe lääneosas, kus rüsidid võivad püsida 30 päeva pikkuse perioodi vältel. Rüsidesid enim mõjutatud piirkonnad on Pärnu laht, Väinameri ja Narva laht, kuna nendes piirkondades on ka jääkatte kestus kõige pikem.

#### **4.5 Viimase karmi talve 2010/2011 jääolud**

Jääolude analüüsimisel MRP protsessi kontekstis tuleks arvestada ekstreemseid jää olusid (mitte ainult keskmiseid). Ekstreemsed/karmid talved esinevad Eesti tingimustes keskmiselt 1-2 korda 10 aasta jooksul ja siis on kogu Eesti mereala on jääga kaetud vähemalt 30 päeva jooksul. Karmide talvede puhul peab arvestama Narva lahes, Väinameres ja Pärnu lahes kuni 4.5 kuud kestva raskendatud ligipääsuga avamere rajatistele ja suuremate kuludega, mis on seotud talvise navigatsiooni ja jäämurdmise teenusega.



**Joonis 4.4.1** Rüsede esinemise sageduse kaart. Joonisel on näidatud rüsede esinemise asukohad perioodil 2000-2016. Skaala näitab mitmel päeval on antud kohas rüsid esinenud.



**Joonis 4.5.1** Karmi talve (2010/2011) jää hooaja kestuse kaart (a) ja jää esinemise tõenäosuse kaart (b). Kaart iseloomustab jääolusid konkreetsel 2010/2011 karmil talvel.

#### 4.6. Jääolude kirjeldus erinevates Eesti mereala piirkondades

Jääolude kirjeldamiseks jagati Eesti mereala 6-ks regiooniks, kus jää olude muutlikkuses olid tuvastatavad iseäralikud mustrid. Iga alamregiooni piires olid jääolud sarnased ja MRP seisukohast on regiooni piires merelistele tegevustele sarnased jääst tingitud piirangud.

**-Väinameri ja Pärnu laht** on peamiselt kinnisjäaga kaetud piirkond, kus keskmine jääkatte kestus on 80 päeva ja karmidel talvedel võib jääkatte kestus olla üle 140 päeva. Antud piirkonnas on meri madal ja ranna joon liigendatud, seetõttu on seal valdav kinnis jää ja keskmised jää triivi kiirused on madalad. Küll aga esineb antud piirkonnas kinnisjää piiril rüsisid. Jää rüsisumine on tingitud Liivi lahe avaosas liikuva jää kirde- ja põhjasuunalisest triivist. Peamiseks jääkatte kestusest tingitud taksituseks antud piirkonnas on raskendatud ligipääs avamere rajatistele kuni 4.5 kuuse perioodi vältel.

**-Liivi lahe avaosa** iseloomustavad dünaamilised jääolud (0.02-0.045 m/s) ja lühem jääkatte kestus (keskmiselt alla 60 päeva). Karmidel talvedel võib kogu laht olla jääga kaetud 3 kuud ja rüsisid võib esineda kogu Liivi lahe avaosal. Antud piirkonnas võib jää triivi kiirusi ulatuda 0.23 m/s.

**-Saaremaa ja Hiiumaa läänerannikul** on kõige leebemad jää olud, kus jääkate esineb vaid karmidel talvedel kuni 30 päeva. Vaid suletud lahtedes võib jääkate kesta 3 kuud. Mererajatistele võib ohtu kujutada karmidel talvedel Saaremaa lääneosas esinev triivjää (keskmine kiirus kuni 0.03 m/s).

- **Soome lahe lääneosas** (Hiiumaast ja Vormsist põhjapool asuv ala) on jääkatte kestus keskmiselt alla 40 päeva, kuid karmidel talvedel võib jääkatte kestus ulatuda 90 päevani. Jää on antud piirkonnas liikuv ning keskmised triivi kiirused ulatuvad 0.05m/s. Antud piirkonnas on põhja-lõuna suunaline jää triivimine tugevam (0.025 m/s) kui teistes Eesti mereala piirkondades. Samas on seal oluline ka idast läände suunatud jää triivi (keskmiselt 0.02 m/s) piki Soome lahe telge. Ekstreemsetes oludes võib jää triivi kiirus olla kuni 0.23 m/s.

**-Soome Lahe keskosa** (Kundast Paldiskini) esineb jääkate keskmiselt 30-60 päeva talve jooksul. Pehmetel talvedel on see piirkond jäävaba kuid karmidel talvedel on seal jääkate 100 päeva. Piirkonda iseloomustavad dünaamilised ja muutlikud jääolud (nii aastate vahel kui ka sesooni jooksul), mis väljendub ka kõrges keskmises jää triivkiiruses - 0.04m/s.

**-Soome lahe idaosas** (Narva laht) on keskmine jääkatte kestus 60-90 päeva ja karmidel talvedel üle 140 päeva. Narva lahes esineb ka rohkelt rüsisid kuna tegemist on piirkonnaga kus asub kinnisjää ja triivjää piir. Keskmised triivkiirused antud piirkonnas on 0.02 m/s.

## 5. Kokkuvõte

Antud töös on kirjeldatud Eesti mereala jääolusid kasutades satelliit pilte ja Riigi Ilmateenistuse jääkaarte aastatest 2000-2016. Statistiliste kaartide koostamiseks kasutati 5840 jää kontsentratsiooni pilti ja 5662 jää triivi pilti Copernicus Mereteenuse andmebaasist. Lisaks analüüsiti rüside esinemise sageduse määramiseks 2500 Ilmateenistuse jääkaarti. Statistilised jääolude kaardid (ja kaardikihid) kirjeldavad (i) jää hooaja pikkust, (ii) jää esinemise tõenäosust, (iii) keskmist jää triivi kiirust ja (iv) rüside esinemise sagedust.

Jääolude analüüsi põhjal võib Eesti mereala jagada 6 regiooniks: (i) Väinameri ja Pärnu laht, (ii) Liivil lahe avaosa, (iii) Saaremaa ja Hiiumaa läänerannik, (iv) Soome lahe lääneosa (Hiiumaast ja Vormsist põhjapool asuv ala), (v) Soome Lahe keskosa (Kundast Paldiskini) ja (vi) Soome lahe idaosa (Narva Laht).

Sõltuvalt piirkonnast ja talve karmusest peab avamere rajatise haldaja/arendaja arvestama kuni 4.5 kuu pikkuse perioodiga, mil rajatise juurde pääsemine (nt hooldustööd) on kas raskendatud/võimatu (mööda merd) või kallis (jäämurdmise teenus, õhutransport). Jääkatte pikk kestus iseloomustab Pärnu lahte, väinamerd ja Soome lahe idaosa (Narva laht).

Soome lahe lääne- ja keskosas ning Liivi lahe avaosas on oluliseks merelisi tegevusi takistavaks teguriks triivjää ja sellest põhjustatud potentsiaalsed kahjud avamere ja rannikurajatistele. Antud piirkondades võivad kümnete ruutkilomeetrite suurused jääväljad triivida 48 tunni jooksul 30-40 km liikudes kiirusega 0.23 m/s.

## Kasutatud materjalid

Eik., K. (2011). „Sea-ice management and its impact on the design of offshore structures.“, Cold Regions Science and Technology, 65(2), 172-18

Gu, W., Liu, C., Yuan, S., Li, N., Chao, J., Li, L., ja Xu, Y. (2013). „Spatial distribution characteristics of sea-ice-hazard risk in Bohai“, China. Annals of Glaciology, 54(62), 73-79

Hendrikson & Ko, „Merealade ruumilise planeerimise meetoodika.“, (2015), [https://coastalandmaritime.files.wordpress.com/2015/07/mrp-metoodika\\_lc3b5plik.pdf](https://coastalandmaritime.files.wordpress.com/2015/07/mrp-metoodika_lc3b5plik.pdf)

Jevrejeva, S., ja Leppäranta, M. (2002). “Ice conditions along the Estonian coast in a statistical view”, Nordic Hydrology, 33 (2/3), 241-262

Jevrejeva, S., Drabkin, V.V., Kostjukov, J., Lebedev, A.A., Lepparanta, M., Mironov, Y.U., Schmelzer, N., ja Sztobryn, M. (2004). “Baltic Sea ice seasons in the twentieth century.” Climate Research, 25(3), 217-227

Vihma, T., ja Haapala, J. (2009). „Geophysics of sea ice in the Baltic Sea: a review.“ Progress in Oceanography, 80(3), 129-148

Karvonen, J. (2015). „Evaluation of the operational SAR based Baltic Sea ice concentration products.“, Advances in Space Research, 56(1), 119-132

GORWIND projekti brošüür, (2012), „Liivi laht kui tuule energia ressurs“

Siitam, L., Sipelgas, L., Pärn, O., ja Uiboupin, R. (2016). “Statistical characterization of the sea ice extent during different winter scenarios in the Gulf of Riga (Baltic Sea) using optical remote-sensing imagery“. International Journal of Remote Sensing.

Copernicus Mereteenus - Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS): <http://marine.copernicus.eu/>

Høyer, J. L., „ Quality information document for Level 4 SST reprocessed products for the Baltic Sea“, (2013): <http://marine.copernicus.eu/documents/QUID/CMEMS-OSI-QUID-010-016.pdf>

Eastwood, S., Karvonen, J., Dinussen, F., Fleming, A., Pedersen, L-P., Saldo, R., Buus, J., Hackett, B., Arduin. E., Kreiner, M. “Quality information document for OSI TAC Sea Ice products 011-001,-002,-003,-004,-006,-007,-009,-010,-011,-012”, (2016), <http://marine.copernicus.eu/documents/QUID/CMEMS-OSI-QUID-011-001to007-009to012.pdf>

Riigi Ilmateenistus, „Ilmateenistuse jääkaart“: <http://www.ilmateenistus.ee/meri/jaakaart/>

INSPIRE, „Infrastructure for spatial information in Europe“, <http://inspire.ec.europa.eu/about-inspire/563>

EEA, „EEA reference grid“, <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/eea-reference-grids-2>

Lilover, M. J., Pavelson, J., Kõuts, T. (2013) High resolution ice dynamics derived from ADCP and icebound drifter data in the Gulf of Finland. In: Polojärvi, Arttu; Tuhkuri, Jukka. (Ed.). Proceedings of the 22nd International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions (1–12).

Riska, K. (2011). Ship-Ice interaction in ship design: Theory and Practice. Course Material NTNU.

## Lisad

Kaardi kihid on koondatud ühte kokkupakitud „Jää\_kaardikihid.z7“ faili, mis sisaldab 12 faili.

Lisa1. Fail „Talvede\_keskmise\_kestvus\_2001-2016.tif“. Keskmise jäähooaja kestvuse kaardikiht arvatuna 2001-2016 aastate andmetest: Joonis 4.1.1a

Lisa2. Fail „Pehme talvede\_keskmise\_kestvus.tif“. Pehme talvede jäähooaja kestvuse (päevades) kaardikiht: Joonis 4.1.1b

Lisa3. Fail „Keskmiste talvede\_keskmise\_kestvus.tif“. Keskmiste talvede jäähooaja kestvuse (päevades) kaardikiht: Joonis 4.1.1c

Lisa4. Fail „Karmide talvede\_keskmise\_kestvus.tif“. Karmide talvede jäähooaja kestvuse (päevades) kaardikiht: Joonis 4.1.1d

Lisa5. Fail „Jää esinemise tõenäosus\_2001-2016.tif“. Jää esinemise tõenäosuse kaardikiht arvatuna 2001-2016 aastate andmetest: Joonis 4.2.1a

Lisa6. Fail „Jää esinemise tõenäosus pehmetel talvedel.tif“. Pehme talvede jää esinemise tõenäosuse kaardikiht: Joonis 4.2.1b

Lisa7. Fail „Jää esinemise tõenäosus keskmistel talvedel.tif“. Keskmiste talvede jää esinemise tõenäosuse kaardikiht: Joonis 4.2.1c

Lisa8. Fail „Jää esinemise tõenäosus karmidel talvedel.tif“. Karmide talvede jää esinemise tõenäosuse kaardikiht: Joonis 4.2.1d

Lisa9. Fail „Keskmise jää triivi kiirus.tif“. Keskmise jää triiv kiiruse kaardikiht arvatuna 2011-2016 aastate andmetest: Joonis 4.3.1a

Lisa10. Fail „Rüside esinemise asukohad ja sagedus.xls“. Rüside esinemise tõenäosuse tabel, aastate 2001-2016 kohta, kus on toodud rüside esinemise asukoha koordinaat ja seal rüside esinemise päevade arv: Joonis 4.4.1

Lisa11. Fail „Talve kestus\_2010\_2011.tif“. 2010/2011 talve jäähooaja kestvuse kaardikiht demonstreerimaks jää olusid konkreetsel karmil talvel: Joonis 4.5.1a

Lisa12. Fail „Jää esinemise tõenäosusl\_2010\_2011.tif“. 2010/2011 talve jää esinemise tõenäosuse kaardikiht demonstreerimaks jää olusid konkreetsel karmil talvel: Joonis 4.5.1b