

TARTU ÜLIKOOL
Bioloogia-geograafiateaduskond
Loodusgeograafia ja maastikuökoloogia õppetool

Jekaterina Sooäär

**EESTI RANNIKUMERE JÄÄREŽIIMI AJALIS-
RUUMILINE MUUTLIKKUS AJAVAHEMIKUL
1950/51-2004/05**

Magistritöö

Juhendaja: dotsent Jaak Jaagus

Tartu 2006

SISUKORD

SISSEJUHATUS	3
1. TEOREETILINE TAUST	6
2. LÄÄNEMERE JÄÄREŽIIM	9
2.1. JÄÄUURIMISE AJALOOST	9
2.2. HÜDROMETEOROLOOGILISTE PARAMEETRITE SEOS JÄÄNÄHETEGA	14
2.2.1. SÜGISENE PERIOOD	14
2.2.2. TALVINE PERIOOD	16
2.2.3. KEVADINE PERIOOD	16
2.3. TALVEDE KLASSIFITSEERIMINE	18
2.4. JÄÄREŽIIMI ELEMENDID	21
2.4.1. JÄÄNÄHETE SAABUMISE KUUPÄEV	21
2.4.2. JÄÄ PAKSUS	22
2.4.3. JÄÄPERIOODI PIKKUS	23
2.4.4. LÄÄNEMERE JÄÄKATTE MAKSIMAALNE PINDALA	23
2.5. JÄÄVAATLUSTEST JA JÄÄ ARENGUST	25
3. KASUTATUD ANDMESTIK JA METOODIKA	27
4. TULEMUSED JA ARUTELU	30
4.1. PIKAAJALINE KESKMINE JÄÄREŽIIM	30
4.2. JÄÄREŽIIMI ELEMENTIDE AJALINE MUUTLIKKUS	33
4.3. TALVEDE KLASSIFITSEERIMINE JA JÄÄREŽIIMI EKSTREEMUMID	35
4.4. PIKAAJALISED MUUTUSED JÄÄREŽIIMIS	39
4.5. JÄÄREŽIIMI SEOS ÕHUTEMPERATUURIGA	44
4.6. JÄÄREŽIIMI SEOS ATMOSFÄÄRI TSIRKULATSIOONIGA	46
5. KOKKUVÕTE	48
KASUTATUD KIRJANDUS	50
ABSTRACT	55
LISAD	

SISSEJUHATUS

Läänemere jääkate on üheks oluliseks teguriks ilmastiku kujunemisel külmal poolaastal terves Põhja-Euroopas. Pehmetel talvedel tekib jääkatet vähe ja enamuse Eesti rannikumerest jääb kogu talveks jäävabaks. Jäävaba merepind soojendab õhku mere kohal. See kandub edasi mandrile hoides õhutemperatuuri nullilähedasena. Sageli kujunevad välja suured õhutemperatuuri kontrastid ranniku ja sisemaa vahel.

Külmadel talvedel on aga ilmastiku olukord Eestis teistsugune. Rannikumeri jäätub varakult, enamasti juba detsembris. Sellega kaob ära termiline kontrast ranniku ja sisemaa vahel. Mere soojendavat toimet pole tunda ning talv tuleb ühtmoodi pakaseline kõikjal. Paks lumi- ja jääkate hoiab ilma mere kohal jaheda ka kevadel. Kevad kipub venima ja suvine ilm saabub märksa hiljem kui pehme talve järel.

Läänemere jääkate kujunemist mõjutavad Põhja-Atlandi ookeanil tekkivad ja läänest itta suunduvad tsüklonid, mis toovad siia külmal poolaastal suhteliselt sooja merelist õhku. See põhjustab olulist temperatuuri tõusu, tugevat tuult ja sadu. Lisaks ilmastiku iseärasustele mõjutab Läänemere jääkate kujunemist veel mitmed hüdroloogilised ja hüdrograafilised tegurid: mere suur ulatus põhjast lõunasse, eraldatus ookeanist, suhteliselt väike sügavus, liigestatud rannajoon, vee madal soolsus, tõusu ja mõõna ning suurte merehoovuste mõju puudumine. Enamus neist soodustab mere talvist jäätumist.

Merejää avaldab olulist mõju inimese majanduslikule tegevusele. See puudutab kõige otsesemalt merelaevandust ja sadamamajandust. Sõltuvalt jääkate leviku ulatusest ja jää paksusest võib meretransport olla takistatud või isegi ajutiselt peatatud. Samas aga tagab tugev ja püsiv jääkate võimaluse kasutada jääteid Mandri-Eesti ja saarte vahelise autoliikluse lihtsustamiseks (Mardiste, 1999). Arvestades järjest suurenevat laevaliiklust Läänemeres ja suuremaid kaubakoguseid on tekkinud vajadus aastaringse navigatsiooni järele.

Eesti ja Soome riigi transpordis on oluline roll meretranspordil. Eesti Vabariigi roll Läänemere transpordi skeemides ei ole veel lõplikult välja kujunenud, aga tunnusjoontena võiks välja tuua areneva transiidi Venemaa ja läänemaailma vahel ning Eesti oma tooraine ja toodete ekspordi. Kui Vene transiidis on oluline roll Tallinna ja selle ümbruse sadamatel (Muuga ja Paldiski) põhiliselt raudteeühenduse tõttu, siis on kujunenud välja terve rida sadamaid, mis on põhirõhu asetanud kohaliku tooraine ja toodete väljaveole (Kunda). Eesti ja

Soome on maailma ainukesed riigid, mille kõik sadamad jäätuvad normaalse ehk keskmise talve jooksul.

Majandustegevuse planeerimisel on hädavajalik teada jääkatte kujunemise ja muutumise seaduspärasusi. Pikaajaliste jäävaatluste tulemused annavad võimaluse saada erinevaid jääkatte karakteristikuid. Need võimaldavad kindlaks teha mitmeid jääfaaside kujunemise seaduspärasusi ning selgitada küllaltki keerulist mere jäätumise ja jääst vabanemise protsessi.

Läänemerel on tehtud pikaajalisi jäävaatlusi, mis ulatuvad sajandite taha. Jäänähte, jääkatte alguse- ja lõpukuupäeva andmeid on kogutud Eesti rannikul Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituudi (EMHI) fondis olevate jäävaatlusvihikute põhjal juba aastast 1835 (Narva-Jõesuu) ning jää paksuse andmeid 1894. aastast (Kihnu). Jäärežiimi iseloomustavad näitajad kajastavad veekogu temperatuuri muutusi ja ümbritseva keskkonna mõju sellele. Jäärežiimi põhilised näitajad (jääfaaside muutumise kuupäev, jää paksus, jääperioodi kestus ning maksimaalne jääga kaetud pindala) erinevad suuresti aastate lõikes. Nad olenevad nii talvele eelneva ilmastiku iseloomust kui ka samaaegsetest talvistest atmosfääriprotsessidest, mis põhjustavad erineva soojasisalduse meres ja selle kulumise intensiivsuse konkreetset aastal (Vahter, 1994). Sellest tulenevalt saab jäävaatlusandmeid kasutada veekogu ilmastiku iseloomustamisel tervel talveperioodil. Jäärežiimi iseloomustavate andmete alusel saab hinnata ka veekogu talvist ökoloogilist seisundit.

Läänemeri mõjutab ümbritsevate alade kliimat. Talvel muudab meri lähialade ilmastiku pehmemaks, suvel aga jahedamaks kui sisemaal. Jääkate on kõige ulatuslikum ja paksem veebruaris ja märtsis. Jäälud Eesti rannikumerel on äärmiselt muutlikud. Esineb väga karme talvi, kui peaaegu kogu Läänemeri on mitu kuud püsijää all. Pehmetel talvedel võib meri olla jäävaba ja jääd on ainult madalaveelistes lahtedes. Läänemere keskosa on enamasti jäävaba. XX sajandil on Läänemeri ainult kolmel korral täielikult kinni külmunud (1939/40, 1941/42, 1946/47) (Mardiste, 1997).

Käesoleva magistritöö eesmärgiks on:

- analüüsida Eesti rannikumere jääolusid, nende muutlikkust ja trende XX sajandi II poolel;
- teha kindlaks erinevused üksikute piirkondade jääoludes;
- leida jäänähte seoseid peamiste jäätumist mõjutavate teguritega (õhutemperatuur, atmosfääri tsirkulatsioon).

Töös on kasutatud merejää vaatlusandmeid perioodil 1950/1951-2004/2005 ja ööpäeva keskmiste õhutemperatuuride andmeid Eesti ilmajaamades EMHI andmetel.

Käesoleva töö temaatikat tuleks edasi arendada kasutades pikemat vaatlusperioodi. Nagu eelpool mainitud, pakub jäärežiimi analüüs huvi nii teaduslikult kui ka majanduslikult. Magistritöö tegemisel, nagu ikka mahukate materjalide puhul, tekkis rida probleeme ja takistusi. Siinkohal tahaksin tänada kõiki vastutulelikke mõistvaid abistajaid ja nõuandjaid. Erilised tänud kuuluvad juhendajale Jaak Jaagusele, kes suhtus kannatlikult minu tegemistesse.

1. TEOREETILINE TAUST

Jääolude ajaloolisi andmeid on kasutatud mitmes kliima rekonstrueerimist puudutavas uurimistöös (Tarand, 1993; Koslowski, Loewe, 1994; Seinä, Palosuo, 1996). Läänemere jäätumist on käsitletud aegridade analüüsi abil, et uurida jääolude looduslikku varieeruvust. Paljude merejää parameetrite (jää tekkimise kuupäev, jää paksus, jää lagunemise kuupäev) aegridade analüüsi tulemused näitavad suurt jääolude varieeruvust Läänemerel (Leppäranta, Seinä, 1985; Sztobryn, 1994; Jevrejeva, 2000, 2002). Tulemused näitavad, et jääolusid mõjutavad kõige enam õhutemperatuur, tuul ja lumikate (Haapala, Leppäranta, 1997).

Eesti rannikumere talviseid jääolusid on uuritud paljude klimatoloogide poolt. Kasutades ajaloolist andmestikku on Tarand (1998) püüdnud taastada jääst vabanemise kuupäevalisi andmeridu Tallinna lahe kohta alates aastast 1500, mille põhjal rekonstrueeris talve keskmised õhutemperatuurid Tallinnas perioodil 1500-1997. Andmeridade taastamiseks kasutas Tarand Tallinna sadama kuukirju ja postijaama andmeid ning tolliarhiive, kus on toodud kuupäevad, mil laevaliiklus mere külmumise tõttu lõppes ja jää kadumise järel taas avati.

Eesti rannikumere jääolusid on põhjalikult uurinud Jevrejeva (2002). Tema eesmärgiks oli analüüsida atmosfääri tsirkulatsiooni suuremõõtmeliste kõikumiste mõju talvistele ilmastikutingimustele Läänemere regioonis viimase 300 aasta jooksul. Jevrejeva poolt läbiviidud uuringute uudsuseks oli Monte Carlo analüüsi ja lainekese analüüsi (wavelet analysis) rakendamine jäätitingimuste ja Põhja-Atlandi Ostsillatsiooni vahelise seose analüüsiks Läänemere regioonis.

Vahter (1994) on uurinud Tallinna ja Muuga lahe jääolusid perioodil 1920-1985. Ta on võrdlevalt iseloomustanud jäätitingimusi Tallinna ja Muuga lahes põhiliste jäärežiimi elementide põhjal (jää maksimaalse leviku pindala, jää tekkimise, kinnisjää tekkimise ja lagunemise ning jää kadumise kuupäev, jää paksus) ning kirjeldanud jääolude arengut talve jooksul Tallinna ja Muuga lahes eraldi külmadel, mõõdukatel ja soojadel talvedel. Jääolusid Eesti rannikumerel on vaadeldud seoses jääteedega Lääne-Eesti saartele (Mardiste, 1999), õhutemperatuuri kõikumistega (Jaagus, 1999) ja lumikattega (Tooming, Keevallik, 2001). Talviseid jääolusid rannikumerel on uurinud satelliidipiltide abil Peterson, Aunap ja Mardiste (1998). Jää- ja lumikatte esinemise varieeruvust aastast aastasse on jälginud Tooming (2003).

Eesti rannikumere jääolude muutusi XX sajandil on uurinud ka Jaagus (2003). Tema töö sisaldab meie rannikuvete jääolude muutuste analüüsi XX sajandi teisel poolel. See tähendab, et ta on kasutanud uurimisperiodina 52 talve kliimaandmeid, mida on kogutud kümnest ilmajaamast. Tema poolt saadud tulemused näitasid, et kogu Läänemere jääkatte levikus on XX sajandi teisel poolel olnud märgata selget kahanemistendentsi. Vaatlusperioodi jooksul on jääkatte maksimaalne pindala vähenenud keskmiselt ca 24% (Jaagus, 2003). Kuigi analüüsi tulemused näitavad, et niisugune muutus ei mahu statistilise usaldusvääruse piiresse, võib siiski täheldada jääkatte olulist vähenemist Eesti rannikumeres. Jäänähte esimene ilmumine on jäänud hilisemaks ning jää kadumine toimub varem. Selle tulemusena on jääpäevade arv vähenenud märgatavalt, keskmiselt 1-2 kuu jagu. Need tulemused on statistiliselt usaldusväärsed, välja arvatud Kunda ja Narva-Jõesuu vaatlusjaamades.

1990-ndate aastate alguse väga pehmed talved on andnud alust rääkida kliima soojenemisest ja arutleda selle põhjuste üle. Vaidlustamata selle võimalikkust, võib tuua võrdluse varasemaga. Mardiste (1997) andmetel oli aastail 1790-1798 seitse väga sooja või lihtsalt sooja talve ning nende vahel üks mõõdukas ja üks külm talv. Sellele perioodile eelnes ja järgnes erakordselt külm talv, mil kogu meri jäätus. Mardiste andmetel olid soojad ka 1930. aastate talved. Järgmine aastakümme algas aga pakaseliste talvedega. Alates väga külmast 1986/87. aasta talvest on 1997. aastani olnud kuus väga sooja või sooja ning kolm mõõdukat talve.

Viimase 100-150 aasta jooksul on Eestis aasta keskmine õhutemperatuur tõusnud umbes 1°C võrra (Balling jt., 1998; Jaagus, 1996). Eriti märgatav on olnud talvise poolaasta soojenemine. Kuidas see on avaldunud Läänemere kliimaatiliste aastaegade muutuses, jääkatte kestuse ja jää paksuse näitajas, seda on võimalik selgitada jäävaatluste pikaajalise aegrea andmeil.

Leppäranta ja Seinä (1985) andmetel näitab Soome jäärežiimi pikaajaline muutlikkus sügisese perioodi hilisemale nihkumist (jäätekke algus 8-24 päeva hilisem) ning kevadise jäätekke lagunemise varasemat algust (7-15 päeva varem). Jääperioodi pikkus on kahanenud 18-33 päeva võrra. Helsingis on mõõtmiste tulemustena selgunud, et jää paksus on kahanenud 23 cm 100 aasta jooksul. Samas kui Botnia lahe põhjarannikul Kemis on jää paksus suurenenud umbes 14 cm 100 aasta kohta.

Poolas on täheldatud jääperioodi pikkuse kahanemist 10-30 päeva võrra (Sztobryn, 1994). Saksamaal oli perioodil 1879-1992 külmade talvede vähenemise tendents (Kosłowski, Loewe, 1994). Jevrejeva ja Leppäranta (2001) andmetel on Eestis jääpäevade periood

kahanenud 5-10 päeva võrra. Jääkate lagunemine on nihkunud 7-10 päeva varasemale ajale.
Jää tekke algusaeg ei ole muutunud.

2. LÄÄNEMERE JÄÄREŽIIM

2.1. JÄÄUURIMISE AJALOOST

Ohutu laevasõit Läänemerel, eriti saarte- ja kariderikastes ning liigestunud rannajoonega Rootsi, Soome ja Eesti vetes, vajas juba ammustel aegadel merekaarte ja lootsiraamatuid. Tänu Rootsi kartograafide tööle täpsustusid XVII sajandi lõpupoole ka Eestit hõlmavad kaardid (Varep, 1960). Mõnel selle aja merekaardil näidati lisaks saartele ka madalaid ja mere sügavust.

Läänemere idaosa, eriti Soome ja Liivi lahe rannikuvete süstemaatilist uurimist alustati Venemaal XVIII sajandi keskpaiku, varsti pärast Põhjasõda (Mardiste, 1995). Enne Esimest maailmasõda oli Eesti rannikul tihe vaatlusjaamade võrk, mis allus Venemaa Hüdrograafia Peavalitsusele (Mardiste, 1999). Esialgu pöörati peatähelepanu rannajoone ja mere sügavuse kaardistamisele. Nende tööde tulemusena ilmus 1757. aastal admiral Nagajevi koostatud Läänemere atlas, mille juurde kuuluv lootsiraamat trükiti küll alles 1789. aastal. Venemaa Admiraliteet teostats alates 1828. aastast kolme aastakümne jooksul laiaulatuslikke hüdrograafilisi töid Venemaaga piirnevates Läänemere osades (Varep, 1958). Narva-Jõesuus alustas Narva rae korraldusel mereveetaseme vaatlusi 1829. aastal loots-kapten Larsen. Vanimad EMHI fondis säilinud süsteemsed rannikuvaatluste aegread Eestis pärinevad 1842. aastast, kui veetaseme mõõtmisi tehti Tallinna sadamas. Regulaarseid veetemperatuuri mõõtmisi alustati Eesti rannikul aastatel 1887 - 1889 (Sõrve 1887, Tallinna sadam, Tahkuna, Vaindloo, Vilsandi, Osmussaar, Ruhnu 1898, Virtsu, Narva- Jõesuu 1899) (Tarand, 1992).

Alates XIX sajandi lõpust suudeti ligi kahekümnes vaatlusjaamas jälgida suurema osa rannikumere jääolusid (Mardiste, 1999). Avamere kohta oli aga mõõtmisandmeid kogunenud vähe. Katkendlikud vaatlusread on säilinud Tallinna madalal, Hiiu madalal ja Vilsandist edelas paiknenud tulelaevadelt tehtud mõõtmistest. 1848. ja 1849. aastal töötas Haapsalu ümbruses akadeemik Helmersen (1856; ref. Gardiste, 1995), kes käsitles lainetuse ja jää osa rannikute kujunemisel. Viibides 1851. aastal Haapsalus ja Hiiumaal pööras zooloog ja geoloog Eichwald (1849; ref. Gardiste, 1995) tähelepanu veetaseme kõikumistele ja jäänähetele Väinamere põhjaosas. Ta juhtis tähelepanu jää osale kivirahnude rannikule kuhjumisel, kirjeldas Väinamere põhjaosa jäärežiimi ning mandri ja saarte vaheliseks liikluseks üle jää rajatud taliteid.

Eesti rannikuvete uurijate seast tuleb esile tõsta keemikut ja geoloogi Sassi. Sass (1866; ref. Mardiste, 1995) kasutas Saaremaa ja Muhu rannikumere jäätumise uurimiseks Kuivastu postijaama andmeid Suure väina (1850/51-1861/62) ja Orissaare postijaama omi Väikese väina kohta (1851/52-1861/62) ning võttis kokku muud andmed Kuressaare sadama (1843/44-1861/62) ja Saaremaa rannikuvete jääolude kohta. Kõige põhjalikum on Suure ja Väikese väina andmestik, kus tabelis on iga talve kohta jää tekkimise ja kadumise kuupäevad, liiklusolud kuupäevade kaupa, üksikuid märkmeid jää paksusest ja pragudest. Kuressaare tolliarhiivi andmetes on toodud kuupäevad, mil laevaliiklus mere külmumise tõttu lõppes ja jää kadumise järel jälle avati. Nimetatud materjalide alusel on Sass leidnud mitmeid keskmisi ja ekstreemseid näitajaid – jääpäevade arv, jääteede kestvus, jää tekkimise ja kadumise kuupäevad jne. Sassi tööde andmestik jää kohta on väärtuslik algmaterjal.

Rannikumere hüdrooloogilistest näitajatest on kõige rohkem andmeid kogunenud jääolude kohta. Jääolude kui meresõitu piirava teguri üle on võimalik leida kirjanekuid juba sajandeid enne korrapäraste vaatluste alustamist. Näiteks sadama, rae, kaubanduskompaniide jt dokumentides on andmeid Tallinna lahe (sadama) jääoludest XIV-XV sajandil (Некрасов, 1984). Alates XVI sajandist muutuvad andmed regulaarseks (Tarand, 1993). 1869. aastal esitas Vene Imperaatorlik Geograafia Selts üleskutse palvega koguda andmeid veekogudel jää tekkimise ja kadumise kuupäevade kohta. Eesti rannikumere osas on toodud iga talve kohta jää tekkimise ja kadumise kuupäevad Pärnus (1860-1879), Kuressaares (1860-1878), Paldiskis (1859-1879), Suurupis (1880-1881) ja Sõrves (1866-1879) (Рыкачев, 1886; ref. Mardiste, 1995). Rudovitsi (1917) arvates saadi parimad andmed Vormsi (lisa 1) ja Virtsu tuletornist (Рудовиц, 1917; ref. Mardiste, 1995). 1886. aastal kohustas Hüdrograafia Peavalitsus tuletornivahte ettenähtud vormi kohaselt saatma teateid jääoludest. Nõuti teavet jää tekkimise, mere kinnikülmumise, jää kadumise, paksuse ja jää liiklemise kohta. Mardiste (1995) andmetel kehtestati 1908. aastal Hüdrograafia Peavalitsuse Meteoroloogiaosakonna juhataja Šokalski koostatud täpsem instruksioon jäävaatluste tegemiseks.

Regulaarse vaatlusvõrgu töölerakendamise ja usaldusväärsete andmete kogunemise järel hakkas hüdrograafiateenistus neid korrastama ja trükis avaldama. Nii tehti kättesaadavaks 1890-1914. aasta andmed (enamasti kuu keskmiste ja ekstreemsete väärtuste näol) veetasemete, veetemperatuuride, jäänähete ja tuulte, tulelaevadelt lisaks veel hoovuste ja vee erikaalu kohta. Küllaldase hulga süstemaatiliste vaatlusandmete kogunemisel hakati neid üldistama. Näiteks Špindleri (1893) Venemaa merede jääolude käsitluses aastate 1888-1893 kohta olid ka andmed 17 Eesti tuletorni juures kirjarandust (Шпиндлер, 1893; ref. Mardiste, 1995). Ainsad mereosad Venemaal, mille jääandmed käsiteldaval perioodil läbi töötati, olid

Soome ja Liivi laht. Siinne vaatlusvõrk oli Venemaa meredest tihedaim. Mardiste (1995) andmetel kasutati Soome lahe 25 talve jäävaatluste kokkuvõttes, kus toodi jäänämete esinemise keskmised ja ekstreemsed kuupäevad, korduvused ja jääkaardid 1. ja 15. kuupäeva seisuga, kõigi lahe Eesti osas paiknevate vaatluspostide andmeid.

Kirde (Frisch) käsitles Tallinna reidi jääolusid 1895/1896-1913/1914. aasta talvedel ning nende seost Porkkala (Soome) õhu- ja süvaveetemperatuuridega (Frisch, 1924). Tema Eesti rannikumere jäärežiimi üldistav konverentsiettekanne põhines juba uuematel andmetel (Frisch, 1933). Mõned ülevaated ilmusid ajakirjas "Laevandus" (Kurrik, 1922; Mey, 1922; Webermann, 1922). Pikemalt käsitles mere jääolusid Mey (1924). Kirde koostas koguteose "Eesti" Pärnumaa, Saaremaa ja Läänemaa köidetes põhjalikud kliimaülevaated. Samas selgitas Tammekann mõningate üldiste hüdrooloogiliste andmete esitamise kõrval põhjalikumalt ka jääolusid.

1917. aasta lõpul katkesid vaatlused Eesti rannikul peaaegu täielikult. Veel sakslaste poolt okupeerimata Mandri-Eesti vaatluspunktidest on andmeid vaid 1918. aasta jaanuari jääolude kohta (Mardiste, 1999). Kohe sõjategevuse kandumise järel väljaspoole Eesti piire hakati taastama hüdrooloogiliste ja meteoroloogiliste vaatluspunktide võrku (Kadai, 1992). 1919. aastal asutati Tallinna Mereobservatoorium oma jaamadevõrguga. Järgmisel aastal see observatoorium likvideeriti ja jaamade tööd hakkas juhendama Tartu Ülikooli Meteoroloogia Observatoorium. 1919/1920. aasta talvest alustati kaheksateistkümne tuletorni juures jäävaatlusi. Registreeriti jää ilmumise, mere lahtimineku ja jää kadumise kuupäevad ning leiti jääpäevade arv. Järgmistel talvedel vaatluspunktide arv suurenes ja mõnevõrra täienes ka vaatluste programm. Kahekümne iseseisvusaasta jooksul toimusid rannikumere jäävaatlused 26-28 punktis.

Esimeste aastate vaatlusandmed avaldati trükis põllumajandusministeeriumi väljaannetena ja meteoroloogia aastaraamatutes, alates 1923/1924. aasta talvest Tartu Ülikooli Eesti Veekogude Uurimise Komisjoni väljaannetena ja 1938/1939. aasta talve vaatlusandmed Loodusvarade Instituudi poolt (Mardiste, 1999). Pärast II Maailmasõda hakati joonistama igapäevaseid jääkaarte (Иаcropc, 1965). Andmed saabusid regulaarselt ranniku vaatluspostidest, milledest osa paiknes ka väikesaartel (Ruhnu, Kihnu, Abruca), laevadelt ja jäämurdjatelt. Üsna väärtuslikke andmeid andsid jää lennuluured. Saadud materjali kasutati jääkaartide koostamiseks.

Eesti annekteerimise järel katkesid osas postides vaatlused juba 1940. aasta suvel, enamikus aga sõja puhkemise järel järgmisel suvel (Kadai, 1992). Nõukogude perioodil koguti aastakümnete jooksul andmed Eesti rannikumere hüdrooloogiliste tingimuste kohta

salastatud või ametialaseks kasutamiseks mõeldud teatmikesse ja atlasesse ning veidi ka üldistatud väljaannetes artiklite näol.

Positiivsena võiks Nõukogude Liidu perioodist mainida jäävaatluste intensiivistumist, eriti kuuekümnendatel ja seitsmekümnendatel aastatel. Negatiivseks jooneks nõukogude perioodil oli eesti keele kadumine jääterminoloogiast, mille tõttu võib ka veel tänapäeval eesti meremeeste kõnepruugis tihti kuulda erinevate jää tüüpide kohta venekeelseid nimetusi. Endise Nõukogude Liidu ajal viidi Loodepiirkonna Hüdrometvalitsuse ning Baltikumi Hüdrometeoroloogia ja Keskkonna Teenistuste poolt läbi aerouuringuid kaartide, fotode ja skeemide kujul, mis andsid teavet jääolude kohta (Merejää..., 1998). Keskmiselt korraldati talvisel ja kevad-talvisel perioodil neli kuni viis vaatluslendu kuus, mida vajadusel täiendati operatiivvaatlustega nii õhust, merelt kui rannalt lähtuvalt talvise navigatsiooni vajadustest ja jääoludest (Merejää..., 1998).

EMHI on iga talvepäeva kohta koostanud jääkaarte, mis võeti aluseks ka üldistatud jääkaartide koostamisel. Lähteandmetena kasutati peale standardsete jäävaatluste rannikujaamades ka jäälennuluure kaarte, jääteateid laevadelt, samuti omaaegse Eesti NSV Hüdrometeoroloogia Teenistuse Valitsuse (praeguse EMHI eelkäija) kogutud teiste Läänemeremaade jääteateid. Alates 1978. aastast edastatakse Maa tehiskaaslastelt merepinna ülesvõtteid ja 1990-ndate algusaastaist saabub korrapäraselt Läänemere jääkaarte Rootsist ja Soomest (Kadai, 1992).

Kuna Eesti ja Soome laevanduse jaoks on jääolud olnud määrava tähtsusega, kujunes juba 1928. aastal välja Soome-Eesti ühine jääteenistus, mis tagas jäämurdjate koostöö mõlemale riigile optimaalses lahenduses (Merejää..., 1998). Koostööst jäämurdjate tegevuse koordineemisel arenes välja ühtlustatud jääolude vaatluse ja raporteerimise meetodika, mis nüüdseks on laienenud terve Läänemere ulatuses ja kus osalevad kõik Läänemere äärsed riigid (iga-aastane Läänemeremaade Jääteenistuste Nõupidamine).

Enamik vaatlusmaterjale Eestit piirava mere kohta hoitakse EMHI Andmekogude osakonnas, osa asub aga Peterburis kohaliku Hüdrometeoroloogiasteenistuse ja Okeanograafiainstituudi Läänemere osakonna fondides (Mardiste, 1995). Jäävaatluste vihikud on hoiul EMHI fondis. Fondis on jäärežiimi andmed aastate 1890-2006 kohta, mis on kogutud ranniku ja saarte meteoroloogiajaama vaatluste alusel. Need andmed sisaldavad infot jää tekke, jää lagunemise, jääkatte jne kohta. EMHI hüdroloogia vaatlusõrgus töötab seisuga 31. detsember 2005 mererannikul 15 jaama. EMHI Hüdroloogiaosakond juhendab Eesti hüdrololoogiliste vaatluste ja mõõtmiste võrku otseselt ja regionaalsete jaamade kaudu.

Regulaarseid merevaatlusi tehakse Maailma Meteoroloogiaorganisatsiooni (WMO) juhendi alusel vaatlusjaamades 8 korda ööpäevas kell 00.00, 03.00, 06.00, 09.00, 12.00, 15.00, 18.00, 21.00 Greenwichi aja järgi (GMT) ja vaatluspostides 2 korda ööpäevas 06.00 ja 18.00 GMT ajas (Manual on the global..., 1980). Vaatluspunktide programmis on meretaseme (määratakse mõõdulati skaalalt), tuule suuna (kraadides) ja kiiruse (m/s), õhutemperatuuri (C°) ja veetemperatuuri (C°) ning soolsuse mõõtmised, lainetuse, nähtavuse ja jääolude vaatlused (visuaalselt). Rannikuvaatlusi kasutatakse mere ilmaprognooside tegemisel. Vaatlusandmeid kontrollitakse EMHI Hüdroloogiaosakonnas. Rannikuvaatluste andmeid säilitatakse EMHI andmefondis.

Vaatluste põhjal materjali kogumine jääolude kohta on väga oluline. Tänapäeval on suhteliselt lihtsad ja esmapilgul võib-olla ebatäpsed või siis liialt lokaalsed jäävaatlused andmas teed erinevates diapsoonides satelliidikujutistele, aerofotodele ja radarikujutistele. Siiski on oluline erinevate kujutiste ja kohapealsete vaatluste kooskõlla viimine. Nii sisaldab satelliidipilt tohutul hulgal informatsiooni võrreldes visuaalse vaatlusega, samas võimaldab alles kujutise töötlus sealt välja eraldada kasuliku informatsiooni. Nii on satelliidipildi töötlemiseks kasutatavate algoritmide väljatöötamisel olulise tähtsusega kohapealsed mõõtmised ja vaatlused.

Tulevikuperspektiivina on põhisuund siiski satelliitkujutiste reaajas kättesaadavad rakendused, mis on viimastel aastatel eriti intensiivselt arenenud Soome ja Rootsi jäämurdjate töös. Eestis selles osas suuri edusamme ei ole, sest viimaste aastate valdavalt pehmed talved on meie põhilise laevanduspiirkonna Soome lahe lääneosa praktiliselt jäävaba hoidnud. Soome ja Rootsi jääteenistuste kogemus on näidanud, et ülevaatlitav jääkaarti, mis põhineb satelliidipildil, on vaja teha vähemalt üks kord ööpäeva jooksul. Asendamatu väärtusega on aktiivradari kujutised, millel on võimalik määrata jää paksust ja rüsvallide kõrgust nii ajas kui ruumis märksa detailsemad (Merejää... , 1998).

2.2. HÜDROMETEOROLOOGILISTE PARAMEETRITE SEOS JÄÄNÄHETEGA

Merejää on nii oma tekkimise, kasvamise kui ka lagunemise faasis pidevalt erinevate meteoroloogiliste ja hüdrooloogiliste tegurite mõju all. Kudrjavaja (1951) põhjal on kohalikeks meteoroloogilisteks teguriteks kiirguslikud protsessid, auramine, konvektsioon, õhutemperatuur, tuule kiirus ja suund (Кудрявая, 1951). Kohalike hüdrooloogiliste faktorite hulka kuuluvad merevee soolsus, veetemperatuur, lainetus, veetase, jääalused hoovused, veemasside turbulentsed tingimused ning morfomeetrilised karakteristikud.

Põhiline väline meteoroloogiline tegur on atmosfääri tsirkulatsiooni iseloom, peamiseks väliseks hüdrooloogiliseks mõjutajaks on mere hoovused, mis tingivad veevahetust teiste veekogudega ja seega mõjutavad veemasside soojasisaldust. Kõik need tegurid avaldavad mõju kogu jäärežiimile, kusjuures erinevatel perioodidel (sügisene, talvine ja kevadine) mõjuvate faktorite osakaal muutub.

2.2.1. SÜGISENE PERIOOD

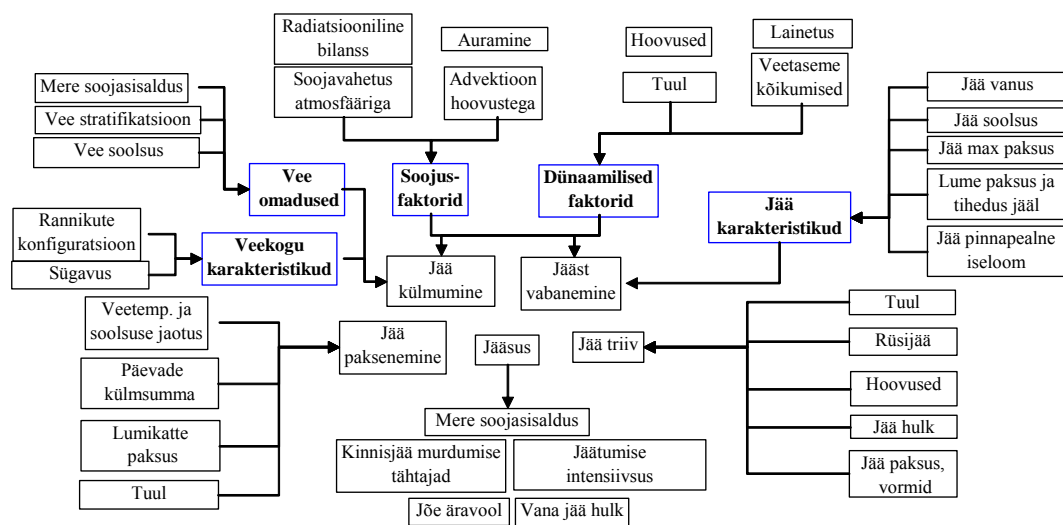
Jää tekkimine algab momendist, kui vesi järkjärgulise jahtumise tagajärjel valmistub kristallisatsiooniks. See toimub seda kiiremini, mida soodsamad tingimused on soojuse ülekandeks õhku. Kudrjavaja (1951) andmetel toimub vee jahtumine kiiremini juhul, kui soojuse akumulatsioon merel ja seega ka mere soojasisaldus on kevad-suvisel perioodil olnud väiksem. Järelikult on soojuse akumulatsioon kevad-suvisel perioodil ning soojusülekanne sügisel peamiseks faktoriteks, mis iseloomustavad sügisese jää kujunemist.

Merepinnalt toimub soojuse ülekandumine atmosfääri kolme peamise protsessi käigus, milleks on efektiivne kiirgus, atmosfääri turbulentsne soojusvahetus ja sooja kaotus auramise käigus. Nende tegurite suhteline roll jahtumise jooksul muutub sõltuvalt meteoroloogilistest tingimustest. Näiteks, õhuniiskuse järsk suurenemine või vähenemine võib oluliselt muuta auramise rolli soojusülekanne protsessides. Pilvisus vähendab efektiivset kiirgust (Niklus, Russak, 2003). Järelikult on jäätekk protsesside uurimiseks vaja kindlaks teha soojusbilansi elementide võimalikud kõikumised, millest igaüks võib antud meteoroloogilistel tingimustel muuta jää tekkimise iseloomu.

Peamiseks soojusülekanne elementidele mõjuvaks teguriks on õhutemperatuur. Mida kõrgem see on, seda väiksem on sooja kadu merevee pindmises kihis. Mida madalam on õhutemperatuur, seda intensiivsem on soojusülekanne ja seda kiiremini langeb merepinna

temperatuur antud soolsuse juures külmumispunktini (Зубов, 1947). Eesti rannikumere vesi külmub $-0,2^{\circ}\text{C}$ kuni $-0,4^{\circ}\text{C}$ juures (Astok, Mardiste, 1995). Esimesel jää tekkimise päeval ei ole veetemperatuur alati ühesugune. Kudrjavaja (1951) on leidnud, et vahel juhtub kristallisatsiooniks ettevalmistatud vee mittekülmumine pikka aega. Esineb aga ka vastupidine olukord, et jää tekib vee külmumispunktist kõrgema õhu- ja veetemperatuuri juures. Esimesel juhul on iseloomulikuks jooneks tugev tuul, teisel aga asjaolu, et meri on kaetud mageda vee õhukese kihiga. Seetõttu funktsionaalset seost sügisperioodi õhutemperatuuri ja jäätekke tähtaegade vahel ei ole.

Teiseks karakteristikuks, mis väljendab soojusülekanne protsessi, on vee- ja õhutemperatuuri vahe, mis iseloomustab turbulentsset soojusvahetust (joonis 1). Kevad-suvisel perioodil on õhutemperatuur veetemperatuurist kõrgem. Sel perioodil toimub soojuse akumulatsioon vees ning õhu- ja veetemperatuuride vahe on positiivne (Кудрявая, 1951).



Joonis 1. Jää tingimusi määravad tegurid merel (Кудрявая, 1951).

Jääteke kuupäev, kinnisjää lagunemise kuupäev ja jää paksus määratakse peamiselt soojuslike teguritega. Sageli mõjutavad neid tugevasti dünaamilised faktorid, mis on joonisel 1 näidatud nooltega. Tuul määrab põhiliselt ära jää triivi ja jää jaotuse merel (Merejää..., 1998). Dünaamilised faktorid võivad mõjutada ka mere jääkatte pindala. Nad võivad esile kutsuda varasema või hilisema mere külmumise või lagunemise. Näiteks, kinnisjää laguneb kiiremini tugeva tuule korral. Tugevate tuultega segatakse vett paremini läbi ja jäätumine on takistatud. Joonisel 1 toodud skeemi võib vaadelda ühe variandina paljudest, sest faktorite kombineerimine ja nende suhteline osakaal sõltub asukoha tingimustest ning ajast.

Suurt mõju jäätekkete protsessidele avaldab tuulerežiim. Summaarne tuule mõju võib kas kiirendada või aeglustada jää tekkimist merel sõltuvalt piirkonna ning tuule mõju iseärasustest. Kuid enamasti tuul siiski aeglustab jää teket (Зверев, 1961).

2.2.2. TALVINE PERIOOD

Talvisel ajal toimub ujuvjää hulga, kinnisjää ja jääga kaetud pindala suurenemine. Pärast püsiva jääkatte kujunemist merel jätkub jääkatte paksenemine. Kõik need protsessid toimuvad tavaliselt perioodil detsembrist märtsini (Vahter, 1994).

Jääolude põhilisteks meteoroloogilisteks teguriteks talvel on negatiivsete õhutemperatuuride summa, tuule suund ja kiirus. Sealjuures negatiivsete temperatuuride summa määrab ära jää kasvu, tuseduse ja püsiva jääkatte vastupidavuse. Ujuvjää hulka, triivjää kiirust ja suunda määratakse peamiselt tuulerežiimiga (Merejää..., 1998).

Jää paksuse seosest pakase intensiivsuse ja kestusega kirjutas juba Lomonossov 1763. aastal. 1879. aastal tõi Weiprecht välja kvantitatiivse seose jää paksuse ja õhutemperatuuri langemisel alla nulli (Кудрявая, 1951). Ta koostas tabeli, kus võrdles negatiivsete õhutemperatuuride summat jää paksusega. Selle tabeli järgi võib oodatava jää paksust arvutada teades negatiivsete õhutemperatuuride summat.

Lisaks õhutemperatuurile avaldavad jää paksusele mõju veel järgmised faktorid: lumikatte paksus ja tihedus jääs, soolsus ja veetemperatuur jää all, jääaluse hoovuse kiirus, tuulekiirus, päikesekiirguse hulk, jää füüsikalised omadused, mere sügavus (Кудрявая, 1951).

Loodusoludes on jää peaaegu alati kaetud lumekihiga. Paljud uurimistööd on näidanud, et lumikate mõjub oluliselt jää paksenemisele. Jää juurdekasv on seda intensiivsem, mida väiksem on lumekihi paksus jää peal. Seda võib seletada asjaoluga, et lume soojusjuhtivus on märgatavalt väiksem jää soojusjuhtivusest. Lumi aeglustab jää paksenemist peaaegu 1,5 korda (Кудрявая, 1951). Tugevad hoovused mitte ainult ei aeglusta jää paksenemist, vaid ka vähendavad selle paksust mehaanilise mõjuga jääkattele.

2.2.3. KEVADINE PERIOOD

Kevadised jää lagunemise seotud protsessid algavad enne kinnisjää murdumist. Jääkatte lagunemine algab momendist, mil jää pinnal stabiliseerub soojusbilanss, mis muudab jääkatte struktuuri. Jää lagunemine toimub paljude hüdroloogiliste ja meteoroloogiliste tegurite mõju all. Šeremetevskaja (1984) andmetel algab kevadine jää lagunemine seda varem, mida vähem jääd on kogunenud talve jooksul, s.t. mida väiksem on jääkatte paksus

talve lõpus (Шереметевская, 1984). Samas toimub jääkatte lagunemine seda kiiremini, mida intensiivsem on sulamine, st mida kiiremini muutub soojusbilanss jää pinnal positiivseks.

Tegurid, mis kujundavad jää sulamise intensiivsust kevadel, võib jaotada mehaanilisteks ja termilisteks. Mehaanilisteks teguriteks on mere veetaseme kõikumised, pideva hoovuse kiirus, lainetus, tuule suund ja kiirus. Termiliste tegurite hulka kuuluvad kiirgusbilanss, saabuv soojus õhust ja veest, auramine, soojusvahetus atmosfääriga ja sademed (Кудрявая, 1951). Siiski on peamisi tegureid, mis määravad kevadist jääolukorda, vaid kaks: jää paksus talve lõpus ja veemasside soojasisaldus sulamisperioodil. Soojusbilansi peamisteks elementideks on sulamisprotsessides päikesekiirgus ja õhutemperatuur. Vahteri (1994) andmetel olenevad jää sulamine ning kadumine suurel määral päevast, mil ööpäevane õhutemperatuur tõuseb üle 0°C. Pärast jää murdumist jätkub edasine jää lagunemine. Nõrgenenud jää puruneb kergesti tuule mõjul ning see juhatakse avamererele, kus jää sulamine jätkub.

Lõplik jääst vabanemine merel toimub samuti soojuslike ja dünaamiliste tegurite mõjul. Jää sulab kiiresti päikekiirguse ja positiivse õhutemperatuuri mõjul (Кудрявая 1951). Dünaamilisteks teguriteks on tuul ja hoovused. Mõlemad võivad tuua kohale jääd ning sellega edasi lükata jää kadumise tähtaega. Nad võivad aga ka kiirendada jää lõplikku kadumist

2.3. TALVEDE KLASSIFITSEERIMINE

Meie kliimas on talv kõige muutlikuma ilmaga aastaag nii eri aastate lõikes kui ka harilikult konkreetse talve jooksul. Seetõttu on otstarbekas talvi klassifitseerida ilma- ja jääolude järgi ning uurida erinevat tüüpi talvi eraldi. Selleks on tehtud mitmeid talve klassifikatsioone, mis on lähtunud erinevatest kriteeriumidest.

Meie laiuskraadidel on külma poolaasta ilmastiku väga iseloomulikuks tunnuseks talve karmus. Talved erinevad eelkõige temperatuuri poolest. Üldiselt talveks loetakse perioodi november-märst. Keskmise õhutemperatuur on küll määrav ja kõik teised näitajad on sellega otseselt või kaudselt seotud. Tehveril (1999) on leitud talve keskmine temperatuur nelja kuu (november-veebruar) kohta. Eesti talvi on jaotatud kuude tüüpi (tabel 1).

Tabel 1. Talve tüüpide ilmastikunäitajad (Tehver, 1999)

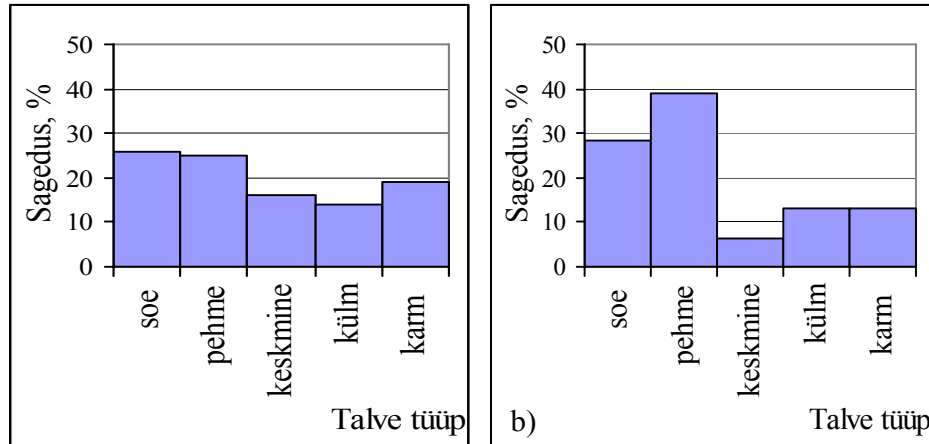
Talve tüüp	Talvine keskmine õhutemperatuur (°C)	Talviste negatiivsete temperatuuride summa (°C)	Talve kestus (päeva)	Lumikatte kestus (päeva)
Soojad talved	> - 1	92	12	67
Pehmed talved	- 1...- 3	275	44	88
Mõõdukad talved	- 3...- 4	393	79	111
Keskmiised talved	- 4...- 6	605	94	122
Külmad talved	- 6...- 7	809	93	116
Karmid talved	< - 7	983	104	139

Tabel 2. Läänemere jääkatte maksimaalne pindala aastail 1720 – 1995 (Seinä, 1996).

Talve tüüp	Jääkatte maks. pindala (km ²)	Esinemissagedus
Karmid talved	383 001 - 420 000	11%
Külmad talved	279 001 - 383 000	23%
Keskmiised talved	139 001 - 279 000	33%
Pehmed talved	81 001 - 139 000	22%
Soojad talved	52 000 - 81 000	11%

Eesti talvi iseloomustavana on olulised Läänemere maksimaalse jäätumise andmed (Tehver, 1999). Talve tüüpide eristamisel tundub kõige problemaatilisem olevat tõmmata piiri keskmiste ja külmade talvede vahele (joonis 2). Külmad talved on pigem soojema

novembriga, kuid see-eest palju külmemate talvekuudega. Keskmiste talvede hulgas on aga mitmesuguseid aastaid, ka selliseid, mil november on olnud külm, hilisem talv aga mõõduka temperatuuriga, nagu näiteks 1993/94. aastal.

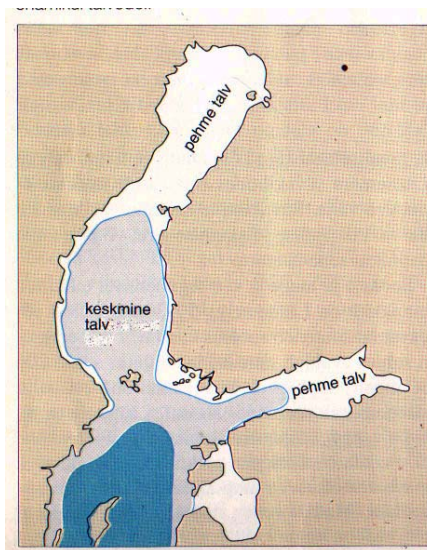


Joonis 2. Erinevate talve tüüpide esinemissagedus: a) perioodil 1720-1985 (Seinä, 1996), b) perioodil 1900-1985 (Jevrejeva, 2001)

Mitmes uurimustöös on näidatud, et mugavaks ning kindlaks merevee jahtumise astme näitajaks, mis ühtlasi iseloomustab ka temas tekkiva jää arengut, võiks olla talvise ööpäeva keskmise õhutemperatuuri külmakraadide ehk negatiivsete õhutemperatuuride summa talve jooksul (külmasumma). Talve külmasumma arvutatakse õhutemperatuuri püsiva alla 0°C langemise päevast sügisel kuni selle püsiva tõusuni üle 0°C kevadel (ajutised positiivsed õhutemperatuuri väärtused lahutatakse külmasummast maha) (Бетин, 1957). Siinjuures tuleb tähele panna kahte asjaolu. Esiteks on talve tüübi määramine talve alguses (prognoosimise eesmärgil) mõnikord raske, kuna ta võib (jooksva ilmastiku ja jääkatte parameetrite järgi) talve kestel muutuda. Näiteks, kui suhteliselt soojale talve algusele järgneb külm või väga külm talve teine pool, võib talv jääkatte parameetrite poolest osutuda karmimaks kui seda näitab negatiivsete õhutemperatuuride summa (nn. külmasumma). Näiteks 1976/77. aasta talv on mõõdukas, jäärežiimi poolest on aga külmade talvede hulka kuuluv (Marmor, Jaani, 1993). Tabelis 2 on toodud talve tüüpide esinemissagedus.

Talvede klassifitseerimine külmadeks, soojadeks ja mõõdukateks külmasumma alusel, määrates mõõdukate talvede kriteeriumiks $\pm 0,674$ osa külmasumma normi standardhälbest (σ), on heas kooskõlas jäänämete tüüpidega (Vahter, 1994). Näiteks, on kõrvutatud külmasummad Tallinnas Läänemere jääkatte pindalaga (joonis 3). Vahteri lähem analüüs

näitab, et Läänemere jääkate maksimaalse pindala märkimisväärne kõikumine aastate lõikes on tihedas võrdelises sõltuvuses Tallinna külmasummadest. Ent kuigi korrelatsioon talve külmasumma ja Läänemere jääkate maksimaalse pindala vahel on tugev ($r = 0,91$), esineb rida erandlikke talvi, mil mere jääkate pindala pole kooskõlas talve külmasummaga. Neid erandlikke talvi on vaadeldaval perioodil esinenud 13 korda. Üheksal juhul 13-st tekkis Läänemerel jääd vähem, kui nende talvede külmasummade kohaselt eeldada võis. Põhjuseks oli mere tavalisest suurem soojasisaldus. Lähem uurimine näitas, et see ei tulenenud ainuüksi suvisest tugevast soojenemisest, vaid ka eelneva aasta talve väikesest jääkate pindalast. Vahteri (1994) andmetel olid sellisteks talvedeks 1930/31, 1934/35, 1938/39, 1949/50, 1950/51, 1965/66, 1967/68, 1968/69 ja 1978/79. Külma saabus neil talvedel suuremas osas sügistalvel, jäädes keskjalvel ja kevadtalvel suhteliselt nõrgemaks. Sügistalvine külmasumma kulus peamiselt vee külmumistemperatuurini jahutamiseks, keskjalvisest ei piisanud jää suuremaks arenguks. Kui sama külmasumma oleks kogunenud keskjalvel, oleks jää areng olnud tunduvalt ulatuslikum.



Joonis 3. Põhjalahe põhjaosa ja Soome lahe idaosa külmuvad kinni peaaegu igal talvel, Põhjalahe lõunaosa enamikul talvedel (Leinonen et al., 1992).

Tihe seos esineb talve külmasummadel mõnest erandaastast hoolimata ka teiste jäärežiimi näitajatega, eeskätt jäänähte saabumisega, samuti jää paksuse ning jääperioodi kestusega (Vahter, 1994). Seega sõltuvad kõik jäänähtused talvise külmasumma suurusest ja tema kulutamise intensiivsusest, mis omakorda oleneb mere soojasisaldusest ning külmasumma kogunemise ajast.

2.4. JÄÄREŽIIMI ELEMENDID

Jäärežiimi elemente iseloomustavad parameetrid on jäänähete tekke ja kadumise kuupäevad, jää paksus, jääperioodi pikkus ning Läänemere jääkatte maksimaalne pindala. Läänemere jääolude suurele muutlikkusele vaatamata saabuvad ja korduvad seal peaaegu igal talvel merejää arengu põhifaasid: jää ilmub, meri külmub kinni (kattub jääkaanega), kevadel jääkaas laguneb ning meri vabaneb lõplikult jääst. Talve karmuse üks mõõtusi on jääkattega kaetud merepinna ulatus.

2.4.1. JÄÄNÄHETE SAABUMISE KUUPÄEV

Jääolud talvisel Läänemerel sõltuvad otseselt vee temperatuurist. Soolase merevee külmumispunkt on Läänemeres keskmiselt $-0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Peterson et al., 1998). Vee külmumistemperatuuri sõltuvus vee soolsusest on toodud tabelis 3.

Tabel 3. Vee külmumistemperatuuri sõltuvus vee soolsusest

Soolsus (‰)	0,0	5,0	10,0	15,0	20,0	24,7	30,0	35,0
Vee külmumistemperatuur ($^{\circ}\text{C}$)	0,0	-0,27	-0,53	-0,8	-1,07	-1,33	-1,63	-1,91

Ranna lähedal ning jõgede suudmealadel on külmumispunkt mageda vee pideva juurdevoolu tõttu mõnevõrra kõrgem, mistõttu moodustubki esmalt üsna kiiresti laienev rannajää. Lisaks soolsusele on ka muid tegureid: madal vesi, kiirem jahtumine, väiksem vee segunemine, külmunud maismaa mõju. Mardiste (1997) andmetel hakkab jää tekkima oktoobri lõpul ja novembri algul Põhjalahe põhjaosas ning novembri algul Neeva ja Viiburi lahes. Külmade ilmade püsides nihkub jääpiir aegamööda edasi. Eesti rannikumere kõige madalamates ja soojemast avamerest eraldatumates osades – Väinameres ja Pärnu lahes – tekib esimene jää harilikult novembri lõpul, Narva lahes detsembri keskpaiku, mujal Soome lahe rannavetes ning Hiiumaa ja Saaremaa avamererannikul aga alles jaanuari algul. Püsijää moodustub tavaliselt paar nädalat hiljem. Püsijää kujuneb Tallinna lahes enamasti jaanuari lõpupoole (Vahter, 1994). Igal talvel ei pruugi seda üldse tekkida. Varajaste külmade korral tekib merejää kuu aega keskmisest varem. Mardiste (1997) andmetel hakkavad väga soojal talvel Eesti lääneranniku lähed jääga kattuma jaanuari keskel ja suurem osa rannikumerest võibki jääda kogu talveks jäävabaks. Kui ilmad on muutlikud, võib jää tekkida ja kaduda mitu korda, enne kui hakkab järjepidevalt laienema.

Kõigepealt Väinameri ja Pärnu laht (Mardiste, 1997). Eesti vetes on sel ajal (detsembri lõpul – jaanuari algul) kinnisjääd ka Saaremaa lõunaranniku lahtedes ja Narva lahes. Kogu Liivi lahe kinniskülmumiseni kulub kuu-poolteist. Soome lahes laieneb jääpind veelgi aeglasemalt. Sagedaste sulade ja tugevate läänetuulte tõttu vaheldub jää kasv seisakutega. Suurima ulatuse saavutab jääkate veebruari lõpul või märtsi algul. Selleks ajaks on kinni külmunud Väinameri ning suurem osa Soome ja Liivi lahest. Vähemalt kuu aega on olnud üleni jääkattes Narva laht 65%, Tallinna laht 40%, Väinameri 85% ja Pärnu laht 97% talvedest perioodil 1963-1979 (Mardiste, 1997). Läänes palistab Saaremaad ja Hiiumaad harilikult mõne kilomeetri laiune kinnisjäätüüp. Sealt edasi tuleb ajujää, mis külmal talvel katab kogu Läänemere põhjaosa. Mere keskossa ilmub jääd ainult kord kümne aasta jooksul (Climatological Ice Atlas..., 1982).

Läänemere talvised jääolud on igal aastal isemoodi. Peamised tegurid, millest oleneb talvel jää paksus, on andmetel merevee soojasisaldus ning selle kulutamise intensiivsus (Vahter, 1994). Soojasisalduse kaudseks näitajaks tuleb sel puhul pidada eelmise aasta talve üldist jääkate pindala Läänemerel (või ka jää suurimat paksust eelneva aasta talvel). Merevee soojasisalduse kulutamise intensiivsuse üle saab otsustada talve külmasumma järgi, mis on vajalik suurima jää paksuse tekkimiseks.

Märtsis hakkab jää lagunema. Jää kaob avamere põhjaosast ja Soome lahe suudmest aprilli algul, mujalt Eesti rannavetes kuu lõpupoole. Põhja laht vabaneb mai lõpupäevil. Soojadel talvedel kaob jää, kus seda üldse oli, märgatavalt varem ning külmadel talvedel hiljem. Maikuu merel triiviv jää ei ole haruldane – 1893. aastal nähti Naissaarelt jääd viimati 30. mail. Põhjalahes on seda olnud veel juuni keskpaiku (Climatological Ice Atlas..., 1982).

2.4.2. JÄÄ PAKSUS

Jää pakseneb märtsi teise pooleni ja on kõige tusedam seal, kus ta kõige varem tekkis. Pärnu lahes ja Väinameres on siis rannast paarisaja meetri kaugusel 40-50 cm, väga külmal talvedel 60-70 cm paksune jää (Mardiste, 1997). Erakordselt külmal 1939/40. ja 1941/42. aasta talvedel ulatus jää paksus Liivi lahe idaosas 90 sentimeetrini. Tusedamaks jää meie vetes kasvada ei saa, sest ta on halb soojus(külma)juht ja paks jää tüseneb pakasele vaatamata väga aeglaselt.

Meetri või poolteisemeetri paksune jää on kujunenud kas tuulega üksteise alla aetud jäätükkidest või on saanud lisa jääl oleva lobjaka külmumisest. Kõige paksem tasane jää – 122 cm – mõõdeti 1984/85. aasta talvel Botnia lahe põhjasopis ja see ületas varasema, 1942.

aastast pärineva Läänemere rekordi kahe sentimeetriga (Mardiste, 1997). Külmadel talvedel saab läänesaarte ja mandri vahel ühendust pidada jääteid pidi.

2.4.3. JÄÄPERIOODI PIKKUS

Talve karmust iseloomustab jääpäevade arv, mis Põhjalahe põhjaosas on 190 ümber, kõige karmimatel talvedel kuni 230 päeva, mis on umbes kaheksa kuud (Climatological Ice Atlas..., 1982). Eestis on jääpäevi rohkem lääneranniku lahtedes: tavaliselt 130-140, maksimaalselt kuni 180 (pool aastat) ja minimaalselt 60-80 päeva (Mardiste, 1997). Eesti põhjaranniku lahtedes on jääd tavaliselt 80-100 päeva.

Kuid mitte alati ei näita suur jääpäevade arv veel karmi talve. Esimesele külmaperioodile, mis kaanetab madalad lahed, võib järgneda soe talv. Lahes olev jää enne kevadet enamasti ei sula ja nii saadaksegi selle mereosa kohta suur jääpäevade arv. Jääkate püsib Väinameres tavaliselt märtsi või aprillini, viimased jääpangad kaovad maikuuks (Peterson et al., 1998).

2.4.4. LÄÄNEMERE JÄÄKATTE MAKSIMAALNE PINDALA

Talve karmust iseloomustab hästi jääkatte suurim pindala. Korrapäraseid jäävaatlusi, mis haaravad suuremat osa Läänemere rannikut, on tehtud üle saja aasta. Avamere kohta on teavet talletatud laevadelt, külmadel talvedel peamiselt jääõhkujailt. Soome uurijad Seinä ja Palusuo (1996) on kaudseid andmeid kasutades tuletanud igatalvised maksimaalsed jääpindalad ajas tagasi kuni aastani 1720. Pika vaatlusrea esimese 150 aasta andmed ei ole oma usaldusväärsuselt muidugi võrreldavad viimaste aastakümnete tehiskaaslaste piltidelt saaduga, kuid nad on väärtuslikuks materjaliks selgitamiseks pikaajalisi kliimamuutusi.

Mardiste (1997) on leidnud, et Läänemerel vahelduvad erineva karmusega talved seaduspäraselt. Jäärohked olid XVIII sajandi teise poole ja XIX sajandi esimese poole talved. Kui vaadelda viimase sajandi jääkatte muutusi, siis näeme, et soojad ja külmad perioodid vahelduvad seal võrdlemisi korrapäraselt. Mingit kliimamuutuse trendi sellest välja lugeda ei saa. Siia jääb nii erakordselt pehmeid väga vähese jääkattega kui ka erakordselt karme üleni jääs merega talvesid. Nii külma kui ka sooja talve võib vahel olla mitu aastat järjest. Näiteks järgnes pehmetele 1937/38. ja 1938/39. aasta talvedele kolm erakordselt karmi talve ning neile omakorda kolm väga pehmet talve. Viimase 277 aasta kümnest kõige vähesema jääkattega talvest jääb üheksa XX sajandisse. Kõige jäävaesemad olid talved aastatel 1988/89 (52 000 km²), 1960/61 (53 000 km²) ja 1929/30 (58 000 km²). Kogu meri (420 000 km²) oli

277 aastasesst perioodist jääga kaetud viieteistkümne talve jooksul. XIX ja XX sajandi jooksul olid sellisteks talvedeks 1892/93., 1939/40., 1941/42. ja 1946/47. aasta (Mardiste, 1997).

Talve tüüpide jagunemisel 265-aastasel perioodil (1720-1985) esines pehmeid talvi viiel aastal järjestikku, karmid talved võivad korduda kolm aastat järjest. Külmasid talvesid esines vaid kahel aastal järjest. Kõige suurema esinemissagedusega olid pehmed talved (kolmel aastal järjest) (Моря..., 1992). Üheaastase korduvusega (nt 2001/02. aasta talv oli soe, aga järgmisel aastal keskmine) olid suurima esinemissagedusega soojad talved.

2.5. JÄÄVAATLUSTEST JA JÄÄ ARENGUST

Jaamade merevaatlusprogrammid aastaks 2005 on toodud lisa 3. Merevaatlusprogrammid koostatakse iga jaama kohta eraldi. Jäälusid hinnatakse visuaalselt üks kord päevas ja saadud tulemused märgitakse jäävaatluste lehele. Lehel on ära toodud sümbolid, mida kasutatakse tulemuste ülesmärkimiseks. Üks kord nädalas joonistatakse ka jäänähte kontuurkaart. Täidetud jäävaatluste lehed koos kontuurkaartidega saadetakse vaatluste kuule järgneva kuu esimestel päevadel EMHI Hüdroloogiaosakonda (lisa 3).

Astoki (1963) poolt koostatud raamat "Jäävaatlused hüdrometeoroloogilistel merepostidel" on käibel tänapäevani. See sisaldab materjale, mis käsitlevad jäävaatluste teostamist hüdrometeoroloogilistel merepostidel ja vaatlusvihikute ning -tabelite täitmise korda. Selleks, et erinevate postide ja vaatlejate poolt teostatud jäävaatlused oleksid omavahel võrreldavad, on koostatud lühendatud merejää sõnastik (Vainio et al., 2002).

Jäävaatluste eesmärgiks on ülevaate saamine jääolukorrast nii Läänemeres tervikuna kui ka selle üksikute osades, lahtedes, väinades, abajates. Jäärežiimi igakülgne uurimine, analüüs ja prognoos on vajalik meresõidu ning navigatsiooni väärtusliku tugi-informatsioonina. Vaatlustel põhinevaid regulaarseid andmeid kasutatakse ühtseid, selgelt piiritletud termineid. Maailmas eksisteerib praeguseks ajaks suur hulk erinevaid jääklassifikatsioone sõltuvalt jaotamise lähteprintsipiidest, arvestades jää tekkimist ja struktuurilisi iseärasusi. Läänemeremaades on käibel WMO jääklassifikatsioon, mis on avaldatud neljakeelse kogumikuna (Vainio et al., 2002). Sõnastiku esimeses osas on toodud jää moodustumist ja selle algseid vorme iseloomustavad mõisted. Edasi kirjeldatakse jää arengut kinnisjääks, ehk jääkatteks, koos vastavate jääterminitega. Lõpuks on ära toodud kevadine jääminek koos laia variatsiooniga erinevatest jäänähetest.

Veepinna jahtumisel vee külmumistemperatuurini moodustuvad vette jääkristallid. Vaikse ilmaga hakkab selliste kristallide hulk veepinnal kiiresti suurenema ja tekib ühtlane püdel, vetruv paari sentimeetri paksune mass ehk teisiti öeldes rasvjää. Tuulise ilmaga seguneb pealmine jahtunud veekiht intensiivsemalt alumise soojema veega ja rasvjää kaob kiiresti (lisa 2). Eelnevalt nimetatud esmaste jäävormide kõrval moodustub mahajahtunud vette sadavast lumest tihke mass, mida nimetatakse lobjakaks. Rasvjää ja lobjaka näol on tegemist jää agliikidega.

Edasise õhutemperatuuri langemisel ja merevee jahtumisel moodustub veepinnale ühtlane jääkate. Sügisei tekib kalda läheduses ja jõgede suudmes õhuke läikiv ja kergesti

murduv jääkoorik, mis on kuni 5 cm paksune. Avamerel sellist jäänähtust harilikult ei esine, kuna tuul ja lained lõhub sellise jääkooriku kergesti tükkideks. Jää pakseneb ja kasvab altpoolt. Paksenenud jääd nimetatakse tumedaks niilaseks. Tume niilas õõtsub kohati lainetega kaasa. Edasisel temperatuuri langemisel tekib hele niilas (lisa 2), mis võib moodustuda ka vahetult lobjaka külmumisel. Jää arengu järgmist vormi nimetatakse nooreks jääks, mille vormideks on halljää (väga tihe jää), hallvalge jää ja valge jää. Viimast nimetatakse liikumatuse tõttu ka kinnisjääks. Kinnisjää paksus ulutub Läänemeres enne kevadist jääminekut keskmiselt 30-70 cm-ni ja karmi talve korral isegi üle 1 m.

Jää jaotumus akvatooriumis ei ole reaalselt kunagi püsiv ja muutub vastavalt hüdrometeoroloogiliste tingimuste muutustele. Kui jää tihedus on juba 9-10 palli ja jääd tihendavad tegurid mõjuvad edasi, algab jää rüüstumine ehk kuhjumine ja kihistumine (lisa 10). Selline protsess on iseloomulik eelkõige niilasele ja noorele jääle.

Jää sulamise esimesed tunnused – lumekristallide kleepumine jää külge ja alumiste jääkihtide soolsuse suurenemine – hakkavad ilmnema juba nullilähedusel temperatuuril (lisa 4). Vee- ja õhutemperatuuri edasisel tõusul ning päikisekiirguse mõjul muutub sulamisprotsess järjest intensiivsemaks. Algul sulab ainult jää pealmine kiht, kusjuures jää pinnal on üha enam laikude ja lompidena märgata tumedat sulavett. Pärast seda, kui triivivad jääväljad lagunevad üksikuteks pankadeks, soojeneb mere pinnakihi vesi piisavalt ja jää hakkab sulama ka altpoolt. Jää murdub kalda küljest lahti ning rabadad jääpangad lagunevad omakorda väiksemateks tükkideks. Sulamise lõppstaadiumis ujub vett täisimbunud ja poorne jää sügavalt vees ja sulab lõplikult.

3. KASUTATUD ANDMESTIK JA METOODIKA

Käesolevas töös on kasutatud jäävaatlusandmeid kaheksast vaatlusjaamast: Narva-Jõesuu, Kunda, Pakri, Heltermaa, Ristna, Sõrve, Kihnu ja Pärnu (joonis 4). Need jaamad on valitud eelkõige asukoha tõttu – nad hõlmavad kogu Eesti rannikut. Neis jaamades on ka pikimad vaatlusandmed Eesti ranniku kohta. Käesolevas töös on kasutatud uurimisperiodina 55 talve perioodil 1950/51-2004/05. Valitud on just selline periood, kuna tegemist on enam kui poole sajandi andmetega ning just selle perioodi jooksul on aset leidnud märkimisväärne kliima soojenemine Eestis. Aegrida on raske pikendada varasemasse aega, sest seoses sõjategevusega 1940ndatel aastatel esinesid jaamade töös vaheajad.

Algmaterjal jääolude kohta on töö autori poolt kogutud EMHI-s asuvatele Narva-Jõesuu, Kunda Pakri, Heltermaa, Ristna, Sõrve, Pärnu ja Kihnu jaama vaatlusmaterjalidele tuginedes. Kasutatud on kõiki jää tekke ja lagunemisega seotud parameetreid. Käesolevas töös käsitletakse talvise perioodina ajavahemikku jää tekkimise algusest kuni jää lõpliku lagunemiseni ehk siis jäänähte perioodi, mis jääb vahemikku oktoober kuni mai.



Joonis 4. Jäärežiimi analüüsil kasutatud vaatlusjaamad.

Algandmed jäärežiimi uurimiseks on töö autor saanud EMHI-s asuvate jäävaatlustabelite läbitöötamisel. Kaheksa vaatlusjaama 55-aastase perioodi andmed on jäävaatlustabelite põhjal digitaalseeritud, mis on antud töö kõige mahukam osa.

Kunda meteoroloogia- ja hüdroloogiajaam (MHJ), Heltermaa rannikujaam (RJ), Kihnu MHJ ja Sõrve MHJ ei ole asukohta vaatlusperioodil vahetanud. Kunda MHJ asub Kunda linnast

umbes 2 km kaugusel majaka lähedal (tabel 4). Pakri jaam viidi Pakri neemelt Paldiskisse 21.oktoobrist 1969., kuid mõõtmisi tehti kogu aeg ühe koha peal ja ühtmoodi.

Tabel 4. Vaatlusjaamade tegevusaastad

Jaam	Jäävaatluste periood
Narva-Jõesuu MHJ	1903-1914, 1922-1940, 1948-...
Kunda MHJ	1948-...
Pakri MJ	1903-1914, 1922-1940, 1950-1999, 2002-2003
Heltermaa RJ	1947-...
Ristna MHJ	1922-1940, 1948-...
Pärnu MHJ	1893-1911, 1920-1940, 1944-...
Kihnu MHJ	1894-1917, 1921-1940, 1949-...
Sõrve MHJ	1903-1914, 1922-1940, 1951-...

Kohati andmed puuduvad seetõttu, et talvel jääd vaatluspiirkonnas ei esinenud. Näiteks, Pakris ei esinenud jääd viiel (1988/89, 1989/90, 1991/92, 1994/95, 2000/01), Ristnas neljal (1989/90, 1991/92, 1992/93, 1999/2000) ning Kihnus (1992/93) ja Sõrves (1991/92) ühel talvel.

Talviste jääolude ja teiste meteoroloogiliste parameetrite kirjeldamiseks on kasutatud järgmisi näitajaid:

- jää esimese tekke kuupäev talve alguses,
- kinnisjäa tekke kuupäev,
- noorjäa tekkimise kuupäev,
- kinnisjäa lagunemise kuupäev,
- jää täieliku lagunemise kuupäev ehk lõplik jääst vabanemise kuupäev,
- kinnisjäaga päevade arv,
- jääperioodi pikkus ehk jääga päevade arv talve jooksul,
- jää maksimaalne paksus sentimeetrites,
- ööpäeva keskmise õhutemperatuuri alla 0°C püsiva langemise kuupäev,
- ööpäeva keskmise õhutemperatuuri üle 0°C püsiva tõusmise kuupäev,
- negatiivsete temperatuuride summa,
- ööpäeva keskmine õhutemperatuur.

Esmaste jää vormide ehk jää esimese tekke kuupäevaks on võetud päev, mil esimeset korda ilmusid jää algliigid, sõltumata selle hulgast ja päritolust – tekkinud kohapeal või kandunud tuulehoovustega teistest piirkondadest. Noorjäa (niilasest edasisel külmumisel

tekkinud jääkiht, paksusega 10-30 cm) on määratud päevaga, mil kogu jälgitav merepind kattus esimest korda jääkattega täies ulatuses ehk mil jäätükid omavahel kokku külmusid. Kinnisjää (on liikumatu jää põhivorm ning on püsivalt rannale või madalikele kinnitatud jääkate) tekkimise kuupäevaks on võetud päev, mil liikumatu kinnisjää ilmus esmakordselt. Kinnisjää lagunemise ehk kinnisjää liikuma hakkamise päevaks loetakse päeva, mil kogu kinnisjää või osa sellest liikus tuule ja hoovuste toimele. Jää täieliku lagunemise kuupäevaks on päev, mil mitmesuguseid jäämoodustisi rannakivide vahel ega rüsi jää kuhilaid enam ei esinenud.

Magistritöös tehtud analüüsidel on kasutatud Excel'i keskkonda. Statistiliste analüüside teostamisel on juhitud Kiviste (1999) raamatust. On arvatud jäänäitajate keskvaartused, standardhälbed, jäänähte miinimumid ja maksimumid, jääpäevade arvud, valimi maht (jääkattega aastad). Iga aegrea pikaajaliste muutuste kindlakstegemiseks on trendianalüüs tehtud lineaarse regressiooni abil. Regressiooni tõusukordaja korrutamisel aegrea pikkusega on saadud muutused kogu perioodi kohta. Leitud on ka regressioonikordaja olulisuse näitaja p väärtus. Statistiliselt usaldusväärsed on lineaarsed trendid, mille olulisuse nivoo on $p < 0,05$ (Тейлор, 1985). Eriti tugevad trendid $p < 0,05$ tasemel on eraldi kindlaks tehtud.

Aegridade analüüsil on oluline andmete homogeensus, mis tähendab, et kogu vaatlusperioodi jooksul on andmed saadud sarnastes tingimustes ning vaatluskoht ja vaatlusmetoodika on muutumatud. See tagab eri aegadest pärit mõõtmistulemuste omavahel võrreldavuse. Merejää vaatlusriidade homogeensust on raske hinnata kuna jää on tugevasti asukohast sõltuv. Näiteks Vilsandi ja Pakri jaam on vahepeal asukohta muutnud.

Algandmete kvaliteet on siiski hea, kuna töö autor kasutas nende saamiseks jäävaatlustabelitele lisaks ka üldiseid jääkaarte, kus jaamadest tulevate infole on lisatud ka mujalt saadud info (satelliidipildid, Soome Meteoroloogia Instituut, Rootsi Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituut jt).

4. TULEMUSED JA ARUTELU

4.1. PIKAAJALINE KESKMINE JÄÄREŽIIM

Kõik jäärežiimi elemendid – jäätেকে ja merepinna külmumise tähtjad, jää paksus, jää lagunemise ja sulamise intensiivsus – määratakse ilmatingimuste iseloomuga, peamiselt õhutemperatuuri ja tuule poolt. Sõltuvalt sellest muutuvad jäärežiimi iseärasused Eesti rannikumeres igal aastal erinevates mastaapides. Keskmised jäärežiimi näitajad perioodil 1950/51-2004/05 on uuritud jaamade kohta esitatud tabelis 5.

Tabel 5. Keskmised jäänähte ja jääkatte esinemise kuupäevad ning suurimate jää paksuste keskmised perioodil 1950/51-2004/05. (* - on esinenud jäävabad talved)

	Narva-Jõesuu	Kunda	Heltermaa	Kihnu*	Pärnu	Sõrve*	Pakri*	Ristna*
Jäätেকে	6-dets	18-nov	5-dets	5-dets	24-nov	17-dets	11-jaan*	21-dets
Kinnisjää teke	10-jaan	20-dets	26-dets	13-jaan*	13-dets	5-jaan	-	-
Noorjää teke	27-jaan	1-veebr	4-jaan	-	19-dets	-	-	-
Kinnisjää lagunemine	9-apr	7-apr	3-apr	7-apr	14-apr	13-märts	-	-
Lõplik jääst vabanemine	17-apr	17-apr	10-apr	14-apr	22-apr	31-märts	31-märts	2-apr
Jääpäevade arv	115	121	114	109	139	83	48	77
Suurim jää paksus, cm	42	42	43	42	49	36	-	-
Esimene täielik jääst vabanemine	23-dets	10-dets	28-jaan	2-jaan	11-veebr	10-jaan	17-jaan	14-jaan

Esimene jää tekib Eesti rannikuvetes tavaliselt novembris või detsembris. Jää tekib üldiselt varem madalamates lahtedes, mis on kaitstud tuulte eest, see tähendab Pärnu ja Kunda lahel. Neile järgneb Kihnu, Heltermaa ja Narva-Jõesuu ning suurema vahega juba avamere rannikul asuvad Sõrve ja Ristna. Nii Liivi lahes, Väinameres kui ka Soome lahe Eesti rannikumere idapoolses osas tekivad esimesed jäänähted üheaegselt, novembri lõpust detsembri alguseni. Ainult avamere piirkondades hakkab jää moodustumise protsess peale alles detsembri teisel poolel.

Kinnisjää tekib umbes üks kuu pärast esimesi jäänähteid, sest varakult tekkinud jää jõuab mitu korda ära kaduda enne püsiva jää tekkimist. Pärnus tekib kinnisjää kõige varem, sest see on kõige püsivama jääga piirkond. Tavaliselt on nii, et esmakordselt tekkinud jää ei sula kohe ära vaid jääb pikemalt püsima. Vastupidist olukorda on täheldatud Kunda lahes, kus jää kaob lahest keskmiselt kuuel korral talve jooksul.

Märtsi keskel hakkab kinnisjää lagunema Sõrves ja Ristnas. Need paiknevad jäävabale Läänemere keskosale kõige lähemal ja jää on õhem kui mujal Eesti rannikul. Kevadel puhastavad tugevad tuuled saartest läände jäävaid mere osi jääst varem kui mujal, sest nad on tuultele avatud. Sarnaselt toimub ka jää täielik lagunemine – varaseim Sõrves, Pakris (31. märts) ja Ristnas (2. aprill) ning hiliseim Pärnus (22. aprill).

Jää lagunemine ja jääpäevade arv sõltub vaatluskoha geograafilisest asendist. Kõigepealt vabaneb jääst Sõrve, Pakri ja Ristna – just need kohad paiknevad avamere rannikul ja on avatud tuultele. Seejärel kaob jää Heltermaalt, 3 päeva pärast Kunda ja Narva-Jõesuu lahelt ning lõpuks ka Pärnu lahelt. Jääpäevi on kõige vähem Pakris (48), järgnevad Ristna (77), Sõrve (90) ja Kihnu (109) ning enim jääpäevi esineb Kundas (121) ja Pärnus (139). See on ka igati loogiline, kuna jää teke on Pakris hiliseim, aga lagunemine varaseim, samas kui näiteks Kunda ja Pärnu lahes toimub jää teke varem ja jää lagunemine hiljem. Jää maksimaalne paksus on tavaliselt kõige suurem seal, kus ta kõige varem tekkis, see tähendab Pärnu lahes.

Kinnisjää tekib 20-30 päeva pärast esimesi jäänähteid. Kinnisjää teke leiab kõigepealt aset Pärnus (13. detsember), järgnevad Kunda (20. detsember) ja Heltermaa (26. detsember); Narva-Jõesuus, Kihnus ja Sõrves aga jaanuari algul. Hiliseim kinnisjää teke on Ristnas – alles jaanuari viimastel päevadel ja seda mitte igal talvel.

Seejärel umbes kahe nädala jooksul formeerub noorjää ehk toimub täielik veepinna kattumine jääga. Noorjää teke algab Pärnu lahest (19. detsember) ning jaanuari lõpuks (27. jaanuar) jõuab Narva laheni (tabel 5). Enamikul talvedest pole avamere rannikul noorjääd ehk veepinna täielikku jääga kattumist esinenud.

Märtsikuu keskel saavutab merejää maksimaalse paksuse ning edasi hakkab kinnisjää lagunema. See toimub Eesti erinevates osades umbes kuu aja jooksul. Kõigepealt laguneb kinnisjää Sõrves (13. märts) ning aprilli esimesel nädalal järgnevad temale ülejäänud kohad. Kõige hiljem laguneb kinnisjää Pärnu lahes (14. aprill). Peale kinnisjää lagunemist leiab aset jääst täielik vabanemine. Kõige varem algab see avamere rannikul - Sõrves ja Pakris (31. märts) (tabel 5). Teistes kohtades kaob jää lõplikult üks nädal pärast kinnisjää lagunemist;

seega Pärnus kaob ta kõige hiljem (22. aprill). Kõige sagedamini kaob jää talve jooksul avamere rannikul (6-7 korda). Pärnus tekkinud jää on kõige püsivam – alles kahel korral leiab jää kadumine aset.

Maksimaalne jää paksus on 55-aastase perioodi jooksul olnud keskmiselt 42-43 cm Narvas, Kundas, Heltermaal ja Kihnus. Sõrves on maksimaalne jää paksus 36 cm. Kõige paksem jää moodustub Pärnus (49 cm) (tabel 5).

4.2. JÄÄREŽIIMI ELEMENTIDE AJALINE MUUTLIKKUS

Jäärežiimi elementide aegridu iseloomustab väga suur muutlikkus, mida väljendavad tabelis 6 toodud standardhälbed. Merejää tekib Eesti erinevates piirkondades enam kui kuu aja jooksul ning standardhälve varieerub 16-st kuni 29 päevani. Korrelatsioonikordajad jaamade vahel on küllaltki madalad: Soome lahe jaoks 0,42 (Narva-Jõesuu ja Kunda vahel) ning Liivi lahel 0,52 (Pärnu ja Sõrve vahel) (tabel 7). See näitab, et esimese jää tekkimisel on suurema osatähtsusega kohalikud tegurid ja väiksema kaaluga ilma üldine iseloom.

Tabel 6. Standardhälbe näitajad perioodil 1950/1951-2004/2005.

St.hälve	Jääteke	Kinnisjää teke	Täielik külmumine	Kinnisjää lagunemine	Löplik jääst vabanemine	Jaapäevade arv	Suurim jää paksus
N-Jõesuu	19	24	20	19	16	25	16
Kunda	16	31	19	21	14	30	15
Heltermaa	26	23	20	28	20	38	15
Kihnu	29	23	22	26	28	30	15
Pärnu	16	21	20	14	13	23	14
Sõrve	20	22	20	23	29	39	12
Pakri	22	-	-	-	23	28	-
Ristna	27	-	-	-	22	38	-

Jää lagunemise aegread on samuti suure varieeruvusega, kuid see on siiski väiksem võrreldes jääteke aegridadega. Jaamadevaheline korrelatsioon on aga tunduvalt suurem. Tugevaim korrelatsioon on Heltermaa ja Kihnu puhul (tabel 7).

Tabel 7. Korrelatsiooni koefitsiendid jääteke ja –lagunemise puhul perioodil 1950/1951-2004/2005

Jääteke	Kunda	Pakri	Heltermaa	Pärnu	Kihnu	Sõrve
N-Jõesuu	0,42	0,18	0,49	0,38	0,33	0,37
Kunda		0,33	0,19	0,46	0,28	0,27
Pakri			0,32	0,05	0,03	0,31
Heltermaa				0,49	0,66	0,36
Pärnu					0,50	0,52
Kihnu						0,32
Jää lagunemine						
Kihnu						0,29
Pärnu					0,81	0,20
Heltermaa				0,86	0,91	0,24
Pakri			0,69	0,72	0,66	0,31
Kunda		0,62	0,69	0,67	0,62	0,77
N-Jõesuu	0,73	0,65	0,81	0,69	0,76	0,35

See annab tunnistust, et merejää sulamine on rohkem mõjutatud suuremõõtmeliste kliimategurite, eelkõige atmosfääri tsirkulatsiooni ja päikesekiirguse poolt.

4.3. TALVEDE KLASSIFITSEERIMINE JA JÄÄREŽIIMI EKSTREEMUMID

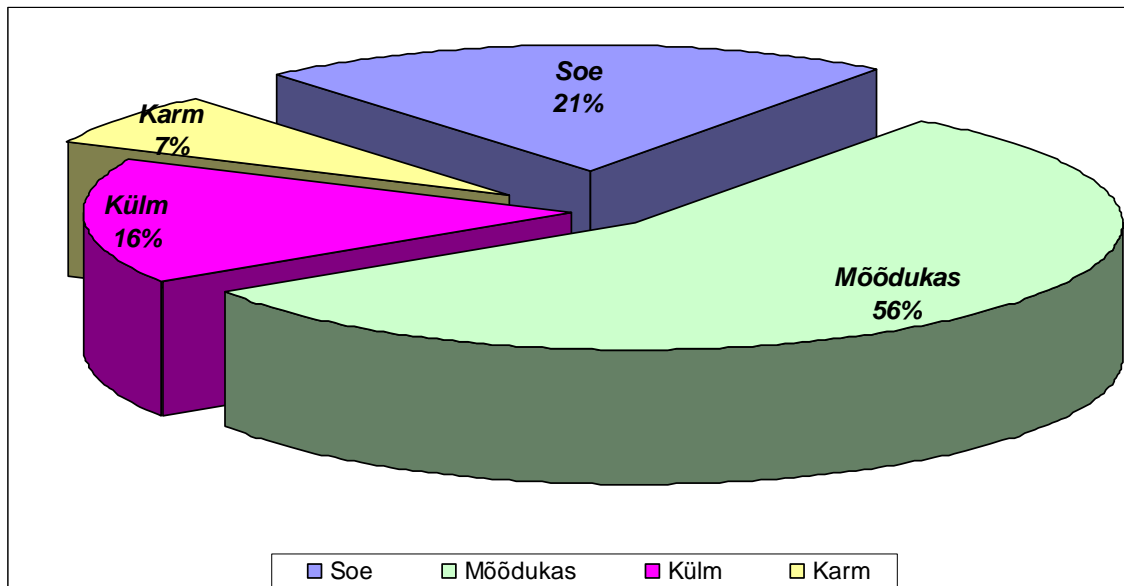
Jäärežiimi uurimisel on otstarbekaks osutunud talvede tüpiseerimine nende karmuse järgi. Igale talve tüübile on iseloomulik oma hüdro meteoroloogiliste protsesside kulg, mis omakorda avaldub mere jääoludes. Kriteeriumiks on ööpäeva keskmiste negatiivsete temperatuuride summa ehk külmasumma alates õhutemperatuuri püsivast üleminekust alla 0°C sügisel. Nimetatud näitaja järgi võib talved liigitada järgmiselt:

Tabel 8. Talvede klassifitseerimine külmasummade alusel

Talve tüüp	Külmasumma
Soe	< -270°
Mõõdukas	-270°...-700°
Külm	-700°...-900°
Karm	>-900°

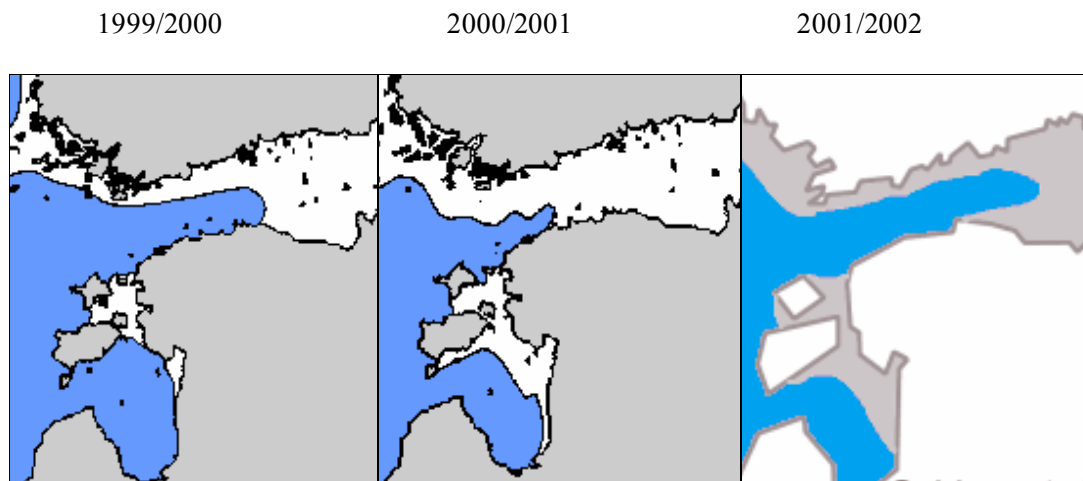
Talve karmus määrab kevade saabumise. Enamasti on nii, et pakaselisele talvele järgneb hiline ja jahe kevad ning pehmele talvele varane ja soe kevad (Aasa jt., 2002). Analüüsil selgus, et kõige enam esineb mõõdukaid talvesid (56%) (joonis 5). Lausa neljal aastal järjest on mõõdukad talved valitsenud 80-ndate algul (1980/81 kuni 1983/84). 2004/05. aasta talv kuulus külmasummade alusel mõõdukate hulka. Enne seda esines veel 3 mõõdukat talve (tabel 9). Suhteliselt soojale talve algusele võib järgneda külm või väga külm talve teine pool, sel juhul võib talv jääkate parameetrite poolest osutada karmiks, kui seda näitab negatiivsete õhutemperatuuride summa. Kõige vähem (7%) on esinenud karme talvi, millele järgnevad esinemissageduselt külmad talved 16%-ga. Sooje talvi esines 21%.

Talvede klassifitseerimisel on tähtis näitaja ka jääkate – selle suurim pindala ehk jää maksimaalse leviku piir. Karmidel talvedel kulgeb jääpiir üle Irbe väina paralleeli. 1962/63 talvel kulges see Ojamaa (Gotlandi) saarest lõuna poole. 1962/63. aasta talv oli karmim viimase 55 aasta jooksul, talv 1991/92 oli aga 55 aasta kõige soojem. Soojadel talvedel kulgeb jääpiir kuni Tallinna meridiaanini.



Joonis 5. Talve tüüpide jaotuvus külmasumma andmetel perioodil 1950-2005

Tuleb aga silmas pidada, et iga üksik talv on keskmisest erinev (joonis 6) ning et pikaajalised keskmised ei vasta kliima soojenemistendentsi tingimustes enam viimase 10-15 aasta olukorrale, kui on esinenud selge trend jääperioodi lühenemise, jääperioodi alguse hilisemaks nihkumise ja jääperioodi lõpu varasemaks muutumise suunas.



Joonis 6. Jääkatte maksimaalne esinemine Eesti rannikumerel mõnedel viimastel pehmetel talvedel. (FIMR, <http://www2.fimr.fi/fi/palvelut/jaapalvelu/jaatalvi.html>).

Nagu juba eelpool mainitud, on vaatlusperioodil esinenud enim mõõdukaid talvi – 31-1 korral (tabel 9). Mõõdukad talved on kordunud peaaegu üle aasta; kaks pikemat perioodi,

mil mõõdukaid talvi järjest ei esinenud on 1967/68-1969/70 ja 1994/95-1996/97 (kokku mõlemal juhul 3 aastat). Vaid neli talve on olnud karmid ja seda tüüpi talvi ei ole ühelgi korral järjestikustel aastatel olnud. Vaadeldaval perioodil esines viimane karm talv 1986/87. aastal. Peale seda on kuni 2004/05. aastani vaheldunud 17 aastat järjest mõõdukad ja soojad talved, sel ajavahemikul esines vaid üks külm talv 1995/96. aastal. Sarnane pikem soojade ja mõõdukate talvede vaheldumine leidis aset ka enne 1986/87. aastat, kui esines 13-aastane periood alates aastast 1970/71. Kuid siis katkestasid järjepidevuse 3 külma talve (1978/79., 1979/80. ja 1984/85. aasta). 1950/51 kuni 1969/70 vaheldusid talvetüübid suhteliselt korrapäraselt, vaid sooja talve esines üks kord (1960/61. aastal). Soojad talved moodustasid analüüsitud 55-aastasest perioodist 11, eriti soe aga oli 1991/92. aasta talv. Kõige suurem külmasumma esines 1962/63. aastal. Kui keskmistada vaatlusperioodi külmasummade andmed, siis esineks Eesti rannikul kokku üks mõõdukas talv.

90ndatel aastatel olid ülekaalus soojad ja isegi väga soojad talved, mis andsid põhjust mõelda kliima soojenemisest ja loota, et karmid talved on jäänud minevikku. Seepärast tuli 2002/2003. aasta jää maksimaalse leviku poolest karm talv paljudele üllatusena ning riik sattus suurtesse raskustesse, kuna navigatsiooni alguseks ei olnud Eestil ühtegi jäämurdjat ja need tuli kallilt rentida.

Tabel 9. Talve tüübid aastatel 1950/51-2004/2005

Soe	Mõõdukas	Külm	Karm
1960/61	1950/51	1977/78	1957/58
1972/73	1951/52	1980/81	1959/60
1974/75	1952/53	1981/82	1967/68
1988/89	1953/54	1982/83	1968/69
1989/90	1954/55	1983/84	1969/70
1991/92	1956/57	1985/86	1978/79
1992/93	1958/59	1987/88	1979/80
1994/95	1961/62	1990/91	1984/85
1996/97	1963/64	1993/94	1995/96
1999/2000	1964/65	1997/98	
2000/01	1966/67	1998/99	
	1970/71	2001/02	
	1971/72	2002/03	
	1973/74	2003/04	
	1975/76	2004/05	
	1976/77		
11	31	9	4
21%	56%	16%	7%

Kahjuks ei võimalda praegused teadmised anda kindlat hinnangut selle kohta, kas soojad ja mõõdukad talved jätkuvad või mitte ja millal võib saabuda talvede külmenemine. Lähtudes kliimaprotsesside tsüklilisest kulgemisest põhjapoolkera üldise soojenemise foonil, mis on toimunud mitte ainult viimastel aastakümnetel, vaid sajandi jooksul, oleks see tõenäoline juba lähemal ajal. Nii pikk soojade talvede rida on erakordne.

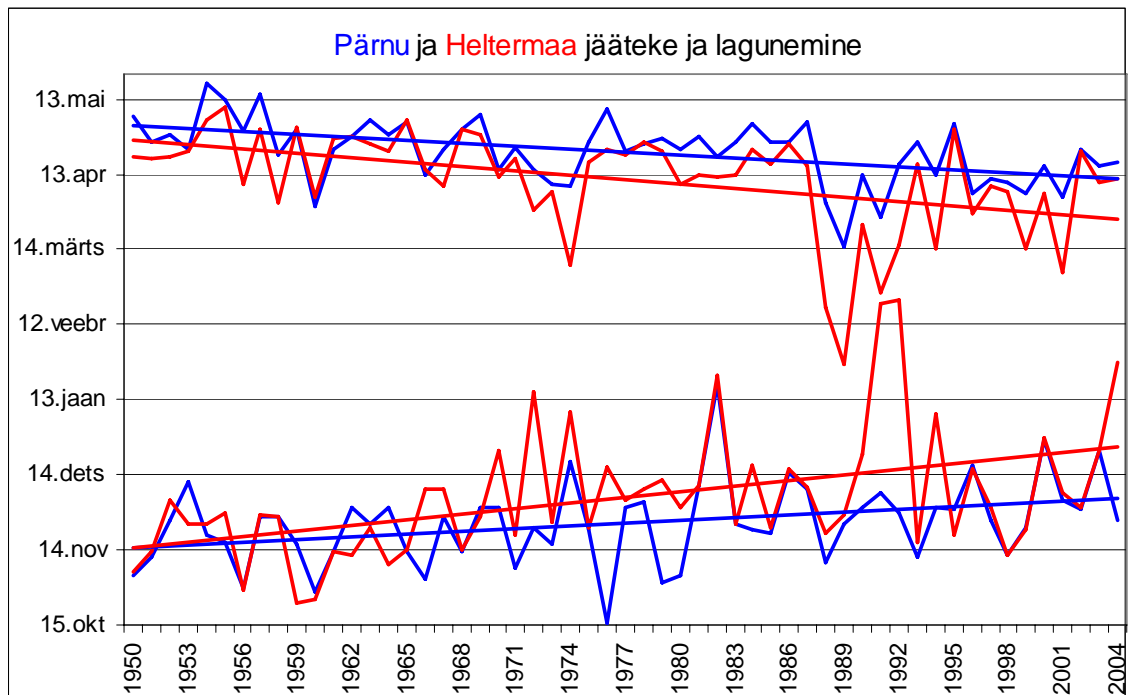
4.4. PIKAAJALISED MUUTUSED JÄÄREŽIIMIS

Jäärežiimi muutusi vaadeldava 55 aasta jooksul on üldistavalt edasi antud tabelis 10. Toodud numbrid tähendavad muutust päevades (jäa paksuse puhul sentimeetrites) lineaarse trendijooni järgi, mis on saadud, kui regressiooni tõus on korrutatud aastate arvuga. Statistiliselt olulised trendid on jämedas kirjas. Jää esimene teke Pärnu lahes ja Heltermaal on hilisemale ajale nihkunud vastavalt 20 ja 41 päeva võrra (joonis 7). Jää lagunemise puhul on toimunud nendes piirkondades varasemale ajale nihkumine vastavalt 21 ja 32 päeva võrra (joonis 7). Ka Narva lähel toimub jää lagunemine 20 päeva võrra varem (lisa 6).

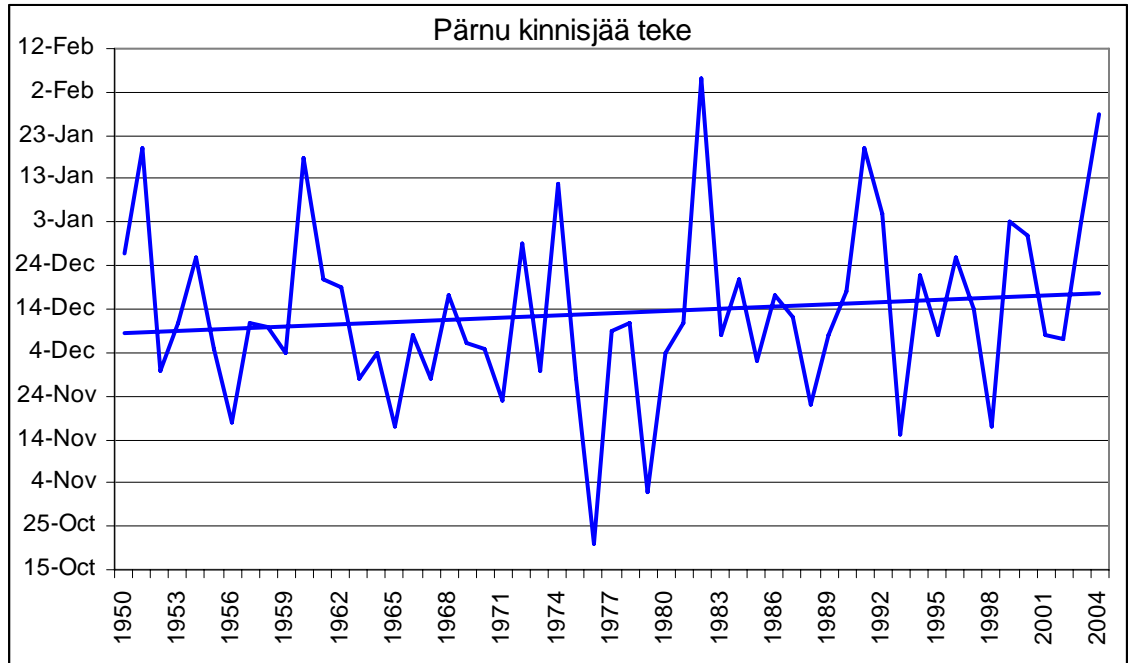
Tabel 10. Jääandmete muutused trendi järgi perioodil 1950/1951-2004/2005. Olulised trendid $P < 0,05$ tasemel on trükitud jämedas kirjas.

	Jääteke	Kinnisjäa teke	Täielik külmumine	Kinnisjäa lagunemine	Lõplik jääst vabanemine	Jää-päevade arv	Jää paksus
N-Jõesuu	5,9	19,7	11,4	-17,5	-20,4	-19,1	-13,0
Kunda	9,8	26,2	-3,5	-24,0	-9,7	-16,9	-15,0
Heltermaa	41,0	16,7	23,7	-35,3	-32,3	-48,0	-15,9
Kihnu	36,7	13,5	42,0	-28,4	-48,6	-43,9	-10,6
Pärnu	20,0	9,3	12,4	-15,5	-20,8	-29,9	-15,0
Sõrve	4,4	0,4	19,1	-37,0	-40,1	-34,2	-8,6
Pakri	-	-	-	-	-	-20,4	-
Ristna	-	-	-	-	-	-48	-

Jää esimese tekke usaldusväärsed ($p < 0,05$) trendid esinesid Heltermaa, Kihnu ja Pärnu puhul (tabel 10). Usaldusväärsel tasemel olid ka Pärnu ja Kunda lahe kinnisjäa tekke ning Heltermaa noorjäa tekke trendid. Usaldusväärsus esines kinnisjäa lagunemise puhul Narva-Jõesuu, Kunda, Pärnu ja Heltermaa ning jää täieliku lagunemise puhul kõikide jaamade trendidel. Jääpäevade arv oli usaldusväärsel tasemel samuti kõikides jaamades.



Joonis 7. Jää teke ja täieliku lagunemise pikaajaline muutlikus Heltermaal ja Pärnu lahel perioodil 1950/51-2004/05.

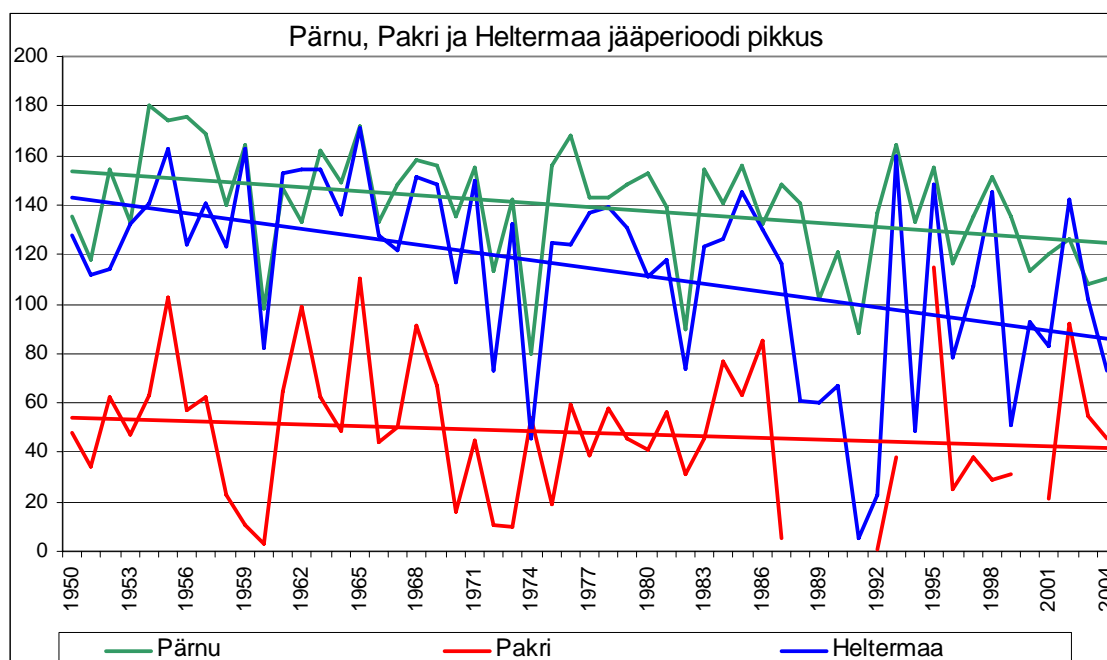


Joonis 8. Kinnisjää tekke aegrida ja lineaarne trend Pärnu lahel.

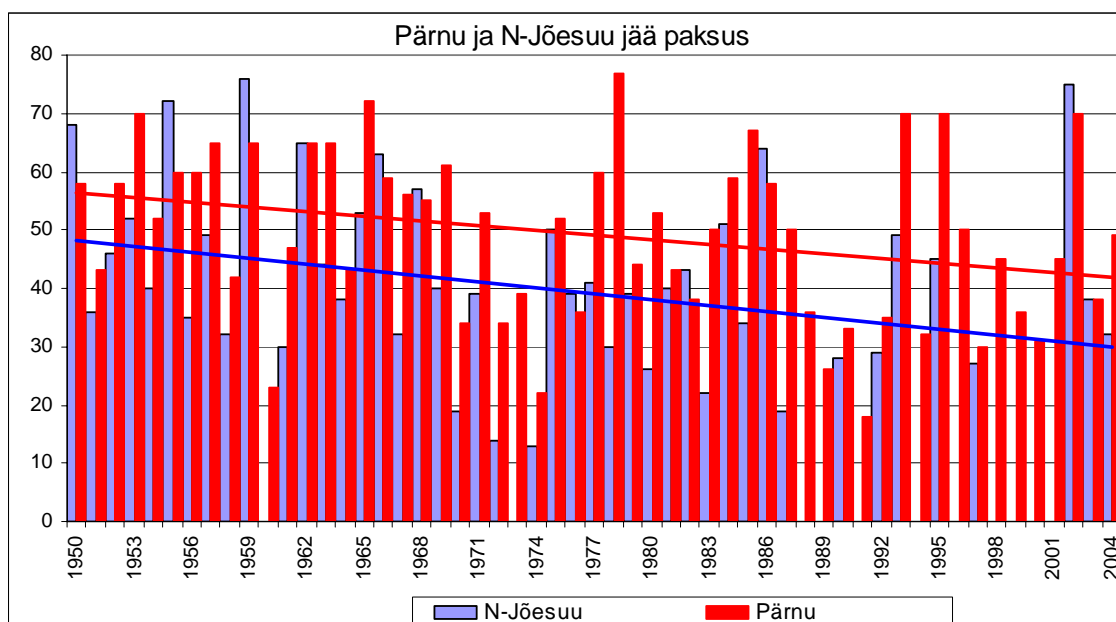
Jää tekke hilisemale nihkumine ja jää lagunemise varasemale ajale nihkumine on põhjustatud õhutemperatuuri tõusust. Viimase 100-150 aasta jooksul on Eestis aasta keskmine õhutemperatuur tõusnud umbes 1°C võrra (Järvet, 1999). Sealjuures on kõige suuremad muutused mitmete kliimaelementide aegridades toimunud kevadtalvel ja varakevadel, mille põhjuseks loetakse atmosfääri tsonaalse tsirkulatsiooni esinemissageduse kasvu sel perioodil (Jaagus 1998; Russak 1999; Jaagus, 2006). Keevalliku järgi võib temperatuuri tõusu ajavahemikul 1955-1995 täheldada samuti märtsis, aprillis ja mais (Keevallik, 2003). Õhutemperatuuri muutlikkus on üldiselt seda suurem, mida pikem on ajaperiood (Tammets, 2003).

Kinnisjää teke on samuti lükkunud hilisemale ajale, mis Pärnus on 9 päeva võrra statistiliselt usaldusväärsel nivool (joonis 8).

Jääpäevade arvu puhul on usaldusväärne trend kõikides piirkondades jääpäevade vähenemise suunas. Heltermaal on nihkumine toimunud kõige järsem - 48 päeva ning Pärnu lähel ja Pakril vastavalt 30 ja 20 päeva (joonis 9). Kõige väiksem jääpäevade arvu vähenemine on toimunud Kundas (lisa 7). Jääpäevade arvu vähenemine on kooskõlas ka jää hilisema tekke ja varasema lagunemisega.



Joonis 9. Jääpäevade arvu pikaajaline muutlikus Pärnus, Pakris ja Heltermaal perioodil 1950/51-2004/05.



Joonis 10. Jää maksimaalse paksuse pikaajaline muutlikkus Pärnu ja Narva lahe näitel perioodil 1950/51-2004/05

Maksimaalse jää paksuse analüüsil selgus, et jää paksus on samuti vähenenud, Heltermaal ja Pärnus kõige rohkem - vastavalt 15,9 cm ja 15 cm, Kundas ja Narva-Jõesuus vastavalt 15 cm ja 13 cm. (joonis 10). See võib olla tingitud mõõdukate ja soojade talvede osakaalu suurenemisest ja õhutemperatuuri tõusust vaatlusperioodil. Nagu oli juba mainitud, temperatuur on Eestis statistiliselt usaldusväärsel tasemel tõusnud eelkõige kevadel – märtsis, aprillis ja ka mais. Kõige suuremad õhutemperatuuri kõikumised on talvel kuni 1,4°C (Punning, 1996). Jaaguse (2003) andmeil on samuti märgatav olnud eriti talvise poolaasta soojenemine 1,4°C. Külmi ja karme talvi on kokku sel perioodil olnud vaid 14.

Autori poolt kirjeldatud muutused Eesti rannikumere jääoludes perioodil 1950/51-2004/05 on sarnased Jaaguse (2003) tähelepanekutega, kes on uurinud sama teemat sarnase perioodi jooksul (52 talve ajavahemikus 1949/1950-2000/2001). Nii Jaaguse kui ka käesoleva töö andmetel toimub jäänähte alguse oluline nihkumine hilisemale ajale ja jää lagunemise nihkumine varasemale ajale. Jääpäevade arv on vähenenud nii autori kui ka Jaaguse andmeil, kuigi tulemuste erinevus on ühest päevast (Narva-Jõesuu) kuni 25 päeva (Pakri).

Töö autori ja Jaaguse poolt saadud tulemused erinevad jäänähte lõpu varasemale nihkumise poolest vaid paar päeva võrra kõikides jaamades. Jäätেকে puhul on see erinevus 4 päeva Pärnu lahel.

Väikesed erinevused käesoleva magistritöö ja Jaaguse saadud tulemuste vahel on tingitud sellest, et kumbki on vaadelnud erinevat perioodi. Nimelt, töö autori ajavahemik hõlmab ka juba XXI sajandi algusaastaid (periood lõpeb mõõdukate talvedega), Jaagusel aga täpselt XX sajandi II poolt (periood lõpeb soojade talvedega).

Paraku on iga aasta jääolud ainulaadsed ja seetõttu ei võimalda keskmine arvandmestik ennustada tulevasi jääolusid kuigi täpselt ja usaldusväärselt. Keskmise talvega on jääolud Eesti rannikul võrdlemisi kerged võrreldes Soome lahe idaosaga. Põhjus peitub siin Soome lahe vee talvises ringluses, mille kohaselt Läänemere avaosast pärit soojem ning soolasem vesi liigub piki Eesti rannikut itta ja külmem ning magedam vesi mööda Soome lõunarannikut läände. Soome lahes muutuvad jääolud raskemaks Kundast idas. Jää teke algab varem Soome lahe idaosast liikudes järjest enam lääneosa poole. See on tingitud eelkõige soolsuse suurenemisest idast läände, kui ka Läänemere avamere hoovuste suuremast mõjust Soome lahe idaosale. Jääolusid mõjutab kindlasti ka rannajoone liigestatus.

4.5 JÄÄREŽIIMI SEOS ÕHUTEMPERATUURIGA

Õhutemperatuur on üks peamisi jäänähteid mõjutav meteoroloogiline parameeter. Seepärast on samuti oluline analüüsida õhutemperatuuri aegriidade trende, mille tulemused on esitatud tabelis 11 ja 12. Seal on toodud keskvärtused ja muutused trendi järgi nii külmaperioodi alguskuupäeva ehk ööpäeva keskmise õhutemperatuuri püsiva alla 0°C laskumise kuupäeva kui ka külmaperioodi lõpu ehk üle 0°C tõusmise kuupäeva kohta. Oluline erinevus tabelist 5 on selles, et õhutemperatuuride trendid on palju sarnasemad jaamade vahel, s.t. et ei ole suurt ruumilist erinevust temperatuuride varieeruvuses. Õhutemperatuuri kujundavad palju enam üldised kliimategurid, eriti atmosfääri tsirkulatsioon, samas kui mere jäätumine oleneb paljuski kohalikest looduslikest oludest.

Tabel 11. Õhutemperatuuri alla 0°C laskumise ja üle 0°C tõusmise kuupäevade keskvärtused ja muutused trendi järgi perioodil 1950/1951–2004/2005. Olulised trendid $P < 0.05$ nivool on jämedas kirjas.

Jaam	Külmaperioodi algus		Külmaperioodi lõpp	
	Keskmine	Muutus trendi järgi	Keskmine	Muutus trendi järgi
Kunda	30-Nov	-5.1	20-Mar	-18.9
Pakri	7-Dec	-1.3	17-Mar	-30.1
Pärnu	3-Dec	1.9	20-Mar	-30.8
Kihnu	17-Dec	6.3	19-Mar	-23.1
Ristna	27-Dec	1.9	9-Mar	-38.3
Sõrve	24-Dec	1.3	10-Mar	-38.6

Külmaperioodi algus ei ole muutunud 55 aasta jooksul. Külmaperioodi lõpp aga on nihkunud oluliselt varasemale ajale kõikide jaamade puhul. Kõige suurem muutus (rohkem kui üks kuu) on toimunud Lääne-Eesti piirkondades Läänemere rannikul. Väiksem muutus on toimunud Soome lahe rannikul (Kundas). Külmaperioodi kestus on vähehenud 2-6 nädala võrra, kusjuures ainult Pärnus, Ristnas ja Sõrves on see toimunud statistiliselt usaldusväärsel tasemel.

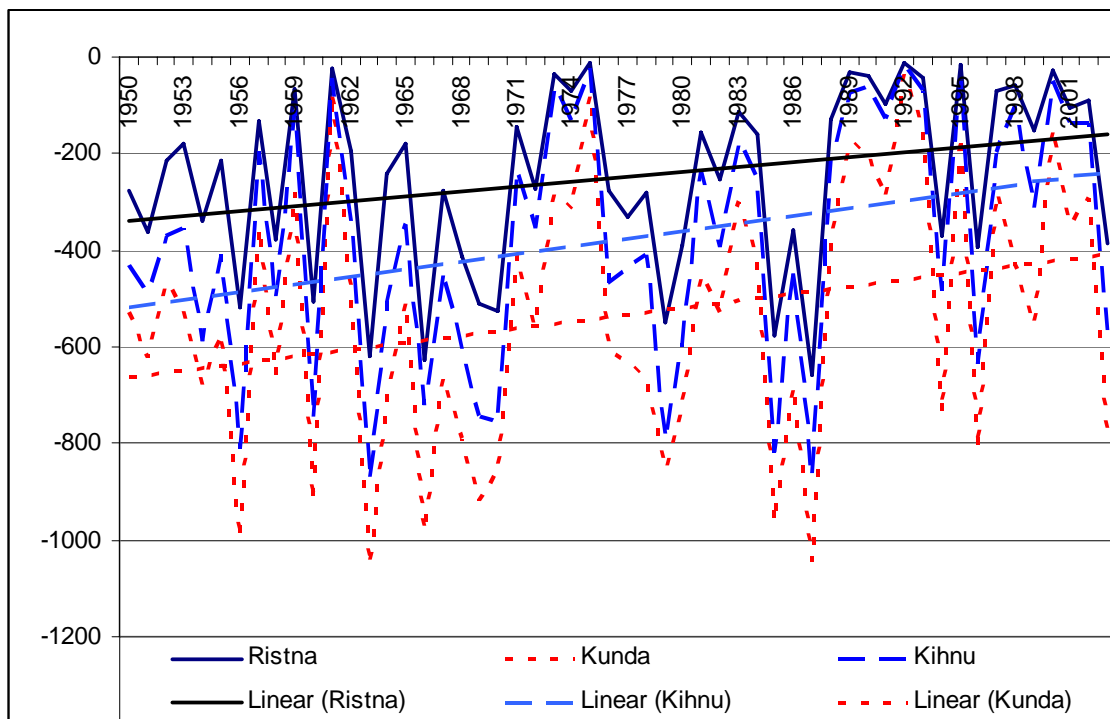
Ööpäeva keskmiste negatiivsete temperatuuride summa ehk külmasumma on talve karmuse kõige olulisem näitaja. See on heas kooskõlas merejääga ning tema aastatevaheline varieeruvus on ekstreemselt suur. Külmasumma peab olema küllaldane veemassi külmumispunktini jahutamiseks, arvestades et mere soojasisaldus võib sügisest sügisesse

küllalt palju kõikuda. Kuigi külmasummadest sõltub otseselt mereosa jääsus, ei ole see ainus faktor. Näiteks Kunda ja Pärnu külmasummad on keskel läbi vaid veidi suuremad kui teistes piirkondades (tabel 12). See avaldub küll Kunda ja Pärnu lahe suuremas jääsuses võrrelduna näiteks Paldiski lahega, kuid suuremat jääsust ja pikemat jääperioodi põhjustab seal veel asend tugevasti liigestatud rannikumere osas, kus madalama vee tõttu meri jahtub kiiremini ja mis on jääteket takistava suure lainetuse suhtes rohkem varjatud.

Mõõdukatel talvedel võib külmasumma olla väiksem kui sada kraadi, karmitel talvedel aga ületada isegi tuhandet kraadi. Külmasumma on peaaegu kaks korda vähenenud uuritava perioodi jooksul Eesti rannikumerel, mis on statistiliselt usaldusväärset nivoole kõikides jaamades (joonis 11).

Tabel 12. Õhutemperatuuri keskmised väärtused ja muutused trendi järgi külmal aastaajal perioodil 1950/1951–2004/2005. Olulised trendid $P < 0.05$ nivoole on jämedas kirjas.

Jaam	Külma perioodi kestus		Külma summa	
	Keskmine	Muutus trendi järgi	Keskmine	Muutus trendi järgi
Kunda	109	-13.8	-536	282
Pakri	100	-28.8	-401	244
Pärnu	106	-32.7	-486	322
Kihnu	92	-29.4	-376	285
Ristna	73	-40.2	-249	179
Sõrve	76	-39.9	-258	209



Joonis 11. Külmasumma Kundas, Kihnus ja Ristnas perioodil 1950/51-2004/05

4.6. JÄÄREŽIIMI SEOS ATMOSFÄÄRI TSIRKULATSIOONIGA

Õhutemperatuuri tõus Eesti talvisel ajal on põhjustanud muutustest atmosfääri tsirkulatsioonis (Jaagus, 2006). Peamiseks muutuseks on olnud see, et läänevool, mis kannab talvisel ajal sooja niisket õhku Põhja-Atlandilt mandri kohale, on läinud oluliselt tugevamaks. Läänevoolu intensiivsust väljendatakse tavaliselt Põhja-Atlandi ostsillatsiooni ehk NAO indeksiga. See leitakse standardiseeritud õhurõhkude vahena Assoori maksimumi ja islandi miinimumi vahel. Erinevate autorite poolt on koostatud erinevaid NAO indekseid. Käesolevas töös on kasutatud sellist, mis on rehkendatud Gibraltari ja Stykkisholmuri andmetel (Jones et al., 1997).

Jäänähte korrelatsioon talvise NAO indeksiga (tabel 13) näitas, et tugevam seos esineb jää täieliku lagunemise kuupäevaga, millele juhtis tähelepanu oma töös ka Jevrejeva (2002). See on küllatki loogiline, kuna teiste jäänähte korral on kohalike tingimuste (tuul, eksponeeritus jne) osakaal väga suur ja varjutab suuremõõtmeliste protsesside mõju.

Tabel 13. NAO indeksi ning esimese jää tekke ja jää täieliku lagunemise korrelatsioon
($p < 0,05$)

Jaam	Jääteke	Jää lagunemine
N-Jõesuu	0,004	-0,59
Kunda	-0,14	-0,55
Pakri	0,20	-0,57
Heltermaa	0,25	-0,72
Ristna	0,07	-0,42
Pärnu	-0,001	-0,66
Kihnu	0,22	-0,60
Sõrve	0,14	-0,71

Läänevoolu intensiivistumise tagajärjel muutub meie ilmastik soojemaks ja ebapüsivamaks. Koos selle muutusega on Eestis talvel intensiivistunud tsüklonaalne tegevus, keskmine õhurõhk langenud, tormituuled sagenenud, sademete hulk suurenenud, lumikatte kestus ja jääkatte ulatus vähenenud jne.

5. KOKKUVÕTE

20. sajandil on aset leidnud märkimisväärsed kliimamuutused nii kogu maakeral kui ka Eestis. Peamiseks muutuseks on olnud õhutemperatuuri tõus, millega on otseselt või kaudsemalt seotud ka kõikide teiste kliimanäitajate muutused. Ka käesolev jääkatte dünaamika analüüs näitab, et möödunud sajandi teisel poolel on jää teke hilisemale ajale ja jää lagunemine varasemale ajale nihkunud. Jää formeerub keskmiselt ajavahemikul novembri II ja III dekaadist (Kunda ja Pärnu) kuni detsembri lõpuni. Soome lahe läänepoolses osas algab jää teke hiljem – jaanuari algul (Pakri). Kinnisjää moodustub tavaliselt detsembri lõpust jaanuari lõpuni ja laguneb aprilli alguses. Kinnisjää tekib igal talvel ainult Pärnus. Teistes jaamades, eriti avamere rannikul ei tekkinud kinnisjää ligi pooltel talvedel, kusjuures suurem hulk kinnisjääta talvesid on esinenud alates 1990-ndate aastate algusest.

Jää lõplik lagunemine leiab aset keskmiselt aprilli esimesel-teisel dekaadil. Ainult Pärnus toimub see aprilli kolmandal dekaadil. Kinnisjää all on kõige pikemalt Pärnu, Narva-Jõesuu ja Kunda.

Kliima soojenemine on praegu üldlevinud protsess maailmas ja Läänemere piirkonnas. See mõjutab otseselt meie kliimat ja just meie talveilmastikku. Statistiliselt usaldusväärsel nivool on jääteke hilisemale ajale nihkunud Heltermaal, Kihnus ja Pärnus (vastavalt 41, 37 ja 20 päeva võrra) ning jää kadumine on 20-32 päeva võrra varasemale ajale nihkunud. Jää kadumine on statistiliselt olulisel määral varasemaks muutunud kõikides jaamades. Selle tulemusena on jääperioodi pikkus vähenenud märgatavalt, 1-2 kuu võrra. Kuid ei saa kindlalt arvata, et selline tendents võiks jätkuda, sest paar külma talve lisandumist võib muuta eelnevalt usaldusväärseid trende olematuks.

Atmosfääri tsirkulatsiooni muutused on Eestis põhjustanud õhutemperatuuri tõusu talvisel ajal. Koos selle muutusega on talvel jääpäevade kestus vähenenud. Eriti soojad talved esinesid mitmel aastal järjest: 1988/89 ja 1989/90 ning 1991/92 ja 1992/93. Edasi on aga toimunud talviste ilmastikutingimuste teatav stabiliseerumine: on esinenud nii mõõdukaid kui ka külmi talvi, kuid võrreldes varasema ajaga (ennem 1988/89. talve) on soojasid talvesid esinenud rohkem. Kõige karmimaks talveks 55-aastase perioodi kestel oli 1962/63. aasta talv. Kõige soojem oli 1991/92. aasta talv, kui jää tekkis vaid Pärnu, Narva ja Kunda lähel.

Selliste suundumuste puhul tuleb siiski olla ettevaatlik ning mitte teha ennatlikke järeldusi. Regressioonianalüüsi tulemused sõltuvad perioodi valikust. Kui analüüsitava

ajavahemiku algusaastateks valida soe periood, siis on talved soojenemine suhteliselt väike. Kui aga valida alguseks karm talv, siis saadakse äärmiselt tugev soojenemise trend.

Kuna talveperioodil on Eesti ilmastikutingimused väga muutlikud, siis ei saa käesolevas magistritöös toodud tulemusi võtta kui tõesti toimuvat tendentsi. Juba paari-kolme väga külma talve lisandumist võib paljud eelnevalt eristatud usaldusväärsetest trendidest olematuks muuta. Sarnane tendents esines üle poole sajandi tagasi. Kuni 1930-ndate aastate lõpuni toimus selgelt märgatav kliima soojenemine. Sellele järgnes aga kolm väga karmi talve, viimasena 1941/42. aasta sajandi pakaseliseima talvega. Ajalugu võib korduda, kuid võib ka juhtuda, et uutes kliimatingimustes seda enam ei toimu. Muutused on siiski enamasti ikka lainelise iseloomuga, kus tõusudele järgnevad langused. Kuna ilmastikutingimused on väga muutliku iseloomuga, siis hinnangud kliima edaspidisest kiirest soojenemisest ei pruugi kuigivõrd paikapidavad olla.

KASUTATUD KIRJANDUS

- Aasa, A., Ahas, R., Jaagus, J. 2002. Eesti asub kliimamuutuste keskmes. Eesti Loodus, **11**, 6-13.
- Astok, V. 1963. Jäävaatlused hüdrometeoroloogilistel merepostidel. Eesti NSV Hüdrometeoroloogilise Teenistuse Valitsus, Tallinn, 7-12.
- Astok, V., Mardiste, H. 1995. Nüüdismeri. Rmt.: Eesti Loodus (Raukas, A. koost.). Valgus, Eesti Entsüklopeediakirjastus, Tallinn, 228-237.
- Balling, R. C., Vose, R. S., Weber G. 1998. Analysis of long-term European temperature records: 1751-1995. Climate Research, **10**, 193-200.
- Climatological Ice Atlas for the Baltic Sea, Kattegat, Skagerrak and Lake Vänern (1963-1979). 1982. SMHI, Norrköping, 9-217.
- Eichwald, E. 1849. Zweuter Nachtrag zur Infusorienkunde Russlands. Bulletin de la Société Impériale des Naturalistes de Moscou. **2**, 400-548. (Mardiste, 1995)
- Frish, K. 1924. Die Eisverhältnisse der Revaler Reede und ihre Beziehungen zur Lufttemperatur und Wassertemperatur der Ostsee. Rmt.: Loodusuurijate Seltsi aruanded, **31**, 1-16.
- Frish, K. 1933. Average distribution of ice along the coast of Estonia. 4th Hydrological Conference of the Baltic States. Leningrad.
- Haapala, J., Leppäranta, M. 1997. The Baltic Sea ice season in changing climate. Boreal Environment Research, **2**, 93-108.
- Helmersen, G. 1856. Ueber das langsame Emporsteigen der Ufer des Baltischen Meeres und die Wirkung der Wellen und des Eises auf dieselben. Bulletin de la classe physico-mathématique de l'Académie Impériale des Sciences de St.-Pétersbourg. St. Pbg., **1**, 193-212. (Mardiste, 1995)
- Jaagus, J. 1996. Climatic trends in Estonia during the period of instrumental observations and climate change scenarios. Publications of Institute of Ecology, **4**, Tallinn, 35-48.
- Jaagus, J. 1999. Uusi andmeid Eesti kliimast. Rmt.: Uurimusi Eesti kliimast. Publicationes Instituti Geographici Universitatis Tartuensis 85 (Jaagus, J. toim). TÜ Kirjastuse trükikoda, Tartu, 28-38.
- Jaagus, J. 2003. Muutused Eesti rannikumere jääoludes 20. sajandi teisel poolel. Rmt.: Uurimusi Eesti kliimast. Publicationes Instituti Geographici Universitatis Tartuensis 93 (Jaagus, J. toim). TÜ Kirjastuse trükikoda, Tartu, 143-152.

- Jaagus, J. 2006. Climatic changes in Estonia during the second half of the 20th century in relationship with changes in large-scale atmospheric circulation. Theoretical and Applied Climatology, Austria.
- Jevrejeva, S. 2000. Long term variability of sea ice and air temperature conditions along the Estonian coast. *Geophysica*, **36**, 17-30.
- Jevrejeva, S., Leppäranta, M. 2001. Ice conditions along the Estonian coast in a statistical view. *Nordic Hydrology*, **2**, 214-262.
- Jevrejeva, S. 2002. Influence of large-scale atmospheric patterns on the ice conditions in the Baltic Sea. *Pedagogical University of Tallinn Dissertations on Natural Sciences*, **5**, 7-13, 109-116.
- Jones, P., T. Jonsson, D. Wheeler, 1997. Extension to the North Atlantic Oscillation using early instrumental pressure observations from Gibraltar and South-West Iceland. *International Journal of Climatology*, **17**, 1433-1450
- Järvet, A. 1999. Võrtsjärve jäärežiimi ja selle pikaajalised muutused. Rmt.: Uurimusi Eesti kliimast. *Publicationes Instituti Geographici Universitatis Tartuensis* 93 (Jaagus, J. toim.). TÜ Kirjastuse trükikoda, Tartu, 171-178.
- Kadai, E. 1992. Tallinna Hüdrometeoroloogiaobservaatoriumi ajaloo. Rmt.: Teaduse ajaloo lehekülgi Eestist (Mürk, H. toim.). Valgus, Tallinn, **8**, 123-148.
- Kiviste, A. 1999. Matemaatiline statistika MS Excel keskkonnas. GT Tarkvara OÜ, Tallinn, 47-69.
- Koslowski, G., Loewe, P. 1994. The Western Baltic Sea ice seasons in terms of a mass-related severity index 1879-1992. *Tellus*, **46A**, 66-74.
- Kurrik, W. 1922. Eesti sadamate jääolud. *Laevandus*, **11**, 291-292.
- Leinonen, M., Dahlström, H., Nyberg, T. 1992. Läänemeri. Otava, Helsinki.
- Leppäranta, M., Seinä, A. 1985. Freezing, maximum annual ice thickness and break-up of ice on the Finnish coast during 1830-1984. *Geophysica*, **21**, 87-104.
- Lutt, J., Raukas, A. 1993. Eesti šelfi geoloogia. Eesti Teaduste Akadeemia, Tallinn, 29-103.
- Manual on the global observing system. 1980. Volume I. Global aspects. Annex V to the WMO Technical Regulations. No. 544. Switzerland, Geneva, 1-7.
- Mardiste, H. 1995. Eestit piirava mere hüdrooloogilise uurimise ajalugu. Rmt.: Teaduse ajaloo lehekülgi Eestist (Kaavere, V., Kongo, L., Tammiksaar, E. toim.). Teaduste Akadeemia Kirjastus, Tallinn, **11**, 58-78.
- Mardiste, H. 1997. Kuidas Läänemeresel tekib ja kaob jää. *Eesti Loodus*, **4**, 168-170.

- Mardiste, H. 1999. Eesti rannikumere hüdroloogiline uurimine aastail 1918-1940. Rmt.: Eesti Geograafia Seltsi Aastaraamat (Mardiste, H. toim.). Teaduste Akadeemia Kirjastus, Tallinn, **32**, 80-90.
- Marmor, T., Jaani, A. 1993. Läänemere jäärežiimist. EMHI, Tallinn, 5-15
- Merejää esinemisvormid ja dünaamika Liivi lahes. 1998. Mereuurimise Arenduskeskus, Tallinn, 1-20.
- Mey, J. 1922. Baltimere hüdrograafia. Laevandus, **7**, 179-182; **8**, 210-212; **9**, 246-248; **11**, 293-294; **12**, 317-320; 1923, **1**, 7-9.
- Mey, J. 1924. Lühike ajaloolik ülevaade hüdrograafilisest meremõõtmisest Eestis ja mis sel alal Eesti iseseisvuse ajal tehtud. Topo-Hüdrograafia Aastaraamat. Tallinn, 1924, 44-65.
- Niklus, I., Russak, V. 2003. Päikesekiirguse vootiheduste suhe kui atmosfääri läbipaistvuse indikaator. Rmt.: Uurimusi Eesti kliimast. Publicationes Instituti Geographici Universitatis Tartuensis 93 (Jaagus, J. toim). TÜ Kirjastuse trükikoda, Tartu, 288.
- Peterson, U., Aunap, R., Mardiste, H. 1998. Talvised jääolud rannikumerel. Eesti Loodus, **2**, 84-86.
- Punning, J.-M. 1996. Estonia in the system of global climate change. Ökoloogia Instituudi Publikatsioonid, Tallinn., **4**, 39.
- Raukas, A., Rõuk, A.-M. 1995. Põhja-Eesti paekallas. Eesti Loodus (Raukas, A. koost.). Valgus, Eesti Entsüklopeediakirjastus, Tallinn, 133.
- Sass, A. F. v. 1866. Untersuchungen über die Eisbedeckung des Meeres an den Küsten der Inseln Ösel und Moon. Bulletin de l'Académie Impériale des Sciences de St.-Pétersbourg. St. Pbg., **9**, 145-188. (Mardiste, 1995)
- Seinä, A., Palusuo, E. 1996. The classification of the maximum annual extent of ice cover in the Baltic Sea 1720-1995. Meri. Report Series of the Finnish Institute of Marine Research, 27. Hakapaino Oy, Helsinki, 10-22.
- Sjöberg, B. 1992. Sea and coast. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, 16-39.
- Sztobryn, M. 1994. Long term changes in ice conditions at the Polish coast of the Baltic Sea. Proc. IAHR Ice Symposium, Norwegian Institute of Technology, Norway, 345-354.
- Tarand, A. 1992. Meteoroloogilised vaatlused Eestis enne 1850. aastat. Rmt.: Teaduse ajaloo lehekülgi Eestist (Mürk, H. toim). Valgus, Tallinn, **8**, 30-47.
- Tarand, A. 1993. The Tallinn time series of ice break-up as climate indicator. Report series in Geophysics University of Helsinki, **27**, 91-93.

- Tarand, A. 1998. Country case study on climate change impacts and adaption assessments in the Republic of Estonia. Ministry of the Environment Republic of Estonia, SEI, Tallinn, 17.
- Tehver, G., 1999. Talve ja kevade ilmastikutüübid Eestis ning nende vaheline seos. Publicationes Instituti Geographici Universitatis Tartuensis, 85, 74-84.
- Tooming, H., Keevallik, S. 2001. Relationships among the ice extent on the Baltic Sea, the snow cover in surrounding areas, and the temperature. Third Study Conference on BALTEX, 2-6 July 2001, Conference Proceedings. International BALTEX Secretariat, Publications, **20**, 229-330.
- Tooming, H. 2003. Talve ja kevade seosed Eesti kliimas. Rmt.: Uurimusi Eesti kliimast. Publicationes Instituti Geographici Universitatis Tartuensis 93 (Jaagus, J. toim). TÜ Kirjastuse trükikoda, Tartu, 129-142.
- Vahter, R. 1994. Tallinna ja Muuga lahe jääolud. Rmt.: Eesti Geograafia Seltsi Aastaraamat (Mardiste, H., Merikalju, L., Punning, J.-M., Roosaare, J.). Teaduste Akadeemia Kirjastus, Tallinn, **26**, 19-30.
- Vainio, J., Seinä, A., Backman, P. 2002. Sea Ice Nomenclature English-Finnish-Swedish-Estonian-Russian. Finnish Maritime Administration, Helsinki, **5**, 17-46.
- Varep, E., 1958. Eesti rannikumerede hüdrograafilise uurimise ajaloost (kuni 1917. aastani). TRÜ Toimetised, **46**, 85-100.
- Varep, E., 1960. Jooni Eesti kartograafia ajaloost. Eesti Geograafia Seltsi Publikatsioonid, **1**, 46.
- Webermann, E., 1922. Jää-olud Tallinna reidil. Laevandus, **1**, 5-8.
- Бетин, В. В. 1957. Ледовые условия в районе Балтийского моря и на подходах к нему и их многолетние изменения. Труды ГОИНа, **41**, 54-125.
- Зверев, А. 1961. Морские гидрологические прогнозы. Издательство Морской транспорт, Ленинград, 20-27.
- Зубов, Н. Н. 1947. Динамическая океанология. Москва–Ленинград, 10-11.
- Кудрявая, К. 1951. Морские гидрологические прогнозы. Гидрометеоздат, 15-30.
- Моря СССР. Балтийское море. 1992. Гидрометеоздат, Санкт-Петербург, 320-329.
- Некрасов Г. А. 1984. Внешняя торговля России через Ревельский порт в 1721-1756 гг. М., 272.
- Пасторс, А. 1965. Ледовитость Рижского залива. Управление Гидрометслужбы Латвийской ССР, Рига.

- Рудовиц, Л. 1917. О колебаниях уровня Балтийского моря. Записки по гидрографии, **41**, 155-230, 383-430, 619-696. (Mardiste, 1995)
- Рыкачев, М. 1886. Вскрытие и замерзание вод в Российской Империи. СПб. (Mardiste, 1995)
- Справочник по климату ССР, выпуск 4, Эстонская ССР. История и физико-географическое описание гидрометеорологических станций и постов, 1965, Таллинн
- Тейлор, Дж. 1985. Введение в теорию ошибок. Мир, Москва, 254.
- Шереметевская, О. И. 1984. Прогноз пространственного распределения сроков очищения ото льда северо-западных морей. Труды ГМЦ СССР, вып. 263, 91-99.
- Шпиндлер И., 1893. *Наблюдения над вскрытием и замерзанием морей у берегов России.* Записки по гидрографии, СПб., вып. 14, 1-44. (Mardiste, 1995)
- FIMR, <http://www2.fimr.fi/fi/palvelut/jaapalvelu/jaatalvi.html> (01.12.2005).

TIME SPATIAL VARIABILITY IN ICE CONDITIONS ALONG THE ESTONIAN COAST DURING THE PERIOD 1950/51-2004/05

Jekaterina Sooäär

Summary

The aim of this paper is to investigate the evolution of ice conditions along the Estonian coast during the period 1950/51-2004/05. Also to find connections between ice phases and air temperature.

Time series of date of freezing, break-up, number of days with ice and maximum ice thickness from the Estonian Meteorological and Hydrological Institute were used to analyse ice conditions along the Estonian coast and its changes. The regular observations about ice regime in Estonia were started in 1835 (Pärnu) and thickness measurement in 1894 (Kihnu). The data sets from stations Pärnu, Kihnu, Sõrve, Ristna, Heltermaa, Pakri, Kunda and Narva-Jõesuu cover the period from 1950 till 2005.

The data were analysed by descriptive statistics (average, standard deviation, maximum and minimum). By regression analysis statistically significant trends in time series of date of freezing, number of days with ice, date of ice break-up and air temperature were found. The first and the last changes are very essential to characterise the ice regime in the coastal areas of the Baltic Sea.

Trends in sea ice on the coastal regions of Estonia during 1950/51–2004/05 are quite different. They depend very much on the local conditions. The date of the first appearance of sea ice has shifted later in all stations besides Pakri, where it shifted 2 days earlier.

The most important changes in sea ice regime near the Estonian coast during the second half of the 20th century have taken place in the end of winter and in spring. The date of final disappearance of sea ice has moved significantly earlier in all stations. The most remarkable change, more than one month during the study period, has occurred on the westernmost

stations, on the coast of the open sea. On the coast of the inland seas, this change is a bit lower and on the coast of Finland it has been the lowest. During mild winters the Baltic Proper is not covered by ice. On its coasts sea ice disappears quickly or has not formed at all.

The total number of days with sea ice has also decreased remarkably during the study period. Decrease of days with sea ice by 48 days in Heltermaa is the most substantial change.

Changes in air temperature reflect very much on changes in sea ice. While the beginning date of the cold period has not changed, its end date has significantly shifted earlier in all stations. Nowadays, daily mean air temperature crosses 0°C approximately one month earlier than a half of century ago. It is one of the main reasons causing earlier disappearance of sea ice. This peculiarity reflects on earlier disappearance of sea ice in those stations. Sum of negative degree-days has decreased dramatically in all stations. According to the linear trend, it has decreased twice during 1950/51–2004/05. It is the second and, probably the most important reason causing earlier disappearance of sea ice. The duration of sea ice (the number of days with sea ice) is determined by the amount of cold air collected during the whole winter.

Despite the fact that for the last 18 years mild and very mild winters prevailed it is rather wrong to make conclusion that this warm period will proceed. It's known that similar warm periods had happened earlier, e.g. in 1930s was a period of very mild winters but it was followed by the period of very cold winters.

LISAD

Название станции Вормский маяк
1895 годъ.
Мѣсяцъ Февраль
Число по стар. ст. 1 Марта
нов. ст. 13

СВѢДѢНІЯ О СОСТОЯНІИ ЛЬДА.

1. Когда показался ледъ?
Наносный ли ледъ или образовался на мѣстѣ?
Состояніе погоды при появленіи льда?
2. Замерзло ли море и когда?
Все ли видимое пространство замерзло или только часть и на какомъ разстояніи приблизительно?
3. Если море очищалось въ теченіи мѣсяца отъ льда, то когда именно, на какомъ разстояніи и при какомъ состояніи погоды?
Когда появился ледъ вновь и при какой погодѣ?
4. Есть ли сообщеніе по льду и между какими пунктами?
Какая толщина льда?
5. Когда море окончательно очистилось отъ льда и при какой погодѣ?

Ледъ показале $\frac{1}{13}$ февраля...
Образовался на мѣстѣ при утренней и
и температур — 11°.

Море замерзло $\frac{2}{17}$ февраля на 15 вѣрстъ от
маяка приблизительно.

Между Вормской и Ганскампъ Гейтхорной
Рогей и Вормск от Гейтхорной о. Догг. —
Толщина льда 4 дюйма.

Смотритель маяка В. Вормский

Отвѣты на предложенные вопросы должны быть записываемы своевременно.
Числа мѣсяцевъ давать по старому и по новому стилю напр. если море замерзло
1 Января по старому стилю, то написать $\frac{1}{18}$ Января.

Lisa 2. Läänemerel kasutatavad jääteterminid.

Eestikeelne termin	Inglisekeelne termin	Iseloomustus
1. Jää areng	Development	Vastavalt jää arengule eristatakse 4 jää liiki ehk arengustaadiumi (jää algliigid, niilas, noor jää ja valgejää ehk kinnisjää).
<i>1.1 Jää algliigid</i>	<i>New ice</i>	Veepinnal külma õhuga kokkupuutel tekkinud üksikute jääkristallide kiht, kusjuures jääkristallid on omavahel veel sidumata või nõrgalt seotud.
1.1.1 Rasvjää	<i>Grease ice</i>	Jää algliik, mis moodustunud jääkristallide edasisel külmumisel ja liitumisel muutub ühtlaseks massiks, kusjuures veepinnale tekib hallika värvusega, veel mitte tahke, matt kiht.
1.1.2 Lobjak	<i>Slush</i>	Jahtunud vette sadanud lumest moodustunud sitke mass.
<i>1.2 Niilas</i>	<i>Nilas</i>	Jää algliikide edasise arengu tagajärjel (külmumisel) tekkinud kuni 10 cm paksune jää.
1.2.1 Tume niilas	<i>Dark nilas</i>	Kuni 5 cm paksune, tumehall valkjate vöötidega matt jääkiht merepinnal. Lainetel paindub ja surutise korral kihistub.
1.2.2 Hele niilas	<i>Light nilas</i>	5-10 cm paksune läbipaistmatu, hallikas matt jääkiht. Lainetel paindub ja surutise korral kihistub jää.
<i>1.3 Noor jää</i>	<i>Young ice</i>	Niilasest edasisel külmumisel tekkinud jääkiht, paksusega 10-30 cm.
1.3.1 Halljää	<i>Grey ice</i>	10-15 cm paksune, lainetel murdub ja surutisel kihistub hall jääkiht.
1.3.2 Hallvalge jää	<i>Grey-white ice</i>	15-30 cm paksune, surutisel pigem rüüstuv kui kihistuv helehalli varjundiga jääkiht.
1.4 Kinnisjää ehk valge jää	<i>Fast ice</i>	Kinnisjää on liikumatu jää põhiline esinemisvorm, mis on püsivalt rannale või madalikele kinnitunud jääkate. Moodustub merevee külmumisel või ranna äärde kokkusurutud ja külmunud jääst. Kinnisjää võib ulatuda mererannast mõne meetri kuni mitmesaja kilomeetri kaugusele avamerele. 30 cm kuni 2 m paksune jääkate merel. Parasvöötme meredes on valge jää merejää viimaseks arengustaadiumiks, mille jooksul jääkate võib kasvada kuni 1,0-1,5 meetri paksuseks.
2 Jää tihedus	Concentration	Näitab jääd moodustavate jäävormide paiknemise tihedust vaadeldaval akvatooriumil kümnetes protsentides, st. vaba vee ja jää pindala suhet. Väljendatakse 0-10 palli süsteemis: 0-1 - jääd ei ole või on meres üksikud jäätükid; 10 - vaadeldaval akvatooriumil (mis võib olla osa nähtavast akvatooriumist) on jäätükid surutud üksteise vastu.
2.1 Väga tihe jää	<i>Very close pack ice</i>	9-10-pallise tihedusega jää, kus jäätükid on omavahel kokku külmunud.
2.2 Tihe jää	<i>Close pack ice</i>	Jää tihedusga 7-8 palli, koosneb reeglina omavahel kontaktis olevatest jäätükkidest.
2.3 Hõre jää	<i>Open pack ice</i>	Jää tihedusga 4-6 palli. Jäätükid ei ole reeglina omavahel kontaktis.
2.4 Väga hõre jää	<i>Very open pack ice</i>	Jää tihedusga 1-3 palli. Vaba vett on rohkem kui jääd.
2.5 Avavesi	<i>Open water</i>	Jää tihedus on alla 1 palli, akvatooriumil on märgata üksikuid triivivaid jäätükke.
3. Jää pinnamood	Ice-surface feature	
3.1 Rüsijää	<i>Ridged ice</i>	Igasugune eraldi asetsev jäätükide kuhil, mis on tekkinud jääväljade kokkusurumisel. Korrapäratult rüsidega kaetud jää.
3.2 Sile jää	<i>Level ice</i>	Deformatsioonist mõjutamata merejää.

Lisa 3. Narva-Jõesuu meteoroloogia- ja hüdroloogiajaama merevaatluste programm 2005. aastal (EMHI fond).

Regulaarsed merevaatlused WMO juhendi järgi tähtaegadel kl 06.00, 18.00 GMT ajas.

Jrk. nr	Vaatluse liik	Vaatl. arv ööpäevas	Mõõteriist	Mõõtmiste ülesmärkimine
1.	Veeseis	2 1 kord aastas	Mõõdulatt Mareograaf Automaatjaam	Määratakse mõõdulati skaalalt (cm), seejuures keskmistatakse kolme erineva laine harja ja laine põhja näidud. Märgitakse mere kaldavaatluste päevikusse. Mehhaaniline isekirjutaja salvestab veeseisu paberlindile, millelt see loetakse 1 -tunnilise ajaintervalliga ja märgitakse merevaatluste päevikusse. Automaatne mõõteseade registreerib veeseisu 1 –tunnilise ajaintervalliga ja seejärel edastab andmed sidekanali kaudu jaama. Mõõdulati loodimine
2.	Lainetus	2*	Visuaalselt	Lainetuse kõrgus m-tes ja suund kraadides mere kaldavaatluste päevikusse
3.	Nähtavus merele	1*	Visuaalselt	Km-des mere kaldavaatluste päevikusse
4.	Vee temperatuur	2	Spetsiaalne vee termomeeter	Celsiuse kraadides mere kaldavaatluste päevikusse
5.	Jääolud (talveperioodil) – nähtavus, jää liigid, -hulk, -triiv, lahtise vee hulk, jääpaksus, rüsvalli kõrgus, lume paksus jääl	1 kord päevas*	Visuaalselt Jääpuur Jäämõõdulatt Lumelatt	Kirjeldus jäätüüpide ja ulatuse kohta kirjutatakse jäävaatluste lehele ja joonistatakse 1 kord nädalas kontuurkaardile. Jää paksust ja lume kõrgust jääl mõõdetakse vastavalt jäävaatluste eeskirjale.
6.	Operatiivse informatsiooni esitamine	2 korda ööpäevas (6, 18 GMT)		Talveperioodil vaatleb vaatlusjaam jääolusid jaama asukohast nähtaval mereakvatooriumil ja lisab vaatlustulemused hommikusele (06 GMT) meretelegrammile vastavalt koodile KN-02. Juhul kui jäävaatlusi toimetatakse peale 06 GMT vaatlusaega, saadetakse eraldi meretelegramm peale kella 7.30 GMT, mis sisaldab sel juhul ainult jääinformatsiooni.

* Vaatlusi tehakse päevaajal.

Tehniliste probleemide lahendamise puhul peab läbiviidud olema automaatjaama kalibreerimine ehk automaatjaamast saadud andmete statistiline analüüs.

Lisa 4. Jäänähetega seotud fotod



Rüsjää



Jää sulamine

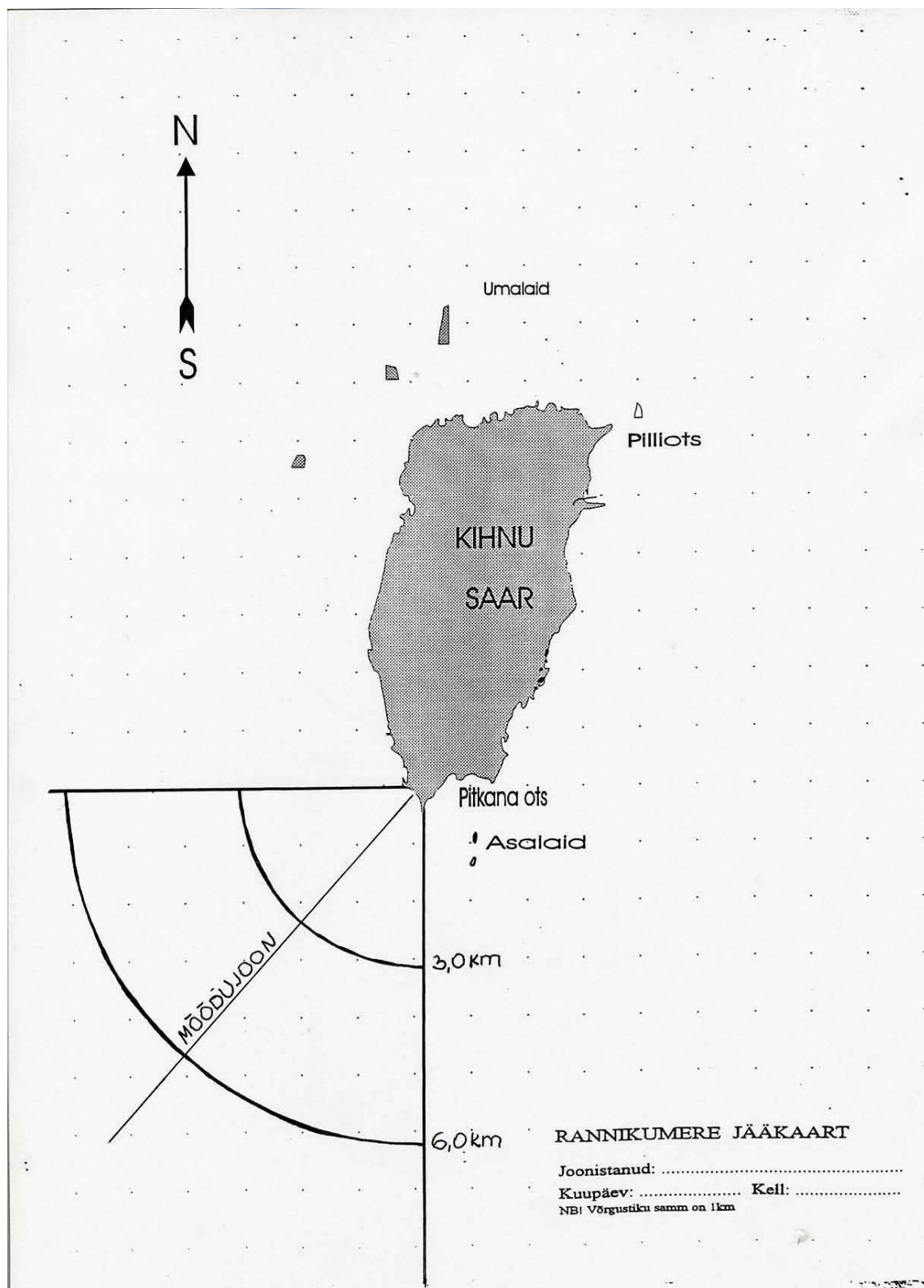


Purustatud merejää

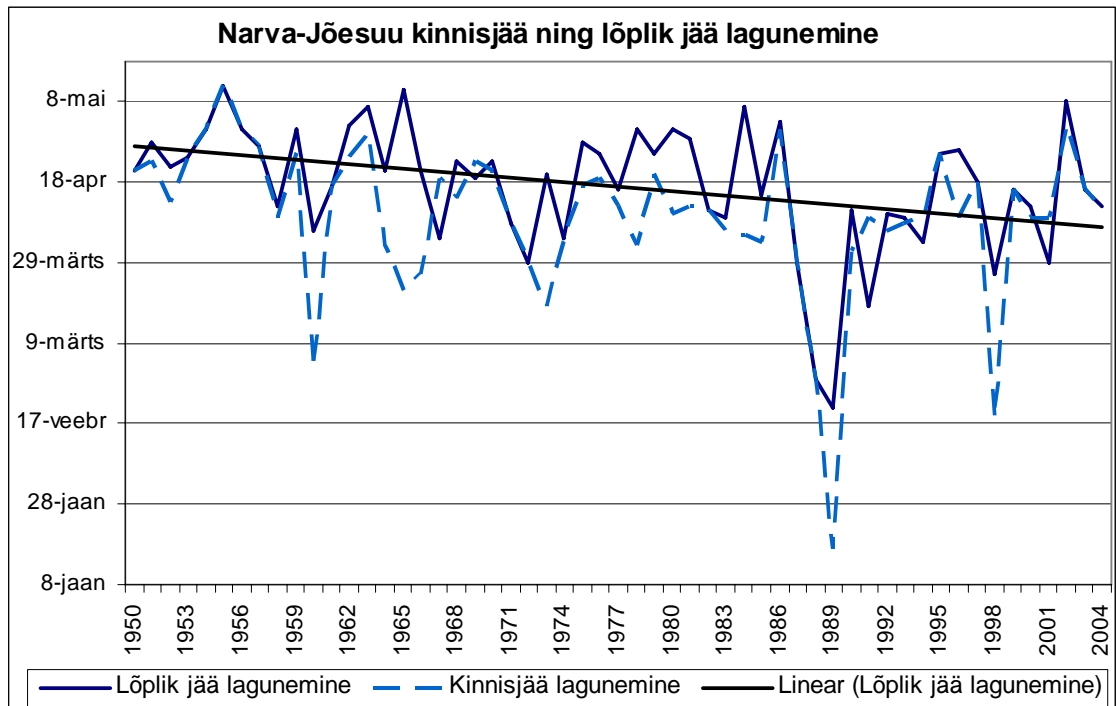


Jää sulamine

Lisa 5. Kihnu MHJ jäävaatlussektor



Lisa 6. Jää lagunemine Narva-Jõesuus



Lisa 7. Kunda jääperioodi pikkuse trend

