MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

ITÄMEREN ERIKOISOLOSUHTEET MERIVOIMIEN KANNALTA

Tutkimustyö

Kadettikersantti
Konsta Teittinen

68. Merikadettikurssi
Laivastolinja

Helmikuu 02

K668k1

MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

Kurssi	Linja
68. Merikadettikurssi	Laivastolinja
Tekijä	
Kadettikersantti Konsta Teittinen	
Tutkimustyön nimi	
Itämeren erikoisolosuhteet merivoimien kannalta	
Oppiaine, johon työ liittyy	Säilytyspaikka
Taktiikka	Merisotakoulun kirjasto
Aika Helmikuu 2002	Tekstisivuja 44 Liitesivuja 11

TIIVISTELMÄ

Itämeren olosuhteita tutkitaan varsin paljon. Olosuhteita ei kuitenkaan ole tutkittu merivoimien näkökulmasta, joten tutkimusraporteista on verrattain vähän hyötyä merivoimille.

Tämä tutkimus on luonteeltaan kuvaileva. Itämeren olosuhteista ja niiden ennustamisesta esitellään yleispiirteet. Tilastojen käyttöä havainnollistetaan esimerkein.

Tutkimuksessa vastataan kolmeen tutkimuskysymykseen: mitkä Itämeren olosuhteista vaikuttavat merivoimien toimintaan? Miten olosuhteiden esiintymistä voidaan ennustaa? Miten olosuhteiden esiintymistä voidaan arvioida tilastollisesti?

Tutkimusaineistona ovat Itämerta, merentutkimusta ja säätä käsittelevät kirjat, meri- ja ilmasto-olosuhteita käsittelevät tilastot sekä asiantuntijoiden haastattelut.

Tutkimuksessa havaittiin, että Itämeren olosuhteista merivoimien toimintaan vaikuttaa eniten jäätalvi. Seuraavina tulevat sää-, aallokko- ja tuuliolosuhteet. Ilmatieteen laitos sekä Merentutkimuslaitos laativat olosuhteista erittäin korkealaatuisia ennusteita. Osittain siksi merivoimien alusyksiköiden kyky ennustaa säätä omatoimisesti on alentunut. Tilanne olisi korjattavissa pienin toimenpitein.

Itämeren olosuhteista on tehty kattavia tilastoja. Niitä tarkastelemalla on mahdollista ajoittaa merivoimien toiminta sille suotuisimpaan ajankohtaan. Menetelmät ovat yksinkertaisia ja käyttökelpoisia. Menetelmillä voidaan arvioida sääolosuhteiden esiintymistä noin kuu-

kauden tarkkuudella. Matemaattiseen tilastotieteeseen perustuvat menetelmät soveltuvat heikosti olosuhteiden tilastolliseen tarkasteluun.

Tärkeimmät käytetyt lähteet ovat meritieteen ja meteorologian oppikirjat. Tällaisia ovat mm.: Merenkulun sääpalvelujärjestelmät 1980, Meritiede 1982 ja Sääoppi 1983. Kirjat kuuluvat Otavan julkaisemaan, merenkulkuoppilaitoksille suunnattuun, kirjasarjaan. Kirjasarja on verrattain vanha, mutta sen teoriaosat ovat edelleen käyttökelpoisia. Lisäksi tutkimuksessa on käytetty erilaisia tilastoja, joiden tulkintaa on tuettu asiantuntija haastatteluin.

AVAINSANAT

Itämeri, olosuhteet, jää, sää, aallokko,

ITÄMEREN ERIKOISOLOSUHTEET MERIVOIMIEN KANNALTA

1. JOHDANTO 2

1.1 Itämeri 2

1.2 Itämeren tutkimuksen merkitys merivoimille 3

1.3 Itämeren olosuhteiden tutkimus 3

1.4 Tutkimusraportin rakenne ja rajaukset 4

1.5 Käsitteet ja termit 5

2. MERIVOIMIEN TOIMINTAAN VAIKUTTAVAT OLOSUHTEET 7

2.1 Vesitase, fysikaaliset ja kemialliset olosuhteet 7

2.2 Jääolot 8

2.3 Säätila 10

2.4 Tuuli 11

2.5 Vedenkorkeus ja aallokko 12

2.6 Näkyvyys 15

2.7 Johtopäätökset 17

3. OLOSUHTEIDEN ENNUSTAMINEN 20

3.1 Ennusteita tuottavat laitokset 20

3.2 Ennustamismenetelmät 22

3.3 Ennustukseen ja havainnointiin käytettävät laitteet 24

3.4 Ennustaminen omien havaintojen perusteella 29

3.5 Johtopäätökset 31

4. OLOSUHTEIDEN TILASTOLLINEN ARVIOINTI 33

4.1 Olosuhteiden tilastointi 33

4.2 Tilastojen käyttö olosuhteiden arviointiin 34

4.3 Tilastojen käyttö merivoimien toiminnan suunnittelun perustana 38

4.4 Johtopäätökset 40

5. YHDISTELMÄ 43

VIITTEET 46

LÄHTEET

LIITTEET

ITÄMEREN ERIKOISOLOSUHTEET MERIVOIMIEN KANNALTA

1. JOHDANTO

1.1 Itämeri

Tutkimustehtävänä on saada vastaus kysymyksiin: Mitkä Itämeren olosuhteista vaikuttavat merivoimien toimintaan? Miten näiden olosuhteiden esiintymistä voidaan ennustaa? Miten olosuhteiden esiintymistä voidaan arvioida tilastollisesti?

Itämeri on yksi pienimmistä meristä valtamerien peittämällä maapallolla. Sen kokonaispinta-ala on 365 300 km^2, joka on kahdeksasosa Välimeren pinta-alasta. Tilavuudeltaan Itämeri on kuitenkin vain yksi kahdessadaskahdestoistaosa Välimeren tilavuudesta. Suuri ero selittyy sillä, että Itämeri on ns. mannerten sisäinen välimeri, jonka keskisyvyys on vaatimattomat 60m, kun Välimeri puolestaan on ns. mannerten välinen välimeri, jonka keskisyvyys on 1429m. Itämeri jaetaan viiteen osaan: Itämeri, Suomenlahti, Ahvenanmeri, Saaristomeri ja Pohjanlahti. Pohjanlahti jaetaan yleensä vielä Selkämereksi ja Perämereksi.[1] Itämeren reunavaltiot ovat Suomi, Ruotsi, Venäjä, Viro, Latvia, Liettua, Puola, Saksa ja Tanska.
Itämeren kartta liitteessä 1.

Itämeri, maailman suurin murtovesialue, on Tanskan salmien kautta yhteydessä Atlanttiin. Itämeren suolapitoisuus on pieni verrattuna muihin meriin. Se vaihtelee Perämeren pohjoisosan 2‰:sta, Tanskansalmien pintaveden 10‰:sta aina pohjaveden 30-34‰:een. Keskimäärin Itämeren suolapitoisuus on noin 10‰, kun valtamerien suolapitoisuus on noin 35‰. Lämpötila- ja suolaisuusvaihteluista johtuen Itämeren vesimassat kerrostuvat selviksi kerroksiksi.[2]

Itämeri ei pienestä koostaan johtuen kykene valtamerien tapaan vaikuttamaan sääoloihin, mutta se osaltaan kosteuttaa ja leudontaa ilmastoamme.[3] Vähäisestä suolaisuudestaan ja pienestä

lämpökapasiteetistaan johtuen Itämeressä muodostuu joka vuosi jäätä, mutta keväällä kaikki muodostunut jää sulaa pois. Itämerestä jäätyvät joka vuosi Perämeri sekä itäinen Suomenlahti. Normaaleina talvina Itämeri jäätyy pohjoista Itämerta myöten. Muutamaa erittäin ankaraa talvea lukuunottamatta Itämeren keskiosat Gotlannin eteläpuolella jäävät vapaiksi.[4]

Merenpinnan korkeuden vaihtelut ovat Itämerellä varsin pieniä. Vuorovesi jää Tanskan salmien kapeuden takia muutamiin sentteihin koko Itämerellä. Mikäli tuuli kuitenkin puhaltaa pitkiä aikoja yhtäjaksoisesti samasta suunnasta, saattaa vesi nousta lahtien perukoissa jopa useita metrejä. Suomen rannikolla vedenkorkeus pysyttelee 97% vuodesta ± 50 cm:ä keskivedenkorkeudesta.[5]

Itämeressä aallokko kasvaa harvoin yli viiden metrin ja suurimmat yksittäiset aallot ovat n. 9m. Tärkeimmät aallokkoon vaikuttavat tekijät ovat: tuulen nopeus, kesto ja pyyhkäisymatka. Muita aallokon ominaisuuksiin vaikuttavia tekijöitä ovat tuulen suunta, vesialueen syvyys ja rantojen muoto. Koska Itämeri on varsin pieni, tuulen pyyhkäisymatka jää lyhyeksi. Siksi aal lokko ei pääse kasvamaan niin suureksi kuin tuulen voima edellyttäisi.[6]

1.2 Itämeren tutkimuksen merkitys merivoimille

Itämeren sotilaallinen merkitys on suuri. Itämeren reunavaltioista yksi on suurvalta (Venäjä), kolme kuuluu NATOON (Tanska, Saksa, Puola) ja viisi on liittoutumatonta (Suomi, Ruotsi, Viro, Latvia, Liettua). Alueella toimittaessa Itämeren olosuhteiden tunteminen on ensiarvoisen tärkeää. Vaikka Itämeri on pinta-alaltaan varsin pieni, saattaa olosuhteilla olla strateginen merkitys niin puolustavalle kuin hyökkäävällekin osapuolelle. Tällä hetkellä valmistuvan upseerin koulutuksessa ei juurikaan ole huomioitu oman toimintaympäristön tuntemista, lukuunottamatta muutamaa vierailua Merentutkimuslaitokselle. Merivoimien omissa oppaissa Itämerta kuvataan varsin niukasti muutamilla sivuilla ja lähtökohtana on yleensä ylimalkaisen strategisen kuvan antaminen. Alusyksiköiden päälliköiden taktisen suunnittelun pohjaksi on hyvä saada merivoimien näkökannalta tehtyä tutkimustietoa Itämeren olosuhteista.

1.3 Itämeren olosuhteiden tutkimus

Havainnoilla on keskeinen rooli ilmaston ja merentutkimuksessa. Havaintoja voidaan tehdä havaintoasemilta, ilma- ja pinta-aluksista, siirrettävillä mittalaitteilla, havaintopoijuilla, ha-

vaintoretkikunnilla, ym. Havaintojen tarkoituksena on saada mahdollisimman kattava ja laaja kuva havainnoinnin kohteesta. Pitkäaikaisen havainnoinnin ja seurannan perusteella kyetään luomaan teoria syy, ja seuraamussuhteista. Teorian pohjalta havainnointia kyetään kehittämään ja kohdentamaan tutkimuksen kannalta oleellisiin osiin. "Teoria ja havainnot kulkevat luonnontieteissä rinnatusten; kumpikin erikseen käytettynä johtaa usein virhepäätelmiin."[7] . Havainnot voidaan karkeasti jakaa fysikaalisiin, biologisiin ja kemiallisiin havaintoihin. "Meritieteellisten havaintojen peruslähtökohtana on tutkittavien vesimassojen eri ominaisuuksien selvittäminen"[8] .

Tähänastisen merentutkimuksen tavoitteet ovat pääasiassa olleet siviilimerenkulussa sekä ympäristön suojelussa. Sinällään tutkimus hyödyttää myös merivoimia, mutta tutkimusraporttien asettelu ja sisältö ei ole ollut sopivassa muodossa merivoimien tarpeita ajatellen. Eniten hyötyä merivoimille on meren ja ilmasto-olosuhteiden perustutkimuksesta, jossa tehdään havaintoja meren ja ilmakehän tilasta.

1.4 Tutkimusraportin rakenne ja rajaukset

Merivoimien pääasiallinen toiminta-alue on Itämeren pohjoisosissa Suomen valtakunnan alueella, joten tutkimuskohteena ovat Itämeren olosuhteet Suomen rannikolla ja sen lähialueilla. Koska ilmasto-olosuhteet kuitenkin kehittyvät usein tuhansien kilometrien päässä Itämerestä, viitataan tutkimuksessa myös muihin alueisiin. Merivoimat käsittää useita joukko-osastoja, joista jokaiseen olosuhteet vaikuttavat niille ominaisella tavalla. Tässä tutkimuksessa painotetaan niitä olosuhteita, jotka koskevat nimenomaan merivoimien laivasto-osia. Sotilaallisesta näkökulmasta johtuen säähavaintojen, -palveluiden ja tilastojen osalta tutkimuksessa pyritään omavaraisuuteen. Toisin sanoen niiden osalta pysytellään suomalaisten laitosten palveluissa. Suomalaisista laitoksista tutkimukseen on valittu vain ne, jotka kykenevät omaan tiedon hankintaan ja harjoittavat meteorologista tai hydrologista perustutkimusta. Tutkimuksessa keskitytään vastaamaan kolmeen tutkimuskysymykseen merivoimien tehtävien näkökulmasta.

Merivoimien tehtävät:

I. Vastaa valtakunnallisesta merivalvonnasta ja meritiedustelusta
II. Turvaa valtakunnan alueellisen koskemattomuuden merialueella tarvittaessa voimakeinoja käyttäen yhteistoiminnassa ilmavoimien ja rajavartiolaitoksen kanssa
III. Vastaa valtakunnan meriyhteyksien turvaamisesta ja johtaa meriliikenteen suojaamisen

IV. Torjuu merialueen kautta suuntautuvat hyökkäykset yhteistoiminnassa muiden puolustushaarojen ja rajavartiolaitoksen kanssa

V. Pitää yllä korkeaa valmiutta, kehittää merivoimien taktiikkaa ja taisteluvälineitä sekä vastaa niiden huollosta

VI. Kouluttaa merivoimien tarvitseman henkilöstön ja tukee vapaaehtoista maanpuolustuskoulutusta

VII. Antaa lain edellyttämää virka-apua muille viranomaisille

VIII. Osallistuu kansainväliseen yhteistyöhön

Tutkimusraportin toisessa luvussa vastataan tutkimuskysymykseen: Mitkä Itämeren olosuhteista vaikuttavat merivoimien toimintaan? Lukuun on koottu merivoimien kannalta oleellisimmat olosuhdetekijät. Luvussa selvitetään olosuhteiden syntyä ja vaikutuksia nimenomaan Itämerellä ja tästä syystä tutkimuksessa sivuutetaan olosuhteiden ne ilmenemismuodot, joita ei Itämerellä esiinny.

Kolmannessa luvussa vastataan tutkimuskysymykseen: Miten olosuhteiden esiintymistä voidaan ennustaa? Luvussa tarkastellaan olosuhteiden ennustamista lyhyellä aikavälillä 1 h - 5 vrk, sekä selvitetään miten sään ennustaminen tapahtuu ja mihin menetelmiin ennustus perustuu. Lisäksi luvussa esitellään Suomen kansalliset sää- ja ennustepalveluita tuottavat laitokset. Havaintovälineitä käsittelevään osaan on valittu käytössä olevat peruslaitteet sekä niiden toimintaperiaatteet. Tarkoituksena ei ole selvittää yksityiskohtaisesti laitteiden toimintaa, vaan niiden toiminnan kannalta oleelliset asiat.

Neljännessä luvussa vastataan tutkimuskysymykseen: Miten olosuhteiden esiintymistä voidaan arvioida tilastollisesti? Luvussa tutkitaan olosuhteiden tilastollista esiintymistä pitkällä aikavälillä sekä etsitään tilastoista saadun tiedon käyttömahdollisuuksia. Luvussa selvitetään esimerkkien avulla mitä tilastojen arvioiminen tarkoittaa, miten tilastoja tulkitaan ja miten tilastoja voidaan käyttää merivoimien toiminnan suunnittelussa. Luvussa ei esitetä kaikkia Itämeren olosuhteita tilastoina.

1.5 Käsitteet ja termit

Suomen merivoimat: rauhan ajan merivoimat käsittää merivoimien esikunnan (MerivE) lisäksi seitsemän joukko-osastoa: Saaristomeren meripuolustusalue (SmMepa), Suomenlahden me-

ripuolustusalue (SlMepa), Uudenmaan prikaati (UudPr), Kotkan rannikkoalue (KotRa), Merivoimien varikko, Merivoimien tutkimuslaitos (MerivTL) ja Merisotakoulu (MeriSK). Lukuunottamatta pieniä kuljetus- ja koulutusaluksia merivoimien aluskalusto on jaettu neljään laivueeseen: 4. miinalaivue ja 6. ohjuslaivue, jotka kuuluvat SmMepa:een, sekä 5. miinalaivue ja 7. ohjuslaivue, jotka kuuluvat SlMepa:een.

Itämeri: Itämereksi kutsutaan mannerten sisäistä välimerta, joka rajoittuu reunavaltioihin, jotka ovat Suomi, Ruotsi, Venäjä, Viro, Latvia, Liettua, Puola, Saksa ja Tanska.

Murtovesialue: alue, jossa jokien makea vesi sekoittuu meren suolaiseen veteen.

Merivesi: merivesi sisältää lähes kaikkia alkuaineita. Pääosin merivesi koostuu useista veteen (H_2O) liuenneista suoloista. Eniten suoloista on natriumkloridia (NaCl). Meriveden pääainesosat on esitetty liitteessä 2. Merivesi on heikosti emäksinen (pH 7,6-8,4).[9]

Jäätyminen ja sulaminen: Jäätymiseksi kutsutaan veden olomuodon vaihtumista nestemäisestä kiinteäksi. Päinvastaista olomuodon vaihtumista kutsutaan sulamiseksi. Kaasumaisen aineen (vesihöyry) muuttumista kiinteäksi ilman nestemäistä olomuotoa kutsutaan sublimoituminen. Kiinteän aineen (jää) muuttumista kaasumaiseksi, ilman nestemäisiä olomuotoa, kutsutaan härmistymiseksi.[10]

Aallokko: Aallokolla tarkoitetaan veden pinnalla tapahtuvaa veden aaltoliikettä. Aallokkohavainnoinnissa veden aaltoilu jaetaan kahteen päätyyppiin aallokoksi ja mainingeiksi. Tällöin aallokolla tarkoitetaan paikallisen tuulen tai esim. aluksen aiheuttamaa veden aaltoliikettä. Mainingilla tarkoitetaan muualla vallitsevan tai vallinneen sekä alueella aiemmin vallinneen tuulen aiheuttamaa aaltoilua.

Aallon jakso tai periodi (T) on kahden aallon huipun tai pohjan välinen aikaero sekunteina. Aallon korkeudella (H) tarkoitetaan aallon pohjan ja huipun, ja pituudella (λ) kahden aallon huipun tai pohjan välistä etäisyyttä metreinä.[11] Koska aaltoilevalla merellä aallot ovat keskenään hyvin eri korkuisia, on vertailun helpottamiseksi ryhdytty yleisesti käyttämään merkitsevää aallon korkeutta (significant wave height). Merkitsevällä aallon korkeudella tarkoitetaan aaltosysteemin aaltojen korkeusjakauman suurimman kolmasosan keskiarvoa.[12]

Tuuli: Maanpinnan suuntainen ilmavirtaus[13]. Tuulen suuntana ilmoitetaan aina se suunta, josta ilma virtaa havaitsijaa kohti. Tuulen suuntana voidaan käyttää joko ilmansuuntia (itä, luode) tai asteita pohjoisesta myötäpäivään 360°. Tuulen nopeus voidaan määrittää kilometreinä tunnissa (km/h), metreinä sekunnissa (m/s) tai solmuina (mpk/h). Tuulen nopeuden rinnalla käytetään usein myös tuulen voimakkuutta kuvaavaa boforiasteikkoa, joka kuvaa lähinnä tuulen vaikutusta merenpintaan ja erilaisiin kohteisiin. Boforiasteikolla tuulen voima saa arvoja 0 12. Boforiasteikko soveltuu paremmin käytettäväksi valtamerillä ja sen käyttö on pikkuhiljaa vähenemään päin.[14] Boforiasteikko liitteessä 3.

Näkyvyys: Meteorologinen näkyvyys on ilman läpinäkyvyyden mitta havaintohetkellä maanpinnan läheisissä olosuhteissa[15]. Maanpinnan läheisyytenä pidetään silmän korkeutta havaintopaikalla. Suurimpana näkyvyytenä pidetään etäisyyttä jolta päivän valossa horisonttia vasten havaitaan ja tunnistetaan tumma kohde. Pimeällä arvioidaan paljonko näkyvyys olisi päivänvalossa. Näkyvyyttä arvioidaan siihen suuntaan, jossa näkyvyys on pienin.[16]

Sää: Ilmakehän tila maanpinnalla jollain tietyllä alueella tiettynä aikana. Säätilaa määritellään esim. adjektiiveilla: kirkas, sumuinen, lämmin, kylmä, tuulinen, pilvinen, poutainen.[17] Eri tyyppiset ja -kokoiset ilmavirtaukset aiheuttavat sääilmiöitä. Sääilmiön toistuessa rakenteeltaan samanlaisena sitä kutsutaan sääjärjestelmäksi. Sääjärjestelmät jaetaan kokonsa ja kestonsa mukaan neljään kokoluokkaan, jotka on esitelty liitteessä 4.[18]

2. MERIVOIMIEN TOIMINTAAN VAIKUTTAVAT OLOSUHTEET

2.1 Vesitase, fysikaaliset ja kemialliset olosuhteet

Itämeren vesitaseella ei sellaisenaan ole juurikaan vaikutusta merivoimien toimintaan, mutta sen sivuuttaminen vaikeuttaisi joidenkin myöhemmin esiintyvien ilmiöiden ymmärtämistä. Lisäksi juuri Itämeren vesitase kuvastaa sen erikoislaatuisuutta valtameriin nähden. Vesitaseensa johdosta Itämeri on maailman suurin murtovesiallas. Itämeren vesitase on positiivinen, mikä tarkoittaa sitä, että jokien virtaaman, sadannan, haihdunnan ja sisäänvirtaaman summa on positiivinen. Tätä summaa kutsutaan ulosvirtaukseksi ja näin ollen vallitsevana virtauksena Tanskan salmissa on vähäsuolaisen veden ulosvirtaus.[19]

Itämeren vesitaseen vuotuinen balanssiyhtälö:[20]

Jokien virtaama	+	sadanta	-	haihdunta	+	sisäänvirtaus	=	ulosvirtaus
470km^3	+	200km^3	-	180km^3	+	430km^3	=	920km^3
makea		makea		makea		suolainen		laimentunut suolainen

Itämeren vesitase ei vaikuta merkittävästi veden korkeuteen tai pintavirtauksiin, lukuunottamatta Tanskan salmia. Vesitaseen vaikutus kohdentuu lähinnä Itämeren fysikaalisiin ja kemiallisiin olosuhteisiin. Suolaisuuden muuttuessa muuttuvat myös meriveden fysikaaliset ominaisuudet. Suolaisuuden kasvaessa kasvavat myös meriveden tiheys, sähkönjohtokyky äänennopeus vedessä. Suolaisuuden kasvaessa pienenee suurinta tiheyttä vastaava lämpötila sekä jäätymispistettä vastaava lämpötila.[21] Vesimassojen suolaisuus- ja lämpötilaerojen johdosta veteen muodostuu halokliini ja termokliini, eli suolaisuuden- ja lämpötilan epäjatkuvuuskerros, jota kutsutaan harppauskerrokseksi. Harppauskerroksessa vesimassan tiheys vaihtuu voimakkaasti joko suolaisuudesta tai lämpötilasta johtuen. Nämä harppauskerrokset estävät täysin vesimassojen pystysuoran sekoittumisen. Itämeren vesirungon rakenne liitteessä 5.[22]

Meriveden tiheyteen vaikuttavat lämpötila, suolaisuus ja paine. Suolattoman veden tiheys +4 °C:n lämpötilassa on 1,00000 kg/m^3. Veden suolaisuuden lisääntyessä veden tiheys kasvaa ja suurinta tiheyttä vastaava lämpötila pienenee. Vakiintuneen käytännön mukaan veden tiheyttä on tapana merkitä neljällä numerolla esim.. 1,03900 merkitään 39,00. Tiheyden merkki on kreikkalainen ϱ.[23] Veden tiheysmaksimi ja jäätymispiste taulukoituna liitteessä 6.

2.2 Jääolot

Itämeren olosuhteista meren jäätyminen vaikuttaa merivoimiin eniten. Ankarimmillaan jäätalvi saattaa täysin estää alusten liikkumisen ilman avustusta. Leudoimmillaankin se vaikeuttaa jäävahvistamattomien alusten vapaata liikennöintiä. Itämerelle on tyypillistä, että osa siitä jäätyy joka talvi, mutta kaikki muodostunut jää sulaa joka kevät pois[24]. " Jäätalven ankaruuden ennustaminen talven alussa on mahdotonta. Melko osuviin ennusteisiin päästään vasta tammikuun lopulla "[25] jääoloihin ja jäänmuodostukseen vaikuttavat oleellisesti kuluneen syksyn ja alkutalven sääolot. Jään peittoon vaikuttavat mereen syksyn aikana varastoitunut lämpö ja talven kuluessa ilman lämpötila. Jään paksuuteen vaikuttavat ilman lämpötila ja lumipeite. Meri liikenteen kannalta jäätalven aikaiset tuuliolosuhteet ovat ratkaisevia. Tuulet aiheuttavat jää-

kentässä ahtautumista ja puristumista. Pahin tilanne on silloin, kun pakkanen on kova, mutta välillä tuulee navakasti lyhyitä jaksoja.[26] Itämerellä jäätilanteet ovat hyvin vaihtelevia. Laajimmillaan vuotuinen jääpeite vaihtelee 52 000 - 420 000 km² välillä, mikä vastaa 12 - 100% Itämeren, Kattegatin ja Skagerrakin pinta-alasta. Keskimäärin jää peittää 218 000 km²:n alueen. Vuotuinen jääpeite on laajimmillaan tammikuun ja maaliskuun välillä, tavallisesti helmi-maaliskuun vaihteessa.[27] Kiintojään paksuus vaihtelee vuosittain runsaasti. Leutoina talvina kiintojään paksuus on Perämerellä n. 45-60 cm, Selkämerellä n. 5-35 cm ja Suomenlahdella n. 0-20 cm. Keskimääräisinä talvina vastaavat jään paksuudet samoilla merialueilla ovat: 75-90 cm, 45-55 cm ja 35-50 cm, sekä ankarina talvina: 105-120 cm, 75-80 cm ja 60-90 cm. Paksuin Itämerellä koskaan mitattu tasainen jää, 122 cm, mitattiin jäätalvena 1984-85 Tornion edustalla.[28]

Perämeri ja itäinen Suomenlahti jäätyvät joka vuosi. Itämeren jäätyminen alkaa Perämeren pohjoisosista ja Suomenlahden pohjukasta marraskuun aikana. Seuraavaksi jäätyvät Merenkurkku, Perämeri kokonaan ja Selkämeren rannikkoalueet. Keskimääräisinä talvina jäätyvät lisäksi koko Selkämeri, Saaristomeri, Suomenlahti ja osa pohjoista Itämerta. Leutoina talvina Selkämeri ei jäädy lainkaan ja Suomenlahti jäätyy vain osittain. Ankarina talvina jäätyminen etenee Tanskan salmiin ja varsinaiselle Itämerelle. Viimeisenä jäätyy Bornholmin koillispuolinen merialue Kerran vuosikymmenessä on tilanne, jolloin vain pieni alue eteläisellä Itämerellä pysyy jäättömänä.[29] " Jäiden lähtö etenee etelästä pohjoiseen. Pohjoinen Itämeri avautuu ensimmäisenä huhtikuun alussa. Toukokuun alkuun mennessä jäätä on vain Perämerellä, josta viimeisimmätkin jäät sulavat viimeistään kesäkuun alkupuolella. Keskimäärin jäätalvi kestää pohjoisella Itämerellä alle 20 päivää. Perämeren pohjoisosissa jäätä esiintyy yli puolen vuoden ajan."[30] Jäiden keskimääräinen esiintyminen liitteessä 7.

" Itämerellä jää esiintyy joko kiintojäänä tai ajojäänä. Kiintojää on nimensä mukaisesti paikallaan pysyvää jäätä, joka on kiinnittynyt saariin, kareihin tai matalikkoihin. Sitä on rannikoilla ja saaristossa, jossa veden syvyys on alle 15 m. Kiintojää muodostuu jäätalven varhaisessa vaiheessa ja jää paikoilleen aina sulamiseensa saakka. Ulapoilla merijää on ajojäätä, joka liikkuu tuulten ja virtausten voimasta. Ajojää voi olla tasaista, päällekkäin ajautunutta tai ahtautunutta, ja sen peittävyys voi olla 0-100 prosenttia."[31] Ajojään liikkeet voivat olla erittäin suuria. Ohut ajojääkenttä voi kulkeutua myrskyn mukana jopa 20 30 km. Tuulen mukana liikkuva tasainen jääkenttä saattaa hajota lautoiksi, joiden halkaisija voi olla useita kilometrejä. Lisäksi jäiden liike synnyttää railoja, halkeamia, sohjovöitä, jäiden ajautumista päällekkäin ja niiden

ahtautumista. Sohjovöitä syntyy, kun tuuli rikkoo ohuen jään ja kasaa sitä paksun jään reunalle. Sohjovyössä, joka voi olla useita metrejä paksu, lautat ovat halkaisijaltaan alle kaksi metriä. Ahtojäiden vedenpinnan yläpuolinen osa vaihtelee tavallisesti muutamasta kymmenestä sentistä muutamaan metriin, mutta sen vedenalainen osa on 5-7 kertaa paksumpi. Itämerellä talvimeriliikennettä vaikeuttavat eniten ahtautuma-alueet ja sohjovyöt. Voimakkaat, jäävahvistetut alukset voivat murtaa jopa 80 cm paksua tasaista jäätä, mutta ne eivät pysty liikkumaan paksuissa ahtojäissä tai sohjovöissä ilman jäänmurtajien avustusta.[32]

2.3 Säätila

Säätila johtuu vallitsevasta ilmakehän rakenteesta. Jos ilmamassan vaakasuuntaiset paine-erot ovat suuria, aiheutuu niistä voimakkaita tuulia. Mikäli ilmamassan pystysuora lämpötilaero on suuri, aiheutuu siitä sateita. Kauttaaltaan samantyyppistä ilmaa kutsutaan ilmamassaksi. Ilmamassojen ominaisuudet määräytyvät pitkälle sen mukaan, minkälaisen pinnan yläpuolella ilmamassa on muodostunut. Ilmamassat jaetaan syntyalueittensa mukaan navoilta ekvaattorille: Arktisiin- (A) tai Antarktisiin (AA) , Polaarisiin- (P), Trooppisiin- (T) sekä Ekvatoriaalisiin ilmamassoihin (E). Itämeren alueella vaikuttavat pääasiassa polaariset ilmamassat. Polaarisia ilmamassoja ovat kostea, Pohjois-Atlantilla syntyvä merellinen polaari-ilmamassa (mP) sekä kuiva, Euraasian mantereella syntyvä mantereinen polaari-ilmamassa (cP). Talvisin voi Itämeren alueelle virrata Jäämeren alueelta kylmää arktista ilmamassaa ja kesäisin Keski-Aasiasta lämmintä mantereista tropiikki-ilmamassaa (cT).[33]

Erilämpöiset ilmamassat eivät sekoitu keskenään, vaan niiden väliin jää kapeita rajavyöhykkeitä joita kutsutaan rintamiksi. Rintamiin liittyy lähes aina sääilmiöitä: lämpötilan muutoksia, sateita, tuulia ja pilviä. Itämeren alueen sään kannalta ratkaiseva tekijä on polaari-ilmamassan ja trooppisen ilmamassan väliin jäävä polaaririntama. Rintamien kohdalla vallitsee kahden ilmamassan välinen suuri lämpötilaero. Tämä aiheuttaa 9 - 12 km:n korkeudelle, rintaman suuntaisen, voimakkaan tuulen jota kutsutaan suihkuvirtaukseksi. Suihkuvirtauksen suunta on pääsääntöisesti lännestä itään ja nopeus on yleensä 30 - 80 m/s. Merkittävimpiä Itämeren alueen suurista sääjärjestelmistä ovat polaaririntaman syklonit. Polaaririntaman sykloni on ilman kiertoliikettä vastapäivään matalapaineen keskuksen ympäri. Polaaririntaman sykloni muodostuu, kun polaaririntaman kohdalle syntyy heikko matalapaine. Matalapaineen etupuolelle syntyy lämmin- ja takapuolelle kylmärintama. Polaaririntamaan syntyy lämmin mutka, jonka huipussa matalapaine syvenee. Lämmintä aluetta kutsutaan lämpimäksi rintamaksi. Lämmin rin-

tama kapenee syklonin kehityksen myötä, sillä lämpimän rintaman perässä tuleva kylmä rintama liikkuu nopeammin ja työntyy lämpimän rintaman alle. Kun kylmä rintama saavuttaa lämpimän, niistä muodostuu okluusiorintama, joka kehittyy matalapaineen keskuksesta alkaen. Okluusion pidentyessä matalapaineen keskus menettää energiaansa ja täyttyy häviten lopulta kokonaan.[34] Polaaririntaman sykloni on kuvattu liitteessä 8.

Vaikka säästä puhuttaessa tarkoitetaankin yleensä yhtä sääilmiötä, vallitseva sää on aina lukuisten eri sääilmiöiden summa.

" Sään kuvailussa voidaan käyttää yksinkertaistettua ilmiöluokittelua:

Vesisade: Vesisateessa nestemäisten pisaroiden läpimitta on tavallisesti yli 0,5 mm, useimmiten 1-2 mm.
Tihkusade: Tihkusateessa nestemäisten pisaroiden läpimitta on enimmäkseen alle 0,5 mm.
Lumisade: Erilaisten jääkiteiden muodostamaa sadetta.
Räntäsade: Räntäsade muodostuu samanaikaisesta vesi- ja lumisateesta. Lumihiutaleet ovat usein osittain sulaneita.
Raesade: Jääpallojen tai epäsäännöllisten jääkappaleiden muodostamaa sadetta.
Sumu: Näkyvyys on alle 1 km ja ilman suhteellinen kosteus on yli 95 %.
Utu: Näkyvyys on 1 km tai enemmän, mutta alle 10 km.
Ukkonen: Ukkonen on salamoinnin seurauksena syntyvää jyrinää, joka kuullaan havaintopaikalla.
Auringonpaiste: Havaintopaikalla paistaa Aurinko. Tällöin muodostuu selvästi havaittavia varjoja."[35]

2.4 Tuuli

" Tuuli on ilman liikettä vaakasuorassa suunnassa. Tuulihavainnot tehdään normaalisti tuulimittarin ja -viirin avulla. Ilman teknisiä apuvälineitä tuulen nopeus voidaan arvioida tuulitaulukon avulla, joka on liitteessä 3. Ilman virtaus on aina jonkin verran pyörteistä, minkä vuoksi mittauksissa käytetään tavallisimmin 10 minuutin keskituulta. Pyörteisyys ilmenee tuulen puuskina ja suunnan vaihteluina."[36] Mittauspaikan valinta vaikuttaa oleellisesti tuulihavaintoihin. Tiheä ympäröivä kasvusto tai lähellä sijaitsevat rakenteet aiheuttavat virhettä. Viralliset

mittaukset suoritetaan kansainvälisten sopimusten mukaan 10 metriä merkittävien ympäristön esteiden yläpuolella.[37]

Suurin Suomessa mitattu 10 minuutin keskituulen nopeus on 31 m/s Valassaarilla 25.2.1971, Korsnäsin Moikipäässä 15. ja 23.12.1975 ja Hangon Tulliniemessä 23.1.1995. Lisäksi tunturien laeilla olevissa mastoissa on mitattu yli 32 m/s tuulen nopeuksia 1990-luvulla. Siispä hirmumyrskyn nopeutta keskituulena (vähintään 32 m/s) meillä ei ole mitattu koskaan. Suurin Suomessa mitattu lyhytaikainen tuulen puuska on 39 m/s Korsnäsin Moikipäässä. Tuulen nopeuksissa on meren ja mantereen välillä huomattava ero. Rannikolla tuulee tavallisesti enemmän, koska tuuli saapuu avaralta mereltä. Kesäpäivisin merituuli pitää rannikkoseudut 10-20 km päähän rannikosta tuulisempana kuin sisämaan olot.[38]

2.5 Vedenkorkeus ja aallokko

Vedenkorkeuteen vaikuttaa kolme toisistaan riippumatonta tekijää: vuorovesi, veden tiheyden vaihtelu ja meteorologiset tapahtumat. Vuorovesi Itämerellä on erittäin vähäistä. Tanskan salmien kapeuden johdosta valtamerten vuorovesivirtaukset eivät vaikuta Itämereen. Yleensä Suomen merialueilla vuorovesi on muutamia senttimetrejä, ja erittäin suotuisissakin olosuhteissa se saavuttaa maksimissaan n. 15 cm:n tason. Perämeren vähäsuolaisen ja tiheydeltään kevyemmän veden sekä etelä Itämeren suolaisen ja tiheydeltään raskaamman veden vaikutuksesta Itämeren pinta etelässä on n. 30 cm alempana kuin pohjoisessa.[39]

Vedenkorkeuden vaihteluihin vaikuttavat eniten meteorologiset tapahtumat. Yhden millibaarin ilmanpaineen muutosta vastaa noin yhden senttimetrin vedenkorkeuden muutos[40] . Koska Itämeren pohjoisosissa on keskimäärin pienempi ilmanpaine kuin eteläosissa, aiheuttaa se n. 10 cm:n lisäkallistuman etelää kohti.[41] Itämerellä yleisimmin vallitseva lounaistuuli, n.18% ajasta[42] , työntää vettä Itämeren pohjoisosiin ja aiheuttaa voimakkaan kallistuman. Tuuli vaikuttaa vedenkorkeuteen kasaamalla vettä tiettyihin osiin Itämerta. " Tämä kasaantumisvaikutus on erityisen selvää lahtien pohjukoissa. Tästä johtuu se, että suurimmat ääriarvot saavutetaan näillä alueilla. Tuulen vaikutus voi olla hyvin paikallista."[43] Tuulen lakatessa tai sen muuttaessa suuntaa käynnistyy tasapainottava heilahdusliike, joka vaimenee muutamassa vuorokaudessa.[44]

Tilastojen mukaan suurin vedenkorkeus +201 cm samoin kuin myös pienin vedenkorkeus -136 cm on mitattu Kemissä. Näin ollen suurimmaksi vedenkorkeuden vaihteluväliksi Suo-

messa saadaan 337 cm.[45] Haminassa vastaava vedenkorkeuden vaihteluväli on noin 260 cm ja Hangossa 180 cm. Eteläisellä Itämerellä Kielin lähistöllä vaihteluväli on noin 520 cm. " Vedenkorkeuksien käyttäytymisessä on havaittavissa vuodenaikojen aiheuttama jaksollisuus. Tämän taustalla on lähinnä tuulen käyttäytymisen ja ilmanpaineen vuotuinen kierto. Keskimääräinen vedenkorkeus vaihtelee siten, että se on korkeimmillaan joulukuussa ja matalimmillaan huhti - toukokuussa. Myöskin vedenkorkeuden hajonta vaihtelee vuodenajoittain. Hajonta on voimakkaimmillaan talvella, marras - tammikuussa, ja heikoimmillaan kesällä touko - heinäkuussa. Yksittäiset vuodet voivat kuitenkin poiketa suuresti toisistaan, eikä tällaista keskimääräistä vuodenaikaiskiertoa ole nähtävissä joka vuosi."[46] Syksyllä ja talvella, jolloin tuulten vaikutus on suurimmillaan, vedenkorkeuden vaihtelut ovat voimakkaimmillaan. Vedenkorkeuden vaihtelut voivat olla jopa 20 cm/h.[47] Suurin rekisteröity vedenkorkeuden muutos on mitattu 21.- 23.9.1982 Kemissä 157 cm/vrk, jolloin vesi nousi noin + 40 cm:stä noin +190 cm:iin ollen korkeimmillaan 22.9. laskien seuraavan vuorokauden aikana noin +30 cm:iin.[48] Helsingissä mitatun viidenkymmenen vuoden tilaston mukaan vedenkorkeus on useammin keskiveden ylä kuin alapuolella. Samoin on myös muualla Suomen merialueilla. Keskiveden yläpuolella +50 cm ⩽ veden pinta nousee 1,44 % ajasta ja puolestaan -50 cm ⩾ keskiveden alapuolelle vesi laskee 0,85% ajasta. Näin ollen 97,71% vuodesta veden pinta pysyttelee ± 50 cm keskiveden korkeudesta.[49] " Talven ankaruuden ja vedenkorkeuden käyttäytymisen välillä on selvä yhteys. Mitä laajempi jääpeite, sitä matalammalla on vedenpinta keskimäärin. Jääpeite vaikuttaa myös vedenkorkeuden vaihteluun - mitä enemmän jäätä, sitä vähemmän vedenkorkeus vaihtelee."[50]

" Tuulen alkaessa puhaltaa tyynen vedenpinnan yllä saa se veden virtaamaan aiheuttaen vedessä pyörteisyyttä. Pyörteisyys puolestaan saa aikaan paine-eroja, jotka rikkovat sileän vedenpinnan. Tuuli pääsee tarttumaan näihin "ryppyihin" ja alkaa kasvattaa niitä. Pienet aallot ovat aluksi jyrkkiä, mutta alkavat sitten kasvaa pituutta nopeammin kuin korkeutta. Veden pinta ei ole pelkästään passiivinen tuulen temmellyskenttä, vaan liikkuva aallokko erikokoisine aaltoineen muuttaa tuulia, jotka sitä kasvattavat."[51]

Aallokon kokoon vaikuttavat tekijät:

Tuuli

- tuulen nopeus
- aallokon kasvunopeus riippuu tuulen nopeudesta

- aalto murtuu, kun sen korkeus on 1/7 sen aallon pituudesta
- tuulen puuskat voivat rikkoa aallon harjan jo ennen kuin korkeus sitä edellyttää
- kun aallon nopeus on kasvanut samaksi kuin tuulen nopeus, aallokko ei enää kasva ja aallokko muuttuu mainingiksi

Tuulen kestoaika

- aallokon kokoon vaikuttaa se kuinka kauan tuuli on samasta suunnasta
- kuinka kauan tuuli syöttää energiaa aallokkoon

Tuulen pyyhkäisymatka

- matka jonka aallot etenevät tuulen vaikutuksen alaisena
- aallokon kokoon vaikuttaa myös vesialueen leveys
- tuulen kestoaika ja pyyhkäisymatka ovat verrattavissa toisiinsa

Aallokko ei enää kasva, kun tuulen kestoaika tai pyyhkäisymatka alkavat rajoittaa sitä.[52]

Vaikka vesi näyttää liikkuvan aaltojen mukana, vain aaltoliike liikkuu eteenpäin ja vesipartikkelit kulkevat ympyrän muotoista rataa pitkin.[53] Tästä ilmiöstä johtuu se seikka, että myötäaallokossa kulkeva alus pyrkii kääntymään poikittain aallokkoon nähden. Kun aluksen perä on aallon harjalla, aallossa liikkuvat vesipartikkelit ovat aallon suuntaisessa liikkeessä työntäen alusta eteenpäin. Samaan aikaan aluksen keula on aallon pohjalla, jolloin vesipartikkelit ovat päinvastaisessa liikkeessä. Tämä hidastaa keulaa, jolloin alus pyrkii kääntymään poikittain. Itämerellä veden mataluus ja lyhyt pyyhkäisymatka rajoittavat aallokon kasvua, eikä aallokko pääse kasvamaan niin suureksi kuin tuulen voima edellyttäisi. Vesipartikkeleiden liike aallossa on esitetty liitteessä 9.

Rannikon läheisyys vaikuttaa aallokon rakenteeseen ja kokoon. Kun veden syvyys on noin puolet aallon pituudesta, Itämerellä keskimäärin 120 m:n aallon pituudella, aallot " tuntevat" pohjan. Pohjan ja aallon välinen kitka jarruttaa aaltoja ja jäljempänä tulevat aallot alkavat saavuttaa edellisiä. Kun veden syvyys on pienentynyt neljäsosaan aallonpituudesta, alkaa pohjan hidastava vaikutus olla merkittävä. Hidastuva aalto säilyttää periodinsa, mutta aallonpituus lyhenee. Tällöin aallot jyrkkenevät ja voivat muutta tyrskyiksi. Pohjan kitka kuluttaa aallon energiaa ja madaltaa sen korkeutta. Koska aaltoliike pyrkii aina taipumaan siihen suuntaan, jossa se etenee hitaammin, aallot pyrkivät taipumaan madaltuvaa vettä kohti. Siksi aallokko tulee loivasti madaltuvaan rantaan kohtisuorasti, eikä rannan läheisyydessä pystytä luotettavasti arvioimaan aallokon suuntaa avomerellä. Matalikot aiheuttavat aallokon voimakasta tai-

pumista ja ristiaallokkoa. Erisuuntaisten aaltojen toisiaan voimistava ja heikentävä vaikutus saattaa kasvattaa lyhyellä matkalla ja yllättäen erittäin isoja aaltoja.[54]

" Merentutkimuslaitos on mitannut 1970-luvulta lähtien Itämeren pohjois- ja keskiosien aallokkoa. Vaikka Itämeri on kooltaan pieni valtameriin verrattuna, se pystyy kasvattamaan kunnioitettavan kokoisia aaltoja. Itämeren korkeimmat aallot ovat valtamerien myrskyissä tavanomaisia, mutta vielä korkeammat aallot ovat sielläkin harvinaisia. Varsinaisen Itämeren pohjoisosat ovat aallokko-oloiltaan Itämeren vaikeimpia. Vuonna 1999 pohjoisella Itämerellä mitattiin sekä 6. että 18. joulukuuta 7,4 metrin merkitsevä aallonkorkeus. Tätä korkeampi aallokko on mitattu vain kerran aikaisemmin, tammikuussa 1984 Almagrundetin lähistöllä. Merkitsevä aallonkorkeus oli silloin 7,7 metriä ja korkein yksittäinen aalto 14 metriä. Suomenlahdella korkein mitattu merkitsevä aallonkorkeus Helsingin edustalla on 4 metriä, korkeimman yksittäisen aallon ollessa 7 metriä. Sekä itä- että länsituuli voivat kasvattaa näin korkeita aaltoja, mutta tätä korkeammaksi ne eivät juuri pääse kasvamaan Suomenlahden pitkulaisen muodon takia. Eteläisellä Selkämerellä 1970-luvulla mitattu 5,5 metrin merkitsevä aallonkorkeus pitää yhä ykköspaikkaa alueella. Korkein yksittäinen aalto oli tuolloin 10 metriä. Perämerellä korkein mitattu merkitsevä aallonkorkeus on 3,1 metriä ja korkein yksittäinen aalto 5,6 metriä."[55]

2.6 Näkyvyys

Näkyvyydellä tarkoitetaan sitä, kuinka etäälle tai kuinka kaukaa voimme nähdä jonkin kohteen. Näkyvyys on hyvä sen ollessa yli 10 km. Kohtalainen, kun se on 4 - 10 km. Huono, jos näkyvyys on 1 - 4 km. Ja erittäin huono näkyvyyden ollessa alle 1 km.[56]

Näkyvyys riippuu seuraavista tekijöistä:

- ilman epäpuhtauksista
- valon määrästä
- kohteen koosta[57]

Koska maapallon pinta kaareutuu, kohteen todellinen havaintoetäisyys voidaan laskea kaavalla m 2.08 ($H^{1/2} + h^{1/2}$), jossa H on havaittavan kohteen ja h havaitsijan silmänkorkeus metreinä. Kaava sisältää valon taittumisesta ilmakehässä johtuvan 7,7 %:n vakiokorjauksen.

Valon määrän tiettynä ajan jaksona voimme melko helposti arvioida laskemalla taulukoista auringon lasku- ja nousuajankohdan sekä kuun vaiheen. Rannikon läheisyydessä, minä koko Itämeren aluetta voidaan pitää, suurten kaupunkien valot heijastavat taivaalle valoilmiöitä, jotka lisäävät valon määrää.

Täysin puhdas ja kuiva ilma sisältää 78,10% typpeä, 20,95% happea, 0,92% argonia ja 0,03% hiilidioksidia.[58] Periaatteessa kaikki muut ilmamassassa olevat hiukkaset ja kappaleet ovat ilman epäpuhtauksia. Niitä esiintyy niin kiinteinä (pöly ja roskat), nestemäisinä (sumu ja vesipisarat) kuin kaasumaisinakin (metaani). Hiukkasten ja ilman muodostamaa seosta kutsutaan aerosoliksi. Hiukkaset jaetaan luonnollisiin ja ihmisen aiheuttamiin hiukkasiin. Puhtaassa ilmassa on vain luonnollisia hiukkasia, jotka muodostuvat meren pärskeistä jäävistä suolahiukkasista, tuulten nostattamasta hiekasta ja pölystä sekä tulivuorten purkausten ja metsäpalojen tuhkasta. Ihmisen aiheuttamia hiukkasia syntyy lähinnä liikenteen ja teollisuuden päästöistä.[59]

Yhteen ilmakuutiometriin mahtuu maksimissaan tietty määrä vesihöyryä (g/m^3), jonka määrä on riippuvainen ilmamassan lämpötilasta. Ilma voi sisältää maksimissaan kullekin lämpötilalle ominaisen kyllästyskosteuden osoittaman määrän vesihöyryä. Ilman kosteudella tarkoitetaan ainoastaan ilmassa olevan vesihöyryn määrää eikä ilmassa esimerkiksi olevien sumupisaroiden määrää.[60] Ilman sisältämän kosteuden määrä voidaan ilmoittaa, joko absoluuttisena kosteutena tai suhteellisena kosteutena. Absoluuttinen kosteus ilmoittaa kuinka monta grammaa ilmakuutiometrissä on vesihöyryä. Tämä luku ei juurikaan kerro ilmamassan sen hetkisestä tilasta ja sen arvioiminen vaatii välttämättä lisätietoja ilman lämpötilasta ja kyllästyskosteudesta. Suhteellinen kosteus kertoo prosentteina, kuinka paljon ilmassa havaitaan vesihöyryä verrattuna kyllästyskosteuteen[61] . Kyllästyskosteuden riippuvuus lämpötilasta on esitetty liitteessä 10.

Sumulla tarkoitetaan kosteaa sameutta, jonka muodostaa n. 0,01mm halkaisijaltaan olevat vesipisarat tai jääkiteet. Sumussa näkyvyys on alle 1 km ja mikäli näkyvyys on 200-500m on kyseessä kohtalainen sumu. Näkyvyyden ollessa 50-200m sumua sanotaan tiheäksi tai vahvaksi. Kun näkyvyys jää alle 50m:iin, sumua sanotaan hyvin tiheäksi tai hyvin vahvaksi.[62] Utu on rakenteeltaan samanlaista kosteaa sameutta kuin sumukin, mutta kuitenkin niin harvaa että näkyvyys on siitä huolimatta yli kilometrin. Auer on muodostunut ilmassa leijuvasta kuivasta sameudesta kuten savusta tai pölystä. Udun ja autereen erottaminen toisistaan on joskus vaikeaa.

Suhteellisen kosteuden ollessa yli 90% kyseessä on utu kosteuden ollessa alle 70% kyseessä on auer.[63]

Sumua muodostuu, kun lämmin ja kostea ilmamassa sekoittuu kylmään ja kosteaan ilmaan. Tällöin muodostuneessa ilmaseoksessa kosteus ja lämpötila muuttuu sekoittuvien ilmamassojen suhteessa, mutta ilman kyllästyskosteus ei muutu suoraan ilmamassojen sekoitussuhteen mukaan, vaan se saa pienemmän arvon. Tällöin ilman sisältämän vesihöyryn määrä ylittää ilman kyllästyskosteuden ja ylimääräinen kosteus tiivistyy näkyviksi sumupisaroiksi. [64] Erityisesti rannikolla huhti - kesäkuussa ja syys - marraskuussa, kun lämmintä ja kosteaa ilmaa virtaa mantereelta kylmän meren ylle, ilma jäähtyy nopeasti alle kastepistelämpötilan. Tällainen sumu on erittäin tiheää ja saattaa kestää päiväkausia.[65] Rannan tai jäänreunan lähettyville voi kovalla pakkasella (-10 °C tai enemmän) kehittyä merisavua, joka voi kehittyä sakeaksikin sumuksi. Merisavu syntyy kylmä ilma virtaa rannalta tai jäänreunalta sulan veden päälle ja sekoittuu vedenpintaa koskettavan lämpimän (0 °C) ja kostean ilman kanssa.[66]

Vesisade heikentää näkyvyyttä suunnilleen saman verran kuin utu. Kovasta merenkäynnistä johtuvat pärskeet voivat lisätä sateen vaikutusta. Tiheä lumisade ja etenkin isot lumihiutaleet voivat heikentää näkyvyyttä jopa saman verran kuin tiheä sumu.[67]

2.7 Johtopäätökset

Mitkä Itämeren olosuhteista vaikuttavat merivoimien toimintaan?

Itämerellä ei ole sellaista olosuhdetekijää, joka ei jollain muotoa vaikuttaisi, joko suoraan tai välillisesti, merivoimien toimintaan. Kuitenkin olosuhdetekijöistä nousee esille neljä osittain päällekäin menevää päälinjaa, sillä ne aiheuttavat konkreettista haittaa tai rajoituksia merivoimien tehtävän toteuttamiselle. Tärkeimpänä niistä Itämeren jokatalvinen jäätyminen. Seuraavina tulevat osittain päällekäin sää-, tuuli- ja aalto-olosuhteet. Muiden olosuhteiden osalta vaikutus on välillistä tai niiden merkitys on niin pieni, että niiden huomioimiseksi riittää tietoisuus niiden olemassaolosta, tilasta ja vaikutuksesta. Tällaisia olosuhteita ovat esim. biologiset olosuhteet, jotka vaikuttavat myrkyllisten levien kukintaan ja sitä kautta alusten makeanveden kehittimiin. Samoin vedenkorkeuden vaihtelut Itämerellä ovat niin pieniä, ja suure vaihtelut niin harvinaisia, etteivät ne juurikaan vaikuta merivoimien toimintaan muutoin kuin äärimmäisissä poikkeustapauksissa. Silloinkin niiden aiheuttamat toimenpiteet ovat lähinnä ohjai-

lun tarkkuuteen liittyviä. Merivoimien aluskalusto on suunniteltu toimimaan Itämerellä siten, että merivoimat kokonaisuutena pystyy toteuttamaan tehtävänsä kaikissa olosuhteissa. Olo suhteet, jotka rajoittavat merivoimien alusten toimintaa, rajoittavat myös kaikkien muidenkin vaikutusalueella toimivien alusten toimintaa.

Meren jäätyminen aiheuttaa selkeitä rajoituksia alusten käytölle. Se vaikeuttaa lähes jokaisen merivoimien tehtävän toteuttamista, estämällä alusten vapaan käytön merialueilla. Toisaalta meren jäätyminen vähentää Itämerellä tapahtuvaa liikennettä ja ohjaa sitä käyttämään vapaina olevia reittejä. Näin mm. merivalvonta helpottuu. [redacted] Kova pakkanen, -30 °C, heikentää teräsrunkoisten miinalaivojen rakenteellista lujuutta, mutta ohjusveneiden alumiinirunko on "immuuni" pakkaselle[68]. Koska jäätä esiintyy Itämerellä joka talvi, on siihen mahdollista varautua huolellisella suunnittelulla. Suunnitteluvaiheessa aluksen runkomateriaaleihin, muotoon, konetehoihin ja jäävahvistuksiin voidaan vaikuttaa siten, että sen jäissäkulkuominaisuudet paranevat.

Sääilmiöt, kuten sade tai sumu, eivät sellaisenaan vaikuta erityistapauksia lukuunottamatta merivoimien toimintaan. Useimmiten sääilmiöiden kanssa samaan aikaan esiintyy muita olosuhdetekijöitä, joiden vaikutusta sääilmiöt tehostavat. Esim. polaaririntaman sykloniin liittyen tuulet voimistuvat ja aiheuttavat merenkäyntiä. Samanaikaisesti rintamiin liittyvät sadealueet heikentävät näkyvyyttää ja pilvimassat vähentävät valon määrää. Kauniilla ilmalla ja hyvän näkyvyyden vallitessa kohtuullinen merenkäynti ei vaaranna aluksen turvallisuutta. Huonot sääolot moninkertaistavat merenkäynnin aiheuttamat vaikutukset. Merenkäynnistä johtuen alus sortaa ja suunnan pitäminen vaikeutuu. Jos samanaikaisesti voimakas lumisade heikentää näkyvyyttä ja aiheuttaa tutkakuvaan häiriöitä, aluksen paikanmääritys vaikeutuu.

Tuuli aiheuttaa aina myös aallokkoa. Siksi niitä on syytä käsitellä yhdessä. Pienimmillään niiden yhteisvaikutus aiheuttaaa aluksen kevyttä keinahtelua ja mahdollisesti pientä pahoinvointia. Kova myrsky vaurioittaa aluksen runkoa, hajottaa laitteita, irrottaa kansirakenteita, jopa tykkejä ja aiheuttaa vaaratilanteita aluksen henkilöstölle. Jo suunnitteluvaiheessa alukselle pyritään määrittämään tuuli- ja aallokkorajat, jolloin:

1. Alus pystyy käyttämään kaikkia järjestelmiään ja ajamaan täydellä vauhdilla.

2. Alus pystyy liikkumaan turvallisesti ja säilyy ehjänä siten, että se pystyy suojaan siirrytyään käyttämään kaikkia järjestelmiään.
3. Alus ja henkilöstö selviävät suojaan.[69]

Varsinaiset tuuli- ja aallokkorajoitukset alukselle määritetään peruskatsastuksen yhteydessä, ja niitä voidaan tarpeen vaatiessa tarkistaa merikelpoisuus ja luokituskatsastuksissa. Vaikka alus rakenteellisesti kestäisikin rajua merenkäyntiä, on toiminnan suunnittelussa otettava huomioon henkilöstön elin- ja työskentelyolot. Aluksen voimakas keinahtelu saattaa estää ruoan valmistuksen ja tehdä lepäämisen mahdottomaksi. Lyhyet etäisyydet Suomen merialueilla mahdollistavat alusten nopean siirtymisen rannikon suojaan. Valmiutta kohotettaessa ja olosuhteiden niin vaatiessa, on huolehdittava alueellisen koskemattomuuden turvaamistehtävässä (AKT) olevien alusten vuorottelusta siten, että alusten ja henkilökunnan toimintakyky säilyy korkeana.

Tuulen, ilmanlämpötilan ja aallokon yhteisvaikutuksesta aiheutuu erityisen vaarallista aluksen rakenteiden jäätämistä. Rakenteisiin alkaa kertyä jäätä, kun ilman lämpötila laskee lähelle nollaa ja aallokosta johtuen meren roiskeet osuvat alukseen, jonka pinnalle ne jäätyvät. Jäätämistä tapahtuu myös, kun alijäähtynyt sade, -tihku tai märkä lumi sataa aluksen päälle. Erityisen herkkiä jäätämiselle ovat: alukset, jotka ovat nopeita, joiden kansirakenteet ovat matalalla ja joilla on korkeat mastorakenteet. Merivoimien alukset ovat malliltaan erittäin herkkiä jäätämiselle. Nopeasti kulkevat alukset aiheuttavat pärskeitä, vaikka aallokko tai tuuli eivät niitä vielä aiheuttaisikaan ja mitä matalammalla kansirakenteet ovat sitä helpommin aallot ja pärskeet yltävät niitä huuhtomaan. Korkeisiin mastorakenteisiin kertynyt jää voi jo pienellä kerroksella vaarantaa aluksen vakavuuden. Jäätäminen alkaa yleensä vaikka veden lämpötila olisi reilusti 0 °C:n yläpuolella. Itämerellä vuosina 1967-71 yhdeksässä tapauksessa kymmenessä jäätämistä on esiintynyt veden lämpötilan ollessa 0 °C - +3 °C ja ilman lämpötilan 0 °C - -10 °C. Aallon korkeus on ollut vain joka viidennessä tapauksessa >3m. [70] Mikäli aluksen rakenteisiin kertyy jäätä, aluksen kyky toteuttaa tehtäväänsä on vakavasti rajoittunut, kunnes kertynyt jää on poistettu.

3. OLOSUHTEIDEN ENNUSTAMINEN

3.1 Ennusteita tuottavat laitokset

Merentutkimuslaitos on liikenne- ja viestintäministeriön alainen, kansallinen, merentutkimuksen keskus. Merentutkimuslaitoksen tehtävänä on tuottaa meritieteellistä tietoa yhteiskunnan päätöksenteon ja käytännön tarpeisiin. Merentutkimuslaitoksen päätulosalueet ovat tutkimustoiminta ja palvelutoiminta. Merivoimien kannalta oleellisia tutkimuskohteita ovat jää, aallokko ja vedenkorkeus. Lisäksi Merentutkimuslaitos tutkii Itämeren tilaa, ekosysteemien toimintaa ja rakennetta sekä ilmastonmuutoksen vaikutuksia. Niin ikään Merentutkimuslaitoksen palveluista jääpalvelu sekä vedenkorkeus- ja aallokkopalvelu ovat merivoimien kannalta oleellisimmat. Muita palvelualoja ovat: levätiedotus, tutkimuspalvelut sekä kirjastopalvelut.[71]

Jääpalvelu: Merentutkimuslaitoksen jääpalvelun tehtävänä on tuottaa meriliikenteen tarvitsemia jäähavaintoja, jääanalyysejä, jääennusteita ja jäätiedotuksia. Jääpalvelu julkaisee meriveden pintalämpötila karttoja jäätalven alusta, lokakuun puolivälistä, alkaen. Jääpalvelu antaa jäätiedotuksia päivittäin jäätilanteen mukaan. Jäätiedotusta tuotetaan jäistä riippuen yleensä marraskuun lopulta touko - kesäkuulle.[72]

Jäätiedotus perustuu pintahavaintojen ohella reaaliaikaisiin digitaalisiin satelliittikuviin. Nykyisin käytettävissä olevat kuvat ovat pääasiassa yhdysvaltalaisen NOAA -sarjan (National Oceanic and Atmospheric Administration) satelliittien tuottamia. Satelliittikuvat ovat pilvisyydestä ja pimeydestä riippumattomia ja ne välitetään tilaajille tosiaikaisina.[73] Satelliittikuvien tulkinta ei ole yksiselitteistä ja vaatii usein tuekseen myös perinteistä fyysistä havainnointia. Jääpalvelulla onkin noin 30 jäähavaintoasemaa Suomen rannikolla, jotka tekevät päivittäin havainnointia ja mittaavat jään ja lumikerroksen paksuutta viikoittain. Suomen ja Ruotsin valtion jäänmurtajat tekevät myös havaintoja omilla toiminta-alueillaan ja toimittavat havaintonsa jääpalveluun. Tarpeen vaatiessa voidaan havaintoja suorittaa myös pienko neilla. Vuosittain tiedustelulentoja tehdään 10-15.[74]

Vedenkorkeus- ja aallokkopalvelu: Merentutkimuslaitoksen vedenkorkeus- ja aallokkopalvelu tekee vedenkorkeuteen ja aallokkoon liittyviä mittauksia ja selvityksiä sekä kokoaa niistä tilastoja. " Palvelusta voi tilata aallokko- ja vedenkorkeusselvityksiä, tilastollisia yhdistelmiä, käyriä ja ennusteita sekä aaltomittauksia"[75]

Merentutkimuslaitos suorittaa aaltomittauksia avovesikautena pohjoisella Itämerellä ja selkämerellä. Merentutkimuslaitoksella on tällä hetkellä käytössään kaksi erityyppistä aallonmittauspoijua Poijut mittaavat merkitsevää aallonkorkeutta, aallokon periodia ja suuntaa sekä pintaveden lämpötilaa.[76]

" Merentutkimuslaitos mittaa vedenkorkeutta kolmellatoista mittausasemalla eli mareografilla Suomen rannikolla. Joillakin mareografeilla mitataan myös pintaveden lämpötilaa. Mareografit rekisteröivät vedenkorkeutta automaattisesti ja jatkuvasti. Mittauslaitteiston keräämä data välitetään Merentutkimuslaitokselle kerran tunnissa. Sieltä tämä data voidaan välittää reaaliaikaisesti ja automaattisesti eteenpäin esimerkiksi sähköpostilla."[77]

" Ilmatieteen laitos on liikenne ja viestintäministeriön alainen tutkimus- ja palvelulaitos, jonka erikoisalaa ovat sää, ilmasto, ilmanlaatu, geofysiikka ja avaruustutkimus. Laitoksen asiantuntijat palvelevat viranomaisia, teollisuutta, talouselämää ja yksityisiä kansalaisia kaikissa ilmakehään liittyvissä asioissa."[78] Ilmatieteen laitos on jakautunut useaan tulosalueeseen, joista tarkastellaan tarkemmin operatiivisen perustoiminnan tulosaluetta. Operatiiviseen perustoimintaan kuuluvat mm. peruspalvelut ja havaintotoiminta. Tutkimukseen kuuluvat meteorologinen-, ilmanlaadun- ja geofysiikan tutkimus.[79]

Peruspalvelu: Peruspalvelun päätehtävänä on turvallisuussääpalvelu, jonka tehtävänä on tukea viranomaisten ja elinkeinoelämän toimintoja, sekä turvata kansalaisten turvallisuus. Tehtävä suoritetaan antamalla sääennusteita ja -varoituksia. Maailman ilmatieteen järjestön WMO:n (World Meteorological Organization) päätöksen mukaan vain kansalliset ilmatieteen laitokset saavat antaa meteorologisia varoituksia. Meteorologisten varoitusten antajalla on viranomaisvastuu. Sään ääri ilmiöistä varoittamisen lisäksi peruspalvelut liittyvät onnettomuustapauksissa sään vaikutusten arviointiin, esim. saastepilven leviäminen tuulen mukana tai sään kehittyminen meripelastustehtävässä. Tavallisen kansalaisen silmin jokapäiväiset sääennustukset televisiossa, radiossa ja sanomalehdissä ovat peruspalvelun näkyvin palvelumuoto.[80]

Havaintotoiminta: Ilmatieteen laitoksella on yli 540 säähavaintoasemaa eripuolilla Suomea. Edellisellä 30 vuoden havaintojaksolla 1961-1990 tilastoitiin säähavainnot 108:lta asemalta. Nykyiseen säähavaintoverkkoon kuuluu mm. 7 säätutkaa, joilla pystytään kattamaan koko Suomi aivan pohjoisinta Lappia lukuunottamatta. Säähavaintoverkko on pitkälle automatisoi-

tu ja se kykenee välittämään havainnot reaaliaikaisina jatkokäsittelyyn. Nykytekniikasta huolimatta kaikkia havaintoja, esim. pilvityypit, pilvisyys ja taivaantila, ei voida automatisoida luotetavan menetelmän puuttuessa.[81]

3.2 Ennustamismenetelmät

Sään ennustukseen on käytetty kautta aikain mitä erilaisimpia menetelmiä kuun ja tähtien asemista aina sammakkojen kurnutukseen asti. 1600-luvulta 1700-luvun puoliväliin Suomessa käytettiin puhtaasti astrologisia menetelmiä sään ennustukseen ja ne painettiin kansanalmanakkoihin vuodeksi eteenpäin. Vuodesta 1749 lähtien " sääennustuksina" almanakkoihin painettiin yhdeksäntoista vuoden takaista säätä perustuen kuun kierron jaksollisuuteen. Viimeinen tällainen ennustus on päivämäärällä 30.12.1886: " pakkanen".[82] Vaikka monet luonnontuntemukseen ja kansan viisauteen perustuvat menetelmät osuvat joskus oikeaan ja niitä on mukava käyttää omaksi iloksi, niillä ei ole mitään ennustusarvoa. Kuitenkaan ei tule sekoittaa näitä luonnonmenetelmiä ja todelliseen ilmatieteeseen perustuvien havaintojen pohjalta käytettäviä nyrkkisääntöjä, joista tarkemmin alaluvussa 3.4. Käytännössä ainoat toimivat ja luotettavat menetelmät ovat synoptinen ja numeerinen menetelmä.

Synoptisella menetelmällä ennustamisen perustana ovat omat ja kansainvälisen havaintoverkon tuottamat säähavainnot laajalta alueelta. Yksittäisistä havainnoista kootaan kattava kuva vallitsevasta säätilasta. Havaintoina kerätään vallitseva ilmanpaine, lämpötila, ilmankosteus, säätila, tuulen suunta ja nopeus. Havainnot merkitään sääkartalle, jota analysoimalla voidaan määrittää ilmanpainekäyrät, matala- ja korkeapaineiden sijainnit, säärintamat, ym. Vertailemalla näin saatua sääkarttaa tasaisin väliajoin päivittyviin säähavaintoihin ja niistä tehtyihin uusiin sääkarttoihin havaitaan helposti sääjärjestelmien liike ja kehittyminen. Muutaman tunnin kattavissa ennusteissa voidaan olettaa, että sääjärjestelmät liikkuvat ja muuttuvat tasaisella nopeudella. Mitä pidempiä ennusteita synoptisella menetelmällä tehdään, sitä suurempia virheitä sääjärjestelmän kiihtymisistä hidastumisista ja suunnanmuutoksista kertyy. Tällöin sääkarttoja analysoivan henkilön ammattitaito ja kokemus korostuvat.[83]

Synoptinen menetelmä on " jokapojan menetelmä", jonka käyttö on verrattain helppoa. Se edellyttää kuitenkin kattavaa havaintoverkkoa sekä sääjärjestelmien ja niiden merkityksen perustuntemusta. Synoptinen menetelmä on kuitenkin tarkka lyhyellä, 1-6h (max 12h), aikavälillä ja soveltuu Itämeren olosuhteissa sekä taktiseen sääennustukseen, että merisääennustukseen

(ns. reittitarkastelusää). Synoptista menetelmää voidaan toteuttaa myös alusolosuhteissa, mikäli kaikki havainnot pystytään toimittamaan alukselle tiiviinä pakettina esim. kartta vallitse vasta säästä 2 - 8 krt / vrk. Karkean ennustuksen tekemiseen riittää korkea ja matalapaineiden keskusten sekä säärintamien sijainti, ilmanpaine ja lämpötila.

Numeerisella tai toiselta nimeltään dynaamisella menetelmällä ennustettaessa olosuhdetekijöille annetaan numeerisia arvoja ja niiden liikkeitä ja muuttumista lasketaan voimassa olevien fysiikan lakien mukaan. Peruslakina on Newtonin II laki, jonka mukaan voima on massan ja kiihtyvyyden tulo (F = ma). Meteorologiaan sovellettuna se tarkoittaa että: " ilmaosasten liikepaljouden muutos aikayksikössä on yhtä suuri kuin siihen vaikuttavien voimien summa"[84]. Näitä voimia ovat: maan vetovoima, painegradienttivoima, coriolisvoima, kitka ja keskipakovoima. Kun tunnetaan liikepaljous jonain ajan hetkenä t_0 sekä vaikuttavat voimat F_1, F_2, ..., voidaan laskea ennustusyhtälöllä, $\Delta (m V) = (F_1 + F_2 + ...) \Delta t$, liikepaljouden muutos lyhyen ajan kuluessa. Laskeminen ei kuitenkaan ole näin yksinkertaista, sillä ilmanosasia kuvaavat yhtälöt vaativat yksinkertaistuksia ja likiarvoja. Lisäksi lähtötilanteen selvittäminen hetkellä t_0 vaatii runsaasti työtä. Laskutoimitukset vaativat tehokkaat supertietokoneet ja erikseen suunnitellut ohjelmat, sääennustusmallit.[85] Menetelmällä tuotetaan 1 - 5 vrk:n sääennusteet, mutta kuten synoptisessakin menetelmässä ennusteen tarkkuus heikkenee ennusteen loppua kohti. Siksi neljännelle ja viidennelle päivälle annetaan yleensä vain suuntaa-antavia ennusteita.

Numeerista menetelmää käyttävät erilaiset kansalliset ja kaupalliset sääpalvelut. Se on nopeutensa ja tarkkuutensa vuoksi noussut päämenetelmäksi monilla sääpalveluja tuottavilla yrityksillä. Numeerinen, samoin kuin synoptinenkin, menetelmä edellyttää laajaa havaintoverkkoa. Lisäksi laskutoimituksen edellyttämät supertietokoneet ja niihin kuuluvat sääennustusmallit ovat erittäin kalliita.

Käytännössä sään ennustaminen tapahtuu nykyään numeerisen ja synoptisen menetelmän yhdistelmällä, jossa numeerisen menetelmän osuus kasvaa ennustuksen pituuden mukaan. Kaikki numeeriset mallit eivät edes laske alle 6 h:n ennustuksia. Suoranainen suhdeluku riippuu käytettävästä sääennustusmallista, ennustuksen pituudesta, meteorologista, säätilasta ym. Yli vuorokauden päähän ulottuvat ennustukset tehdään kuitenkin lähes 100 % numeerisesti. Luotettavan sääennustuksen luomiseksi on hallittava molemmat menetelmät sekä tunnettava alueen maantieteellisten erityispiirteiden vaikutus sääjärjestelmien käyttäytymiseen.[86]

Myös aallokkoa ja jäätilannetta on mahdollista ennustaa numeerisella menetelmällä. Merentutkimuslaitoksella on käytössään alunperin valtamerien aallokon ennustukseen kehitetty tietokone ohjelma eli aaltomalli Wave Model (WAM). Sitä on sovellettu Itämerellä jo 1990 luvun alkupuolella, mutta sen tuottamat ennusteet ovat olleet laadultaan heikkoja johtuen Itämeren pienestä koosta ja monimutkaisesta muodosta. Koska aallokko ja tuuli liittyvät toisiinsa, yksi aaltoennusteiden osatekijä on ilmakehän numeerinen malli. Aiemmin ilmakehämallin rakenteen perusosan, hilan, mittakaava on ollut liian iso käytettäväksi sellaisenaan aaltomallissa. Aaltomallin ja ilmakehämallin hilojen yhteen sovittaminen on aiheuttanut vääristymää ja aikaviivettä aaltoennusteeseen. Nykyinen ilmakehä-aaltomalli käyttää samaa hilakokoa ja on päivittäiskäytössä Itämerellä. Aaltoennusteita tehdään Riianlahtea lukuunottamatta koko Itämerelle. Kolme kertaa vuorokaudessa päivittyvä ennuste sisältää: merkitsevän aallonkorkeuden ja aallokon suunnan kahdeksi vuorokaudeksi eteenpäin.[87]

Merentutkimuslaitoksen jääpalvelu ennustaa jään liikkeitä suomalais - kiinalaisen numeerisen jäämallin avulla. Kuten aaltomalleissakin, jäämallin keskeinen osa on tuulimalli. Jääpalvelun päivystävän tutkijan panos ennusteen tekemisessä on kuitenkin merkittävä. Satelliittikuvien ja havaintojen tulkinta vaatii ammattitaitoa ja jäätiedotus perustuukin usein kokeneen tutkijan subjektiiviseen näkemykseen.[88]

3.3 Ennustukseen ja havainnointiin käytettävät laitteet

Ilman lämpötila: Lämpömittari on ehkä tunnetuin säähavaintoväline. Niitä on käytössä useita erilaisia malleja. Ilmatieteellisiin havaintoihin kelpaavan mittarin mittaustarkkuus on kuitenkin oltava ± 0,1 °C.[89] Yleisimmät mittarit ovat elohopea-, sprii- ja sähköiset mittarit, joista mittarimalli valitaan käyttötarkoituksen mukaan. Erilaisia mittarityyppejä ovat esim. vallitsevan lämpötilan mittari, maksimi- ja minimimittari sekä piirtävä mittari eli termografi. Merkittävämpää kuin mittarin toimintaperiaate on mittarin sijoittaminen. Lämpömittari tulisi sijoittaa siten, että se on suojattu tuulelta, sateelta, auringonpaisteelta, kasteelta, lumelta, tärinältä, lialta, ym. Sitä ei tulisi sijoittaa kiinteästi siten, että siihen voi johtua lämpöä. Sen tulisi saada tuulettua vapaasti luonnollisessa ilmavirrassa.[90] Edellä mainituista syistä laivaolosuhteissa tulisi käyttää vain siirrettävää mallia olevaa mittaria, joka otetaan esille vasta mittaustilanteessa.

Ilman kosteus: Ilman kosteuden mittaamiseen on käytössä kaksi eri periaatteella toimivaa mittaria: hiushygrometri sekä psykometri. Hiushygrometri mittaa ilman suhteellista kosteutta ja

sen toiminta perustuu siihen tietoon että hiuksen pituus on suoraan verrannollinen ilman suhteelliseen kosteuteen.[91] Mittarin tarkkuus on yli 90%:n kosteudella 1-3 ja alle 90%:n kosteudella 3-6 prosenttiyksikköä. Epätarkkuudestaan huolimatta mittari on erittäin helppokäyttöinen, koska siitä voidaan suoraan lukea ilman suhteellinen kosteus.[92] Psykometri puolestaan muodostuu kahdesta tavallisesta lämpömittarista, joista toisen säiliöosan ympärille kiinnitetään jatkuvasti kosteana pysyvä sukka. Kosteuden haihtumisen vuoksi kuluvan energian takia kostea mittari näyttää hieman alempaa lämpötilaa kuin kuiva mittari. Mitä kuivempi ilma, sitä enemmän haihtumista tapahtuu, energiaa kuluu ja mittareiden mittausero kasvaa. Taulukoita hyväksi käyttäen voidaan laskea ilman suhteellinen kosteus ja kastepiste, mittaustarkkuuden ollessa 1 prosenttiyksikkö ja 0,1 °C.[93] Myös ilmankosteuden mittarien tulisi aluksella olla siirrettävää mallia.

Ilmanpaine: Ilmapuntari on kaikkein tärkein olosuhteiden havainnointiväline. Yleisesti käytössä on kaksi erilaista mallia: elohopeailmapuntari eli barometri ja rasia- eli aneroidi-ilmapuntari. Elohopeailmapuntarissa mitataan avonaiseen elohopea-astiaan upotetun, elohopeaa täynnä olevan lasiputken elohopeapatsaan ja astian pinnan välistä korkeuseroa. Saatu millimetrimäärä korjataan vielä lämpötila-, latitudi- ja horisontaalikorjauksilla. Näin saadaan mitattua ilmanpainelukema. Rasiailmapuntarin toiminta perustuu puolestaan umpinaisen, lähes ilmattoman metallirasian supistumiseen ja laajentumiseen ilmanpaineen vaikutuksesta. Rasian supistuminen ja laajentuminen voimistetaan vipuvarsilaitteiston avulla osoittimelle, joka näyttää suoraan oikeaa lukemaa. Rasiailmapuntari ei ole yhtä tarkka kuin elohopeailmapuntari, mutta se on kestävyytensä ansiosta ainoa laivakäytössä toimiva ilmanpaineen mittalaite. Lisäksi se voidaan kiinnittää alukseen kiinteästi. Piirtävä ilmapuntari, barografi, perustuu aneroidiperiaatteeseen. Se ei ole kovinkaan tarkka, mutta siitä on helppo nähdä ilmanpaineen kehitys. Ilmanpaineen yksikkö ilmatieteessä on millibaari (mb). Elohopeailmapuntarin antama lukema on puolestaan elohopeamillimetri (mmHg). SI järjestelmän mukainen paineen yksikkö on pascal (Pa). Mittayksiköiden keskinäinen suhde on 1 mb = 100 Pa = 0,75 mmHg. Ilmapuntareissa voi esiintyä kaikkia näitä yksiköitä.[94] Sota-aluksilla on huomioitava että mikäli alus ylipaineistetaan ei ilmapuntarin lukemia voida käyttää.

Tuuli: Koska tuuli on vektorisuure, jolla on kaksi ulottuvuutta, suunta ja nopeus, sen mittaamiseen tarvitaan kaksi mittaria. Tuuliviiri, joka osoittaa suunnan sekä anemometri, joka mittaa tuulen nopeuden. Usein nämä molemmat mittarit on yhdistetty samaan laitteeseen. Tuulen nopeusmittarissa oleva potkuri tai kuppipropelli pyörii tuulen voimasta tietyllä nopeudella, jo-

ka on suoraan verrannollinen tuulen nopeuteen. Laskemalla kierrosten lukumäärä ajan jaksoa kohti voidaan laskea tuulen nopeus. Tuuli ei koskaan puhalla tasaisella nopeudella samasta suunnasta, vaan on aina pyörteistä. Tämänvuoksi tuulen suuntana ja nopeutena käytetään kymmenen minuutin keskiarvoa. Mittari tulisi sijoittaa 10 m:ä maan- tai vedenpinnan yläpuolelle ja siten ettei lähistöllä ole pyörteitä aiheuttavia rakenteita.[95]

Vedenkorkeus: Vedenkorkeuden mittaus tapahtuu mareografilla. Mareografia varten rannan läheisyyteen on kaivettu syvä kaivo. Tämä kaivo on yhdistetty mereen kapealla vaimennusputkella, jonka tarkoituksena on vaimentaa vedenpinnan nopeita liikkeitä, aaltoja. Mittauslaitteiston mekaanisen osan muodostaa veden pinnalla kelluva uimuri, joka on kytketty teräsnauhalla vastapainoon. Tämä teräsnauha kiertää pyörän, joka on kytketty digitaaliseen mittauslaitteistoon. Vedenkorkeuden vaihdellessa ja uimurin noustessa ja laskiessa sen mukana laitteisto rekisteröi pyörän pyörimisen, mikä kooderin välityksellä muutetaan vedenkorkeuslukemiksi.[96]

Aallokko: Aallokon mittaamiseen on kehitetty runsaasti erilaisia havainnointilaitteita. Aallokkoa voidaan mitata esimerkiksi poijuilla, tutkilla, satelliiteilla, käänteisillä kaikuluotaimilla tai painemittareilla. Useimmiten aallokon pitkäaikaiseen mittaukseen ja rekisteröintiin käytetään aaltopoijuja, koska niitä voidaan käyttää yhtäjaksoisesti pitkiä aikoja ja ne ovat tarkkoja. Merentutkimuslaitoksella on Itämerellä kaksi aallonmittauspoijua. "Kumpikin poiju on ankkuroitu siten, että niiden liike seuraa vapaasti aaltojen liikettä. Pohjoisella Itämerellä sijaitseva aaltopoiju (Directional Waverider) mittaa aallokkoa kolmen kiihtyvyysanturin ja kompassin avulla. Lisäksi poiju mittaa myös pintaveden lämpötilaa. Mittaustulokset poiju lähettää Argos-satelliittijärjestelmän kautta. Yhdessä ilmatieteen laitoksen kanssa hankittu Selkämeren sääpoiju (Wavescan) on tyypiltään niin sanottu heave-pitch-roll -poiju, joka mittaa aallokon suunnan eri tavalla kuin Directional Waverider. Vaakatason kiihtyvyyksien sijasta poiju mittaa kallistuskulmiaan (pitch ja roll), joiden avulla aallokon suunta voidaan laskea. Selkämeren sääpoiju mittaa aallokon lisäksi myös tuulen nopeutta ja suuntaa, ilman ja veden lämpötilaa sekä pintavirtausta. Tiedot välittyvät Inmarsat C-satelliittijärjestelmän kautta kerran tunnissa."[97]

Näkyvyys: Vaikka ilman läpinäkyvyyden mittaukseen onkin kehitetty optisia, valonsäteiden sirontaan ilman vesipisaroista perustuvia mittareita, näkyvyyden paras, toimivin ja halvin mittalaite on ihmissilmä.[98] Vaikeutena näkyvyyden määrittelyssä ei ole kohteen havaitseminen,

vaan etäisyyden arviointi. Alusolosuhteissa näkyvyyden määrittely onnistuu helposti tutkaa apuna käyttäen.

Pilvisyys: Pilvisyyden ja pilvilajien tunnistamiseen ei ole vielä kehitetty toimivaa ja luotettavaa teknistä menetelmää. Toistaiseksi ainoa käyttökelpoinen menetelmä on optinen havainnointi. Pilvisyys ilmoitetaan taivaankannen kahdeksasosien peittona siten että 0 merkitsee täysin pilvetöntä ja 8 täysin pilvistä. Pilvisyys arvo 4 tarkoittaa siis sitä, että 4/8 taivaan kannesta on pilvien peitossa. Mikäli esim. sumu tai tiheä lumisade estää pilvisyyden havaitsemisen käytetään siinä tapauksessa arvoa 9. Pilvisyyden lisäksi pilvihavainnointiin kuuluu pilvisukujen ja -lajien tunnistaminen sekä pilvien alarajan korkeuden määrittäminen. Pilvien tunnistamisessa käytetään apuna pilvikuvastoja, mutta tehtävä on silti vaativa ja edellyttää havaitsijalta runsaasti ammattitaitoa. Pilven alarajan korkeuden määrittämisessä käytetään joko arvioimista, pilot-palloa, pilvivalonheitintä tai vertaamista korkeisiin rakennelmiin ja maastonkohtiin. Pilot-pallolla mitattaessa verrataan nousunopeutta ja pallon katoamista pilveen. Pilvivalonheitintä käytettäessä puolestaan mitataan pilveen muodostuneen valopisteen ja havaintopaikan välistä kulmaa.[99]

Säätutka: Säätutka toimii samalla periaatteella kuin kaikki muutkin tutkat. Ero säätutkilla ja muilla tutkilla ovat käyttötarkoitusten mukaisissa parametreissä: esim. merenkulkututkassa pyritään saamaan näkyviin isokokoiset maalit. Sääilmiöt, kuten sade, tulkitaan häiriöiksi. Nä mä häiriöt pyritään poistamaan säätämällä pulssin pituutta ja vastaanottimen herkkyyttä. Säätutkassa puolestaan kiinteät maalit, samoin kuin alukset ym., tulkitaan häiriöksi ja ne pyritään poistamaan. Säätutkan antennin muodostama keila on kapea ja symmetrinen, joten sen erottelukyky on yhtä tarkka joka suuntaan. Laivatutkissa puolestaan keila on sivusuunnassa kapea, mutta korkeussuunnassa leveä. Merenkulkututkissa riittää usein vain kaiun vastaan ottaminen, mutta säätutkassa on myös merkitystä vastaanotetun kaiun voimakkuudella. Kaiun voimakkuudesta voidaan tulkita mikä sääilmiö on kaiun aiheuttanut. Säätutkan on kyettävä ilmaisemaan erityisesti vesipisaroista, jääkiteistä, lumihiutaleista ja ilmapyörteistä heijastuvat erittäin heikot kaiut. Siksi säätutkissa käytetäänkin mahdollisimman suurta tehoa. Säätutkan kuvasta voidaan havaita säärintamien, pilvien ja sateiden rakenne, sijainti sekä liike.[100]

Säätutkan yleiset ominaisuudet verrattuna merenkulkututkaan:

	Säätutka	Merenkulkututka
Aallonpituus	3 - 10 cm (3.2, 5.6 tai 10 cm)	3 - 10 cm
Pulssiteho	200 - 1000 kW	3 - 60 kW
Pulssin pituus	0,5 - 3 μs	0,1 - 1 μs
Lähetystaajuus	100 - 1000 p/s	1000 - 6000 p/s
Antennin keila	0,5 - 2 ° symmetrinen	1 - 3° vaaka 20 - 30° pysty
Pienin havaitava kaikuteho	10^{13} - 10^{14} W	10^{12} - 10^{15} W

101

Sääsatelliitit: Sääsatelliitteja on laukaistu kiertoradoille vuodesta 1960 lähtien. Pääsääntöisesti sääsatelliitit ovat joko geostationäärisiä tai naparatasatelliitteja. Geostationääriset satelliitit pysyvät nimensä mukaisesti kokoajan samassa paikassa maapallon pintaan nähden. Niiden rata kulkee päiväntasaajaa pitkin n. 36000 km:n korkeudella. Mitä pohjoisempaa tai eteläisempää kuvat otetaan, sitä loivemmassa kulmassa maanpintaan nähden ne saadaan. Tästä syystä naparatasatelliitti on suurilla latitudeilla käyttökelpoisempi. Naparata satelliitit kulkevat n. 850 km:n korkeudella navalta navalle siten, että maa pyörii kohtisuoraan sen rataan nähden, yhden kierroksen kestäessä noin 100 minuuttia. Koska kuvat saadaan otettua kohtisuoraan maanpintaan nähden, niiden tarkkuus paranee. Varjopuolena on se, että satelliitti käy vain muutaman kerran päivässä saman pisteen yläpuolella, eikä välttämättä aina edes lennä saman alueen ylitse. Lisäksi sen näkemä alue on geostationääristä satelliittia pienempi. Naparata satelliitin ottamia kuvia saadaan epäsäännöllisesti ja osa satelliitin ylilennoista tapahtuu vastaanottimeen nähden sivusta, jolloin osasta kuva-alaa ei saada mittaustietoa. Sääsatelliitit ottavat ilmakehästä tavallisia kuvia sekä mittaavat näkyvänvalon ja infrapunasäteilyn määrää. Valon määrän ja infrapunasäteilyn mittauksella pyritään selvittämään ilmakehän lämpötilan ja kosteuden pystysuora jakautuminen. Sääsatelliitit kykenevät lähettämään reaaliaikaista tietoa ja kuvia ilmakehästä.[102]

Radioluotaus: Radioluotaus on aivan tavallista meteorologisten havaintojen tekoa, mutta siinä mittarit nostetaan vapaaseen ilmakehään vedyllä täytetyn säähavaintopallon avulla. Mittalaitteistot sisältävä luotain lähettää mittaustulokset radioteitse havaitsijalle. Pallon nousua seurataan tutkalla, jolloin saadaan selville ilmavirtojen suunta ja nopeus ilmakehän eri korkeuksissa. Säähavaintopallo kohoaa aina 40 km:n korkeuteen, jolloin vetypallon osapaine

kasvaa niin suureksi että se puhkeaa ja mittalaitteisto putoaa maahan. Luotain on kuitenkin kertakäyttöinen eikä maahan pudonneita luotaimia kerätä talteen.[103]

3.4 Ennustaminen omien havaintojen perusteella

Ilman minkäänlaista lähtötilannetta, pelkästään omien havaintojen perusteella, sään ennustaminen on hyvin vaikeaa. Havainnointipaikan sää saattaa johtua tuhansien kilometrien päässä olevien säätapahtumien summasta. Omiin havaintoihin perustuva ennustaminen rajoittuu käytännössä siihen millaiseksi vallitseva sää kehittyy muutaman seuraavan tunnin kuluessa.[104] Toisin sanoen kyseessä on meteorologisten syy ja seuraus suhteiden toteaminen. Paras ja helpoin menetelmä on käyttää todelliseen ilmatieteeseen perustuvia nyrkkisääntöjä, joiden avulla pystytään ennustamaan paikallisen sään muutoksen suuntaa seuraavan puolen vuorokauden aikana. Tällaiset nyrkkisääntö ennustukset ovat tarkkuudeltaan " sää todennäköisesti heikkenee ja tuulet voimistuvat seuraavan 6 h:n aikana" luokkaa. Oleellista menetelmässä on havaintojen säännöllisyys. Paras havaintoväli on Maailman ilmatieteellisen järjestön WMO:n sopimusten mukainen 3 h[105] . Kolmen tunnin havaintoväli sopii erinomaisesti siksi, että silloin vuorokaudessa saadaan riittävästi havaintoja eikä niiden määrä vielä rasita kohtuuttomasti. Lisäksi kolme tuntia on riittävä aika hitaidenkin muutosten havaitsemiseksi. WMO:n sopimusten mukaan kaikkialla maailmassa säähavainnot tehdään samaan aikaan: päähavainnot 0600, 1200, 1800 ja 2400 sekä välihavainnot 0300, 0900, 1500 ja 2100 (GMT)[106] . Tällöin omaa havaintotoimintaa voi täydentää myös rannikolla kiinteästi toimivien havaintoasemien havainnoilla. Kolmen tunnin havaintoväliä tukee myös se seikka, että suurin osa ilmatieteisiin perustuvista nyrkkisäännöistä perustuu kolmen tunnin seurantajaksoon.

Omien havaintojen kannalta tärkeimmät välineet ovat ilmapuntari ja tuuliviiri. Tuulen suunnan vaihtumisen ja ilmanpaineen muutosten perusteella voidaan arvioida lähistöllä liikkuvien matalapaineiden liikettä. Pelkästään ilmapuntarin ja kellon avulla voidaan ennustaa säätä seuraavien kolmen tunnin nyrkkisääntöjen mukaisesti:

- Ilmanpaineen laskiessa hitaasti, n. 0,5 - 3 mb havaintovälillä, matalapaine lähestyy hitaasti, täyttyy tai on heikko. Sää muuttuu hitaasti sateiseksi, eivätkä tuulet enää voimistu.
- Ilmanpaineen laskiessa 3 - 6 mb havaintovälillä, matalapaine lähestyy reipasta vauhtia tai se syvenee. Tuuli on navakkaa tai kovaa. Lämpimän- ja okluusiorintaman alueella sataa

paljon. Matalapaine saattaa jatkaa matkaansa yhtä reippaasti kuin on saapunutkin ja sää saattaa parantua päivässä.

- 6 - 12 mb paineen lasku havaintovälillä merkitsee myrskyä ja voimakkaita sateita, sillä matalapaine on voimakkaasti kehittyvä.
- Lähellä matalapaineen keskusta paineen lasku päättyy ja tuuli tyyntyy. Sää on epävakaista ja tuuli saattaa voimistua 180° tyyntymissuunnastaan.
- Paineen noustessa 6 - 12 mb havaintovälillä, voimakas matalapaine on ohittanut havaintopaikan. Sää on myrskyinen ja kuurosateet yleisiä. Myrsky heikkenee 12 h:n kuluessa.
- Kun paine nousee 3 - 6 mb havaintovälillä, matalapaine loittonee reipasta vauhtia. Tuuli on kovaa tai navakkaa heikentyen kuitenkin 12 h:n kuluessa. Ilma on viileää.
- Ilmanpaineen noustessa hitaasti, 0,5 - 3 mb havaintovälillä, matalapaine loittonee hitaasti.
  - Runsaat kuurosateet merkitsevät matalan täyttymistä ja tuulten heikkenemistä.
  - Korkeat alasinpilvet merkitsevät että kuurosateet voivat jatkua vielä pitkään.
  - Litteät kumpu- ja kerrospilvet merkitsevät korkeapaineen läheisyyttä ja auringonpaistetta. Talvella ne merkitsevät pakkasen kiristymistä.
- Lähellä korkeapaineen keskusta paineen nousu lakkaa. Sää on pääsääntöisesti hyvä, eikä muutoksia ole lähitunteina odotettavissa.[107]

Kun halutaan selvittää matala- ja korkeapaineen sijainti, tarvitaan ilmapuntarin lisäksi myös tuulen suuntatietoja. Nyrkkisääntönä voidaan sanoa, että kun käännämme selän tuuleen, niin matalapaineen keskus on etu-vasemmalla ja korkeapaineen keskus taka oikealla. Tuuli, jonka tunnemme on alatuulta, joka johtuu matala- ja korkeapaineen paine-eroista. Matalapaineen liikettä ei siis pystytä arvioimaan pelkän alatuulen avulla. Matalapaine liikkuu n.12 km:n korkeudella puhaltavien ylätuulien suuntaan. Ylätuulten suuntaa on mahdoton arvioida alatuulen perusteella. Ylätuulen suuntaa arvioidaankin tarkastelemalla keski- ja yläpilvien liikettä. Kun yläpilvet lähestyvät etuvasemmalta, matalapaineen suunnasta, lähestyy matalapainekin ja sää todennäköisesti heikkenee. Jos yläpilvet lähestyvät takaoikealta, korkeapaineen suunnasta, matalapaine loittonee ja sää paranee. Ylätuulisäännöt ovat karkeita arvioita ja pitävät sitä paremmin paikkansa, mitä voimakkaampia ylä- ja alatuulet ovat. Ylätuulisäännöt on esitetty kuvallisesti liitteessä 11.[108]

3.5 Johtopäätökset

Miten olosuhteiden esiintymistä voidaan ennustaa?

Havainnot ovat sään ennustamisen ehdoton edellytys. Ennustamista varten on kehitetty koko maapallon kattava havaintoverkko, joka käsittää havaintoasemia yksittäisestä lämpömittarista aina sääsatelliitteihin. Ilman ulkopuolisia havaintojakin voidaan ennustaa lähialueen säätä, mikäli aluksen omat havaintolaitteet ovat asianmukaisesti sijoitettu ja toimintakunnossa. Merivoimissa havaintolaitteiden sijoittelussa ja toiminnassa on pahoja puutteita.[109] Kansallisten ja kaupallisten sääpalveluiden tuottamat sääennusteet ovat tarkkuudeltaan ja saatavuudeltaan niin hyviä, että sään ennustaminen omien havaintojen perusteella on käynyt tarpeettomaksi. Näin ollen aluksilta on myös havaintotoiminta sään ennustamista varten loppunut käytännössä kokonaan. Havaintolaitteet on sijoitettu aluksilla " käyttäjäystävällisesti" siten, että ulkoiset tekijät pääsevät aiheuttamaan virheitä mittalaitteisiin. Tyypillisesti esim. lämpömittari on asennettu aluksen runkoon kiinni siten, että sitä on helppo lukea sisätiloista, mutta samalla mittari on alttiina auringon paisteelle, rungosta johtuvalle lämmölle sekä tärinöille. Alusten ilmapuntarit ovat alttiina voimakkaille paineen muutoksille ja tuulimittarit mastorakenteista johtuville ilmapyörteille. Omiin havaintoihin perustuva sään ennustaminen vaatii paitsi oikeita havaintoja, myös jatkuvaa ammattitaidon ylläpitämistä. Näin ollen valmius sään ennustamiseen aluksilla tilanteissa, joissa ulkopuolisia ennusteita ei ole käytössä, on varsin heikko.

Toimenpiteet tilanteen korjaamiseksi ovat yksinkertaisia. Säähavaintojen tekoajankohtia tulisi harventaa sekä ilmanpaineen havaintoväliä lyhentää kolmeen tuntiin. Havaintovuorokausi tulisi aloittaa klo. 0800. Tällöin säähavainnoinnista tulee selkeästi oma tapahtumansa, jolloin sen suorittamiseen kiinnitetään luonnostaan enemmän huomiota, eikä havaintotoiminta rasita aluksen muita toimintoja. Lisäksi havaintoajankohta osuu LPO:n mukaisten vahtien vaihtumisajankohdalle vain kahdesti vuorokaudessa klo. 0800 ja 2000. Näin havaintotoiminta ei jäisi vahdin vaihdon vuoksi pienemmälle huomiolle. Aamulla klo. 0800 ja illalla klo. 2000 pidettävissä tilanne- ja sääkatsauksissa olisi käytössä tuorein mahdollinen säätilanne. Samalla, kun itse havainnointiin kiinnitetään huomiota, tulee huolehtia myös havaintolaitteiden asianmukaisesta käsittelystä ja sijoittelusta. Kun havaintolaitteet on sijoitettu ja kalibroitu oikein, ne myös antavat oikeita arvoja ja luottamus niihin kasvaa. Jokaiselle merenkulkukoulutetulle kantahenkilökuntaan kuuluvalle on opetettu sääopin perusteet, minkä tulisi riittää sään rakenteen ja meteorologisten perussääntöjen ymmärtämiseen. Merivoimissa tulisikin asettaa tavoit-

teeksi, että jokainen alus pystyy ennustamaan sään kehittymisen, omiin havaintoihinsa perustuen, lähimmän 3 h:n kuluessa.

Tarkoituksen mukaisen havaintolaitteiston puuttumisen vuoksi aalto- ja jääennusteiden osalta merivoimien on syytä tukeutua kansallisiin laitoksiin, sillä omiin havaintoihin perustuva ennustaminen on käytännössä mahdotonta.

Kansallinen havaintoverkkomme on varsin kattava ja suomalainen tietotaito sään ennustuksessa on kansainvälisestikin huippuluokkaa. Muussa kuin harjoitus mielessä ei ole syytä jättää käyttämättä julkisia sääpalveluita. Alusolosuhteissa ei ole mahdollisuuksia ottaa vastaan synoptisia havaintoja yksittäisiltä asemilta. Aluksille lähetettävät havainnot tulee ensin koota ja yhdistää samalle kartalle ja toimittaa ne perille vasta sitten, yhtenä tulosteena. Toisaalta laitoksella, jolla on kyky vastaanottaa ja yhdistellä havainnot samalle kartalle, on myös kyky luoda havainnoista ennuste, joka niin ikään on lähetettävissä aluksille ja esikunnille. Vaikka kriisiolosuhteissa oma kansallinen havaintoverkkomme ei pystyisikään toimimaan täydellä tehol la on nykyisten tietoliikenneverkkojen aikakaudella vaikeaa kuvitella tilannetta, jossa Suomi pystyttäisiin sulkemaan täysin kansainvälisen havaintoverkon ulkopuolelle, eikä valtakunnas sa pystyttäisi tekemään luotettavaa sääennustusta. Jollei havaintoverkon tietoja pystytä hank kimaan kansallisella tasolla, niitä tuskin pystytään hankkimaan merivoimien yksiköissäkään. Merivoimissa ongelmakohdaksi saattaakin muodostua, ei niinkään luotettavan sääennusteen saaminen, vaan valmiin ennusteen toimittaminen aluksille. Esteitä sääennusteen toimittamiselle voivat olla esim. viestiliikenteen häirintä, viestiväline rikot ym. Tällaisissa tapauksissa korostuu aluksen kyky ennustaa säätä omien havaintojensa perusteella. Merivoimien kannalta olosuhteiden ennustamisessa tulee ensisijaisesti tukeutua kansallisiin laitoksiin ja keskittää omat voimavarat valmiiden ennusteiden toimittamiseen eri yksiköille. Toissijaisesti yksiköiden tulee kyetä ennustamaan säätä omiin havaintoihin perustuen aiemmin mainittujen perusteiden mukaisesti.

4. OLOSUHTEIDEN TILASTOLLINEN ARVIOINTI

4.1 Olosuhteiden tilastointi

Tilastojen tekeminen kuuluu Ilmatieteen laitoksen ja Merentutkimuslaitoksen perustutkimukseen. Tilastoihin tallennetaan havaintoasemien säännöllisesti tekemät havainnot. Kun havaintoja on riittävästi, niistä voidaan laskea erilaisia arvoja. Kun ilmasto-olosuhteiden suureita tarkastellaan, niitä verrataan säätekijöiden ns. normaaliarvoihin esim.: " sää on vuodenaikaan nähden lämmintä". Sekä Merentutkimuslaitos, että Ilmatieteen laitos pitävät WMO:n suositusten mukaisesti normaaliarvoina 30 vuoden havaintojakson keskimääräisiä arvoja. Edellinen täysi normaalikausi oli 1961-1990, johon verrataan nykyisiä olosuhteita aina seuraavan normaalikauden päättymiseen, vuoteen 2020, asti. 30 vuoden havaintojakso on normaalikaudeksi sopivan pituinen, jotta havaintoja saadaan riittävästi, eivätkä yksittäiset meteorologiset ääritapaukset vääristä laskennallisia normaaliarvoja. Samalla 30 vuotta on riittävän lyhyt aika ilmaston muutoksen aiheuttaman tilastollisen vääristymän korjaamiseksi. Kaikkia ilmasto-olosuhteita, kuten aallokkoa ja osia jääolosuhteista, ei ole pystytty tilastoimaan koko normaalikaudelta. Tällöin tilastoihin lasketaan keskiarvot ja haetaan ääriarvot käyttökelpoisesta havaintojaksosta.[110]

Ilmatieteen laitoksen julkaisemaan " Tilastoja Suomen ilmastosta 1961-1990" (ks. lähteet) on koottu päivittäiset havainnot 19:ltä asemalta sekä kuukausi- ja vuosiyhdistelmät 108:lta asemalta. Päivittäiset havainnot sisältävät lämpötilan sekä lumen syvyyden keski- ja ääriarvoja. Kuukausi- ja vuosiyhdistelmiin on koottu paljon runsaammin tietoa ilmasto-olosuhteista, kuten: ilmanpaineesta, lämpötilasta, tuulten jakautumisesta, pilvisyydestä, ilmankosteudesta, sademäärästä sekä vesi- ja lumisadepäivien-, lämpötilapäivien-, tuulipäivien- ja sääilmiöpäivien lukumäärästä.[111]

Merentutkimuslaitos julkaisee jokaiselle olosuhdetekijälle omat tilastonsa. Vaikka Merentutkimuslaitos niin ikään pyrkii noudattamaan 30 vuoden normaalikautta, se ei kaikin osin ole mahdollista. Parhaat tilastot löytyvät vedenkorkeudesta ja jäätalvista. Sen sijaan Itämeren aallokosta ei ole käytössä normaalikauden tilastoja, johtuen luotettavien mittalaitteiden myöhäisestä kehityksestä sekä aaltopoijututkimuksen kalleudesta. Merentutkimuslaitoksen julkaisemaan " Jäätalven kestoaika ja kiintojään paksuustilastoja Suomen merialueilla 1961-1990"

(ks. lähteet) on koottu 234:n havaintopaikan tilastot meren jäätymisestä, jään lähdöstä ja jääpäivien lukumäärästä sekä 33:n havaintopaikan tilastot kiintojään paksuudesta.[112]

Normaalikausitilastojen lisäksi Merentutkimuslaitos ja Ilmatieteen laitos julkaisee suuren määrän tarkempia ja yksityiskohtaisempia alueellisia, vuosi- ja kausitilastoja. Vuositilastoista löytyy havaintoasemien mittaustuloksia yksittäisen havainnon tarkkuudella. Lisäksi vuositilas toja tehdään myös sellaisista olosuhteista, joista ei yleensä tehdä normaalikausitilastoja. Hyvä esimerkki alueellisesta kausitilastosta on Merentutkimuslaitoksen "Aaltohavaintoja Suomenlahdelta suuntamittauksia 1990-1994" (ks. lähteet). Tilastossa on yksityiskohtaiset tiedot havaintojakson ja -alueen merkitsevästä aallonkorkeudesta, merkitsevästä periodista, aallokon suunnasta, tuulen nopeudesta ja -suunnasta. Lisäksi tilastossa on monipuoliset yhdistelmät, kuvaajat ja keskiarvot.

4.2 Tilastojen käyttö olosuhteiden arviointiin

" Tilastotiede käsittelee sellaista epävarmuuden vallitessa tehtävää ennusteiden laatimista ja päätöksen tekoa, joka perustuu havaintoihin. Epävarmuudella tarkoitetaan tässä yhteydessä, että tarkastellaan satunnaisilmiötä. Ilmiötä kuvataan tietyllä todennäköisyysmallilla, ja kuvailuun liittyy tavallisesti jokin satunnaismuuttuja. Havaintojen perusteella halutaan tehdä johtopäätöksiä kyseisen satunnaismuuttujan jakaumasta eli niistä todennäköisyyksistä, joilla satunnaismuuttuja saa eri arvoja."[113] Olosuhteiden osalta matemaattisen tilastotieteen soveltamisessa ongelmakohdaksi muodostuu todennäköisyys mallin luominen. Periaatteessa useimmat olosuhdetekijät noudattavat kohtuullisen hyvin normaalijakaumaa, mutta sääolosuhteiden vuotuisesta vaihtelusta johtuen keskihajonta kasvaa yleensä niin suureksi, ettei todennäköisyyden laskenta anna tilastojen tarkastelulle juurikaan lisäarvoa[114]. Esimerkiksi Kaunissaaressa tehtyjen havaintojen mukaan ensijää on keskimäärin ilmestynyt 30.12. keskihajonnan ollessa 16 vrk. Lasketaan normaalijakauman mukainen todennäköisyys sille, että ensi jää ilmestyy 30.12. ± 10 vrk.

Normitetun normaalijakauman kertymäfunktion arvo:

$$P(a/\sigma) = \Phi(0{,}625) = 0{,}73405$$ [115]

Normitetun kertymäfunktion arvo välillä $\pm 0{,}625\ \sigma$

$$2\,(0{,}73405)\ 1 \approx \underline{0.47}$$

Meri jäätyy Kaunissaaressa ensi kerran 20.12 - 9.1. 47 %:n todennäköisyydellä.[116]

Tilastotieteessä poikkeama ei ole tilastollisesti merkittävä, jos satunnaismuuttujan χ arvo poikkeaa odotusarvosta μ korkeintaan 1,96 kertaa keskihajonnan σ verran $| \chi - \mu | \leqslant 1{,}96\ \sigma$. Tälle alueelle osuu 95 % tapauksista. Toisin sanoen poikkeama ei ole merkittävä, mikäli ensi jää ilmestyy Kaunissaareen 30.12. ± 31 vrk.[117] Tilastojen tulkinta vaatii runsaasti kokemusta ja usein parhaan kuvan olosuhteista saa tarkastelemalla todennäköisyyksien sijaan tilastoista piirrettyjä graafisia kuvaajia.

Tilastojen käytössä on ennen kaikkea huomioitava se, että sääolosuhteet eivät noudata tilasto ja, vaan tilastot noudattavat sääolosuhteita. Tilastoista ei voida suoraan katsoa esim. tulevan tammikuun 25.:n päivän lämpötilaa Rankin säähavaintoasemalla, vaan tilastoista on nähtävis sä menneitten vuosien lämpötilojen keskiarvot, minimit ja maksimit. Tämäkin tieto on hyödytön ellei sitä tarkastella osana pitempää havaintojaksoa. Seuraavassa esimerkissä havainnollistetaan tilastojen tulkintaa. Lähtökohtana pidetään tammikuun 25.:n päivän lämpötilaa. Ilmanlämpötila on valittu esimerkissä tarkastelun kohteeksi siksi, että se saa arvoikseen kaikkien ymmärtämiä numeerisia arvoja ja noudattelee selkeästi vuodenaikojen mukaista rytmiä. Esimerkissä olisi yhtä hyvin voitu tarkastella esim. ilmanpaineen muutoksia.

Tammikuun 25:n päivän lämpötilat Kotka Rankin säähavaintoasemalta. Arvot on mitattu kahdeksan kertaa päivässä vuosina 1961 - 1990. Yhteensä 240 havaintoa[118].

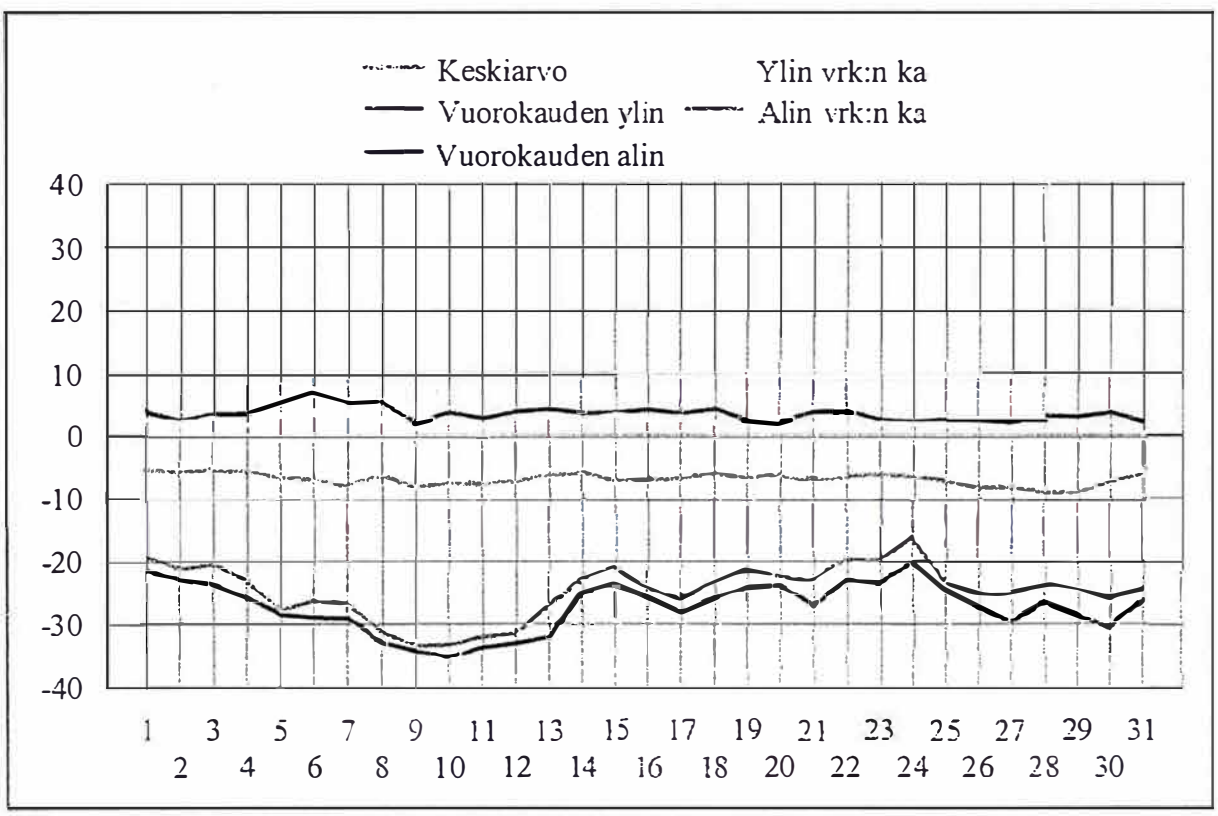
Keskiarvo			Absoluuttinen maksimi			Absoluuttinen minimi		
vrk keski	vrk ylin	vrk alin	vrk keski	vrk ylin	vrk alin	vrk keski	vrk ylin	vrk alin
-7.0	-4.3	-9.6	+1.9 1971	+2.6 1971	+1.1 1971	-23.4 1969	-19.4 1969	-24.5 1969

119

Taulukosta, joka on osa tilastoa, on selvästi havaittavissa, että ilman lämpötila tammikuun 25:n päivänä on pääsääntöisesti ollut pakkasen puolella. Lämpötila ei ole korkeimmillaankaan noussut kertaakaan +3 °C:een. Samoin taulukosta on nähtävissä, että havaintojaksolla tammikuun 25:n päivän ennätys pakkasten ja leudoimpien päivien väliin jää vain yksi talvi. Eroa jakson korkeimmalla ja matalimmalla arvolla on jopa 27.1 °C. Se onko sään heilahtelu normaalia, vai onko kyseessä yksittäisen päivän muodostama tilaston vääristymä, ei selviä taulukosta. Edes havaintojen runsaalla määrällä ei tässä tapauksessa ole mitään merkitystä, koska leikkaus tilastosta on liian kapea.

Tarkastellaan otosta normaalijakuman avulla. Koska tilastoon ei ole laskettu keskihajontaa, arvioidaan, että absoluuttisen minimin keskiarvon poikkeama a = 16,4 °C odotusarvosta μ = -7 °C on erittäin merkittävä. Tällöin satunnaismuuttujan arvo χ poikkeaa odotusarvosta enemmän, kuin 3,29 kertaa keskihajonnan verran $|\chi - \mu| > 3{,}29\ \sigma$. Lasketaan yhtälö 16,4 °C = 3,29 $\sigma \Rightarrow \sigma \approx 5{,}0$ °C. Lasketaan väli, jolla poikkeama ei ole merkittävä $|\chi - \mu| \leqslant 1{,}96\ \sigma \Rightarrow$ 1,96 x 5,0 °C = 9,8 °C. Normaalijakauman mukaan tammikuun 25.:n päivän lämpötila on normaali, mikäli se on -16,8 °C - + 2,8 °C.[120] Korkeimman ja matalimman arvon väli saadaan näin pudotettua 27,1 °C:sta 19,6 °C:een. Vaikka väli on suuri, voidaan arvioida, että yli 20 °C ennätyspakkaset ovat tilastollisesti harvinaisia. Ennusteeksi -7 °C ± 10 °C on kuitenkin liian epätarkka. Yksittäisen päivän tai edes viikonkaan lämpötilaa on mahdotonta yrittääkään arvioida tarkasti pelkästään tilastojen avulla. Huomattavasti selkeämmän kuvan 25:n päivän arvoista saa, kun laajennetaan tarkasteluväliä vuorokaudesta kuukauteen ja tarkastellaan koko tammikuun tilastoja graafisessa muodossa.

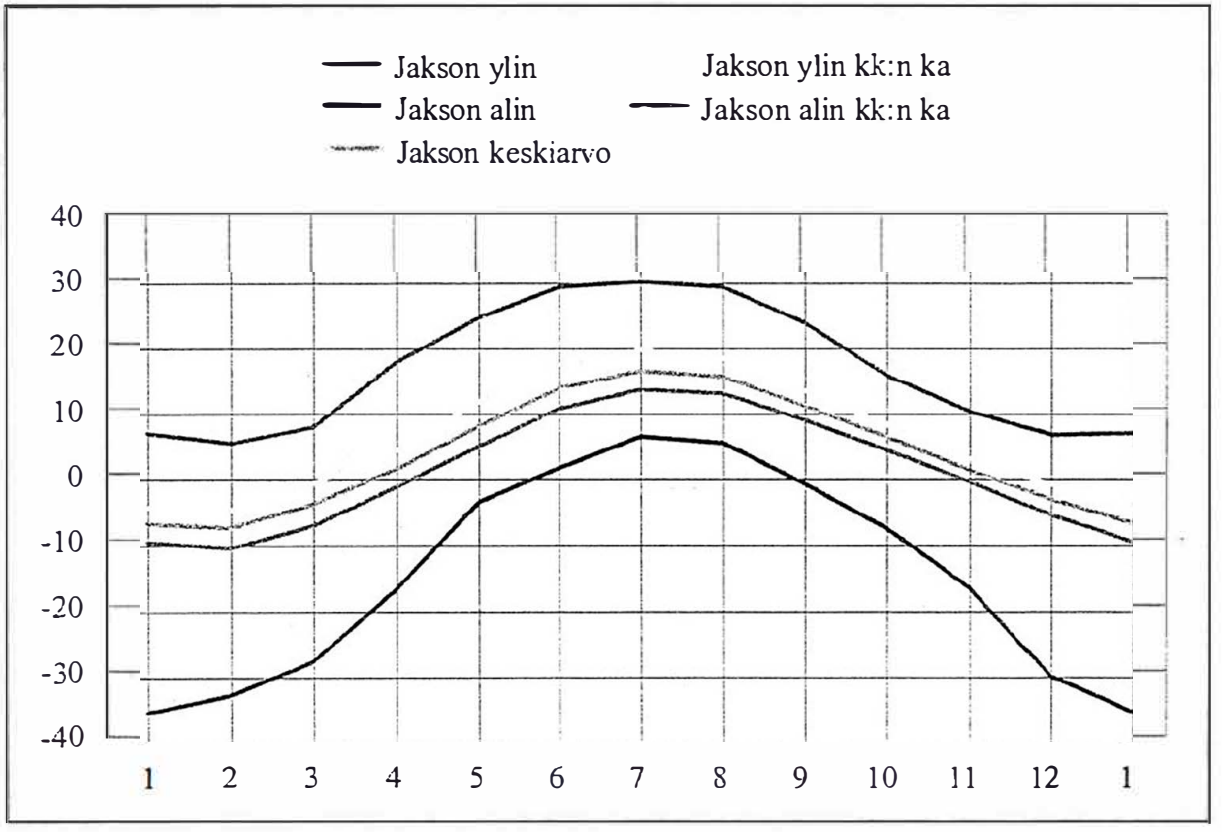
Tammikuun lämpötilat Kotka Rankin säähavaintoasemalta 1961 - 1990. Yhteensä 7440 havaintoa[121].



Tilastosta on nähtävissä, että tammikuussa eri päivien lämpötilat saattavat vaihdella runsaasti kin esim. 39 °C 10.1. Tammikuun keskilämpötila on -6,7 °C ja se pysyttelee koko kuukauden

± 1,8 °C sisällä osoittamatta selviä nousun tai laskun merkkejä. Vuorokauden maksimi- ja minimikeskiarvot seuraavat varsin lähellä huippuarvoja, josta voidaan päätellä lämpötilan muutosten olevan lyhyellä aikavälillä pääsääntöisesti loivia. Pelkästään keskiarvojen sekä maksimi- ja miniarvojen tarkastelu ei kerro koko totuutta tarkasteltavasta ajanjaksosta. Tilastoa tulkittaessa onkin otettava huomioon myös lämpötilapäivien lukumäärä. Havaintokuukautena pakkaspäiviä on keskimäärin 28, Jääpäiviä 21 ja päiviä, jolloin vuorokauden alin on < -10 °C on 13 [122]. Verrattaessa lämpötilapäiviä tilastoon havaitaan, että n. $^2/_3$ kuukaudesta on kokonaan pakkasen puolella, vaikka silmämääräisesti tarkasteltuna suhde kasvaa pakkaspäivien hyväksi. Selkeimmän kuvan tilastosta saa, kun sitä tarkastellaan osana koko vuoden tilastoa ja verraten sitä samalla lämpötilapäivien lukumäärään.

Vuoden lämpötilat sekä lämpötilapäivät Kotka Rankin säähavaintoasemalta 1961 - 1990. Yhteensä 87664 havaintoa[123].



[124]

Lämpötilapäivät 1961 - 1990

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
vrk alin< 0°C	28	27	27	18	1	0	0	0	0	3	14	25
vrk ylin < 0°C	21	21	13	1	0	0	0	0	0	0	5	15
vrk alin <-10°C	13	14	10	0	0	0	0	0	0	0	1	7
vrk ylin > 25°C	0	0	0	0	0	1	2	1	0	0	0	0

[125]

Koko vuoden käsittävästä tilastosta havaitaan, että vaikka ennätyspakkaset ovat esiintyneet tammikuussa on helmikuu kuitenkin keskimäärin vuoden kylmin kuukausi. Lämpötilat eivät kuitenkaan noudata almanakkaa, joten vuoden kylmin kohta asettuneekin jonnekin tammi - helmikuun vaihteeseen. Lisäksi on huomioitava, että Rankki sijaitsee saaressa Kotkan edustalla. Sula meri vaikuttaa tasoittavasti lämpötiloihin, eikä ilma pääse jäähtymään tai lämpenemään ilman häiriöitä. Rankista ei ole tehty jäätilastoja, mutta viereisestä Kaunissaaresta samalta havaintoväliltä tehdyn tilaston mukaan ensijää on tullut keskimäärin 30.12. Pysyvä jääpeite on tullut vasta 10.1.[126] Kun verrataan lämpötilapäiviä ja jäätilastoja, havaitaan sekä jääpäivien, että pysyvän jääpeitteen suhde kuukaudessa on sama $^2/_3$. Lisäarvoa tuo sääilmiötilasto, jonka mukaan Rankissa on tammikuussa keskimäärin 4 sumupäivää[127] (vrt. sumun syntyminen). Nämäkään tiedot ei vielä kerro miksi juuri tammikuun ensimmäisellä kolmanneksella on mitattu ennätyspakkasia. Niitä onkin tarkasteltava erillisinä tapauksina ja tutkittava kaikki kyseisen vuoden ilmanlämpötilaan vaikuttavat tekijät. Tilastollisessa tarkastelussa yksittäiset maksimi- ja minimiarvot on jätettävä pienemmälle huomiolle, sillä tilastollisessa tarkastelussa ei pyritäkään yksittäisen päivän ennustamiseen.

Samalla menetelmällä on mahdollista arvioida esim. sumujen esiintymistä tietyllä merialueella tiettynä ajan jaksona. Tällöin otetaan puolestaan huomioon ilman suhteellinenkosteus, ilmanlämpötila ja tuulten esiintyminen. Oleellista on tarkastella valittua sääilmiötä monipuolisesti ja kattavasti riittävän pitkällä havaintojaksolla. Myöskin on ymmärrettävä meteorologiset syy- seuraussuhteet ja ilmiöiden perusrakanteet.

4.3 Tilastojen käyttö merivoimien toiminnan suunnittelun perustana

Toiminnan suunnittelu edellyttää aina myös olosuhteiden huomioon ottamista. Erityisesti merivoimien kannalta olosuhteet ovat merkittävässä asemassa. Kuten edellisessä alaluvussa on esitetty, tilastoja voidaan käyttää vain perusteena pitkän aikavälin suunnittelulle. Tilastot ovat

erinomaisia apuvälineitä esim. sotaharjoitusten tai ammuntojen ajankohdan määrittämisessä. Tietyllä alueella järjestettävää toimintaa varten voidaan määrittää erilaisia vaatimuksia olosuhteiden suhteen ja siten sulkea pois mahdottomia ajan jaksoja ja etsiä tilalle suotuisimpia. Kysymys on samasta asiasta kuin jos varusmieskoulutuksen vuosisuunnitelmaan kuuluisi hiihtomarssi jäätä pitkin. Tällöin harjoitusta ei ainakaan sijoitettaisi kesäkuulle, vaan vuodenaikaan, jolloin jäätä todennäköisimmin olisi.

Tarkastellaan tilastoihin perustuvaa suunnittelua havaintoesimerkin avulla. Suunnittelun kohteena on hypoteettinen, Suomenlahdella pidettävää harjoitus, jonka teemana on alueellisen koskemattomuuden turvaaminen. Harjoituksessa alukset toimivat aluemerellä ja tukeutuvat siviili satamissa. Harjoitukseen liitetään osana maalilennokkiammunnat. Suunnittelun päälähtökohdaksi voidaan ottaa se, että meri on vapaa jäistä. Koska alukset toimivat pitkiä aikoja aluemerellä valvontatehtävissä, otettakoon toiseksi lähtökohdaksi tuuliolosuhteet.

Jäätilastojen mukaan Haminan sisäsatama jäätyy ensi kerran 7.12. ja kuukautta myöhemmin Hangon satama 11.1. Jäiden lähtö tapahtuu Hangossa 1.4. ja Haminassa puolestaan 23.4. Hangon ja Haminan välissä olevilla muilla havaintopaikoilla jäiden tulo ja lähtö sattuu näiden päivien väliin[128] . Mikäli harjoitusalueena pidetään koko Suomenlahtea voidaan suoraan harjoituksen ajankohdasta rajata suoraan pois 7.12. - 23.4. Koska tilastollisessa arvioinnissa on otettava huomioon tilastolliset poikkeamat, on molempiin päihin syytä lisätä varalisää esim. yksi viikko[129] , jolloin jäljelle jää toukokuu - marraskuu. Varalisän pituuden arvioinnissa korostuu tarkastelijan ammattitaito ja kokemus. Varalisän pituuteen vaikuttavat: tarkasteltavat olosuh teet, keskihajonta, alusten ominaisuudet, ym. Seuraavaksi otetaan tarkastelukohteeksi Suomenlahden tuuliolosuhteet. Tarkasteluun sopivat Russarön, Bågaskärin ja Rankin tekemät havainnot. karkean arvion tuuliolosuhteista antaa tuulipäivien tarkastelu.

Kovatuulisten (>10 m/s) päivien esiintyminen 1961 - 1990

	touko	kesä	heinä	elo	syys	loka	marras
Russarö	3	2	2	3	6	10	13
Bågaskär	2	2	2	2	5	8	10
Rankki	2	1	1	1	4	6	8

130

Kovatuulisten päivien tilastollinen esiintymistodennäköisyys on yli nelin kertainen syys- marraskuussa verrattuna touko - elokuuhun. Touko - elokuussa tuulet ovat jakautuneet pyyhkäisy-

matkaltaan siten, että Russarössä ja Bågaskärissä n. 30 % tuulista on etelä- tai lounaistuulia ja Rankissa 40 % tuulista on lounais- tai länsituulia. Keskituulennopeudet vaihtelevat 3,9 m/s ja 5,0 m/s välillä. Lopuksi tarkastellaan harjoitukselle suotuisan aikavälin muita harjoituksen onnistumisen kannalta tärkeitä sääolosuhteita. Esim. maalilennokin käyttöön liittyviä olosuhteita. Alueella esiintyy sadetta keskimäärin 10 - 15:nä ja tihkusadetta 3:na päivänä kuukaudessa. Näkyvyyttä haittaavaa sumua esiintyy toukokuussa kaksi kertaa enemmän kuin kesä - elokuussa, jolloin sumupäivät jäävät n. 3:een. Tiedon perusteella voidaan arvioida esim. kuinka monta varapäivää tarvitaan, jotta ammunnat saataisiin suoritettua.

Edellä esitetyn periaatteellisen tarkastelun perusteella harjoitukselle otollisin ajankohta asettuu kesä - elokuulle. Tällöin epäedullisten olosuhteiden tilastollinen esiintyminen on pienimmillään. On erityisesti huomioitava, että pienestä todennäköisyydestä huolimatta epäedullisia olosuhteita saattaa esiintyä runsaastikin. Tarkastelusta ei ole syytä tehdä liian tarkkaa huomioimalla kaikki eri olosuhdetekijät. Tarkasteltavien olosuhteiden määrä tulee rajata 3 - 4:ään. Periaatteessa samalle alueelle, samaa tarkoitusta varten, ei tarvitse tehdä joka vuosi uutta tarkastelua. Havaintopäivien muutoksen tilastoille aiheuttama vuotuinen muutos on maksimissaan 3,2 % yksikköä[131].

Vaikka matemaattinen tilastotiede ei kovin hyvin sovellukaan toiminnan suunnittelun perustaksi sitä käytetään merivoimissa perusteena hankinnoille asetettaville kriteereille. Esim. RBS - 15 merimaaliohjusjärjestelmien hankinnan yhteydessä laskettiin tilastoihin perustuvia todennäköisyyksiä olosuhdetekijöille ja niitä käytettiin yhtenä perusteena valinnalle. Samalla tavalla menetellään alusten henkintaan liittyvässä suunnittelussa. Matemaattinen tilastotiede soveltuu tarkoitukseen hyvin, sillä tavoitteena on tilastollisten ääriarvojen ja niiden esiintymis todennäköisyyksien määrittäminen.[132]

4.4 Johtopäätökset

Miten olosuhteiden esiintymistä voidaan arvioida tilastollisesti?

Tilastollinen tarkastelu on yksinkertainen tapa saada karkea arvio tiettyyn ajanjaksoon liittyvistä ilmastollisista ja merellisistä erityispiirteistä. Tilastollinen tarkastelu ei missään tapauksessa korvaa sään ennustamista, vaikka menetelmää voidaan käyttää sääennusteiden tukena, sekä antamaan vertailupohjaa tutkittaessa vallitsevien ja vuodenajalle ominaisten sääolosuh-

teiden välistä suhdetta. Kuten luvussa aiemmin on esitetty, tilastoja tarkasteltaessa on huomioitava tilastojen keskimääräisyys. Tilastoissa esitetyt lukuarvot ovat kymmenien vuosien ja tuhansien mittausten keskiarvoja, joten suuretkin poikkeamat ovat mahdollisia. Yksittäisen lukuarvon tai kapean tilastoleikkauksen tarkastelu saattaakin johtaa pahoihin virhearviointeihin. Vaikka tilastoja tutkimalla voidaan melko helposti arvioida olosuhteiden esiintymistä, vaatii oikeiden johtopäätösten teko kuitenkin sään ja olosuhteiden perusrakenteiden ymmärtämistä. Tarkastelua voidaan suorittaa kahdella tavalla: halutun ajanjakson tai suotuisien olosuhteiden näkökulmasta.

Matemaattinen tilastotiede ei yksin käytettynä sovellu kovin hyvin olosuhteiden tarkasteluun keskihajonnan suuruuden vuoksi. Esimerkissä esitetty 16 vrk:n keskihajonta on kyseisessä tilastossa silmämääräisesti arvioituna keskitasoa. Suurimpaan osaan olosuhteita käsittelevistä tilastoista ei ole edes laskettu keskihajontaa. Keskihajonnan omatoiminen määrittäminen yksittäisten havaintojen puutteen vuoksi on epätarkkaa. Sinänsä laskennalliset todennäköisyydet pitänevät paikkansa, mutta saadut tulokset ovat niin ylimalkaisia, ettei niillä sellaisenaan voi katsoa olevan mitään käytännön merkitystä. Matemaattista tilastotiedettä voidaan joissain tapauksissa käyttää rajaamaan tilastoista poikkeustapausten aiheuttamia maksimi ja minimiarvoja. Tällöin on huomioitava, että mikäli keskihajonan määritys tapahtuu omatoimisesti arvioimalla, voidaan menetelmää käyttää vain suuntaa antamaan.

Arvioitaessa tietylle ajanjaksolle ominaisia olosuhteita tulee tilastoja käyttää mahdollisimman kattavasti. Esimerkissä arvioitiin tammikuun 25.:n päivän lämpötilaa. Tilastollisessa tarkastelussa havaittiin, ettei yhden vuorokauden lämpötilan arvioiminen onnistu tarkastelemalla 30:n vuoden tilastoja vain kyseisen päivän osalta. Ilman lämpötilan asettuminen välille -24,5 °C - +2,6 °C on liian epätarkka tieto minkäänlaisten johtopäätösten tekoon. Matemaattisen tilastotieteen avulla saatiin laskettua, että 95 %:n todennäköisyydellä ilman lämpötila asettuu välille -16,8 °C - + 2,8 °C, joka sekin on suhteellisen epätarkka tieto. Arviointi helpottuu huomattavasti, kun tilastoleikkauksen aikaväliä kasvatetaan ja tietoja verrataan muihin samalta havaintojaksolta tehtyihin tilastoihin, kuten: lämpötilapäiviin, sääpäiviin, tuuli- ja jäätilastoihin, ym. Kuukauden tai vuoden pituisesta tilastoleikkauksesta on nähtävissä keski- ja ääriarvojen kehitys suhteessa muihin ilmiöihin. Tarkastelijalta vaaditaan kuitenkin perusasioiden ymmärtämistä sekä syy- ja seuraussuhteiden tuntemista, jotta tilastojen käyttö olisi riittävän monipuolista ja samalla tarkoituksen mukaista.

Tilastollisesti suotuisan ajankohdan määrittäminen onnistuu melko yksinkertaisella, epäsuotuisia olosuhteita pois sulkevalla menetelmällä. Menetelmässä määritetään olosuhteille tiettyjä reunaehtoja, jotka voivat olla joko kokonaan tai osittain poissulkevia. Kokonaan poissulkevia olosuhteita ovat sellaiset epäsuotuisiksi katsotut ilmiöt, jotka esiintyessään estävät suunnitellun toiminnan ja niille voidaan määrittää selkeät ajanjaksot, jolloin niitä joko esiintyy tai ei esiinny. Tällaisia olosuhteita voivat olla esim. halla yöt, valoisan ajan vähimmäis pituus sekä meren jää. Mikäli epäsuotuisia olosuhteita ei kyetä sulkemaan kokonaan pois, valitaan ne ajankohdat, jolloin epäsuotuisien ilmiöiden tilastollinen esiintyminen on pienimmillään. Jo reunaehtoja määritettäessä on päätettävä millä painoarvolla kutakin epäsuotuisaa ilmiötä on tarkasteltava. Kokonaan poissulkevat ilmiöt saavat luonnollisesti painokertoimen yksi, mutta seuraavien olosuhteiden osalta painoarvo pienenee hyvin voimakkaasti. Näin ollen yleensä neljäs tai viides olosuhdetekijä saa jo niin pienen painokertoimen, ettei sillä ole enää käytännön merkitystä ja ne voidaan jättää huomioimatta.

Merivoimissa menetelmä soveltuu pitkän aikavälin suunnittelun perusteeksi tilanteissa, joissa olosuhteet asettavat toiminnalle rajoituksia, mutta silti toiminnan suunnittelu on aloitettava jopa yli vuotta etukäteen. Menetelmää voidaan soveltaa myös vuosittain samankaltaisina tapahtuvien harjoitusten suotuisimman ajankohdan määrittelyssä. Tällöin tilastollista arviointia ei tarvitse tehdä joka vuosi uudelleen, sillä tilastojen vuotuinen muutos on yleensä hyvin pieni. Menetelmällä voidaan määrittää suotuisa ajankohta noin kuukauden tarkkuudella. Kuukautta suurempaan tarkkuuteen pois sulkeva menetelmä ei sovellu tilastollisten poikkeamien vuoksi.

Tilastollinen tarkastelu kuuluu enemmän laivue tai lippue tason suunnitteluun kuin alus tai viirikkö kohtaiseen suunnitteluun. Mikäli mahdollista, tilastojen tulkinnassa tulisi toimia yhteistyössä tilastot laatineen laitoksen tai jonkun alaan erikoistuneen tutkijan kanssa. Aluksilla olisi kuitenkin hyvä olla yksinkertaiset tilastot oman toiminta-alueensa olosuhteista. Graafisessa muodossa olevista tilastoista saa nopeasti yleiskuvan siitä, miten olosuhteet kehittyvät vuodenaikojen mukaan. Tällaisia tilastoja on myös nopeaa ja helppoa verrata toisiinsa ja todeta eri olosuhdetekijöiden vaikutus toisiinsa. Kokonaisuuden hahmottaminen tukee sääennustamista, lisää ammattitaitoa.

5. YHDISTELMÄ

Pienuudestaan, mataluudestaan, saaristostaan, monimutkaisesta muodostaan ja olosuhteistaan johtuen Itämeri muodostaa merivoimille ainutlaatuisen toimintaympäristön. Olosuhteiden perusteellinen tunteminen ja hyödyntäminen antaa strategisen etulyöntiaseman sitä vastaan, joka ei olosuhteita tunne eikä niitä osaa hyödyntää, vaan päinvastoin joutuu kuluttamaan suuren osan voimistaan olosuhteita vastaan kamppailuun. Suomessa Itämeren tuntemus on kansainvälisestikin huippuluokkaa ja suomalainen meteorologinen ja hydrologinen tutkimus on erittäin korkeatasoista. Itämeren ja ilmakehän matemaattisen mallinnuksen myötä erilaiset ennusteet tulevat kehittymään voimakkaasti lähivuosien aikana, mutta meri tulee aina pysymään merenä ja siksi jokaisen meriupseerin tulee tuntea oman toimintaympäristönsä, Itämeren, olosuhteet.

Merkittävin merivoimien toimintaan vaikuttava olosuhdetekijä on Itämeren jokavuotinen jäätyminen. Meren jäätyminen vaikeuttaa kaikkien Itämerellä operoivien alusten toimintaa. Seuraavina tulevat säätila, tuuli- ja aalto-olosuhteet, jotka pääsääntöisesti esiintyvät yhdessä ja tehostavat toistensa vaikutusta. Olosuhdetekijät esiintyvät erittäin harvoin yksin. Itämeren merkittävin sääjärjestelmä on polaaririntaman sykloni. Siihen liitty lähes aina sääilmiöitä. Mitä voimakkaampi syklonin keskustassa oleva matalapaine on, sitä voimakkaampia ovat vallitsevat tuulet ja sääilmiöt. Yksinään sade, sumu tai merenkäynti ei yleensä aiheuta aluksille ongelmia, mutta yhdessä nämä olosuhteet tehostavat toistensa vaikutusta. Jäätalvi, tuuli ja aallokko asettavat konkreettisia rajoituksia merivoimien aluksille. Itämeren olosuhteet on otettu huomioon jo alusten suunnitteluvaiheessa, jolloin niille asetetaan aluskohtaisten tehtävien perusteella tiettyjä vaatimuksia. Valmiin aluksen osalta olosuhteiden aihettamiin rajoituksiin pystytään vastaamaan lähinnä taktisen suunnittelun avulla.

Koska olosuhteet vaikuttavat merellä operoivien alusten jokapäiväiseen toimintaan, on olosuhteiden ennustamiseen kehitetty erilaisia menetelmiä. Käytössä olevat päämenetelmät ovat synoptinen ja numeerinen menetelmä. Molempien menetelmien perustana on kattava havaintoverkko, jonka antamien havaintojen perusteella määritetään vallitseva säätila. Varsinainen sääennuste tehdään arvioimalla havaittujen sääjärjestelmien liikettä, joko laskemalla numeerisella tietokonemallilla tai vertaamalla synoptisten havaintojen perusteella saatuja tietoja edellisiin. Synoptisen menetelmän tarkkuus on hyvä lyhyissä, muutamien tuntien ennustuksissa. Mitä pidempiä ennustuksia tehdään, sitä suuremmaksi kasvaa numeerisen ennustamisen

osuus. Nykyisten ennustusmenetelmien avulla voidaan kohtuullisia ennustuksia aina 5 vrk:een asti. Omiin havaintoihin perustuen on mahdollista ennustaa säätä muutaman lähitunnin tarkkuudella. Tämä edellyttää kuitenkin, että käytettävissä olevat havaintolaitteet ovat kunnossa, oikein asennettu ja kalibroitu, sekä että niitä käytetään oikein. Useimmiten merivoimien aluksilla sään ennustaminen perustuu yksinomaan kansallisten tai kaupallisten laitosten palveluihin eikä valmius omakohtaiseen ennustamiseen ole havaintolaitteiden eikä ammattitaidon osalta kovinkaan hyvä. Menetelmät tilanteen parantamiseksi ovat yksinkertaisia: havaintoajankohtien uudelleen järjestäminen, mittalaitteiden kunnostus ja oikea sijoittelu sekä oikea asenne ja selkeä tavoite. Jokaisen aluksen tulisi omiin havaintoihin perustuen kyetä ennustamaan lähimmän 3 h:n sää. Pidempien- ja erikoisennusteiden osalta merivoimien tulee tukeutua kansallisiin laitoksiin, Ilmatieteen laitokseen ja Merentutkimuslaitokseen, joilla erittäin korkea valmius koota luotettavia sää-, aalto- ja jääennusteita puutteellistenkin havaintojen avulla.

Itämeren olosuhteista on kerätty runsaasti erilaisia tilastoja. Tilastojen avulla on mahdollista laskea eri olosuhteiden keskimääräistä esiintymistä ja vertailla eri olosuhteiden vaikutusta toisiinsa. Kansainvälisen vertailun helpottamiseksi, maailman ilmatieteellisen järjestön WMO:n suosituksesta, on ympäri maailman ryhdytty käyttämään vertailukohtana 30 vuoden ns. normaalikautta. Tällä hetkellä vertailukohtana käytetään normaalikautta 1961-1990. Lisäksi kansalliset laitokset julkaisevat suuren määrän alueellisia, vuosi- ja kausitilastoja. Tilastojen tarkastelu vaatii ammattitaitoa ja olosuhteiden perusrakenteiden ymmärtämistä. Sekä Merentutkimuslaitos, että Ilmatieteen laitos tekevät tilauksesta mitä erilaisimpia tutkimuksia ja tilastoja, mutta niiden hinta on yleensä erittäin korkea. Tilastoja tutkittaessa on ymmärrettävä, että olosuhteet eivät noudata tilastoa, vaan tilastot noudattelevat olosuhteita. Siksi tilastoista ei voida suoraan katsoa tulevaisuuden säätä, vaan ainoastaan sitä mitä sään tulisi olla verrattuna edelliseen normaalikauteen. Vaikka olosuhteiden esiintyminen noudattaa kohtuullisen hyvin normaalijakaumaa, on matemaattisen tilastotieteen käyttöön olosuhteiden arvioinnissa suhtauduttava varauksella. Syy ei ole siinä, etteivätkö lasketut todennäköisyydet pitäisi paikkaansa, vaan siinä, että suuren keskihajonnan johdosta saadut tulokset ovat erittäin ylimalkaisia. Normaalijakaumaa voidaan kuitenkin käyttää erottelemaan selkeät tilastolliset poikkeukset normaalista hajonnasta. Tilastoja ei tule tarkastella liian lyhyeltä havaintoväliltä. Vuorokausi ja viikkokin ovat liian lyhyitä aikoja, sillä yhden havaintoarvon aihettama virhe aiheuttaa pienellä havaintovälillä kohtuuttoman suuren virheen. Olosuhteiden määrittäminen kuukauden tarkuudella on riitävä ja varsin hyvä tarkkuus. Tilastoja voidaan käyttää myös suotuisan ajankoh-

dan määrittämiseen etsimällä ajankohtia, jolloin epäsuotuisia olosuhteita ei esiinny tai niiden esiintyminen on vähäisimmillään. Merivoimissa menetelmää voidaan soveltaa esim. sotaharjoitusten ajankohdan määrittämiseen. Menetelmän käyttö on suhteellisen helppoa ja nopeaa. Menetelmällä päästään niin ikään kuukauden tarkkuuteen.

VIITTEET

1 Grönvall, Korhonen: Meritiede. Otava, Keuruu 1983, s.139

2 Grönvall s.143

3 Voipio, Leinonen (toim.): Itämeri. Kirjayhtymä, Rauma 1984, s.7

4 Grönvall s.149

5 Grönvall s.164

6 Merentutkimuslaitoksen tutkija Johanna Argillanderin luento: Itämeren tila Merisotakoulun meritieteen kurssilla 1.3.2001

7 Grönvall s.97

8 Grönvall s.100

9 Grönvall s.21-22

10 Kotimaisten kielten tutkimuskeskuksen julkaisuja 55: Suomen kielen perussanakirja ensimmäinen osa A-K. Valtion Painatuskeskus Oy, Helsinki 1990. s.260, 357

11 Mäkelä, Martti: Merenkulun sääpalvelujärjestelmät. Otava, Keuruu 1981. s.29-30

12 Mäkelä s.74-75.

13 Kotimaisten kielten tutkimuskeskuksen julkaisuja 55: Suomen kielen perussanakirja kolmas osa S-Ö. Painatuskeskus Oy, Helsinki 1994. s.378

14 Peltonen, Tapani - Puhakka, Timo: Sääoppi. Otava, 1984. s.54-56

15 Säähavainto-ohjeet, 551.501.1. Ilmatieteen laitos. Valtion painatuskeskus, Helsinki 1984. kohta 9.1-2

16 Säähavainto-ohjeet, kohta 9.1-2 - 9.2-1

17 Kotimaisten kielten.. S-Ö. s.215-216

18 Rinne, Juhani - Koistinen, Jarmo - Saltikoff, Elena (toim): Suomalainen sääkirja - etanasta El Niñoon. Otava, 1998 s.33-34.

19 Grönvall s.143

20 Grönvall s.143
(Pentti Mälkki arvioi Voipion ja Leinosen toimittamassa Itämeri kirjassa sivulla 25 sadannan ja haihdunnan samaksi 180km^3, jokien virtaaman 480mk^3, sisäänvirtaaman 433km^3 ja ulosvirtaaman 866km^3. Muissakin tietolähteissä on pieniä eroja, mutta sillä ei ole tämän tutkimuksen kannalta suurtakaan merkitystä).

21 Grönvall s.24-25

22 Grönvall s.143-144

23 Grönvall s.24-25

24 Grönvall s.149

25 Merentutkimuslaitoksen kotisivut:
http://www2.fimr.fi/fi/palvelut/jaapalvelu/jaatalvi.html 7.1.2002 klo 1800

26 Grönvall s.149

27 http://www2.fimr.fi/fi/palvelut/jaapalvelu/jaatalvi.html 7.1.2002 klo 1800 (Teksti on kopioitu sivulta ja on muokattu ainoastaan lyhenteiltään noudattamaan muun tutkimusraportin tyyliä)
Seinä, Ari - Palosuo, Erkki - Grönvall, Hannu: Merentutkimuslaitoksen Jääpalvelu 1919-1994. MERI - Report Series of the Finnish Institute of Marine Research No. 32, 1997. s.8-11

28 Seinä, MERI No. 32. s.9

29 http://www2.fimr.fi/fi/palvelut/jaapalvelu/jaatalvi.html 7.1.2002 klo 1800 (Teksti on kopioitu sivulta ja on muokattu ainoastaan lyhenteiltään ja kieliasultaan noudattamaan muun tutkimusraportin tyyliä)

30 http://www2.fimr.fi/fi/palvelut/jaapalvelu/jaatalvi.html 7.1.2002 klo 1800

31 http://www2.fimr.fi/fi/palvelut/jaapalvelu/tietoa-jaasta.html 7.1.2002 klo 1800

32 Seinä, MERI No. 32. s.9-11

33 Rinne s.33-35
Peltonen s.113-118

34 Rinne s.42-44
Peltonen s.128-131

35 Ilmatieteen laitoksen kotisivut: http://www.fmi.fi/saa/havainto_5.html#11 13.1.2002 klo 2100

36 http://www.fmi.fi/saa/havainto_5.html#12 6.1.2002 klo 1600

37 Säähavainto-ohjeet kohta 4.2-1

38 Ilmatieteen laitoksen ennätysrekisteri 6.11.2001

39 Grönvall s.162-165

40 Voipio s.40

41 Grönvall s.163
(ilmanpaine ja veden tiheys aiheuttavat siis sen, että veden pinta on n. 40 cm alempana Tanskan salmissa kuin Perämerellä)

42 Tilastoja Suomen ilmastosta 1961-1990. Liite suomen meteorologiseen vuosikirjaan

nide 90 osa 1-1990. Ilmatieteen laitos. Valtion painatuskeskus, Hakaniemen Valtimo, Helsinki 1991, s. 90

43 http://www2.fimr.fi/fi/palvelut/aallokko-ja-vedenkorkeus/vedenkorkeusvaihtelu.html 7.1.2002 klo 1800

44 Voipio s.40

45 Grönvall s.164

46 http://www2.fimr.fi/fi/palvelut/aallokko-ja-vedenkorkeus/vedenkorkeusvaihtelu.html 7.1.2002 klo 1800

47 Voipio s.40

48 Merentutkimuslaitoksen tutkija Heidi Petterssonin luento: Itämeren aallokko Merisotakoulun meritieteen kurssilla 28.2.-2.3.2001
Merentutkimuslaitoksen Kemin mareografiaseman piirtotaulukko syyskuulta 1982

49 Grönvall s.164

50 http://www2.fimr.fi/fi/palvelut/aallokko ja-vedenkorkeus/vedenkorkeusvaihtelu.html 7.1.2002 klo 1800

51 http://www2.fimr.fi/fi/palvelut/aallokko-ja-vedenkorkeus/aaltojen-elinkaari.html 7.1.2002 klo 1800

52 Petterssonin luento

53 Grönvall s.87

54 Petterssonin luento

55 http://www2.fimr.fi/fi/palvelut/aallokko-ja vedenkorkeus/aaltoennatyksia.html 7.1.2002 klo 1800

56 http://www.fmi.fi/saa/tilastot_53.html#3 13.1.2002 klo 2100

57 Säähavainto-ohjeet kohta 9.1-1

58 Peltonen s.11

59 Rinne s.13.

60 Peltonen s.28

61 Rinne s.46

62 Peltonen s.105
http://www.fmi.fi/saa/tilastot_53.html#3 13.1.2002 klo 2100

63 Peltonen s.105

64 Peltonen s.105-106

65 Rinne s.48

66 Peltonen s.105-106

67 Tapani s.105

68 Salkola, Klaus, insinöörikapteeniluutnantti, osastoinsinööri, merivoimien esikunta. Haastattelu: merivoimien aluskaluston ominaisuudet. 19.2.2002

69 Salkola 19.2.2002

70 Borisenkov, E.P. - Pčelko, I.G: Laivojen jäätymisuhan ennustamiseen liittyviä metodisia ohjeita. SSSR. 81 s. Leningrad 1972. (käännetty venäjästä, Merentutkimuslaitoksen tunnisteet: UDK 551,5 (26), 1979;235. Merentutkimuslaitoksen kirjasto). s.5-20
(Huomioitavaa lähteessä on, että esimerkeissä jäätämisen aiheuttamista onnettomuuksista mainitaan ainoastaan japanilaisille ja englantilaisille aluksille tapahtuneita onnettomuuksia, vaikka tutkimuskohteena on NL:n oma kalastus ja kauppalaivasto. Edellä mainitusta huolimatta jäätämistä koskevien teorioiden ja tilastojen paikkansa pitävyys vaikuttaa uskottavalta, sillä tutkimus ei koske onnettomuuksia.)

71 Eija Rantajärvi, Leena Parkkonen (toim.): Vuosikertomus 2000. Merentutkimuslaitos. Tikkurilan Paino Oy, Vantaa 2001. s.38-39

72 Kylmää tietoa jäissä liikkuville. Merentutkimuslaitoksen Jääpalvelun esite. Toimitus ja graafinen suunnittelu: IRH konsultointi. Tikkurilan Paino Oy, Vantaa 1998 s.10 (Kansilehdestä alkaen, sivuja ei ole numeroitu).

73 Kylmää tietoa s.10

74 Kylmää tietoa s.11

75 Vedenkorkeus- ja aallokkopalvelu. Merentutkimuslaitoksen esitelehti. Yhteyshenkilöt: Kimmo Kahma, Stina Visa ja Hanna Boman. Merentutkimuslaitos, Helsinki 1.8.2000 s.1 (Kansilehdestä alkaen, sivuja ei ole numeroitu).

76 http://www2.fimr.fi/fi/palvelut/aallokko-ja-vedenkorkeus/havaintotoiminta.html. 7.1.2002 klo 1800

77 http://www2.fimr.fi/fi/palvelut/aallokko-ja-vedenkorkeus/havaintotoiminta.html. 7.1.2002 klo 1800

78 Ilmatieteen laitoksen esite. 1998. s. 1 (pl. kansilehti. Esitteessä ei ole sivunumerointia).

79 Vuosikertomus 2000. Ilmatieteen laitos/Viestintä, Katriina Palmroth. Painoprisma, Turku 2001 s.4

80 Vuosikertomus 2000. Ilmatieteen laitos s.14-16

81 Vuosikertomus 2000. Ilmatieteen laitos s.17

82 Heikki Oja: Aikakirja. Otavan kirjapaino Oy, Keuruu 1999 s. 235-238

83 Peltonen s.174

84 Peltonen s.175

85 Peltonen s.175-176

Rinne s.93-97

86 Kauppinen, Heikki, puolustusvoimien meteorologi, ilmavoimien esikunta. Puhelin haastattelu: Sään ennustaminen ja tilastointi. 18.2.2002 puh. 014 181 4365

87 Rantajärvi, Eija - Parkkonen, Leena (toim.): Vuosikertomus 2000. Merentutkimuslaitos. Tikkurilan Paino Oy, Vantaa 2001. s.26-27

Kahma, Kimmo, erikoistutkija, Merentutkimuslaitos / fysiikan osasto. Puhelinhaastattelu: Itämeren aallokon tilastointi. 14.2.2002 puh. 09 613 94429

Vedenkorkeus- ja aallokkopalvelu

88 Kylmää tietoa s.11

Vainio, Jouni, tukija, Merentutkimuslaitos / fysiikan osasto. Haastattelu: merijään tilastointi ja sen tulkinta. 21.2.2002

89 Mäkelä s.10

Säähavainto-ohjeet kohta 2.1-1

90 Mäkelä s.10

Säähavainto-ohjeet kohta 2.1-1

91 Mäkelä s.15

Säähavainto-ohjeet kohta 3.2-1

92 Säähavainto-ohjeet kohta 3.2-1 - 3.2-3

93 Säähavainto-ohjeet kohta 3.2-1 - 3.2-3

94 Mäkelä s.16-18, 23

Säähavainto-ohjeet kohta 10.1-1 - 10.5-1

95 Mäkelä s.12-14

Säähavainto-ohjeet kohta 4.1-1 - 4.4-3

96 http://www2.fimr.fi/fi/palvelut/aallokko-ja-vedenkorkeus/havaintotoiminta.html. 7.1.2002 klo 1800 (Teksti on kopioitu sivulta ja on muokattu ainoastaan kieliasultaan noudattamaan muun tutkimusraportin tyyliä)

97 http://www2.fimr.fi/fi/palvelut/aallokko-ja-vedenkorkeus/havaintotoiminta.html.

7.1.2002 klo 1800

98 Mäkelä s.28

Säähavainto-ohjeet kohta 9.1-1 - 9.4-1

99 Säähavainto-ohjeet kohta 7.1-1 - 7.4-3

100 Peltonen s.206-210

Rinne s.91-92

Mäkelä s.24-25

101 Peltonen s.208

102 Rinne s.92-93

Mäkelä s.26

http://www.fmi.fi/saa/sadejapi_3.html 18.2.2002 klo 1115

103 Rinne s.91

Mäkelä s.26-27

104 Rinne s.109-114

105 Peltonen s.173

Säähavainto-ohjeet kohta 1.4-1

106 Peltonen s.173

Säähavainto-ohjeet kohta 1.4-1

107 Rinne s.112-113

108 Rinne s.110-111

109 Väittämä perustuu vuodesta 1996 lähtien tehtyihin omakohtaisiin havaintoihin merivoimien taistelu- ja apualuksilta.

110 Kahma 14.2.2002

Kauppinen 18.2.2002

Vainio 21.2.2002

Tilastoja Suomen ilmastosta s.4-6

Ari Seinä, Hannu Grönvall, Simo Kalliosaari & Jouni Vainio: Jäätalvet 1996-2000 Suomen merialueilla. MERI - Report Series of the Finnish Institute of Marine Research No. 43, 2001. s.29-31

111 Tilastoja Suomen ilmastosta

112 Seinä, Ari - Peltola, Jarmo: Jäätalven kestoaika ja kiintojään paksuustilastoja Suomen merialueilla 1961-1990. Finnish Marine Research N:o 258, Helsinki 1991.

113 Hyry, Eero: Maanpuolustuskorkeakoulun perustutkinto-osaston matematiikan

oppikirja. Ykkös-Offset Oy, Vaasa 1995. s.348

114 Vainio 21.2.2002

Kauppinen 18.2.2002

115 Seppänen, Raimo - Tiihonen, Seppo: MAOL - taulukot. 1.-4. uudistettu painos. MAOL ry, Otava, Keuruu 1993. s.61

(normaalijakauman kertymäfunktion arvo Φ saatu taulukosta ja väli interpoloitu suoraviivaisesti)

116 Seppänen s.14, 50-51,60-61.

Hyry s.326-334

(P (a/σ) funktion todennäköisyys arvolla a/σ, a = poikkeama, σ = keskihajonta, Φ = normitetun normaalijakauman kertymäfunktio.)

117 Seppänen s.51.

118 Tilastoja Suomen ilmastosta s.8, 20.

Lukumäärä on saatu kertomalla havaintoväli vuosien määrällä. Havaintojen todellista lukumäärää ei ole tarkistettu mitenkään. Tiedolla on tarkoitus havainnollistaa tilastojen rakennetta ja käyttökelpoisuutta.

119 Tilastoja Suomen ilmastosta s.20

120 Seppänen s.51.

121 Tilastoja Suomen ilmastosta s.8, 20.

Lukumäärä on saatu kertomalla havaintoväli päivien ja vuosien määrällä. Havaintojen todellista lukumäärää ei ole tarkistettu mitenkään. Tiedolla on tarkoitus havainnollistaa tilastojen rakennetta ja käyttökelpoisuutta

122 Tilastoja Suomen ilmastosta s.6, 96-97

(pakkaspäiväksi lasketaan ne päivät jolloin vuorokauden alin < 0 °C, jääpäiviksi ne joilloin vuorokauden ylin < 0 °C).

123 Tilastoja Suomen ilmastosta s.8, 20.

Lukumäärä on saatu kertomalla havaintoväli päivien ja vuosien määrällä ml. karkauspäivät. Havaintojen todellista lukumäärää ei ole tarkistettu mitenkään. Tiedolla on tarkoitus havainnollistaa tilastojen rakennetta ja käyttökelpoisuutta

124 Tilastoja Suomen ilmastosta s.96

125 Tilastoja Suomen ilmastosta s.97

126 http://www2.fimr.fi/fi/palvelut/jaapalvelu/jaatalvi/jaatalvet-1961-1990-tilasto.html. 7.1.2002 klo 1800

127 Tilastoja Suomen ilmastosta s.97

128 http://www2.fimr.fi/fi/palvelut/jaapalvelu/jaatalvi/jaatalvet-1961-1990-tilasto.html. 7.1.2002 klo 1800

129 Viikon varalisän riittävyydelle tai riittämättömyydelle ei ole tieteellisiä perusteita vaan sen valintaan on vaikuttanut tarkasteluvälin saaminen tasa kuukausiksi. Lisäksi kyseessä on esimerkki jonka tarkoitus on havainnollistaa tilastollista arviointia eikä suunnitella merivoimien todellista toimintaa.

130 Tilastoja Suomen ilmastosta s. 91, 93, 97

131 Vuotuinen muutos on laskettu määrittämällä kuukausi, jolloin on 30 vuoden jaksossa tapahtunut 31 havaintoa. 31.:nä vuotena havaintopäiviä lasketaan 0. Kaava: (31 x 30) / (31 x 31) ≈ 0,9677

132 Kauppinen 18.2.2002
Salkola 19.2.2002

LÄHTEET

1. JULKAISEMATTOMAT LÄHTEET

1.1 Merentutkimuslaitos

Pettersson, Heidi - Kotiaho, Walter: Aaltoteoriaa. Merentutkimuslaitoksen kirjasto 2002:44. (Uudet energiantuottoprosessit, Koonnut Markku J. Lampinen, Luennot ja oheismateriaali syksyllä 2001. Teknillinen korkeakoulu, 133 Energiatekniikan osasto, Sovelletun termodyna miikan laboratorio, Otaniemi 2001.)

Vedenkorkeus- ja aallokkopalvelu. Merentutkimuslaitoksen esitelehti. Yhteyshenkilöt: Kimmo Kahma, Stina Visa ja Hanna Boman. Merentutkimuslaitos, Helsinki 1.8.2000

1.2 Ilmatieteen laitos

Ilmatieteen laitoksen esite, 1998.

1.3 Tekijän hallussa oleva aineisto

Opetusmatriaali Merisotakoulun meritieteen kurssilta 28.2.-2.3.2001: Merentutkimuslaitoksen tutkija Johanna Argillanderin luento: Itämeren tila, Merentutkimuslaitoksen tutkija Heidi Petterssonin luento: Itämeren aallokko

2. JULKAISTUT LÄHTEET

Kylmää tietoa jäissä liikkuville. Merentutkimuslaitoksen Jääpalvelun esite. Toimitus ja graafinen suunnittelu: IRH konsultointi. Tikkurilan Paino Oy, Vantaa 1998

Meritietoa pintaa syvemmältä. Merentutkimuslaitoksen esittelylehti. IRH konsultointi. Tikkurilan Paino Oy, 1996

Pettersson, Heidi: Aaltohavaintoja Suomenlahdelta suuntamittauksia 1990 -1994. MERI - Report Series of the Finnish Institute of Marine Research No. 44, 2001

Rantajärvi, Eija - Parkkonen, Leena (toim.): Vuosikertomus 2000. Merentutkimuslaitos. Tikkurilan Paino Oy, Vantaa 2001.

Seinä, Ari - Peltola, Jarmo: Jäätalven kestoaika ja kiintojään paksuustilastoja Suomen merialueilla 1961-1990. Finnish Marine Research N:o 258, Helsinki 1991.

Seinä, Ari - Grönvall, Hannu - Kalliosaari, Simo - Vainio, Jouni: Jäätalvet 1996-2000 Suomen merialueilla. MERI - Report Series of the Finnish Institute of Marine Research No. 43, 2001.

Säähavainto-ohjeet, 551.501.1. Ilmatieteen laitos. Valtion painatuskeskus, Helsinki 1984.

Tilastoja Suomen ilmastosta 1961-1990. Liite suomen meteorologiseen vuosikirjaan nide 90 osa 1-1990. Ilmatieteen laitos. Valtion painatuskeskus, Hakaniemen Valtimo, Helsinki 1991

Vuosikertomus 2000. Ilmatieteen laitos/Viestintä, Katriina Palmroth. Painoprisma, Turku 2001

3. KIRJALLISUUS, OPINNÄYTTEET JA ARTIKKELIT

Borisenkov, E.P. - Pčelko, I.G: Laivojen jäätymisuhan ennustamiseen liittyviä metodisia ohjeita. SSSR. 81 s. Leningrad 1972. (käännetty venäjästä, Merentutkimuslaitoksen tunnisteet: UDK 551,5 (26), 1979;235. Merentutkimuslaitoksen kirjasto).

Grönvall, Hannu - Korhonen, Osmo: Meritiede. Otava, Keuruu 1983.

Hyry, Eero: Maanpuolustuskorkeakoulun perustutkinto-osaston matematiikan oppikirja. Ykkös-Offset Oy, Vaasa 1995.

Kotimaisten kielten tutkimuskeskuksen julkaisuja 55: Suomen kielen perussanakirja ensimmäinen osa A-K. Valtion Painatuskeskus Oy, Helsinki 1990.

Kotimaisten kielten tutkimuskeskuksen julkaisuja 55: Suomen kielen perussanakirja toinen osa L-R. Valtion Painatuskeskus Oy, Helsinki 1992.

Kotimaisten kielten tutkimuskeskuksen julkaisuja 55: Suomen kielen perussanakirja kolmas osa S-Ö. Painatuskeskus Oy, Helsinki 1994.

Leppäranta, Matti (toim): Physics Of Ice-Covered Seas Vol.1. Helsinki University Printing House, Helsinki 1998.

Mäkelä, Martti: Merenkulun sääpalvelujärjestelmät. Otava, Keuruu 1981.

Paasonen, Seija: Sää. WSOY, Bookwell Oy, Porvoo 2001.

Peltonen, Tapani - Puhakka, Timo: Sääoppi. Otava, 1984.

Puolustusvoimien Koulutuksen Kehittämiskeskus: Merisotilaan käsikirja. Edita, Helsinki 1998

Rinne, Juhani - Koistinen, Jarmo - Saltikoff, Elena (toim): Suomalainen sääkirja - etanasta El Niñoon. Otava, 1998

Seinä, Ari - Palosuo, Erkki - Grönvall, Hannu: Merentutkimuslaitoksen Jääpalvelu 1919-1994. MERI - Report Series of the Finnish Institute of Marine Research No. 32, 1997.

Seppänen, Raimo - Tiihonen, Seppo: MAOL - taulukot. 1.-4. uudistettu painos. MAOL ry, Otava, Keuruu 1993.

Venho, S.N.: Meteorologia. WSOY, Porvoo 1971

Visuri, Pekka: Turvallisuuspolitiikka ja strategia. WSOY, Juva 1997.

Voipio, Leinonen (toim.): Itämeri. Kirjayhtymä, Rauma 1984.

Oja, Heikki: Aikakirja. Otavan kirjapaino Oy, Keuruu 1999

4. HAASTATTELUT

Kahma, Kimmo, erikoistutkija, Merentutkimuslaitos / fysiikan osasto. Puhelinhaastattelu: Itämeren aallokon tilastointi. 14.2.2002 puh. 09 613 94429

Kauppinen, Heikki, puolustusvoimien meteorologi, ilmavoimien esikunta. Puhelin haastattelu: sään ennustaminen ja tilastointi. 18.2.2002 puh. 014 181 4365

Salkola, Klaus, insinöörikapteeniluutnantti, osastoinsinööri, merivoimien esikunta. Haastattelu: merivoimien aluskaluston ominaisuudet. 19.2.2002

Vainio, Jouni, tukija, Merentutkimuslaitos / fysiikan osasto. Haastattelu: merijään tilastointi ja sen tulkinta. 21.2.2002

5. MUUT LÄHTEET

5.1 Internet sivustot

Merentutkimuslaitoksen kotisivut: www.fimr.fi

Ilmatieteenlaitoksen kotisivut: www.fmi.fi

LIITTEET

Liite 1 Itämeren kartta

Liite 2 Meriveden pääainesosat

Liite 2 Tärkeimpien ilmakehän kaasujen kyllästysarvot ilmakehässä

Liite 3 Tuulen voimakkuuden boforiasteikko

Liite 4 Sääjärjestelmien jako koon ja keston mukaan

Liite 5 Itämeren vesirungon rakenne kesällä ja talvella

Liite 6 Tiheysmaksimi ja meriveden jäätymispiste

Liite 7 Jään keskimääräinen esiintyminen eräillä paikkakunnilla 1961-1990

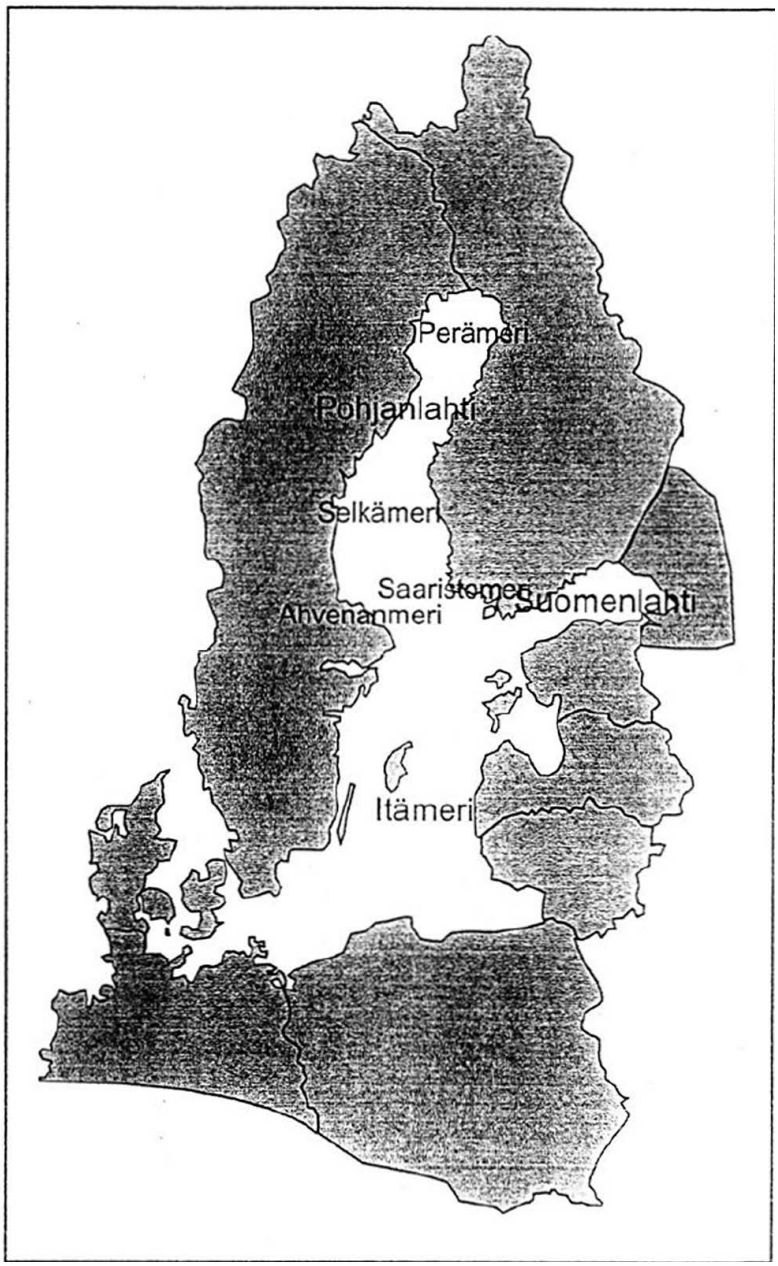
Liite 8 Polaaririntaman sykloni

Liite 9 Vesipartikkeleiden liike aallossa

Liite 10 Kyllästyskosteuden riippuvuus lämpötilasta g/m3

Liite 11 Ylätuulisääntöjen kuvaesimerkki.

Itämeren kartta



Meriveden pääainesosat

(suolaisuus 35‰)

Kationit (haponmuodostajat)	g/kg	Anionit (emäksenmuodostaja)	g/kg
natrium	10,752	kloridi	19,345
magnesium	1,295	sulfaatti	2,701
kalsium	0,416	bikarbonaatti	0,145
kalium	0,390	bromidi	0,066
strontium	0,013	boorihappo	0,026
		fluoridi	0,001

Tärkeimpien ilmakehän kaasujen kyllästysarvot ilmakehässä

(suolaisuus 35‰)

Grönvall, Hannu - Korhonen, Osmo: Meritiede. Otava, Keuruu 1983. s.22

	cm^3/l 0°C	cm^3/l 10°C	cm^3/l 20°C
typpi	14,0	11,7	10,2
happi	8,0	6,4	5,4
hiilidioksidi	0,4	0,3	0,2

Grönvall, Hannu - Korhonen, Osmo: Meritiede. Otava, Keuruu 1983. s.23

Tuulen voimakkuuden boforiasteikko

Bofori luku	Tuulen nimitys		Nopeus m/s 10m:n korkeudella	Vaikutukset avomerellä
	englanniksi	suomeksi		
0	calm	tyyni	<1	peilityyni meri
1	light air	heikko tuuli	1	meren pinnassa kareita
2	light breeze		2-3	lyhyitä aaltoja, jotka eivät murru
3	gentle breeze	kohtalainen tuuli	4-5	silloin tällöin murtuvien aaltojen harjalla läpinäkyvää vaahtoa
4	moderate breeze		6-7	pitkähköjä aaltoja, kohahtelevia vaahtopäitä
5	fresh breeze	navakka tuuli	8-10	kohtalaisen kookkaita ja pitkiä, vaahtopäisiä, jatkuvasti kohisevia aaltoja
6	strong breeze		11-13	suuria, kumeasti kohisevia aaltoja, joiden vaahto leviää, ilmassa pärskettä
7	near gale	kova tuuli	14-16	aaltojen huiput murtuvat, tuulen suuntaisia kuohuvanoja alkaa syntyä
8	gale		17-20	pitkiä ja verrattain korkeita aaltoja, kuohuvanoja tiheässä
9	strong gale	myrsky	21-24	aallot korkeita, meri pauhaa, pärske huonontaa näkyvyyttä jonkin verran
10	storm		25-28	aaltovuoria, merenpinta valkoisena vaahdosta, pauhu kovaa, puuskittaista, pärske huonontaa näkyvyyttä
11	violent storm		29-32	erittäin korkeita aaltovuoria, koko merenpinta valkoisena, pärske huonontaa huomattavasti näkyvyyttä
12	hurricane	hirmu myrsky	33 tai enemmän	hirmumyrskyaallokko, ilma täynnä kuohua ja pärskettä, näkyvyys erittäin huono

Peltonen, Tapani - Puhakka, Timo: Sääoppi. Otava, 1984. s.57

Sääjärjestelmien jako koon ja keston mukaan

Sääjärjestelmä	Koko	Kestoaika	Mittakaava
tuulen puuska, trombi, rakeen muodostuminen	0,1mm - 5km	1s - 1h	pieni
ukkoskuuro, maa-merituuli, föhn	5 - 500 km	1h - 1d	väli-
liikkuvat matala- ja korkea-paineet, suihkuvirtaus	500 - 5000km	1 - 10d	synoptinen
napapyörre, pasaatituulet, he-poasteiden korkeapaineet	yli 5000km	yli 10d	planetaarinen

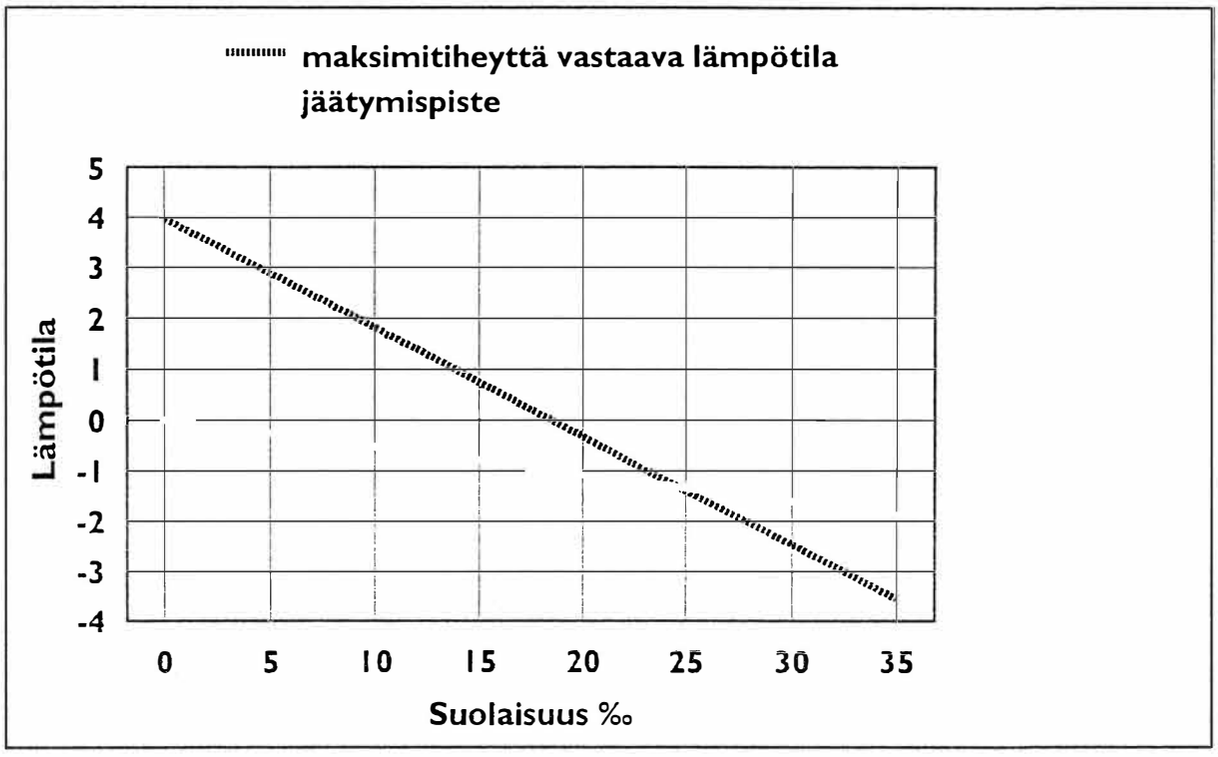
Rinne, Juhani - Koistinen, Jarmo - Saltikoff, Elena (toim): Suomalainen sääkirja - etanasta El Niñoon. Otava, 1998 s.34

Itämeren vesirungon rakenne kesällä ja talvella
(Professori Aarno Voipion mukaan)

Kesä	Talvi	
Peitekerros lämpimin, vähäsuolainen	Peitekerros kylmin, vähäsuolainen	Merenpinta
Välikerros eli vanha talvivesi kylmin, vähäsuolainen		Termokliini 5-50m
Aluskerros lämmin, suolaisempi	Aluskerros lämmin, suolaisempi	Halokliini 50-70m
Syvännekerros lämmin, suolaisin	Syvännekerros lämmin, suolaisin	Sekundaarinen halokliini 110-150m Meren pohja

Grönvall, Hannu - Korhonen, Osmo: Meritiede. Otava, Keuruu 1983. s.114

Tiheysmaksimi ja meriveden jäätymispiste



Veden ollessa suolaisuudeltaan 24,69 ‰ veden jäätymispiste sekä maksimitiheyttä vastaava lämpötila ovat samat: -1,33 °C.

Grönvall, Hannu - Korhonen, Osmo: Meritiede. Otava, Keuruu 1983. s.25

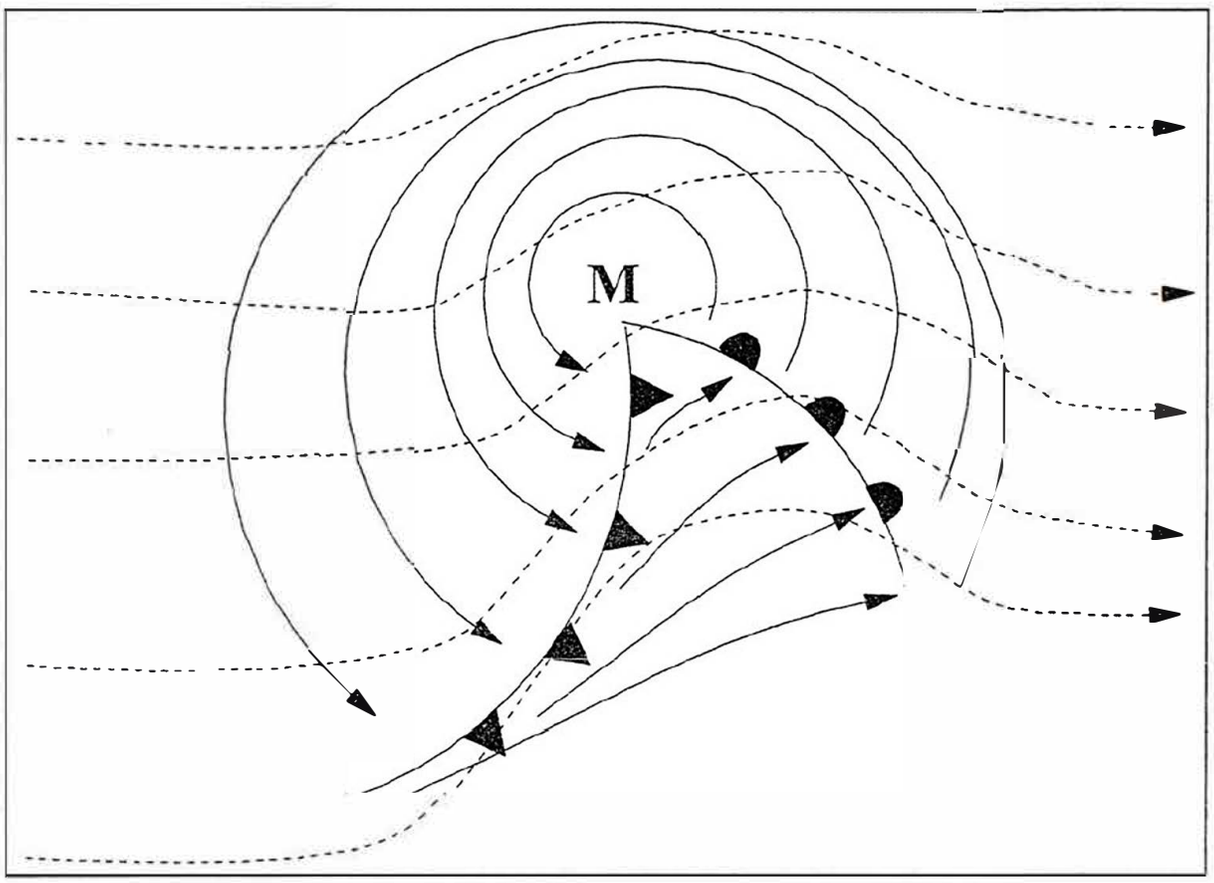
Jään keskimääräinen esiintyminen eräillä paikkakunnilla 1961-1990

Paikka	Ensi jäätyminen	Pysyvän jääpeitteen tulo	Pysyvän jääpeitteen päättyminen	Jäänlähdön päivämäärä	Todellisten jääpäivien lukumäärä
Tornio	31.10.	06.11.	12.05.	17.05.	194
Kemi	03.11.	10.11.	12.05.	16.05.	189
Oulu	05.11.	12.11.	27.04.	05.05.	175
Raahe	15.11.	27.11.	03.05.	08.05.	167
Vaasa	22.11.	29.11.	22.04.	27.04.	151
Mäntyluoto	12.12.	31.12.	30.03.	10.04.	95
Rauma	14.12.	21.12.	07.04.	15.04.	115
Uusikaupunki	15.12.	20.12.	14.04.	19.04.	122
Maarianhamina	19.01.	31.01.	01.04.	06.04.	60
Naantali	17.12.	25.12.	07.04.	14.04.	114
Turku	19.12.	02.01.	01.04.	08.04.	103
Utö	29.01.	12.02.	03.04.	08.04.	43
Hanko	11.01.	23.01.	25.03.	01.04.	69
Inkoo	12.12.	26.12.	14.04.	20.04.	122
Porkkala	15.12.	23.12.	15.04.	20.04.	122
Upinniemi	25.12.	01.01.	12.04.	18.04.	109
Mäkiluoto	19.01.	27.01.	02.04.	08.04.	70
Helsinki	19.12.	30.12.	02.04.	12.04.	106
Porvoo	12.12.	23.12.	14.04.	20.04.	120
Loviisa	08.12.	17.12.	16.04.	23.04.	130
Kotka	11.12.	20.12.	10.04.	17.04.	120
Kaunissaari	30.12	10.01	12.04	19.04	101
Hamina	07.12.	15.12.	18.04.	23.04.	133

Merentutkimuslaitoksen kotisivut:

http://www2.fimr.fi/fi/palvelut/jaapalvelu/jaatalvi/jaatalvet-1961-1990-tilasto.html. 7.1.2002 klo 1800

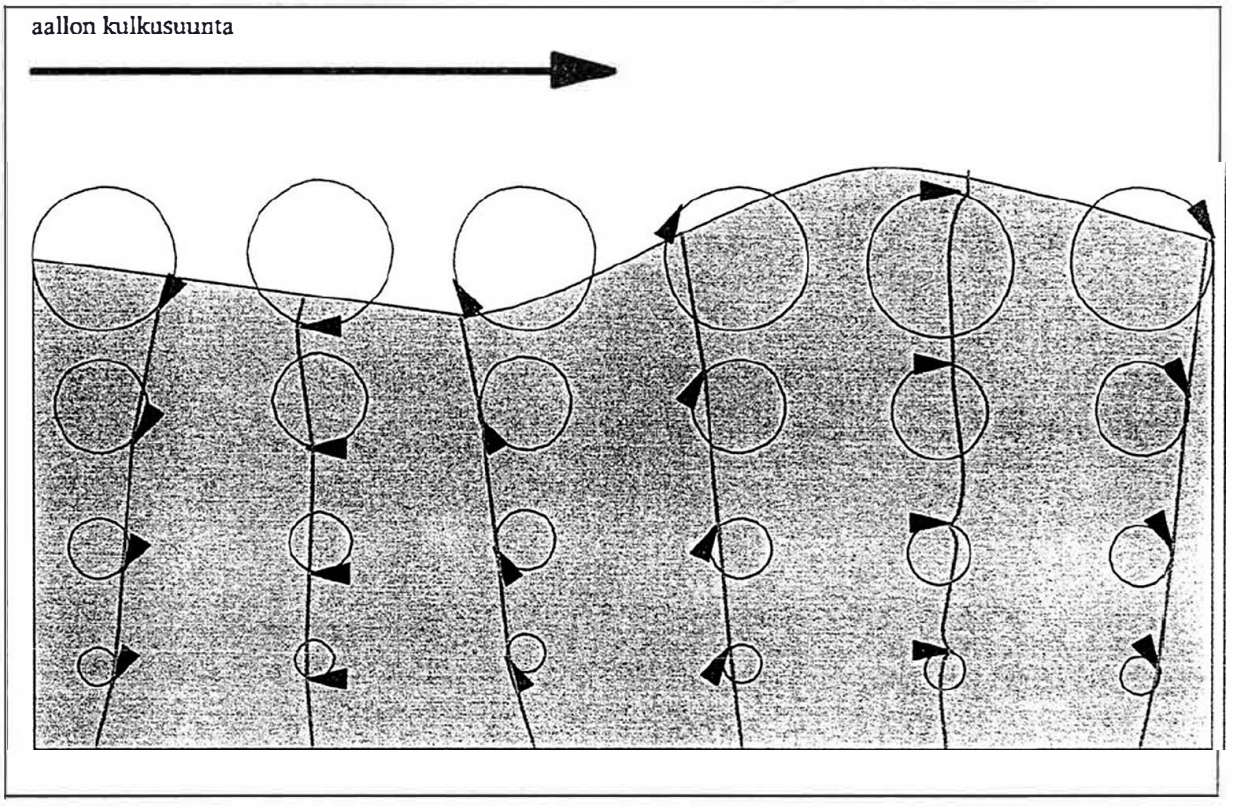
Polaaririntaman sykloni



Ilma pyörii matalapaineen ympäri vastapäivään. Sykloni liikkuu lämpimäässä sektorissa olevien isobaarien suuntaan, joka on sama kuin katkoviivalla piirretun ylävirtauksen keskimääräinen suunta.

Peltonen, Tapani - Puhakka, Timo: Sääoppi. Otava, 1984. s.131

Vesipartikkeleiden liike aallossa



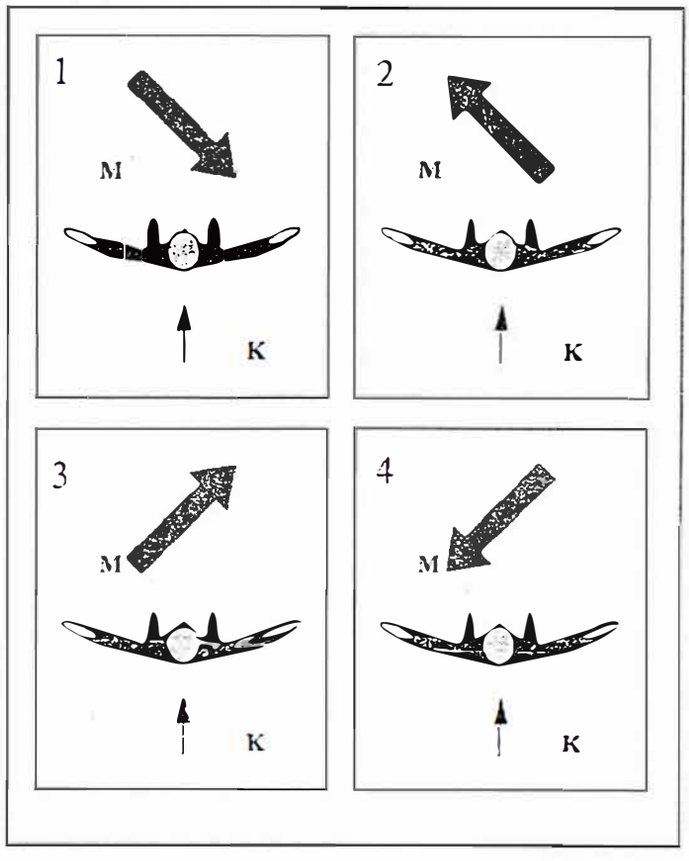
Grönvall, Hannu Korhonen, Osmo: Meritiede. Otava, Keuruu 1983. s.87

Kyllästyskosteuden riippuvuus lämpötilasta g/m³

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
+30	30,3	32,0	33,8	35,6	37,5	39,5	41,7	43,9	46,1	48,5
+20	17,3	18,3	19,4	20,6	21,8	23,0	24,3	25,7	27,2	28,7
+10	9,4	10,0	10,7	11,3	12,1	12,8	13,6	14,5	15,4	16,3
+0	4,8	5,2	5,6	5,9	6,4	6,8	7,3	7,7	8,3	8,8
-0	4,8	4,5	4,2	3,9	3,7	3,4	3,2	2,9	2,7	2,5
-10	2,4	2,2	2,0	1,9	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2
20	1,1	1,0	0,9	0,8	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5
-30	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2

Peltonen, Tapani - Puhakka, Timo: Sääoppi. Otava, 1984. s.29

Ylätuulisääntöjen kuvaesimerkki.



Tuuli puhaltaa havaitsijan selkään. Matalapaineen keskus sijaitsee havaitsijan etuvasemmalla, ja korkeapaineen keskus takaoikealla. Ylä- ja keskipilvet, samoin kuin matalapaineen keskus liikkuvat paksun nuolen suuntaisesti.

1. Sää huonee: matalapaineen rintamasadealueet lähestyvät.
2. Sää paranee: matalapine ja sadealueet loittonevat.
3. Säässä ei muutoksia: matalapaine ohittaa, havaitsija jää matalapaineen lämpimän osan puolelle.
4. Säässä ei muutoksia: matalapaine ohittaa, havaitsija jää matalapaineen kylmän osan puolelle.

Rinne, Juhani - Koistinen, Jarmo - Saltikoff, Elena (toim): Suomalainen sääkirja - etanasta El Niñoon. Otava, 1998 s.34