

Merenkulkulaitoksen sisäisiä julkaisuja 3/2009

Ilmastomuutoksen vaikutukset Merenkulkulaitoksen toimintaan ja ilmastomuutokseen sopeutumisen edellyttämät toimenpiteet



Merenkululaitos

Helsinki 2009
ISSN 1456-9442

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	2
1. 1 Hankkeen taustaa ja tavoitteet.....	4
1.2 Työn toteutus, menetelmät, rajaukset ja raportin sisältö	4
2. ILMASTONMUUTOKSEN VAIKUTUKSET MERENKULKUUN	6
2.1 Globaali ilmastomuutos	6
2.2 Ilmastomuutos Suomessa ja vaikutukset merenkulkuun	7
2.3 Ilmastomuutoksen aiheuttajalista – ilmastomuutoksen riskitekijät	18
3. MERENKULKULAITOKSEN TEHTÄVÄT JA ORGANISAATIO	20
3.1 Yleiset tehtävät ja laitostason organisaatio	20
3.2 Toiminta-alueiden tehtävät ja järjestelmät.....	21
Merikartoitus	21
Väylänpito	22
Meriturvallisuus.....	22
Talvimerenkulku.....	22
Meriliikenteen ohjaus	23
Sisäinen tuotanto	23
3.3 Tehtävien ja järjestelmien väliset vuorovaikutukset	24
4. ILMASTONMUUTOKSEN RISKIT MERENKULKULAITOKSEN TOIMINNALLE.....	24
4.1 Ilmastomuutoksen aiheuttamien vaikutusten ja häiriöiden tunnistaminen	24
4.2 Vaikutusten ja häiriöiden toistuvuuden arviointi	25
4.3 Ilmastoriskien arviointi	25
5. SOPEUTUMISTOIMIEN TUNNISTAMINEN JA ARVIOINTI.....	33
5.1 Sopeutumistoimien tunnistaminen merkittävimmille muutoksille ja riskeille	33
5.2 Sopeutumistoimien analyysi ja arviointi keskeisille riskeille	33
6. JOHTOPÄÄTÖKSET	34
Lähteet:.....	37
LIITE 1 Hankkeen työpajat sekä hankkeeseen osallistuneet asiantuntijat.	39
LIITE 1 Hallitustenvälinen ilmastomuutospaneeli (IPCC) ilmastomuutoksesta	40
LIITE 2 Lämpötilan ja sateisuuden muutosten kuukausi- ja todennäköisyysjakaumia.....	42
LIITE 3 Lisätietoa Itämeren jääpeitteen muutoksesta	44
LIITE 4 Lisätietoa veden korkeuden muutoksista ja maankohoamisesta	44
LIITE 5 MKL:n keskeiset ilmastoriskit ja sopeutumistoimet toiminta-alueittain	46
Väylänpito	46
Merikartoitus	47
Talvimerenkulku.....	48
Meriliikenteen ohjaus	48
Meriturvallisuus.....	49



Tiivistelmä

Merenkululaitos (MKL) vastaa kauppamerenkulun ja muun vesiliikenteen perustoimintaedellytysten ylläpitämisestä ja kehittämisestä, edistäen systemaattisesti merenkulun taloudellisuutta, turvallisuutta ja ympäristönsuojelua. Ilmastomuutos tulee merkittävästi muokkaamaan merenkulun toimintaympäristöä 2000-luvulla ja edellyttämään ennakoivia ja järjestelmällisiä sopeutumistoimia, joiden avulla voidaan varmistaa merenkulun turvallisuus, ympäristöystävällisyys ja tehokkuus myös tulevaisuudessa.

Riippuen kasvihuonekaasujen päästökehityksestä, Itämeren alueella keskilämpötila saattaa nousta 3-6 C astetta ja sademäärien vuosikeskiarvo noin 10-20% vuosisadan loppuun mennessä. Lämpötilan nousu tulee näkymään mm. meriveden lämpötilan nousuna, merenpinnan korkeuden nousuna sekä muutoksena jääpeitteen laajuudessa, paksuudessa ja jääpäivien määrässä. Ilmastomuutoksen kiihtyminen tulee Suomen alueella näkymään myös mm. rankkasateiden ja kuivien kausien muutoksissa, ns. äärevien sääilmiöiden yleistymisessä, jotka voivat merkittävästi vaikuttaa merenkulkuun. Eräät näistä muutostekijöistä saattavat helpottaa merenkulkua tulevaisuudessa, kun taas toiset muutostekijät saattavat vaarantaa tai jopa estää turvallisen merenkulun.

Kyetäkseen varautumaan mahdollisimman kustannustehokkaasti ilmastomuutoksen synnyttämiin riskeihin 2000-luvulla, MKL on teettänyt tämän tarkastelun ilmastomuutoksen riskeistä ja vaihtoehtoisista sopeutumistoimista merenkulun näkökulmasta.

Arvioinnissa tunnistettiin noin 40 Merenkululaitoksen eri toiminta-alueisiin kohdistuvaa ilmastoriskiä (katso taulukko 4). Suurin osa merkittävimmistä riskeistä kohdistuu väylänpitoon, merikartoitukseen (erityisesti merenmittaustietojen hankintaan) sekä meriliikenteen ohjaukseen (erityisesti alusliikennepalveluihin). Talvimerenkulussa mm. jääkenttien siirtyminen ja jäävalliin todennäköinen syntyminen entistä useammin leudompina talvina nousee myös esiin eräänä lähitulevaisuuden riskinä. Hankkeessa tunnistettiin myös useita ilmastomuutoksen potentiaalisia vaikutuksia meriturvallisuuden toiminta-alueeseen, erityisesti alusturvallisuuden kehittämiseen ja valvontaan.

Tarkasteltaessa ilmastoriskien aiheuttajia, ns. sään ääri-ilmiöt nousevat esiin kaikkein merkittävimpien riskien takana. Myrskytuulet, korkea aallokko, rankkasateet, lumipyryt ja meriveden pinnan nopeat muutokset voivat aiheuttaa merkittäviä häiriötä MKL:n prosesseihin ja teknisiin järjestelmiin. Vaikka ilmastotutkimus ei kaikkien näiden parametrien osalta pysty antamaan selkeitä vastauksia häiriötapahtumien todennäköisyyksistä 2000-luvulla, on MKL:n syytä edelleen kehittää sopeutumiskykyään sään ääri-ilmiöiden aiheuttamiin riskeihin. Vaikka asteittaiset muutokset keskilämpötilassa ja sademäärien vuosikeskiarvossa eivät tämän arvion mukaan välittömästi muodosta merkittäviä riskejä merenkulkuun, tulee myös lämpötilan nousu (mm. entistä lämpimimpien hellejaksojen kautta) ja sademäärän muutos (kuivuuden ja tulvien muutosten kautta) edellyttämään muutoksia niin MKL:n teknisiin järjestelmiin kuin prosesseihin.

Hankkeessa tunnistetut sopeutumistoimet tarjoavat Merenkululaitokselle konkreettisia vaihtoehtoja keskeisten ilmastoriskien hallintaan. Riippuen toiminta-alueesta ja riskikuvasta, hankkeessa tunnistetut kustannustehokkaat sopeutumistoimet edellyttävät muun muassa i) muutoksia suunnittelu- ja hankintakäytäntöihin siten, että ilmastomuutoksen vaikutukset on ennakoivasti huomioitu mm. työn suunnittelussa ja kalustovaatimuksissa, ii) teknisten laitteiden, turvalaitteiden tuotekehitystyötä, iii) tiedotustoiminnan jatkuvaa turvaamista ja terävöittämistä sekä iv) jatkuvaa tuote- ja markkinavalvontaa, sekä osallistumista IMO:ssa tapahtuvaan sääntökehitykseen. Esimerkiksi pidemmän aikavälin sääennusteita hyödyntämällä ja kansainvälistä yhteistyötä tiivistämällä Itämerelle voidaan edelleen parantaa murtajakaluston sijoittamista ja turvata talvimerenkulun turvallisuutta ja sujuvuutta. Ympäri vuorokautinen vedenpinnan korkeuden muutosten seuranta ja siitä tiedottaminen voi auttaa mm. nopeasta merenpinnan laskusta aiheutuvien riskien systemaattisessa vähentämisessä tulevaisuudessa.

Merenkululaitoksen ilmastoriskien hallinnan kannalta on tärkeää huomata, että lähes kaikki keskeiset sopeutumistoimet ovat Merenkululaitoksen "omissa käsissä", eli toteutettavissa itse ja/tai jo olemassa olevan toimintaverkoston kautta. Ilmastomuutoksen riskit eivät tule Merenkululaitokselle yllätyksenä. Suurin osa toimista on toteutettavissa alhaisin (< 10 000 €) tai maltillisin (< 100 000 €) kustannuksin ja monet toimet ovat jo käynnissä osana Merenkululaitoksen normaaleja prosesseja. Arviointi antaa myös pohjan arvioida eräiden

korkeampien kustannusten (>100 000 €) sopeutumistoimia niiden tarkentamista ja optimaalista ajoittamista. Hyvin suunnitellut sopeutumistoimet, riskin hallinnan ja kustannustehokkuuden lisäksi, voivat myös vähentää kasvihuonekaasupäästöjä ja tätä kautta tarvetta sopeutua entistä voimakkaampaan ilmastomuutokseen tulevaisuudessa.

Ilmastoriskit muodostavat tulevaisuudessa erään keskeisen muutostekijän, johon Merenkululaitoksen on kyettävä ennakoivasti varautumaan. Kustannustehokas sopeutuminen tulee edellyttämään ilmastomuutos-osaamisen jatkuvaa kehittämistä ja syventämistä kaikille Merenkululaitoksen toiminta-alueille. Hyvin suunnitellut sopeutumistoimet voivat samanaikaisesti parantaa Merenkululaitoksen edellytyksiä vastata menestyksekkäästi MKL:n muihin avainhaasteisiin.

Tämä selvitys on tehty Gaia Consulting Oy:n ja Merenkululaitoksen asiantuntijoiden yhteistyönä. Gaia Consulting Oy:stä selvityksen laatimiseen ovat osallistuneet Mikko Halonen, Jussi Nikula ja Tuomas Raivio.

1. Johdanto

1.1 Hankkeen taustaa ja tavoitteet

Tulevina vuosina ja vuosikymmeninä ilmastonmuutos tulee muodostamaan merkittävän muutostekijän, johon yhteiskuntamme on tavalla tai toisella sopeuduttava. Viimeisimmät kansalliset ja kansainväliset tutkimustulokset vahvistavat näkemyksen siitä, että riippumatta siitä, kuinka ripeästi kasvihuonekaasujen päästöjä saadaan vähennettyä, sopeutumista ilmastonmuutoksen vaikutuksiin tullaan tarvitsemaan kaikilla yhteiskuntamme sektoreilla ja tasoilla.

Merenkulkulaitos (MKL) vastaa kauppamerenkulun ja muun vesiliikenteen perustoimintaedellytysten ylläpitämisestä ja kehittämisestä, edistäten systemaattisesti merenkulun taloudellisuutta, turvallisuutta ja ympäristönsuojelua. Ilmastonmuutos tulee merkittävästi muokkaamaan merenkulun toimintaympäristöä ja edellyttämään systemaattisia ja ennakoivia sopeutumistoimia, joiden avulla voidaan varmistaa ja parantaa Itämeren merenkulun turvallisuutta myös tulevaisuudessa. Kyse voi olla lyhyen tai pitkän aikavälin sopeutusratkaisuista, toimenpiteiden toteuttaminen voi edellyttää esimerkiksi teknologisia muutoksia nykyisiin järjestelmiin, prosesseihin ja kalustokantaan, muutoksia suunnittelu- hankintakäytäntöihin sekä muutoksia koulutus- ja tiedotusratkaisuihin.

Samanaikaisesti merenkulun kehittämisessä on kyettävä ottamaan huomioon muut keskeiset muutostekijät kuten mm. meriliikenteen tämänhetkisestä (kevät 2009) kansainvälisesti taloudellisesta taantumasta huolimatta jatkuva ripeä kasvu sekä nopeasti uudistuva aluskalusto ja uudet teknologia, jotta voidaan turvata meriliikenteen sujuvuus ja taloudellisuus. Suomen satamien kautta kuljetettiin vuonna 2006 yhteensä 100 miljoonaa tonnia tavaraa. Vuoteen 2030 mennessä merikuljetusten on ennustettu kasvavan noin 150 miljoonaan tonniin ja esim. Suomenlahden öljykuljetusten lisääntyvän merkittävästi.

Kyetäkseen vastamaan tehokkaasti tulevaisuuden haasteisiin, ja erityisesti varautuakseen entistä paremmin ilmastonmuutoksen vaikutuksiin 2000-luvulla (ml. lämpötilan muutokset, sateisuuden muutokset, muutokset jääpeitteessä, merenpinnan korkeudessa ja ns. ääreissä sää-ilmiöissä) MKL toteutti 2008–2009 hankkeen, jossa tarkasteltiin ilmastonmuutoksen riskejä ja vaihtoehtoisia sopeutumistoimia merenkulun näkökulmasta. Hankkeen tulokset on kirjattu tähän raporttiin.

Hankkeen päätavoitteena on tunnistaa ilmastomuutoksen vaikutukset Merenkulkulaitoksen toimintaan ja näin olleen auttaa Merenkulkulaitosta ennakoivasti tunnistamaan ja toteuttamaan kustannustehokkaita ilmastomuutokseen sopeutumisen edellyttämiä toimenpiteitä. Tavoitteiden saavuttamiseksi tässä hankkeessa on laadittu:

- selvitys ilmastomuutoksen vaikutuksista 2000-luvulla sekä erityisesti arvio ilmastomuutoksen todennäköisistä vaikutuksista Merenkulkulaitoksen eri toimintoihin
- esitys ilmastomuutokseen sopeutumisen edellyttämistä toimenpiteistä laitoksen eri toiminta-alueilla (Merikartitus, Meriliikenteen ohjaus, Meriturvallisuus, Talvimerenkulku, Väylänpito sekä Sisäinen tuotanto)

Tarkastelun aikajänteeksi valittiin pitkä aikaväli (2000-luvun loppupuolisko), joka antaa mahdollisuuden tunnistaa keskeiset muutostekijät, jotka merenkulun viranomaistehtävistä vastaavan organisaation on otettava huomioon kaikissa pitemmän aikavälin päätöksissään. Tämän lisäksi analyysia on täydennetty lähivuosikymmenien tarkastelulla, joka tukee välittömien sopeutumistoimenpiteiden valintaa aikajänteellä 2010–2030 ja voi vähentää haavoittuvuutta ilmastoon ns. luontaiselle vaihtelulle ja ääreille sääilmiöille lyhyellä aikavälillä.

1.2 Työn toteutus, menetelmät, rajaukset ja raportin sisältö

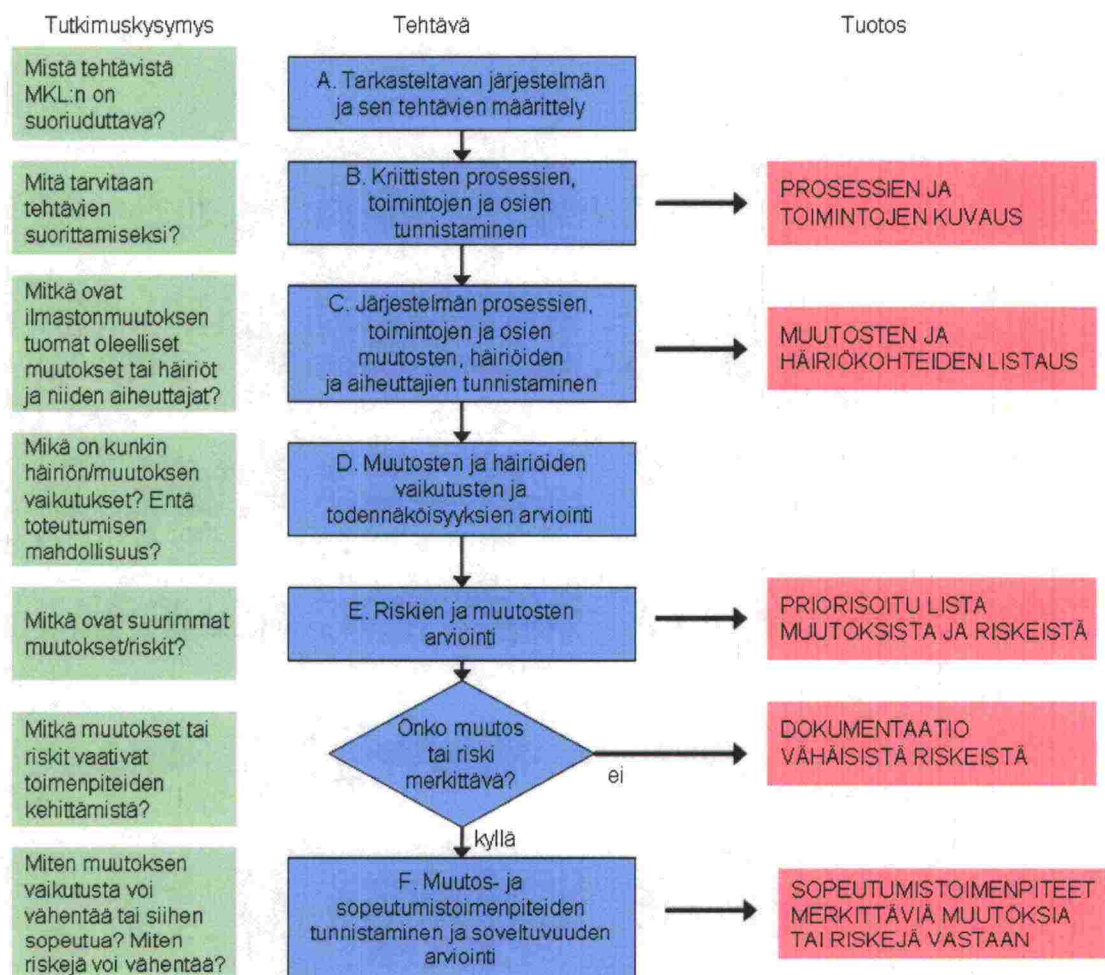
Gaia Consulting Oy toteutti työn talvella 2008–2009 tiiviissä yhteistyössä Merenkulkulaitoksen asiantuntijoiden kanssa. Työssä hyödynnettiin kansallisen ilmastonmuutoksen sopeutumisen tutkimusohjelman (ISTO¹) puitteissa 2006–2007 kehitettyä Ilmasto-KIHA² menetelmää, joka

¹ ISTO, <http://www.mmm.fi/fi/index/etusivu/ymparisto/ilmastopolitiikka/sopeutumistutkimusohjelma.html>

² KIHA = kriittisten infrastruktuurien haavoittuvuuden analysointi. Katso myös Ilmasto-KIHA, Menetelmäkehitys ilmastoriskien arviointiin ja sopeutumistoimien priorisointiin, Mikko Halonen, Jussi Nikula, Livo Vehviläinen, Tuomas Raivio & Mari Hjelt, Loppuraportti 2007.

tarjoaa konkreettisen ja systemaattisen keinon integroida ilmastonmuutoksen viimeisin tutkimustieto organisaatioiden päätöksentekoon.

Kyseessä on käytännön työkalu tehokkaaseen ryhmätyöpohjaiseen riskinarviointiin, jossa tarkasteltavaa organisaatiota ja sen järjestelmiä analysoidaan sille asetettujen keskeisten toimintojen ja tehtävien kautta. Kuvassa 1 on esitetty Ilmasto- KIHA menetelmä, sekä sen keskeiset toteutuksen vaiheet tässä hankkeessa.



Kuva 1. Hankkeessa käytetty menetelmä ja keskeiset työvaiheet

Ilmasto-KIHAn tehtävälähtöinen lähestymistapa mahdollistaa menetelmän systemaattisen soveltamisen paitsi teknisten järjestelmien yksityiskohtien niin myös MKL:n organisaation tehtävien tasoisessa tarkastelussa³. Näin olleen tarkastelu tunnistaa nimenomaan ne tehtävät ja sopeutumistoimet, jotka on toteutettava riippumatta siitä, mikä organisaation muoto tulevaisuudessa tulee olemaan. Hyödyntäen Ilmasto-KIHA menetelmää, hankkeen työvaiheissa voitiin:

1. Tunnistaa erilaiset ilmastonmuutoksen aiheuttamat muutokset ja riskit toimintaympäristössä
2. Arvioida ilmastonmuutoksesta aiheutuvien muutosten ja riskien suuruus,
3. Tunnistaa erilaiset riskien ja muutosten vaatimat sopeutumistoimet, sekä
4. Arvioida eri sopeutumistointien toteuttamiskelpoisuus

Hankkeen ensimmäisessä vaiheessa (kuva 1, tehtävät a ja b) määriteltiin MKL:n toiminta järjestelmän muodossa. Tässä huomioitiin laitoksen eri toiminta-alueet ja niiden keskeiset

³ Ilmasto-KIHA menetelmää on sovellettu mm. vesijärjestelmien ilmatoriskien arviointiin. Katso esim. *Porvoon kaupungin vesijärjestelmien ilmastonmuutoksen riskien ja sopeutumistointien arviointi*, Gaia Consulting Oy. Jussi Nikula, Mikko Halonen, Riikka Lehti Heinäkuu.2008. (www.gaia.fi)

tehtävät. Tässä arvioinnissa sähköjärjestelmät ja niihin mahdollisesti kohdistuvat ilmastoriskit rajattiin tarkastelun ulkopuolelle. Tämän jälkeen määriteltiin mitkä ovat toiminta-alueiden tehtävien toteuttamisen järjestelmät. Järjestelmät koostuvat organisaatioiden prosesseista sekä näiden prosessien sisältämistä aliprosesseista sekä teknisistä järjestelmistä. Järjestelmien systemaattinen kuvaus luo pohjan sille, että voidaan tunnistaa ne muutokset ja /tai häiriöt, jotka ilmastomuutos (sen erinäiset muutostekijät eri skenaarioissa) aiheuttaa kullekin tehtävälle. Työvaiheen tulokset on esitetty luvussa 3.

Hyödyntäen ilmastonmuutoksen viimeisintä tutkimustietoa, hankkeen toisessa vaiheessa (kuva 1, tehtävät c, d ja e) tunnistettiin ilmastonmuutoksen aiheuttamat keskeiset häiriöt Merenkululaitoksen tehtävien toteuttamiseen. Ottaen vertailukohtana huomioon jo koetut, pääsääntöisesti nykyilmaston luontaisesta vaihtelusta ja sään ääri-ilmiöistä aiheutuneet häiriöt, tunnistettiin pitemmän aikavälin ilmastonmuutoksesta aiheutuvat riskitekijät. Hyödyntäen eri skenaarioita mm. lämpötilan, sateisuuden, veden (meren ja sisävesien) pinnankorkeuksien, jääpeitteen, tuulisuuden ja myrskyisyyden muutoksista tunnistettiin systemaattisesti eri skenaarioiden aiheuttamat riskit (muutosten vaikutukset x arvioidut todennäköisyydet) Merenkululaitoksen tehtävien suorittamiseen. Hankkeessa sovellettu, ilmastonmuutosta koskeva tutkimustieto, on esitetty luvussa 2 ja toisen työvaiheen tulokset luvussa 4.

Hankkeen kolmannessa työvaiheessa (kuva 1, tehtävä f) merkittävimpiä riskejä ja vaikutuksia vastaan tunnistettiin mahdollisimman hyvät sopeutumistoimenpiteet hyödyntäen merenkululaitoksen omaa asiantuntemusta. Pitkän aikavälin sopeutumistoimien arvioinnissa otettiin huomioon toimenpiteiden joustavuus ja soveltuvuus myös lyhyemmällä aikavälillä tapahtuviin muutoksiin, jotka tietyissä tapauksissa voivat poiketa pitkän aikavälin riskikuvasta. Sopeutumistoimien analyysi ja tunnistettujen sopeutumistoimien arviointi on esitetty luvussa 5.

Hankkeen keskeiset johtopäätökset on esitetty luvussa 6. Luvussa nostetaan esiin myös eräitä suosituksia jatkotoimenpiteiksi, jotka olisi syytä huomioida ilmastoriskien systemaattiseksi tunnistamiseksi ja ennakoivien sopeutumistoimien kustannustehokkaaksi toteuttamiseksi tulevaisuudessa.

Kunkin työvaiheen tuloksia täydennettiin ja validioitiin hankkeen aikana työpajoissa, jonka avulla varmistettiin että Merenkululaitoksen oman sektorinsa johtava osaaminen, niin ilmastonmuutoksen aiheuttamien konkreettisten häiriöiden vakavuus, vaikutusketjut kuin sopeutumistoimien toteutettavuus ja mahdolliset synergiat tulivat täysimääräisesti huomioitua.⁴

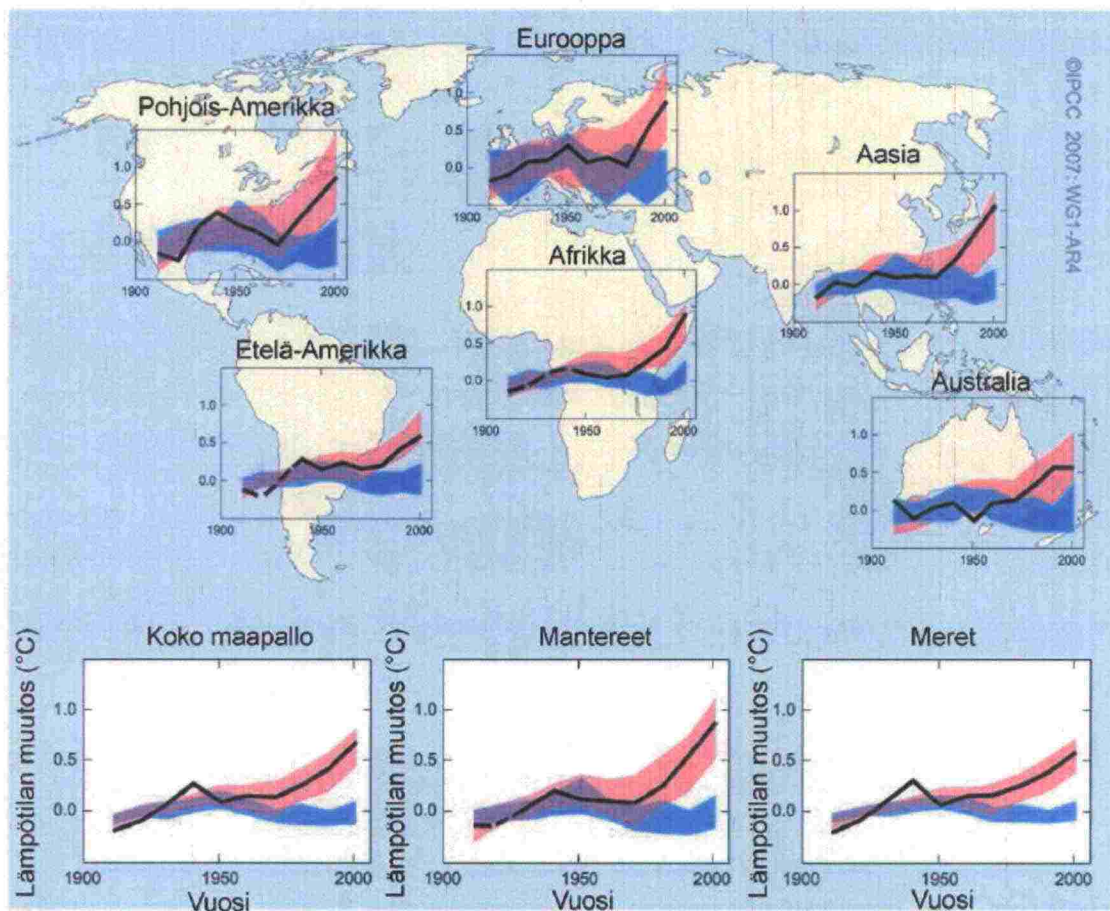
2. Ilmastonmuutoksen vaikutukset merenkulkuun

2.1 Globaali ilmastonmuutos

Niin sanottu luonnollinen kasvihuoneilmiö, josta suurimman osan aiheuttaa vesihöyry, tekee elämän maapallolla nykymuodossaan mahdolliseksi. Luontaisen kasvihuoneilmiön seurauksena maapallon pintalämpötila on n. 30°C astetta korkeampi kuin ilman kasvihuonekaasuja, jotka estävät lämpösäteilyä karkaamasta avaruuteen. Muita kasvihuonekaasuja ovat hiilidioksidi, metaani, otsoni, typioksiduuli ja freonit.

Tutkimusyhteisön tunnistamat menneisyydessä tapahtuneet ilmastonmuutokset osoittavat, että ilmastojärjestelmä on herkkä pysyvälle pakotteelle ja myös suuret muutokset järjestelmässä ovat mahdollisia. Viime vuosikymmeninä havaitun ilmastonmuutoksen perussyy on ilmakehän kasvanut kasvihuonekaasupitoisuus nimenomaan ihmistoiminnan seurauksena (kuva 2)

⁴ Katso Liite 1. Hankkeen työpajat sekä hankkeeseen osallistuneet Merenkululaitoksen asiantuntijat.



Kuva 2. Havaittujen ja ilmastomalleilla simuloitujen pintalämpötilan muutosten vertailua kuudessa maanosassa, koko maapallolla keskimäärin sekä erikseen manner- ja merialueilla. Havaituista vuosien 1906–2005 lämpötiloista lasketut 10-vuotiskeskisarvot on kuvissa esitetty mustilla käyrillä, käyttäen nollatasona kauden 1901–1950 keskiarvoa. Katkoviivoja on käytetty silloin, kun havaintojen alueellinen kattavuus on ollut alle 50%. Siniset nauhat kertovat lämpötilan vaihtelun 90% (5–95%) todennäköisyysvälin sellaisissa mallikokeissa (19 malliajoa 5 ilmastomallilla), joissa pakotteena on käytetty ainoastaan luonnollisia tekijöitä: tulivuorenpurkauksia ja auringon säteilyn muutoksia. Punaisiin nauhoihin on merkitty vastaavat 90% todennäköisyysvälit sellaisten mallikokeitten (58 malliajoa 14 ilmastomallilla) perusteella, joissa pakotteena on käytetty sekä luonnollisia tekijöitä että ihmiskunnan tuottamia päästöjä.⁵

Maapallon lämpötila on noussut viimeisen sadan vuoden aikana yli 0,7°C. Globaalisti 15 lämpimintä vuotta koettu viimeisen 20 vuoden aikana (katso kuva 2, yllä)⁶. Vuoteen 2100 mennessä voidaan maailmanlaajuisesti odottaa mm. lämpötilan jatkavan nousuaan keskimäärin 3–4°C (mm. päästöjen kehityksestä ja ilmakehän herkkyydestä riippuen 1,1–6,4°C), merenpinnan jatkavan keskimäärin nousuaan noin 0,5 metriä (olettaen mm. ettei merkittäviä jäätiköiden sulamisia tai muita kerrannaisvaikutuksia esiinny), merkittäviä sateisuuden muutoksia sekä äärevien sääilmiöiden lisääntymistä (katso liite 2).

2.2 Ilmastomuutos Suomessa ja vaikutukset merenkulkuun

Ilmastomuutoksen vaikutukset tulevat näkymään seuraavina vuosikymmeninä niin globaalissa ilmastojärjestelmässä kuin Suomen ilmastossa. Tässä hankkeessa on hyödynnetty viimeisintä tutkimustietoa Suomen ilmaston muutoksista, joiden avulla on tarkasteltu ilmaston perussuureiden, erityisesti lämpötila ja sademäärät, lisäksi myös mahdollisia muutoksia mm. jääpeitteessä, äärevissä sää-ilmiöissä (esim. myrskyisyys, tuulisuus) sekä merenpinnan tai

⁵ Hallitustenvälinen ilmastopaneeli (IPCC) Ilmastomuutos v. 2007, Luonnontieteellinen perusta, yhteenveto päätöksentekijöille. Suomenkielisen tekstin on laatinut tutkija Kimmo Ruosteenoja (Ilmatieteen laitos).

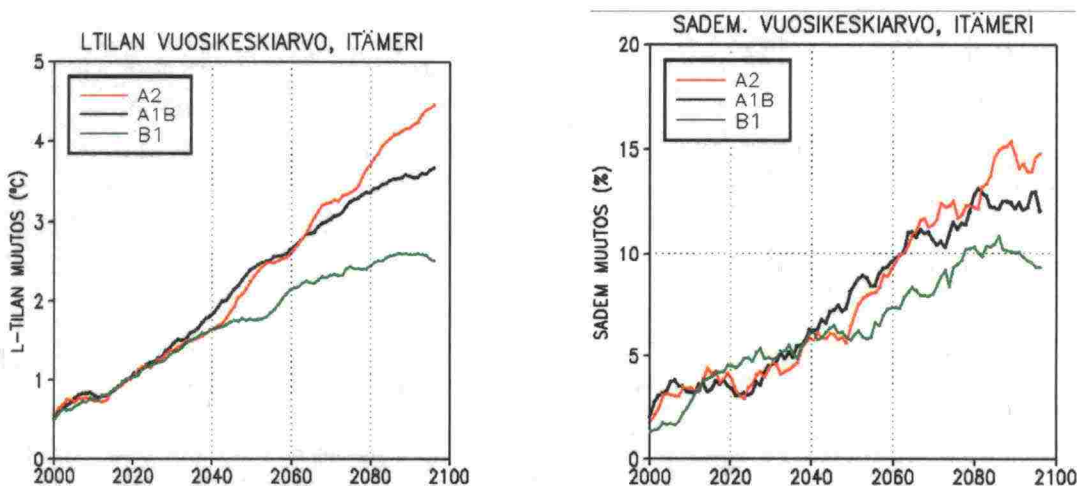
⁶ Katso esim. <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/info/warming/>

sisävesien korkeudessa, jotka voivat olla keskeisiä ilmatoriskin aiheuttajia merenkulussa. Liitteissä 3-4 on esitetty eräitä täydentäviä arvioita tässä luvussa kuvatuille muutoksille.

Tarkastelun ensisijaisena aikajaksona on vuosisadan loppuun mennessä odotettavat muutokset eri skenaarioissa (noin 2070–2100). Tämän lisäksi riskitarkastelua on työn aikana täydennetty lähivuosikymmenten aikana odotettavissa olevilla muutoksilla (noin 2010–2030). Kasvihuoneilmiön voimistuminen vaikuttaa suhteellisesti voimakkaimmin lämpötilaan sekä muihin vahvasti lämpötilasta riippuviin asioihin (esim. jää- ja lumiolot). Useiden muiden suureiden tapauksessa kasvihuoneilmiön voimistumisen vaikutus tulee vielä lähivuosikymmeninä olemaan melko pieni ilmaston luonnolliseen vaihteluun verrattuna⁷

Lämpötila ja sateisuus

Esim. FINADAPT⁸ ja kansallisen ilmastonmuutoksen sopeutumisen (ISTO) tutkimusohjelmissa (mm. ACCLIM⁹) sekä eräissä muissa uusimmissa tutkimuksissa (mm. BACC¹⁰) on arvioitu mm. lämpötilan ja sateisuuksien muutoksia Suomessa ja Itämeren alueella. Näiden tutkimusten perusteella ilmasto tulee Itämeren alueella lämpenemään noin 3-5 astetta vuosisadan loppuun mennessä (kuva 3).



Kuva 3. Lämpötilan (vasen kuva) ja sateisuuden (oikea kuva) vuosikeskiarvojen kehitys tällä vuosisadalla. Mm. ilmastojärjestelmän viiveistä johtuen päästöskenaarioiden merkittävät erot näkyvät vasta vuosisadan toisella puoliskolla (lähde: ACCLIM, Ilmatieteen laitos). Lämpötilan ja sateisuuden muutosten kuukausi- ja todennäköisyysjakaumia on esitetty liitteessä 3.¹¹

Pohjois-Suomessa lämpötila nousee ja sademäärä lisääntyy hiukan nopeammin kuin etelässä. Lämpötilan nousu on voimakkainta nimenomaan talvikuukausina, riippumatta tarkasteltavasta

⁷ Tarkasteltaessa aikajännettä n. 2020–2030 voidaan todeta että ilmaston luontainen vaihtelu on keskeinen muutostekijä, jonka taustalla on vaikea osoittaa muutosten suoraa yhteyttä nousseisiin kasvihuonekaasujen pitoisuuksiin ilmakehässä.

⁸ Suomalaisen ympäristön ja yhteiskunnan kyky sopeutua ilmastonmuutokseen (FINADAPT) Ks <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=293878&lan=FI>

⁹ Sään ääri-ilmiöt nykyilmastossa ja uusimpiin mallikokeisiin perustuvat arviot ilmastonmuutoksesta sopeutumistutkimuksia varten (Ilmatieteen laitos, Helsingin yliopisto). Hankkeen kotisivut osoitteessa: http://www.ilmatieteenlaitos.fi/organisaatio/yhteys_92.html

¹⁰ BACC (BALTEX Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin). <http://www.baltex-research.eu/BACC/>

¹¹ Kuvassa on esitetty kolme vaihtoehtoista päästöskenaarioita: IPCC:n SRESin A2-skenaariossa oletetaan rajoittamattomat päästöt ja nopeasti kasvavat ilmakehän kasvihuonekaasupitoisuudet, SRES B1-skenaariossa päästöt vähenevät ja hiilidioksidipitoisuudet vakiintuvat tämän vuosisadan loppuun mennessä, A1B skenaariossa päästökehitys on A2- ja B1 skenaarioiden välimaastossa.

päästöskenaarioista.¹² Lämpenemisen arvioidaan olevan suurinta talvikautena Perämeren ja Selkämeren alueella, jossa se saattaa olla 4–6 °C.

Niin lämpötilan kuin sateisuuden vuosikeskiarvojen muutokset tulevat myös merkitsemään muutoksia poikkeuksellisen korkeissa ja/tai matalissa lämpötiloissa sekä rankkasateissa ja/tai kuivissa kausissa. Äärilämpötilojen ja keskilämpötilojen muutosten välillä on tutkimusten perusteella lähes lineaarinen yhteys. Jo pienehkö ilmaston lämpeneminen lisää huomattavasti korkeiden lämpötilojen esiintymistodennäköisyyttä. Sen sijaan pakkaspäivien ja kovien pakkashuippujen lukumäärä tulee laskemaan.

Rankkasateet tulevat voimistumaan Suomessa, sekä kesäkuukausina että talvikuukausina. Suomen ympäristökeskuksen ja Ilmatieteen laitoksen laatimien mallien mukaan suuret sateet lisääntyisivät 35 - 65 prosenttia vuosisadan loppuun mennessä. Keskimääräiset kesäkauden rankimmat vuorokausisateet kasvavat vuosisadan loppuun mennessä 10–30 % ja kuuden tunnin sateet vähintään saman verran, karkeasti arvioiden noin 15–40 %.¹³ On myös todennäköistä että sateettomien kausien pituus saattaa kasvaa, varsinkin Etelä-Suomessa jolla on osaltaan vaikutuksia jokien tulvimiseen.

Sen sijaan mallit poikkeavat kuitenkin siinä yleistyvätkö kaiken kaikkiaan kesän sadepäivät ja kestävätkö poutajaksot pitempään vai jäävätkö ne lyhyemmiksi. Lämpötilojen kohoaminen kiihdyttää siten haihduntaa (kuivuttaen maaperää) ja toisaalta rankkasateet lisääntyvät. Näin ollen vuoroin kuivuus ja vuoroin rankkasateet voivat vaivata vaikka kesän kokonaissademäärä ja sadepäivien yleisyys ei muuttuisi.¹⁴

Muutokset Itämeren jääpeitteessä

Tarkasteltaessa Itämeren aluetta voidaan todeta, että Itämeren lämpötilassa, jääoloissa ja vedenkorkeudessa tapahtuneet muutokset ovat yhteneväisiä globaalin ilmastomuutoksen kanssa, mutta koska ilmaston luonnollinen vaihtelevuus Itämeren alueella on hyvin suurta, havaitut muutokset eivät vielä ylitä luonnollista vaihtelevuutta.

Tarkasteltaessa Itämeren alueella odotettavia muutoksia tämän vuosisadan loppuun mennessä, voidaan arvioida ilmastomuutoksen myötä merenpinnan veden lämpötilan nousevan 2–4 astetta, jääpeitteen laajuuden vähenevän n 70–80 % (kauden lyhenevän n 1–3kk)¹⁵, mikä käytännössä voisi tarkoittaa mm. sitä että jäätä löytyy lämpimimpinä talvina ainoastaan Perämeren merenlahdista vuonna 2100. Riippumatta käytetyistä malleista, viimeisimpien tutkimustulosten perusteella sekä jään paksuus että laajuus tulevat huomattavasti pienenemään 2000-luvulla. (kuva 4). Tänä päivänä jääpeitteinen kausi (ns. jäätalvi) kestää keskimäärin noin 6 kuukautta ja jään laajuus¹⁶ on laajimmillaan keskimäärin is 190 000 km² eli noin 45 % koko Itämeren pinta-alasta.¹⁷

¹² Viimeisimmät tutkimustulokset antavat näille perusmuuttujille myös kuukausijakauman mutta kokonaisuutena voidaan sanoa että eniten lämpenevät talvet, vähiten kesät. Talvilämpötilojen oletetaan nousevan keskimäärin 4,3 °C (B1-skenaario) ja 6,5 °C (A2-skenaario) ajanjaksoon 2070–2099 mennessä verrattuna jaksoon 1971–2000. Kesällä vastaavat nousut ovat 2,3 °C ja 3,6 °C. Katso liite 3 lämpötilan ja sateisuuden kuukausijakaumat sekä arviot eri muutosten todennäköisyyksistä.

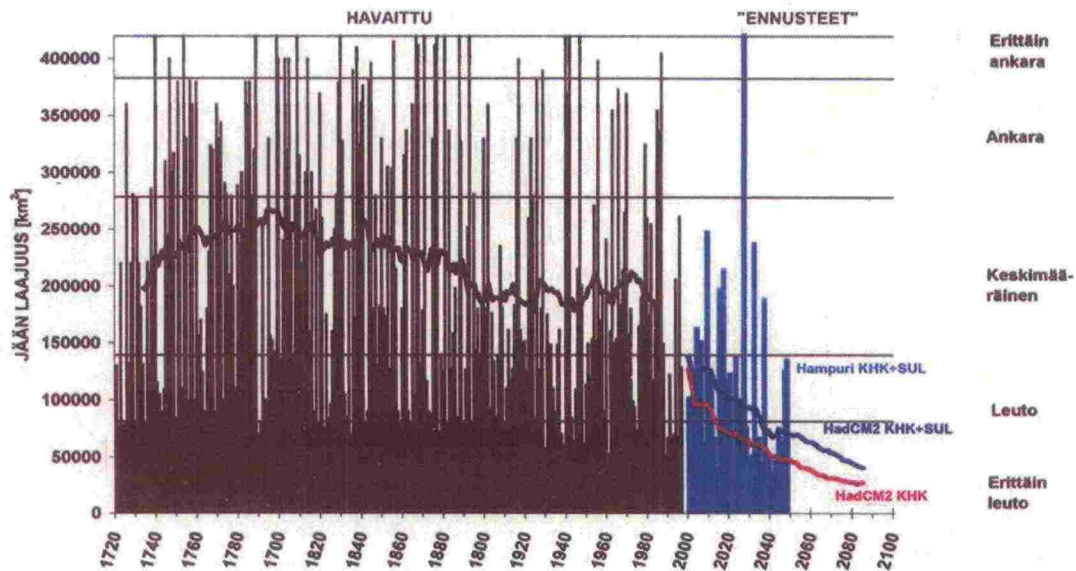
¹³ RATU-hankkeessa rankkojen kesäsateiden muuttumista arvioitiin tarkastelemalla touko-syyskuun suurimman vuorokausisateen 30-vuotiskeskivärtin muuttumista jaksosta 1961–1990 jaksoon 2071–2100 alueellisten ilmastomallien perusteella. Rankkasateet ja taajamatulvat (Aaltonen ym., 2008).

¹⁴ Maan roudan ja kosteuden muutokset ovat erittäin haasteellisia simuloida ilmastomalleissa. Joka tapauksessa roudan (ja kuurantumisen) määrä tulee vähenemään tällä vuosisadalla ja saattaa johtaa mm. runsaampaan puiden kaatumiseen myrskyissä ja muihin rakenteellisiin vaurioihin. Tässä hankkeessa nämä riskitekijät on pääosin rajattu tarkastelun ulkopuolelle, ellei erityisiä suoria riskejä toimivaan merenkulkuun ole tunnistettu.

¹⁵ BACC (BALTEX Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin), 2008.

¹⁶ Ns. maximum annual ice extent (MIB)

¹⁷ Jäätalvella käsitetään aikaa, jolloin Itämerellä esiintyy jäätä. Tämä aika kestää tavallisesti loka-marraskuun vaihteesta touko-kesäkuun vaihteeseen. Vuotuinen jääpeite on laajimmillaan tammikuun ja maaliskuun välillä, tavallisesti helmi-maaliskuun vaihteessa. Tällöin jäätä esiintyy keskimäärin hiukan yli 200 000 km² alueella, mikä vastaa noin puolta Itämeren 422 000 km² pinta-alasta. Erittäin leutoina talvina vuotuisen jääpeitteen laajin ulottuvuus jää reilusti alle 100 000 km².

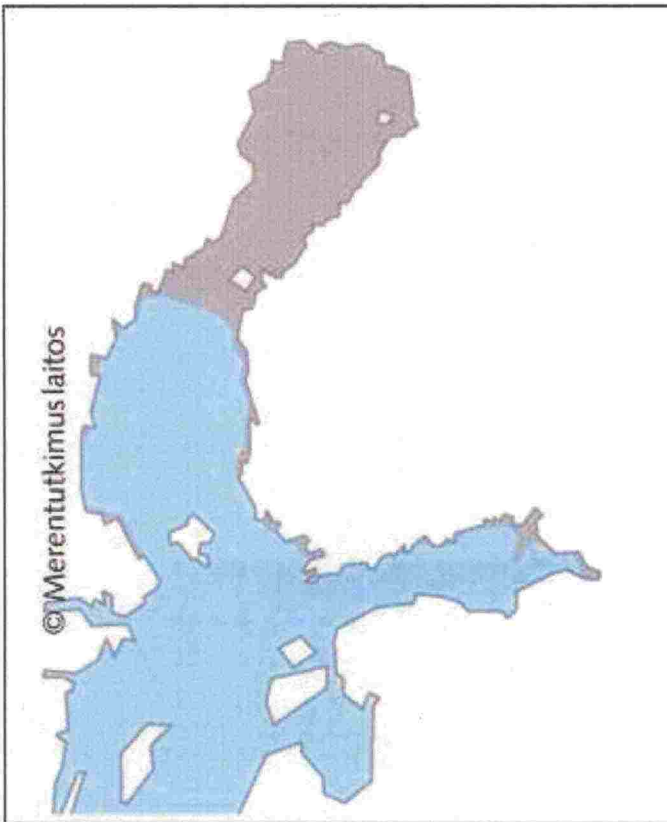


Kuva 4. Itämeren jääpeitteen vaihtelu ja arvio jääpeitteen muutoksesta 2000-luvulla.¹⁸

Vuosittainen vaihtelu jäätalvien välillä on suurta ja tulee myös jatkossa pysymään erottamattomana osana tulevaisuuden ilmastoa. Ilmaston muuttuessa monet tänä päivänä äärimmäisiksi määritellyistä sääoloista ovat tulevaisuudessa "normaaleja" sääoloja. Esim. tämän päivän äärimmäiset talvet tulevat tulevina vuosikymmeninä olemaan tulevaisuuden keskimääräisiä talvia.

Esimerkiksi talvena 1987 jää kattoi laajimmillaan lähes koko Itämeren, n. 405 000 km² ja vastaavasti talvena 1989 jääpeite kattoi vain reilut 50 000 km². Talvena 2008 laajin tilanne saavutettiin maaliskuun 24. päivänä, jolloin jäätä esiintyi 49 000 km² alueella, mikä on kaikkien aikojen alhaisin arvo (kuva 5).

¹⁸ BACC (BALTEX Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin) , 2008. Merentutkimuslaitoksen Jääpalvelu luokittelee talvet viiteen ankaruusluokkaan: erittäin leuto, leuto, keskimääräinen, ankara ja erittäin ankara. Luokittelu tehdään jään esiintymislaajuuden perusteella ja perustuu vuosien 1720 – 1996 aineistoon. Päivältä, jolloin jäätalven aikana jäätä esiintyy laajimmillaan, lasketaan alue, jolla jäätä esiintyy. Laskennassa ei huomioida jääpeitteen tiivyttyä, paksuutta tai ahtautumisastetta. Saadun pinta-alan perusteella määrätään talven ankaruus. Historiadatan osalta voidaan todeta että tulokset eivät luonnollisesti ole yhtä luotettavia kuin tänä päivänä lentokonein ja satelliitein tehtävät havainnot. Aiemmin jääpeitteen kattavuutta on arvioitu rannikolta silmämääräisesti ja tästä syystä esim. erittäin ankan talven luokituksen saaneita talvia "Itämeri jäässä kokonaan", ei voida pitää täysin vertailukelpoisina tämän päivän havaintojen luokittelun kanssa.



Kuva 5. Jäätalven 2008 (talvi 2007/2008) laajin tilanne saavutettiin maaliskuussa 2008.¹⁹

Jääpäivien määrän arvioidaan Kemissä putoavan n. 200 päivästä reiluun 160 päivään ja Kotkassa reilusta 170 päivästä alle 130 päivään. Vastaavasti jään keskimääräinen paksuus putoaa yli 50 % vuosisadan loppuun mennessä vajaasta 60 senttimetristä alle 30 senttimetriin.²⁰

Merenkulun kannalta on tärkeää huomata että leudot talvet eivät automaattisesti ole merenkulullisesti helpompia. Tämä pätee erityisesti tarkasteltaessa ilmastonmuutoksen vaikutuksia merenkulkuun nimenomaan lähitulevaisuudessa, jolloin jääpeitteen voidaan vielä kattavan suuria osia Itämerestä ns. keskimääräisinä talvina.²¹ Jos oletetaan, että lämpeneminen etenee lineaarisesti, niin silloin vuonna 2020–2030 ilmasto olisi noin 1 °C nykyistä lämpimämpi ja näissä olosuhteissa jääolot Itämerellä olisivat hieman nykyistä leudommat: jään laajin ulottuvuus olisi 30 000–50 000 neliökilometriä nykyistä pienempi ja jäätalven pituus olisi 10–20 vrk lyhyempi. Leudoimpina talvina jäätä esiintyisi vain Perämerellä, Saaristomerellä ja Itäisellä Suomenlahdella, kuten jäätalvena 2007/2008.²² Leudot talvet saattavat usein olla keskimääräistä tuulisempia ja tästä syystä mm. jäiden lisääntyvän liikkuamisen ja lisääntyvien ahtojäiden kautta voivat lyhyemmällä aikavälillä jopa vaikeuttaa muuten vähäjäisempää talviliikennettä. Vuosisadan loppuun mennessä, mikäli kasvihuonekaasujen päästökehitys jatkuu malleissa oletetun mukaisesti, pääosa Itämerestä tulee talvisin olemaan jäätön ja talvimerenkulku pääsääntöisesti helpottumaan. Samanaikaisesti on huomioitava, että ilmastonmuutoksen vaikutukset (niin meren jääpeitteen kuin muidenkin ilmastosuureiden osalta) merenkulkuun tulevat yhtäläillä riippumaan mm. kaluston laatuun ja miehistön koulutustasoon ja osaamiseen liittyvistä tekijöistä (katso luvut 3–5, riski- ja sopeutumistoimien tarkastelu).

¹⁹ http://www.fimr.fi/fi/tietoa/jaa/jaatalvi/fi_FI/2008/

²⁰ Jään paksuudesta on vain rajallista seurantatietoa, ei pitkiä aikasarjoja – viimeisenä 20 vuotena voidaan toki havaita ohenemista. Jään paksuuden tässä esitetyt arvioit ajanjaksolle 2071–2100 on laadittu Pohjanlahden keskiosille. Simulated Distributions of Baltic Sea-ice in Warming Climate and Consequences for the Winter Habitat of the Baltic Ringed Seal. H.E. Markus Meier, Ralf Döscher, Antti Halkka. Ambio Vol. 33 No. 4–5, June 2004

²¹ Jäätilannetta seurataan laajuuden perusteella, eli seurannassa ei lasketa jäämääriä kumulatiivisesti. Merenkulun kannalta tämä tilastointitapa ei välttämättä kerro kunkin talven haasteellisuudesta meriliikenteessä.

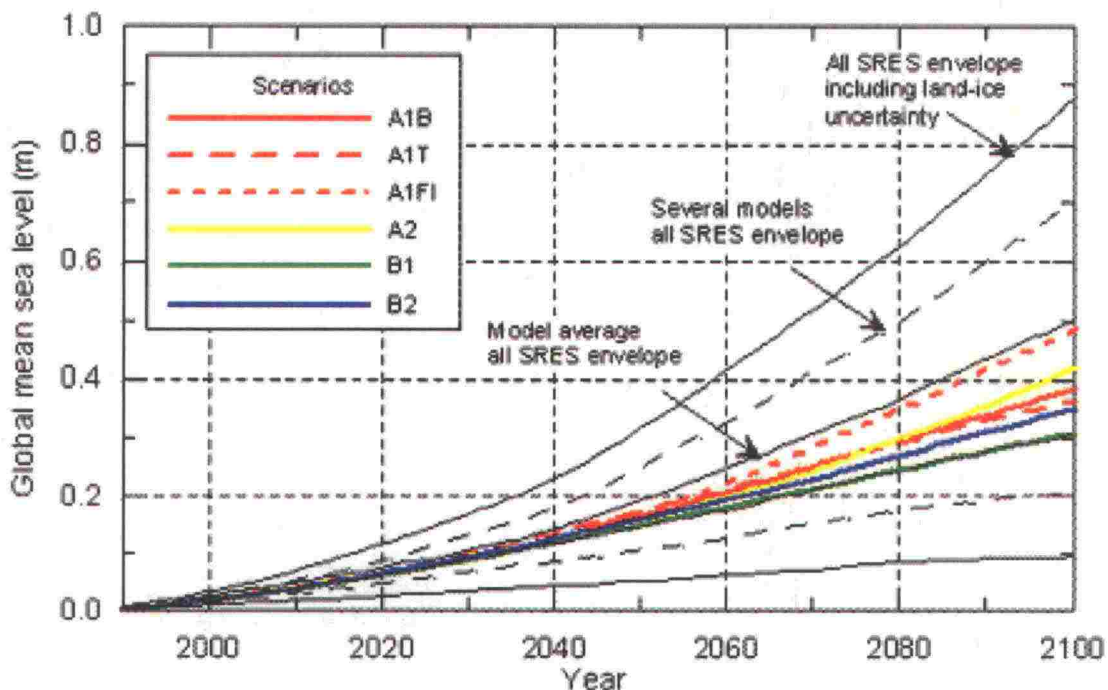
²² http://www.fimr.fi/fi/tietoa/ilmastonmuutos/fi_FI/muutos/

Muutokset vedenkorkeudessa

Muutokset merenpinnan korkeudessa

Tarkasteltaessa merenpinnankorkeuden pitkäaikaiskeskiarvoon vaikuttavia muuttujia Suomen rannikolla voidaan nostaa esiin globaali valtameren pinnan korkeuden muutos (josta lämpölaajenemisen osuus on noin 60 %), maankohoaminen sekä Itämeren kokonaisvesimäärän vaihtelu eli vesibalanssi ja sen yhteys muutoksiin Pohjois-Atlantin tuulioloissa. Näiden lisäksi on huomioitava mahdolliset muutokset maapallon painovoimakentässä²³.

Merentutkimuslaitos on tehnyt Suomen rannikkoa koskehtavan sarjan merenpinnannousun skenaarioita 2000-luvulle. Arviointiin on käytetty IPCC:n SRES ilmastoskenaarioita (kuva 6), jotka ottavat huomioon eri kasvihuonekaasupäästö määrät, sekä niiden vaikutuksen ilmaston koostumukseen ja ilmastoon. Kun skenaarioista on jätetty pois yksittäistapaukset esimerkiksi napajäätiköiden sulamisesta kerralla, vuoteen 2100 mennessä mallinnettu merenpinnan nousun haarukka on arvioitu noin 20–60 senttimetriksi. Tulevaisuuden arvioiden suurin epävarmuus johtuu jäätiköiden dynamiikan huonosta tuntemuksesta. Tästä syystä ei ole täysin poissuljettu viimeisimpien tutkimustulosten valossa, että merenpinnan nousu jo tällä vuosisadalla voisi ylittää jopa metrin.²⁴ Tässä yhteydessä on myös huomattava, että vaikka kasvihuonekaasupäästöt saataisiin välittömästi kuriin, tulee valtameren pinnannousu jatkumaan useita satoja vuosia johtuen ilmastojärjestelmään liittyvistä viiveistä.



Kuva 6. Valtameren merenkorkeuden skenaariot vuosille 1990–2100, IPCC SRES skenaarioiden mukaisesti (Merentutkimuslaitos, 2008).

Itämeren merenpinnan kokonaisnousun ennustetaan olevan samaa suuruusluokkaa kuin valtamerillä. Maanpinnankorkeus muuttuu Suomessa maankohoamisen seurauksena, mikä vaikuttaa korkeusarvoihin sekä merenpinnankorkeuteen maanpintaan nähden. Hitainta kohoaminen on Suomenlahden rannikolla ja nopeinta Perämerellä mistä jäätikkö sulii Suomessa viimeisenä. Suomenlahdella tämä merkitsee sitä, että maanpinnan kohoaminen kumoaisi

²³ Johtuen Grönlannin jäätikön mahdollisen sulamisen aiheuttamasta muutoksesta maapallon painovoimakentässä, sulaminen ei johda yhtäläiseen valtameren pinnannousuun. Grönlannin läheisyydessä merenpinnan on arvioitu laskevan kun vastaavasti eteläisellä valtamerellä nousun arvioidaan olevan keskimääräistä suurempaa.

²⁴ Katso esim. W.L Hare, A Safe Landing for the Climate. State of the World 2009: Into a Warming World

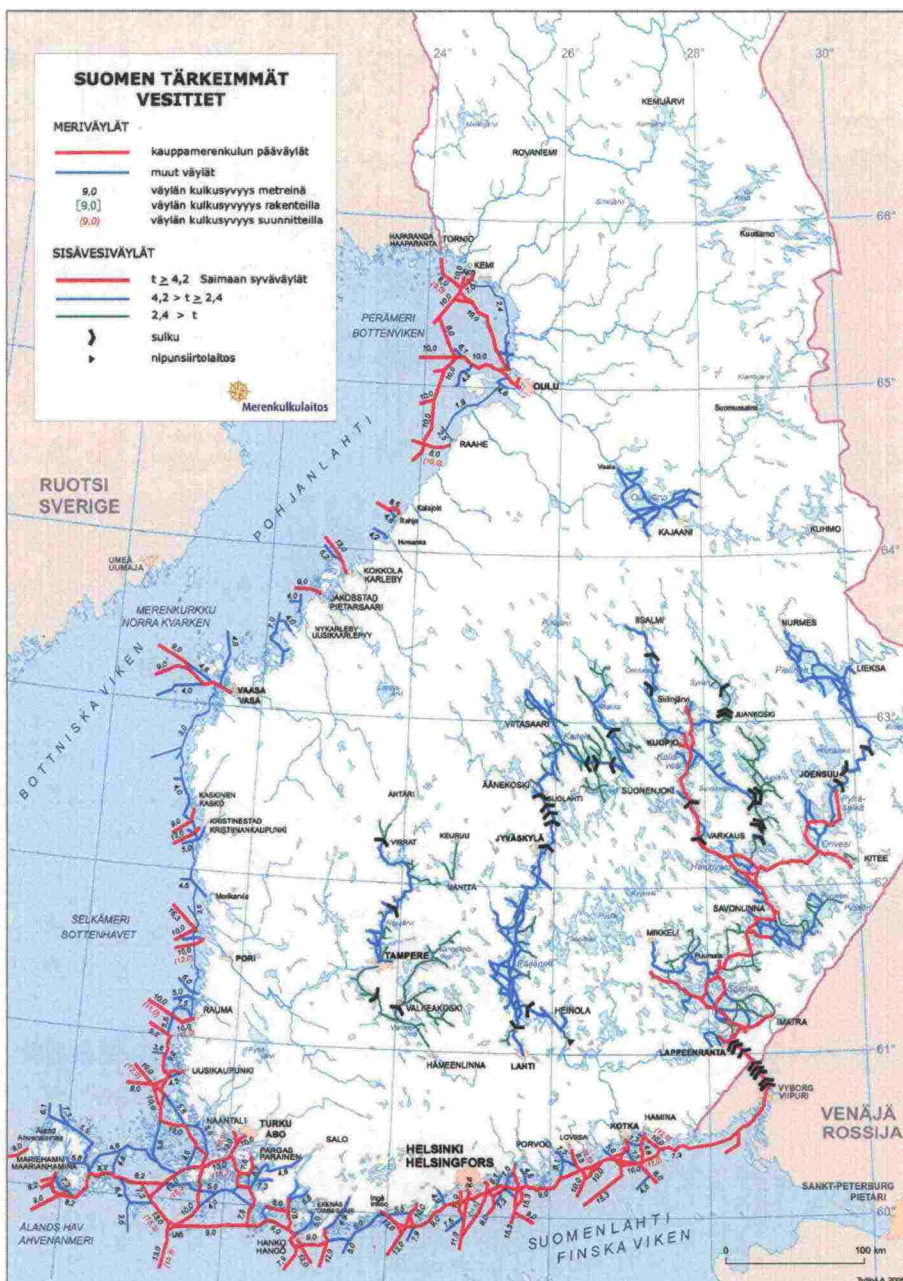
IPCC:n arvioiman keskimääräisen merenpinnan nousun. Pohjanlahdella ja Perämerellä merenpinnan lasku hidastuisi vähitellen. Esim. Helsingin kohdalla maankohoaminen on noin 20 cm sadassa vuodessa, Vaasassa noin 75 cm ja Oulussa n 80 cm sadassa vuodessa.²⁵ Näin ollen tällä hetkellä maanpinnan kohoaminen keskimäärin kompensoi valtameren pinnan noususta aiheutuvan vedenkorkeuden muutoksen.

Pitkäaikainen havaintosarja vuosilta 1887–2002 (Johansson et. al. 2004, Merentutkimuslaitos 2008) osoittaa, että meriveden pinta on Itämeren Suomen rannikolla lineaarisesti laskenut suhteessa rantaviivaan (Katso liite 5). Kuten yllä on todettu, trendin suuruus vaihtelee rannikon eri osissa johtuen maankohoamisnopeuksista sekä merenpinnan muutoksista.

1900-luvun kahden viimeisen vuosikymmenen aikana keskiarvot eivät kuitenkaan noudattaneet samaa lineaarisuutta, vaan keskiarvo on ollut korkeampi. Syynä viime aikojen poikkeamaan ovat muutokset Itämeren vesibalanssissa, joka voi kokonaisuudessa vaihdella jopa 370km³ vuodessa, mikä käytännössä vastaa 1 metrin vedenkorkeusmuutosta. Tämä vaihtelu ei kokonaan tasoitu vuosi- eikä edes vuosikymmentasolla. Koska Itämeri on lähes suljettu merialue (semi-enclosed), pääasiallinen kokonaisvesitilavuuteen vaikuttava tekijä on veden vaihto Tanskan salmien kautta, johon vaikuttavat lähinnä sääolosuhteet - ilmanpaine ja tuulisuus - salmien alueella. Muilla tekijöillä, kuten jokivirtaamalla, sademäärällä ja suolaisuuden tai keskilämpötilan muutoksilla on vähäisempi vaikutus.

Merenkulun kannalta pitkän aikavälin merenpinnan nousun trendit osoittavat muutoksia, jotka periaatteessa tulevat helpottamaan merenkulkua. Itämeren osalta on kuitenkin erityisesti huomioitava maankohoamisen kompensoiva vaikutus, eikä väyliä syvyyksien kasvu ole automaattinen kehitys (myös satamien osalta saattaa merkitä haasteita). Samanaikaisesti on tunnistettava Itämeren erityisolosuhteet ja mahdollisuus myös lyhytaikaisiin väyliä syvyyksien muutoksiin tuulisuuden ja Itämeren vesibalanssin muutosten kautta (katso luvut 3-5, riski- ja sopeutumistoimien tarkastelu).

²⁵ Suomessa maanpinnan korkeusarvot on taltioitu kansallisiin korkeusjärjestelmiin, joiden arvot on määritelty Helsingin keskivedenpinnan suhteen. Maankohoamisesta johtuen Suomessa on tehty useita korkeusjärjestelmiä, joista yleisimmin käytössä kunnilla ja kansallisilla toimijoilla on tällä hetkellä N60. Korkeusjärjestelmän rakentamiseksi on käytetty tarkkavaaitusta, jolla seurataan korkeuksia, maankohoamista ja kohoamisnopeutta. Suomen uusin korkeusjärjestelmä on N2000 ja sen tarkkavaaitus saatiin lopullisesti valmiiksi vuonna 2006 ja sen käyttöön ollaan parhaillaan siirtymässä.



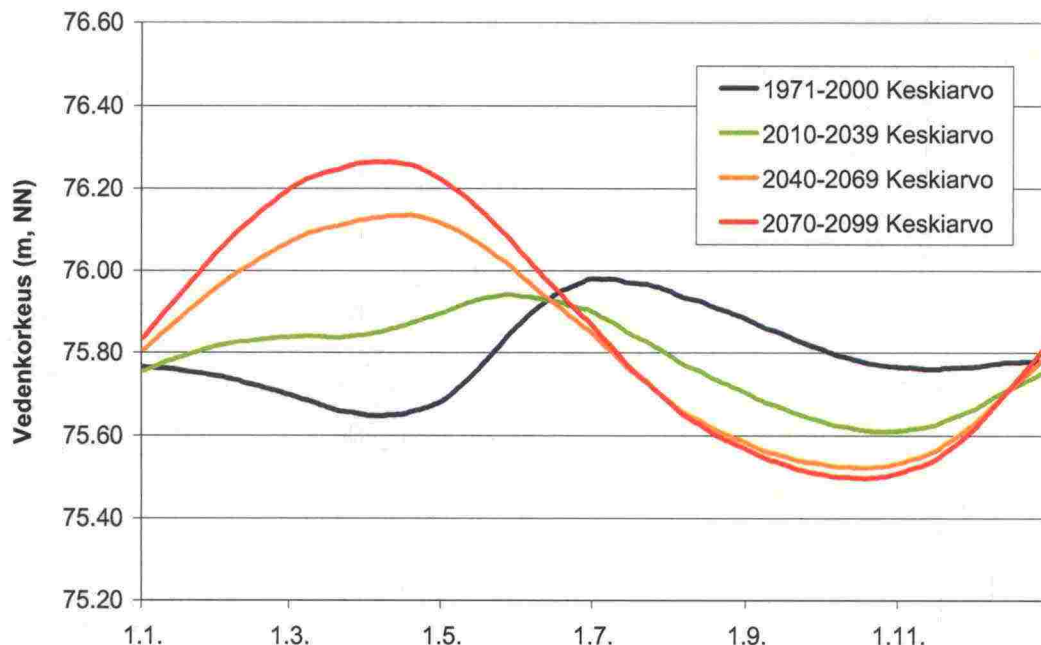
Kuva 7. Suomen tärkeimmät vesitiet (lähde MKL).

Sisävedet

Ilmastonmuutoksen lämpötilan ja sateisuuksien muutokset tulevat tällä vuosisadalla muuttamaan hydrologisia kiertoja, joita on tutkittu mm. Suomen ympäristökeskuksen WaterAdapt projektissa. Meriväyliä lisäksi nämä muutokset tulevat erityisesti vaikuttamaan sisävesiväyliä liikennöintiolosuhteisiin (katso kuva 7).

Esimerkiksi Saimaan korkeimmat vedenkorkeudet ovat jatkossa talven ja alkukevään aikana ja tulvat kasvavat selvästi nykytilanteeseen nähden. Saimaan osalta tarkastelluissa malleissa tulvien kasvuun vaikuttaa se että tehdyissä laskelmissa juoksutusta ei kasvateta yli 1100 m³/s, jos luonnonmukaisen purkautumiskäyrän mukainen juoksutus ei ole sitä suurempi. Tästä ylärajasta johtuen mahdollisuudet alentaa vedenkorkeutta juoksutusten avulla pienenevät tulvien kasvaessa.

Laadittujen mallinnusten mukaan Saimaan kesän ja syksyn alimmat vedenkorkeudet kesällä laskevat hieman. Useissa Saimaan yläpuolisissa säännöstellyissä järvissä nykyiset säännöstelykäytännöt eivät enää tulevaisuudessa tule olemaan järkeviä, sillä monien järvien (mm. Höytiäinen, Onkivesi, Vuotjärvi) kalenteriin sidottu vedenpinnan kevätalennukset eivät enää muuttuvassa ilmastossa toimi toivotulla tavalla.²⁶ Simulointien mukaan esim. Saimaan minimivedenkorkeudessa ei ole odotettavissa merkittävää alenemisesta. Muutoksessa on ennen kaikkea kyse korkeimpien ja matalampien vedenkorkeuksien ajallisesta siirtymisestä., joka on ennakoivasti pyrittävä ottamaan huomioon sisävesien liikenteessä (kuva 8).



Kuva 8. Saimaan simuloidun keskivedenkorkeuden muutos jaksolta 1971–2000 jaksolle 2010–39, 2040–69 ja 2070–99 keskiarvoskenaariolla (lähde SYKE).

Vastaavasti esim. Kallavedellä korkeimmat vedenkorkeudet ovat jatkossa talvella, mutta tulvat eivät kasva nykytilanteen tulviin nähden. Simulointien perusteella alimmat vedenkorkeudet kesällä ja alkusyksystä laskevat ja liian alaiset vedenkorkeudet voivat muodostavaa entistä suuremman haitan. Yhteenveto Pielisen tuloksista on, että luonnontilaisella juoksutuksella kesän vedenkorkeudet alenevat tulevaisuudessa selvästi. Kevättulvien suuruus sen sijaan pienenee merkittävästi ja talven vedenkorkeudet ja virtaamat kasvavat. Säännöstelemällä Pielistä nykyistä voimakkaammin on mahdollista lieventää ilmastomuutoksen haitallisia vaikutuksia. Alimpia vedenkorkeuksia pystytään nostamaan ja korkeimpia laskemaan. Kokonaan ilmastomuutoksen haitallisia vaikutuksia ei voida estää. Vedenkorkeudet ovat yhä nykyisiä alempia kesällä ja tulvariski talvella ja keväällä säilyy yhä vaikka pienempänä kuin ilman varautuvaa juoksutusmallia.

Vastaavantyyppiset alustavat selvityksen muilla Vuoksen vesistön järvillä ja mm. Näsijärvellä ja Päijänteellä osoittavat että ilmastomuutoksen vaikutukset ovat periaatteessa samankaltaisia kuin edellä, mutta järvien ominaisuuksista riippuen eri vaikutusten tärkeys vaihtelee. Lähes poikkeuksetta kevättulvat pienenevät merkittävästi ja talven vedenkorkeudet kasvavat.²⁷ Useissa kohteissa juoksutuksia ja säännöstelyä muuttamalla on mahdollista torjua esim. alhaisesta vedenkorkeudesta aiheutuvia haittoja. Lämpötilan nousu tulee myös sisävesillä merkitsemään jääpeitteisen kauden lyhentymistä, niin syksystä kuin keväällä mutta mahdolliset hyödyt tai haitat tästä on arvioitava erikseen kunkin väylän osalta.

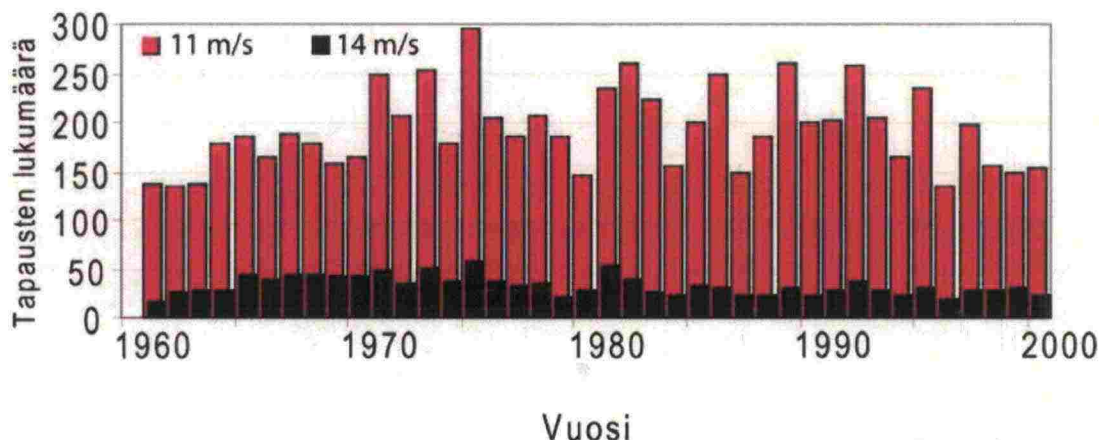
²⁶ WaterAdapt: Suomen vesivarat ja ilmastomuutos – vaikutukset ja muutoksiin sopeutuminen. Alustava raportti, 24.7.2008: Noora Veijalainen, Tanja Dubrovin, Bertel Vehviläinen, Mika Marttunen. Suomen Ympäristökeskus, Hydrologian yksikkö ja Vesivarat yksikkö. Saimaan vedenkorkeuteen yläpuolisten järvien säännöstelyn muuttaminen vaikutti simuloinneissa kuitenkin suurimmillaan vain noin 8 cm keväällä.

²⁷ WaterAdapt: Suomen vesivarat ja ilmastomuutos – vaikutukset ja muutoksiin sopeutuminen. Alustava raportti, 24.7.2008: Noora Veijalainen, Tanja Dubrovin, Bertel Vehviläinen, Mika Marttunen. Suomen Ympäristökeskus, Hydrologian yksikkö ja Vesivarat yksikkö

Tuulisuus, myrskyisyys ja aallokkoisuus

Tuulisuuden ja myrskyisyyden osalta eri mallisimulaatioiden tulokset poikkeavat edelleen toisistaan melko paljon ja tästä syystä yhtä selkeää arviota ilmastonmuutoksen vaikutuksista kuin esim. lämpötilan tai sateisuuden kehittymisen suhteen ei näiden ilmastosuureiden osalta voida antaa.

Tuulisuutta seuraavien mittausten mukaan tuulisuus ei ole lisääntynyt koko Suomea tarkasteltaessa jaksolla 1961–2000 mutta vuosikymmenten välillä on selvää vaihtelua.²⁸ Kansainvälinen virallinen tuulen käsite on 10 minuutin keskituuli, ja sitä käytetään niin havainnoissa kuin ennusteissakin. Erityisesti 70-luvulta 80-luvun puolenvälin tienoille on ollut keskimäärin tuulisinta. Vuosi 1975 on ollut tämän jakson tuulin vuosi (kuva 9).



Kuva 9. Tapausten lukumäärä, jolloin tuulen nopeus oli joko yli 11 m s⁻¹ tai yli 14 m s⁻¹. Havainnot ovat 19 suomalaiselta havaintoasemalta vuosilta 1961–2000 (lähde Ilmatieteen laitos)²⁹.

Merenkulun kannalta mielenkiintoista on tarkastella erityisesti myrskytuulia ja mahdollisia muutoksia myrskytuulien voimakkuuteen ja/tai esiintymistodennäköisyyteen ilmaston muuttuessa. Myrskytuulet (keskituuli > 21 m/s) esiintyvät enimmäkseen matalapaineiden kylmiin rintamiin sekä okluusio- ja sekluusiorintamiin liittyen. Myrskytuuliin liittyvät puuskahuiput ovat merenkulun kannalta keskeinen riskitekijä ja esim. 30 m/s keskituuli voisi pahimmillaan tarkoittaa 39–42 m/s myrskypuuskia³⁰.

Mittausten perusteella voidaan todeta, että valtaosa Suomen myrskyistä on sellaisia, että jollakin merisääasemalla havaitaan tuulta 21–24 m/s. Puhuttaessa voimakkaasta myrskystä tarkoitetaan tapausta, jolloin jollakin Suomen meriasemalla on havaittu myrskyä 25 m/s 10 minuutin keskituulena mitattuna. Ankara myrsky on jo harvinainen: silloin merellä tuulee vähintään 28 m/s 10 minuutin keskituulena mitattuna.³¹

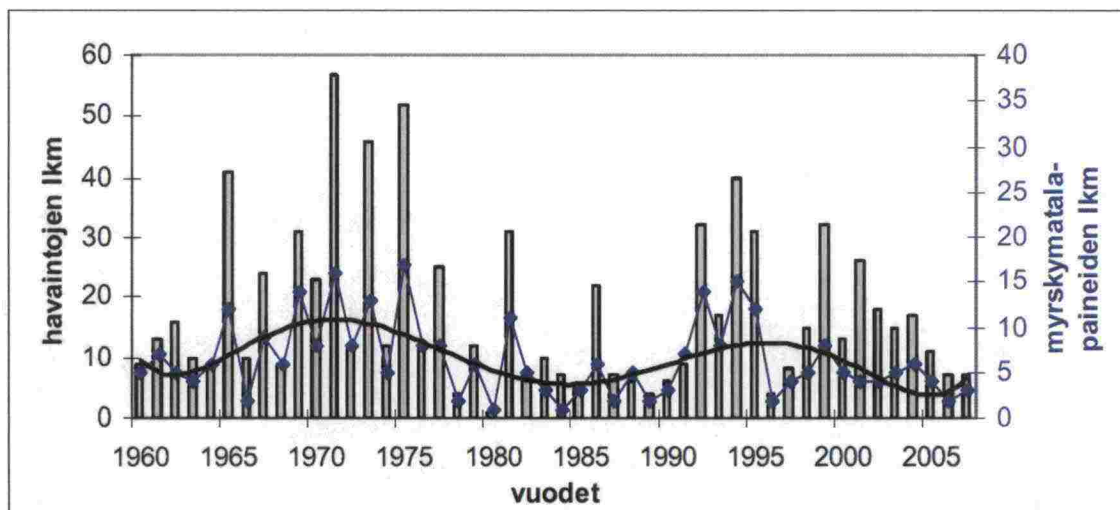
²⁸ Vaaraa aiheuttavista sääilmiöistä Suomen muuttuvassa ilmastossa. Ilmatieteen laitos, raportteja. No. 2008:3 551.582 (480). HILPPA GREGOW et al. Tänä päivänä tekniikan kehityttyä saadaan automaattisilta sääasemilta myös tarkkoja ja luotettavia havaintoja tuulen puuskanopeuksista. Vanhoja säätilanteita tutkiessa on kuitenkin tyydyttävä rajallisempaan havaintoaineistoon.

²⁹ Gregow, H., Venäläinen, A., Peltola, H., Kellomäki, S. & Schultz, D., 2008. Temporal and spatial occurrence of strong winds and large snow load amounts in Finland during 1961–2000 <<http://www.metsla.fi/silvafennica/abs/sa42/sa424515.htm>>. Silva Fennica 42(4), p. 515–534.

³⁰ Voimakkaimmista myrskyistämme on tuullut 31 ms⁻¹, mikä tarkoittaa myrskypuuskissa mitaten ylimmillään 40–44 ms⁻¹. Tällaisia myrskyjä voimakkaista myrskyistämme on ollut vain 2 %. Näin ollen 31 ms⁻¹ myrskytuulia ja yli 40 ms⁻¹ myrskypuuskia on jaksolla 1959–2007 ollut kaikista myrskyistämme vain 0,3 %. Vaaraa aiheuttavista sääilmiöistä Suomen muuttuvassa ilmastossa. Ilmatieteen laitos, raportteja. No. 2008:3 551.582 (480). HILPPA GREGOW et al

³¹ Vuosittain havaittavien trombien määrä vaihtelee merkittävästi, eikä mitään selkeää muutostrendiä ilmastonmuutoksen suhteen ole vielä havaittavissa Trombeja on havaittu viime vuosina keskimäärin n 10 vuosittain mutta vaihtelu eri vuosien välillä on erittäin suurta. http://www.ilmatieteenlaitos.fi/saa/tilastot_85.html

Tarkastellun aikasarjan perusteella voidaan sanoa, että jaksolla 1960–2007 myrskyisintä on ollut 1970- ja 1990-luvuilla (kuva 10). Voimakkaat länsivirtaukset selittävät osaltaan eri ajanjaksoilla havaittujen myrskymatalapaineiden lukumäärää (esim. 1990-luvun alun voimakkaat länsivirtaukset, NAO+) mutta mitään selkeää myrskyisyyden lisääntymisestä kertovaa trendiä ei Etelä-Skandinaviaa kattavista myrskyhavainnoista voi tunnistaa³². Sen sijaan viime vuosikymmenten havaintojen perusteella voidaan tunnistaa eräs muutos myrskyjen tuulen suunnissa, eli pohjoisten (suunnasta 350° – 20° puhaltavien) myrskytuulien suhteellinen määrä on vähentynyt viime vuosikymmenten aikana³³.



Kuva 10. Myrskyhavaintojen (minimi 10 min keskituuli 21 ms-1) määrä harmailla palkeilla ja myrskymatalapaineiden lukumäärä sinisellä. Kuvaan lisäksi piirretty tasoitettu käyrä.³⁴

Tarkasteltaessa arvioita tuulisuuden ja myrskyisyyden muutoksesta tällä vuosisadalla, voidaan todeta, että tuulen nopeuden muutokset Suomen alueella poikkeavat eri mallisimulaatioissa melko paljon toisistaan (Tammelin et al. 2002, Ruosteenoja et al. 2005). Mm. Suomen kannalta keskeinen epävarmuustekijä malleissa liittyy arvioihin länsituulien kehittymisestä tulevaisuudessa. Riippuen globaaleista ilmakehän painekentän muutoksista länsituulet lähentyvät ilmaston muuttuessa napoja eri voimakkuudella.³⁵

Kesäisin keskimääräiset tuulen nopeuden muutokset eri malliajoissa eivät ole suuria, mutta talvisin Saksalaisessa ns. ECHAM4- mallikokeissa ja niistä tuotetuissa alueellisissa ajoissa keskimääräiset tuulen nopeudet kasvavat Suomen alueella jopa kymmenen prosenttia. Toisaalta Hadley Centerin ns. HadCM3-mallikokeissa tuulen nopeus ei juuri muutu tai tietyillä oletuksilla jopa hieman alenee. Syynä poikkeaviin tuloksiin tuulen muutosten osalta on, että eri mallit simuloivat Euroopan alueen ilmanpainekentän jakauman muutokset toisistaan poikkeavasti (esim. Räisänen et al. 2004). Merenkulun kannalta voidaan myös todeta, että alueellisissa ilmastomalleissa merijään väheneminen talvisin osaltaan kasvattaa tuulen nopeutta Itämerellä (Tammelin et al. 2002, Räisänen et al., 2003).

Ilmastomuutoksen vaikutukset tuulisuuteen ja myrskyisyyteen 2000-luvulla ovat näin ollen edelleen merkittävien epävarmuuksien takana. Yhteenvedon voidaan tuki todeta että on

³² BACC (BALTEX Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin), s 24.

³³ Vaaraa aiheuttavista sääilmiöistä Suomen muuttuvassa ilmastossa. Ilmatieteen laitos, raportteja. No. 2008:3 551.582 (480). HILPPA GREGOW et al

³⁴ Suomen vaaraa aiheuttavista sääilmiöistä myrskyisiä tuulia (sekä runsaita vesi- ja lumisateita tai jäätävän sateen tilanteita) aiheuttavat erityisesti syksyn ja talven matalapaineet. Enemmistö matalapaineista saapuu Suomeen lounaan suunnalta. Räjähdysmäisesti kehittyviä voimakkaita matalapaineita saapuu sitä vastoin varsinkin Grönlannin tienoilta luoteisvirtauksessa. Myös lounaasta Brittein saarten läheisyydessä pohjoisiin matalapaineisiin yhdistyvät matalapaineet tai solat voivat syventyä hyvin nopeasti ja aiheuttaa voimakkaita myrskyjä Suomessa. Trooppista alkuperää olevia matalapaineita tai hurrikaaneja meille on toistaiseksi varmasti saapunut vain yksi Vaaraa aiheuttavista sääilmiöistä Suomen muuttuvassa ilmastossa. Ilmatieteen laitos, raportteja. No. 2008:3 551.582 (480). HILPPA GREGOW et al.

³⁵ IPCC, 2007

hieman todennäköisempää että tuulisuus ja myrskyisyys jossain määrin lisääntyvät kuin että ne vähenevät mutta on vaikeaa erotella missä määrin tulevissa muutoksissa on kyse nimenomaan ilmastomuutoksen vaikutuksista ja missä määrin luontaisesta vaihtelevuudesta.

Vastaavasti aallokkoisuuden osalta arviot ilmastomuutoksen tulevista vaikutuksista ovat vain suuntaa-antavia. Tarkasteltaessa suhteellisen lyhyitä datasarjoja jo havaituista aallokkoisuuksista, voidaan todeta että yli 7 metrin merkitseviä aallonkorkeuksia³⁶ on havaittu Itämerellä esim. vuosina 1984, 1993, 1996 sekä 1999 (ylimmillään 7.4 metriä)³⁷ Vaikka viimeaikaisten havaintojen perusteella voisi päätellä, että kasvava trendi olisi käynnissä, tulevaisuudessa aallonkorkeuden kehitys riippuu erityisesti tuulisuuden kehityksestä sekä jääpeitteen muutoksista. Näin olleen vaikka tuulisuus ei merkittävästi lisääntyisi, aallokkoisuus saattaa kasvaa erityisesti vuoden vaihteessa, jolloin tuulisuus on usein voimakasta mutta jääpeitteen arvioitu vähenevän ilmastomuutoksen vaikutuksesta.

2.3 Ilmastomuutoksen aiheuttajalista – ilmastomuutoksen riskitekijät

Perustuen yllä esitettyihin tutkimustuloksiin ja pyrkien systemaattisesti huomioimaan eri skenaarioiden ääritapaukset, ns. yläskenaariot pahimpien mahdollisten tulevaisuuden uhkakuvien tunnistamiseksi, ilmastomuutoksen vaikutukset ja konkreettiset tekijät on koottu yhteen hankkeen aikana toteutetun riskitarkastelun tueksi taulukkoon 1. ns aiheuttajalistaksi so. työssä käytettäväksi listaksi ilmastomuutokseen liittyvistä konkreettisista muutoksista. Aiheuttajalista viimeisteltiin yhteistyössä Merenkululaitoksen edustajien kanssa ottaen huomioon nykyilmasto ja jo olemassa olevat kokemukset ilmaston luontaisesta vaihtelusta.

Luonnollisesti muutosarvioiden suuruuteen ja todennäköisyyteen vaikuttavat tulevien kasvihuonekaasupäästöjen määrä, ilmaston herkkyys kasvihuonekaasujen pitoisuuksille, luontainen vaihtelu sekä ilmastomallittamiseen liittyvät epävarmuustekijät.

³⁶ Merkitsevä aallonkorkeus on likipitään sama kuin aallokon korkeusjärjestykseen asetettujen aaltojen korkeimman kolmasosan keskiarvo. Mittauksista merkitsevä aallonkorkeus saadaan aallokon spektrin varianssin avulla. Spektri kertoo miten aallokon energia on jakautunut eripituisille ja suuntaisille aalloille. Aallokon korkein yksittäinen aalto on liki kaksinkertainen merkitsevään aallonkorkeuteen nähden. Näin ollen 7 metrin merkitsevä aallonkorkeus tarkoittaa, että käytännössä jopa 14-15 metrisiä korkeampia yksittäisiä aaltoja esiintyy tänä aikana. Katso http://www.fimr.fi/fi/tietoa/veden_liikkeet/fi_FI/merkitseva-aallonkorkeus/

³⁷ Trends and extremes of wave fields in the north-eastern part of the Baltic Proper. OCEANOLOGIA, 48 (S), 2006. pp. 165–184. Barry Broman, Thomas Hammarklint, Kalev Rannat, Tarmo Soomere, Ain Valdmann

Taulukko 1. Aiheuttajalista - ilmastomuutoksen potentiaaliset vaikutukset ja konkreettiset muutujat tarkasteltaessa merenkulun ilmastoriskejä ja sopeutumistoimia vuosisadan loppuun mennessä

Ilmastomuutos						
Lämpötila muutokset	Sateisuuden muutokset	Tuulisuuden, myrskyisyyden muutokset				
"Ilmasto 2070-2100"	Keskilämpötilan nousu n. 3-5 C	Keskimääräisen sademäärän kasvu 10-20 %	Muutoksen suunnasta tai voimakkuudesta ei yhtenäisiä tieteellisiä näkemystä	Alheuttaja (konkreettinen tekijä)		
	x			Kova hellejakso		Viitteelliset raja-arvot
	x			Kova pakkasjakso		30 C / 2vko
	x	x		Jääpeitteen muutos (laajuus, paksuus, päivät)		- 25 C / 2 vko
	x			Veden pintalämpötilan muutos		Itämeren jääpeite max 60 - 120 000 km2, paksuus max 30 cm, jääpäiviä - 30...90 päivää + 2-4 C
	x	x		Kulvuus ja alhainen vedenkorkeus		n. 80 mm / 3 kk, alle 50 % keskiarvosta
		x		Rankkasade		Yli 25 mm / h
		x		Voimakassateinen jakso		n. 300 mm / kk
	x	x		Meritulva		N60 + 140 cm (Kemi) tai 180 cm (Helsinki) 1/100 v
	x	x		Vesistötulva		Vesistökohtaiset skenaariot (tulvat kasvavat/pienenevät & siirtyvät ajallisesti)
		x	x	Navakka tai kova tuuli		8-20 m/s (10 min keskituuli)
		x	x	Myrskytuuli		Keskituuli > 21 m/s
		x	x	Voimakas myrskytuuli (tai trombi)		Puuskahuiput n 40 m/s
		x	x	Alhainen vedenkorkeus		50 cm / 2 vkoa (erityisesti Perämerellä)
		x	x	Nopea merenpinnan lasku		90 cm / 6 h (vertailukohtana toteutnut ääri-ilmiö Kemissä)
		x	x	Aallokkoisuus		Nykyilmaston ääriskenaariot (vertailukohtana MKL:n jo kokemat ilmiöt)
x		x	x	Ukkonen		Nykyilmaston ääriskenaariot (vertailukohtana MKL:n jo kokemat ilmiöt)
x	x	x	x	Reakuuro, lumimyrsky		Nykyilmaston ääriskenaariot (vertailukohtana MKL:n jo kokemat ääri-ilmiöt)
		x	x	Avovesi, pakkaneen, tuuli		Nykyilmaston ääriskenaariot (vertailukohtana MKL:n jo kokemat ilmiöt)

3. Merenkululaitoksen tehtävät ja organisaatio

3.1 Yleiset tehtävät ja laitostason organisaatio

Merenkululaitoksen tehtävä on vastata kauppamerenkulun ja muun vesiliikenteen perustoimintaedellytysten ylläpitämisestä ja kehittämisestä³⁸. Valtioneuvosto on asettanut Merenkululaitokselle yhteiskunnallisen vaikuttavuuden tavoitteiksi toimivien matka- ja kuljetusketjujen turvaamisen, liikenneturvallisuuden parantamisen sekä ympäristöhaittojen vähentämisen. Tämän pohjalta Merenkululaitos on nimennyt strategisiksi päämääriksi seuraavat³⁸:

Merenkulun turvallisuus

- Edistämme alusten turvallista liikkumista Suomen sekä lähialueiden vesialueilla
- Kehitämme valvontajärjestelmiä, jääluokitusjärjestelmää ja turvallista navigointia
- Toimimme aktiivisena vaikuttajana kansainvälisessä yhteistyössä

Suomalaisen elinkeinoelämän kilpailukyky

- Turvaamme väyläverkoston ja liikennepalveluiden palvelutason
- Edistämme meriliikenteen sujuvuutta ja kilpailukykyä
- Toimimme roolimme mukaisesti osana liikennejärjestelmää
- Osallistumme logistiikkaketjun toimintatapojen ja -välineiden kehittämiseen tehokkuuden parantamiseksi
- Toimimme asiakaslähtöisesti ja kehitämme asiakkaalle sopivimpia palvelukanavia

Tuottavuutta parantaminen ja toiminnan tehostaminen

- Hankimme palvelut alenevilla reaalikustannuksilla
- Lisäämme toiminnan tuottavuutta mm. optimoimalla väyläverkostoa, kehittämällä prosesseja
- ja hyödyntämällä tutkimusta sekä uutta teknologiaa

Meriympäristön suojele ja ilmastonmuutoksen torjunta

- Ennaltaehkäisemme ja minimoimme meriliikenteen ympäristöhaittoja

Merenkululaitoksen tehtävien toteuttamisen ytimen muodostavat väylänpidon, merikartoituksen, talvimerenkulun, meriliikenteen ohjauksen, meriturvallisuuden sekä sisäisen tuotannon toiminta-alueet. Kuten raportin johdannossa on todettu, tämän hankkeen puitteissa ilmastonmuutoksen riskejä ja sopeutumistarpeita tarkastellaan kohdentuen juuri näihin kuuteen toiminta-alueeseen ja niiden tehtäviin. Tämän hankkeen yhteydessä Merenkululaitoksen organisaatiota on hahmotettu alla olevan kuvan (kuva 11) mukaisesti.

Merenkululaitoksen organisaatio on voimakkaan muutoksen alaisena vuonna 2009 sekä lähivuosina³⁸. Tehtävälähtöinen lähestymistapa on siinä mielessä oivallinen kyseessä olevien organisaatiomuutosten kannalta, että huolimatta Merenkululaitoksen tulevasta organisaatiomuodosta tässä hankkeessa käsiteltyjen tehtävien toteuttamisen tarve säilyy ja vastuut tehtävien toteuttamisesta sijoitetaan jollain tapaa tulevaan tai tuleviin organisaatioihin. Luonnollisesti uudelleenorganisoinnissa on huomioitava useiden Merenkululaitoksen tehtävien syvä riippuvuussuhde toisistaan.

³⁸ Merenkululaitos. Toiminta- ja taloussuunnitelma 2010-2013.

Johtokunta				
Pääjohtaja				
			Viestintä Sisäinen tarkastus	
Väylänpito	Merikartoitus	Talvimeren- kulku	Meriliikenteen ohjaus	Meri- turvallisuus
Väylätekniikka	Merenmittaus			
Liikenne- ja logistiikka	Merikartoitus- tietojen ylläpito	(Jäänmurron viranomais- ja tilaajatehtävät)	Luotsauksen viranomaisyksikkö	Merenkulun tarkastus
Väylänpidon alueyksiköt (4)	Merikartat		Telematiikka- yksikkö	Alustekniikka
			Liikenneyksikkö	Merimiesasiat
				Veneily
				Alueelliset tarkastusyksiköt (4)
Erillisyksiköt:	Yhteysalusliikenne		Oikeus- ja tilastopalvelut	
Tukipalvelut:	Talous	Hallinto	Tietohallinto	
Sisäinen tuotanto				
Väyläntuotanto	Suunnittelupalvelut		Merenmittaustuotanto	

Kuva 11. Merenkululaitoksen organisaatio (lähde MKL).

3.2 Toiminta-alueiden tehtävät ja järjestelmät

Hankkeen ensimmäisessä vaiheessa (katso kuva 1, tehtävät a ja b) käytiin läpi toiminta-alueiden tehtävät ja tehtävien toteuttamiseksi luodut järjestelmät. Tämän perusteella järjestelmän ilmastoriskien ja toimintaan kohdistuvien muutostarpeiden tunnistaminen voitiin toteuttaa systemaattisesti ja läpinäkyvästi. Tehtävät ja järjestelmät on tässä loppuraportissa kuvattu yleisellä tasolla. Hankkeen aikana tehtävät ja järjestelmät analysoitiin yksityiskohtaisemmin, tiiviissä yhteistyössä MKL:n edustajien kanssa, joilla luonnollisesti on johtava asiantuntemus omien toiminta-alueittensa suhteen. Seuraavassa on esitelty lyhyesti tehtävät, sekä tehtävien toteuttamista varten luodut prosessit ja tekniset järjestelmät toiminta-alueittain.

Merikartoitus

1. Merenmittaustietojen hankinta
 - Prosessit: Merenmittausten suunnittelu ja merenmittausprojektin hallinta
 - Tekniset järjestelmät: Merenmittaustiedon hankinnalla oma IT-pohjainen suunnittelujärjestelmä
2. Merenmittaus- ja merikartoitustietorekisterien hallinta ja ylläpito
 - Prosessit: Aineistojen ja havaintojen hankinta ja vastaanotto sekä tietorekisterin muutostietojen hallinta ja ylläpito
 - Tekniset järjestelmät: Tietorekisterit, joissa merenmittauksen perustietoja ja päivittyviä tietoja.
3. Merikarttojen valmistaminen
 - Prosessit: Tietorekistereistä puretuista tiedoista ja muista ajankohtaisista tiedoista muokataan kartta-aineistot. Tietosisältö muotoillaan kartografisten sääntöjen mukaan.
 - Tekniset järjestelmät: IT-pohjainen järjestelmä karttatiedon muokkaamiseen
4. Aineistopalvelu
 - Prosessit: Tietorekistereistä eri tahoille (yhteiskunnalliset, yksityiset, yritykset) tuotettavat tiedot tilauksen mukaan
 - Tekniset järjestelmät: Hyödynnetään IT-pohjaisia tietojärjestelmiä
5. Tiedonantopalvelut (merivaroitukset)
 - Prosessit: Kriittiseksi arvioitujen muutostietojen tiedottamisen koordinaattorina toimiminen. Tiedotusväylinä elektroniset kartat (ENC), kahden viikon välein toimitettava tiedonantoja merenkulkijoille -lehti, tai kiireelliset tiedotukset merivaroituksena (mm. TurkuRadion kautta).

- Tekniset järjestelmät: Tietoliikenneyhteydet sekä IT-pohjaiset tietorekisterien hyödyntäminen

Väylänpito

1. Väylien kehittäminen

- Prosessit: Suunnittelun valmistelu, yleissuunnitelman teettäminen, rakennussuunnitelman teettäminen, rakentamisen valmistelu, rakentamisen ohjaus sekä lupaprosessit
- Tekniset järjestelmät: IT-pohjaista suunnittelua sekä normaalia ruoppaus- ja rakennustoimintaa

2. Väylien ylläpito

- Prosessit: Väylähoito (oma havainto tai ilmoitus vikaantumisesta, jonka johdosta palveluntuottajalta tilataan väylähoitotoimi), ylläpito- ja kunnossapitohankkeet (tarpeen ja rahoituksen puitteissa toimintasuunnitelman laatiminen, ylläpitopalveluiden tilaus ja valvonta), kanavien käyttö ja kunnossapito (toimintasuunnitelman laatiminen, palveluiden hankinta, sekä niiden valvonta, tiedottaminen)
- Tekniset järjestelmät: IT-pohjaista suunnittelua ja ulkoa ostettuja palveluita (joissa käytetään vene- ja aluskalustoa sekä nostolaitteita, talvella moottorikelkkaa ja hydrokopteria, sekä kanavien osalta pientä rakennustoimintaa)

3. Vesiliikenteen edunvalvonta

- Prosessi: Lausuntojen antamista, viranomaisyhteistyötä, säädösvalmistelua, päätöksiä, muiden väylänpitäjien valvonta
- Tekniset järjestelmät: Ei erityisiä teknisiä järjestelmiä

Meriturvallisuus

1. Alusturvallisuuden kehittäminen ja valvonta

- Prosessit: Päättää aluksen miehityksestä, varusteista ja laitteista. Hyväksyy pätevyyskirjat, aluksen toiminta- ja turvajärjestelmät sekä lastaukseen liittyvät asiakirjat ja järjestelyt. Katsastaa tai tarkastaa aluksen ja arvioi aluksen turvallisen käytön. Vastaa meriympäristön suojeluun ja vaarallisten aineiden kuljetuksiin liittyvistä asioista. Analysoi toiminnan vaikutusta meriturvallisuuteen ja tarvittaessa päättää toimenpiteistä.
- Tekniset järjestelmät: Ei erityisiä teknisiä järjestelmiä

2. Satamien turvatoiminnan kehittäminen ja valvonta

- Prosessit: Käsittelee ja hyväksyy satamien turvasuunnitelmaprosessin (ISPS-säädösten mukaisen), auditoi satamien turvajärjestelmien toimivuuden, osallistuu säädösten kehitykseen
- Tekniset järjestelmät: Ei erityisiä teknisiä järjestelmiä

3. Veneilyn turvallisuuden kehittäminen ja valvonta

- Prosessit: Markkinavalvonta, tuotevalvonta, tiedotus ja valistus, lippupäätökset, septipoikkeuslupien myöntäminen ja tulliyhteistyö
- Tekniset järjestelmät: Ei erityisiä teknisiä järjestelmiä

Talvimerenkulku

1. Talvimerenkulun avustaminen / jäänmurtopalvelut

- Prosessit: Jäänmurtopalveluiden hankinta (Rahtaus sopimus VLL:n kanssa, hinaajasopimukset ja yhteistyösopimus Sjöfartsverketin kanssa) alusliikenteen kulun varmistamiseksi talvisatamiin liikennerajoituskaudella
- Tekniset järjestelmät: Jäänmurtajat ostopalveluna

2. Jäätilan seuranta ja liikennerajoitusten asettaminen

- Prosessit: Analysoi jäätilan kehittymistä MTL:n Jääpalvelun tuottaman tiedon perusteella, päättää liikennerajoituksista, ilmoittaa jäänmurtotoiminnan aloittamisesta Finstasshipille
- Tekniset järjestelmät: Päätöksenteon tukena jäänmurtajien liikennetietojärjestelmä IBNet, jonka graafiselle näytölle saadaan tutkasatelliittikuvat merialueiden jäätilanteesta, tuuli- ja vedenkorkeustiedot ym.

3. Liikennevirran ohjaus ja poikkeuslupien myöntäminen

- Prosessit: Jäätilan seuranta ja asiakaskyselyihin vastaaminen, liikennevirran ohjaaminen liikennerajoituksilla, päätökset aluksille myönnettävistä erivapauksista, tekee päätökset mahdollisista liikennejakoalueiden poistamisista tai liikenteen siirtämisestä rannikkoväylälle (Suomenlahti), tiedottaminen

Tekniset järjestelmät: IBNet

Meriliikenteen ohjaus

1. Alusliikennepalvelut

- Prosessit: 1. Rutiiniprosessi: Tunnistus ja paikannus, seuranta ja valvonta, meriliikenteen tilannekuvan muodostaminen, alusliikennepalveluiden tarjoaminen (tiedonannot, alusliikenteen järjestelyt, aluksille annettava navigointiapu), 2. Poikkeamaprosessit: poikkeama aluksella, poikkeama VTS-keskuksessa, poikkeama VTS-alueella.

- Tekniset järjestelmät: Ytimenä IT-pohjainen VTS-järjestelmä, joka eräänlainen GIS-sovellus. Järjestelmään tulee tietoa erilaisista sensorijärjestelmistä (tutkajajärjestelmä, AIS-järjestelmä), joiden tehtävä on alusten paikan osoittaminen ja/tai alusten tunnistaminen. Kommunikaatio aluksille tapahtuu pääasiassa puheen avulla kattavan VHF-radiojärjestelmän kautta ja osittain datasiirtona. Lisäksi järjestelmä hyödyntää useita tietorekistereitä (yhteydet välänpitoon ym.). VTS keskusten tiedonsaanti sekä sensorijärjestelmistä, tietokannoista että ulkopuolisista tietolähteistä (säätieto ym.) on riippuvaisista tietoliikenneyhteyksistä.

2. TurkuRadio

- Prosessit: Vastaanottaa tiedon (esim. poikkeamasta) ja tiedottaa/välittää (tietoa sekä VTS:stä ja Merikartoituksesta aluksille että aluksilta poikkeamatietoa välänpitoon), sää-, tuuli- ja jäätiedotus, tarvittaessa merivaroitus.

- Tekniset järjestelmät: Laaja radiojärjestelmä ja tietoliikenneyhteydet

3. Luotsausviranomaispalvelut

- Prosessit: Palvelut ja valvonta. Lupien myöntäminen ja pätevyyksien varmistaminen sekä merellä tapahtuvan toiminnan valvonta VTS:än ja meriturvallisuustoiminnan tarkastajien kautta.

- Tekniset järjestelmät: Ei erityisiä teknisiä järjestelmiä IT-järjestelmiä lukuun ottamatta.

4. Informaatiopalvelut (telematiikka)

- Prosessit: Liikenteen tietopalvelut (kansainväliset järjestelmät kuten PortNet)

- Tekniset järjestelmät: Moninaiset liikenteen tietopalvelut ja laajat (kansainväliset) järjestelmät

5. Radionavigaatiojärjestelmät

- Prosessit: Välittää tarvittavan elektronisen paikannustiedon aluksille.

- Järjestelmä: Laaja radiojärjestelmä, jonka tukiasemia sijaitsee mantereella syrjäisissä kohteissa.

Sisäinen tuotanto

Yleinen huomio: Toteuttaa välänpidon tai merikartoituksen tilaamia tehtäviä, joten asioita käsitelty myös niiden toiminta-alueiden yhteydessä. Sisäinen tuotanto siirretään erilliseksi yhtiöksi vuoden 2010 alusta. Tehtävät ovat työvoimavaltaisia ja itse räätälöityjä sovelluksia käytetään laajasti, koska valmiita ratkaisuja ei usein ole.

1. Väylien hoito

- Prosessi: Merellä olevien turvalaitteiden (kelluvat, kiinteät: ovat paikallaan ja valot toimivat) korjaaminen, huolto tai uusien rakentaminen

- Tekniset järjestelmät: Vene- ja aluskalusto sekä nostolaitteet, talvella moottorikelkka ja hydrokopteri. Rakentamisen koneita ja välineitä

2. Merenmittaus (myös sisävesillä)

- Prosessi: Syvyystietojen luotaus

- Tekniset järjestelmät: Merenmittausalukset

3. Kanavien käyttöpalvelut sekä ylläpito ja kunnostus

- Prosessit: Kauppamerenkulun kanavan (Saimaa) sulutus, eli käyttö kauko-ohjauksena. Kevyen liikenteen itsepalvelukanavien toiminnan seuraaminen ja turvallisuudesta huolehtiminen.

- Tekniset järjestelmät: Kamerakuvaan perustuva kauko-ohjausjärjestelmä (Saimaa)

4. Väyläsuunnittelu

- Prosessit: Väyläsuunnittelua toimeksiantojen perusteella

- Tekniset järjestelmät: IT-pohjaiset järjestelmät

3.3 Tehtävien ja järjestelmien väliset vuorovaikutukset

Merenkulkulaitoksen tehtäviä ja niiden toteuttamisen prosesseja sekä teknisiä järjestelmiä tarkasteltaessa käy selväksi useiden tehtävien toisiaan tukeva luonne ja siten keskinäinen riippuvuus. Seuraavassa on esitetty muutamia esimerkkejä tällaisista riippuvuussuhteista:

Toimivan ja turvallisen väylän tarjoaminen merenkululle: Päävastuussa tästä tehtävästä on väylänpito, joka kehittää ja ylläpitää väyliä. Väylän kehittämisen lähtötiedoiksi useimmiten välttämättömiä ovat merikartoituksen tuottamat tiedot. Väylän muutoksia tehtäessä väylänpidon tulee puolestaan ilmoittaa näistä merikartoitukseen. Väylän laadukas ja luotettava ylläpito perustuu turvalaitevikojen välittömään havaitsemiseen ja korjaamiseen. Turvalaitevikojen havaitsemisessa tärkeässä roolissa ovat merenkulkijat, jotka voivat ilmoittaa vioista eri reittejä, joista yksi keskeisimmistä on alusliikennepalvelut. Toisaalta alusliikennepalvelut tarvitsevat tiedot turvalaitevioista ja muista häiriöistä, joita koskevia ilmoituksia laativat mm. väylänpito ja merikartoitus.

Alusliikennepalveluiden yhtenä tehtävänä on tarjota merenkulkijoille ajantasaista tietoa olosuhteista ja mahdollisista häiriöistä. Talviaikaan keskeisessä roolissa olosuhtetiedon tuottamisessa ovat jäänmurtaajat, jotka informoivat alusliikennepalveluja mm. jäätilanteesta. Toisaalta talvimerenkulun liikennevirran ohjaus on riippuvainen alusliikennepalveluiden tuottamasta meriliikenteen tilannekuvasta.

Merenkulkulaitoksella on myös runsas määrä erilaisia tietojärjestelmiä, kuten GOFREP, PortNet, AIS, IBNet jne. Näillä teknisillä järjestelmillä on usein pääkäyttäjän lisäksi tietotarpeita muista järjestelmistä tai ne tuottavat tietoa muihin järjestelmiin. Eli teknisten tietojärjestelmien tasolla on vastaavaa kytkeytyneisyyttä ja riippuvuussuhteita kuin toimintaprosessienkin osalla, mikä on luonnollista.

Merenkulkulaitoksen teknisiin järjestelmiin kuuluu myös järeämpää kalustoa. Selkeimpänä esimerkkinä on sääolosuhteille alttiit, tosin niitä kestämaan tehdyt, väylien turvalaitteet. Pysyvistä rakenteista ja infrastruktuureista esimerkkinä on myös kamera-, radio-, sekä tutkajärjestelmät. Lisäksi näistä useimmat ovat riippuvaisia sähkönsaannista, joko akkujärjestelmiin perustuen tai sähköverkon kautta, sekä usein myös tietoliikenneyhteyksistä. Kuten luvussa 1.2. todettiin, sähköjärjestelmät ja niihin mahdollisesti kohdistuvat ilmatoriskit rajattiin tämän tarkastelun ulkopuolelle, ottaen huomioon Merenkulkulaitoksessa jo toiminnassa olevat riskinhallintajärjestelmät sähkönsaannin turvaamiseksi.

4. Ilmastonmuutoksen riskit Merenkulkulaitoksen toiminnalle

4.1 Ilmastonmuutoksen aiheuttamien vaikutusten ja häiriöiden tunnistaminen

Hankkeen toisessa vaiheessa (kuva 1, tehtävät c, d ja e) tunnistettiin ilmastonmuutoksen liittyvien häiriöiden aiheuttajien (taulukko 1) aikaansaamia vaikutuksia ja häiriöitä MKL:n prosesseissa ja tehtävissä. Häiriöt tehtävien toteuttamisessa tunnistettiin käymällä järjestelmällisesti läpi kunkin tehtävän toteuttamisen prosessit ja tekniset järjestelmät sekä analysoimalla, millaisia vaikutuksia taulukon 1 aiheuttajat voisivat saada niissä aikaan.

Vaikutukset luokiteltiin taulukon 2 mukaisiin luokkiin. Lievimmillään aiheuttajilla ei ole mitään vaikutuksia tehtäviin tai prosesseihin (luokka 0), ja pahimmillaan aiheuttajat estävät tehtävän suorittamisen tai pysäyttävät toimintaprosessin. Vaikutusluokkien alustava määrittely tehtiin työn käynnistyessä mutta luokkien määrittely viimeisteltiin iteratiivisesti tarkentaen työn aikana. Näin ollen varmistettiin, että asiantuntijaryhmällä on riittävän yhtenäinen näkemys luokittelusta, jotta erilaisten häiriöiden vaikutuksia Merenkulkulaitoksen toiminta-alueiden hyvinkin erilaisiin prosesseihin ja teknisiin järjestelmiin on mahdollista arvioida, vertailla ja priorisoida läpinäkyvän ja selkeän luokittelun avulla.

Käytännön arviointityö tehtiin hankkeen työpaikassa 21.1.2009. Työn aikana tunnistettiin yhteensä noin 40 erilaista ilmastonmuutoksen vaikutuksesta mahdollisesti syntyvää häiriötä Merenkulkulaitoksen tehtäviin tai toimintaprosesseihin.

Taulukko 2. Vaikutusluokkien määrittely.

3	Estää tai saattaa estää tehtävän suorittamisen
2	Vaikeuttaa tai hidastaa tehtävän suorittamista
1	Vähäisiä vaikutuksia tehtävän suorittamiseen
0	Ei lainkaan vaikutuksia

4.2 Vaikutusten ja häiriöiden toistuvuuden arviointi

Tässä tarkasteltujen prosessien tai tehtävien suorittaminen häiriintyy, jos

- a) aiheuttajalistan mukainen aiheuttaja tapahtuu ja
- b) aiheuttaja todella aiheuttaa häiriön.

Tarkastelun yksinkertaistamiseksi oletettiin, että aiheuttaja aiheuttaa jonkinlaisia häiriöitä aina, joten voitiin keskittyä aiheuttajien toistuvuuden arviointiin. Tätä arvioitiin vastaavien sääilmiöiden esiintymistiheyden perusteella.

Lähtökohtaisesti ilmastomuutoskenaarioiden yhteydessä ei ole arvioitu pistetodennäköisyyksiä mutta päätöksenteon tukemiseksi esim. lämpötilan ja sateisuuden muutoskenaarioihin liittyviä epävarmuuksia on kuvattu todennäköisyysjakaumien avulla.³⁹ Esiintymistiheyttä arvioitiin Gaian sisäisenä asiantuntijatyönä hyödyntäen viimeisintä ilmastotutkimusta sekä Merenkululaitoksen arviota jo koettujen sään ääri-ilmiöiden esiintymistiheyksistä.. Häiriöiden toistuvuus esitettiin seuraavan luokittelun mukaisesti (taulukko 3).

Taulukko 3. Häiriön esiintymisen toistuvuusluokittelu.

5	useammin kuin 1/1 v
4	1/1-1/3 v
3	1/3-1/20 v
2	1/20-1/100 v
1	harvemmin kuin 1/100 v

4.3 Ilmastoriskien arviointi

Merenkululaitoksen toimintaan kohdistuvat häiriöt ja muutostarpeet priorisoitiin arvioimalla kuhunkin häiriöön liittyvien vaikutusten suuruus ja aiheuttajien toistuvuus ja muodostamalla häiriöön liittyvä riski kertomalla vaikutus- ja toistuvuusluokat keskenään (riski = vaikutus x vaikutuksen todennäköisyys). Riskinarviointi toteutettiin tiiviissä yhteistyössä Merenkululaitoksen asiantuntijoiden kanssa (liite 1), hyödyntäen viimeisintä ilmastotutkimustietoa sekä Gaian ilmastomuutoksen ja riskienhallin integroitua osaamista.

Arvioinnissa tunnistetiin yhteensä 39 Merenkululaitoksen eri toiminta-alueisiin kohdistuvaa ilmastoriskiä, jotka on kuvattu riskin merkittävyyden mukaan priorisoituna taulukossa 4. Merkittävänä pidettiin riskejä, joiden vaikutukset olivat suuria (vaikutusluokassa 2 tai 3) tai todennäköisyydet olivat suuria (toistuvuusluokissa 3-5).

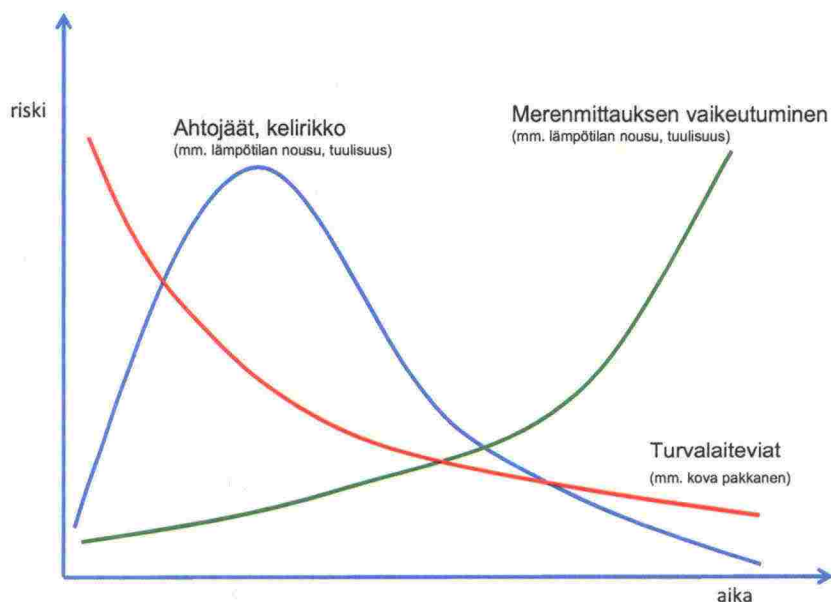
Suurin osa merkittävimmistä riskeistä kohdistuu väylänpitoon, merikartoitukseen (erityisesti merenmittaustietojen hankintaan) sekä meriliikenteen ohjaukseen (erityisesti alusliikennepalveluihin). Talvimerenkulussa mm. jääkenttien siirtyminen ja jäävallien todennäköinen syntyminen entistä useammin leudompina talvina nousee myös esiin eräänä lähitulevaisuuden riskinä. Hankkeessa tunnistettiin myös useita ilmastomuutoksen potentiaalisia vaikutuksia meriturvallisuuden toiminta-alueeseen, erityisesti alusturvallisuuden kehittämiseen ja valvontaan. Vaikkei mitään näistä alusturvallisuuteen kohdistuvista riskeistä arvioitu 10 kaikkein merkittävimmän ilmastoriskin joukkoon, on myös näiden riskien huomioiminen välttämätöntä merenkulun turvallisuuden varmistamiseksi myös jatkossa.

³⁹ Katso liite 3. Muutosten todennäköisyyden prosenttipisteiden laskemisessa on otettu yhtä aikaa huomioon päästöskenaarioiden erot, mallien herkkyyden erilaisuus ja ilmaston luontainen vaihtelu.

Riskitarkastelussa tärkeimpiä aiheuttajia ovat ns. sään ääri-ilmiöt. Myrskytuulet, korkea aallokko, rankkasateet, lumipyryt ja meriveden pinnan nopeat muutokset voivat aiheuttaa merkittäviä häiriötä MKL:n prosesseihin ja teknisiin järjestelmiin. Vaikka ilmastotutkimus ei kaikkien näiden parametrien osalta pysty antamaan selkeitä vastauksia toistuvuuden muutoksista ja häiriötapauksien todennäköisyyksistä 2000-luvulla, on MKL:n syytä edelleen kehittää sopeutumiskykyään sään ääri-ilmiöiden aiheuttamiin riskeihin.

Ilmastomuutoksen riskejä tarkasteltaessa on myös muistettava, että ilmastomuutokseen liittyvien monien epävarmuuksien lisäksi, riskikuva muuttuu ajassa. Eräiden muuttujien ja häiriöiden osalta voidaan tunnistaa selkeitä samansuuntaisia kehityskulkuja. Esim. lämpötilan nousu tulee selkeästi vähentämään pakkasesta aiheutuvia riskejä tulevana vuosikymmeninä mutta voi samanaikaisesti lisätä esim. vieraslajien lisääntymisestä aiheutuvia riskejä ja sopeutumistarpeita.

Toisaalta lämpötilan nouseminen esim. n. 4-6°C asteella vuosisadan loppuun mennessä tulisi todennäköisesti helpottamaan talvimerenkulkua jäätalvien leudontuessa pitkällä aikavälillä mutta riskikuvankehitys ei välttämättä seuraa suoraviivaisesti lämpötilan kehitystä lyhyemmällä aikavälillä.. Jääpeitteen vähentyminen voi aiheuttaa yllättäviä muutoksia ahtojääalueiden sijanteihin ja mahdollisesti jopa lisähaasteita talvimerenkululle ja väylänpidolle - ennen kuin ahtojäistä aiheutuvat riskit lähtisivät laskuun nopean ilmastomuutoksen skenaarioissa (kuva 12). Näiden riskikuvien ajallisen muutoksen ymmärtäminen on tärkeää riskien priorisoinnissa ja optimaalisten sopeutumiskeinojen valinnassa.



Kuva 12. Riskikuvan kehittyminen ajassa ilmastomuutoksen kiihtyessä. Eri väreillä kuvatut riskit esittävät riskikuvan muutosta ajassa mutta kyseiset riskit eivät ole keskenään absoluuttisesti vertailtavissa.

MKL:n kokemukset jo koetut ääri-ilmiöt ja niihin varautumisesta luovat hyvää vertailupohjaa jatkossa tarvittaville sopeutumistoimille. Vaikka asteittaiset muutokset keskilämpötilassa ja sademäärien vuosikeskiarvossa eivät tämän arvion mukaan välittömästi muodosta merkittäviä riskejä merenkulkuihin, tulee myös lämpötilan nousu (mm. entistä lämpimimpien hellejaksojen kautta) ja sademäärän muutos (kuivuuden ja tulvien muutosten kautta) edellyttämään muutoksia niin MKL:n teknisiin järjestelmiin kuin prosesseihin Taulukossa 4 on esitetty koottuna Merenkulkulaitoksen priorisoidut ilmastoriskit sekä keskeiset sopeutumistoimet kullekin riskille. Tunnistettuja sopeutumistoimia ja niiden hyötyjä riskinhallinnassa on analysoitu erikseen luvussa 5.

Taulukko 4 Merenkulkulaitoksen toimintaan kohdistuvat merkittävimmät, priorisoidut ilmastoriskit sekä keskeiset sopeutumistoimet kullekin riskille.⁴⁰

TOIMINTA-ALUE		ILMASTONMUUTOKSEN VAIKUTUKSET		SOPEUTUMISTOIMET	
nro	Tehtävä	Konkreettinen aiheuttaja	Häiriön kuvaus	Sopeutumistoimen kuvaus	Sopeutumistoimen vaikutukset
1	Väylänpito	Myrskytuuli (ja aallokko)	Estävät väylähoitotoiminnan kokonaan (rikkontuneiden laitteiden korjaaminen). 2-3 metrin aallokko on maksimi keveille veneille. Aluskalustolla voidaan liikkua jonkin verran pahemmassa kelissä, mutta vain syvemmässä vedessä. Myös työturvallisuus rajoittaa toimintaa.	1. Käytettävän vene/aluskaluston olosuhdevaatimusten korottaminen, 2. Tiedotus VTS:n kautta siitä, että ylläpidosta on jouduttu karsimaan olosuhteiden takia, 3. Turvalaitteiden tuotekehitys ja ennakoiva huolto, 4. Pidemmän ajan sääennusteiden hyödyntäminen huollon suunnitteluun	Sopeutumistoimen vaikutukset 1. Rajallinen vaikutus riskiin, kovat olosuhteet estävät joka tapauksessa väylähoiton (aluskaluston muutokset n. 10–100 ke), 2. Tiedotuksella käyttäjille tieto riskin kasvamisesta (osa perusprosessia, mutta kehitetään ilmoituksen automaatiota), 3. Vähentää häiriön toistuvuutta (10–100ke, pitkälti omaa työtä jossa konsultti apuna), 4. Työt ajoitetaan olosuhteisiin, joissa ne voidaan tehdä (huoltotoiminnan työsuunnittelun kehittäminen)
2	Väylänpito	Lumimyrsky ja/tai raekuuro	Turvalaitteet eivät näy, satelliittiyhteydet ptkivät, tutkanäkyvyys huono	1. Tutkamerkkien näkyvyyden parantaminen myös huonoissa olosuhteissa, tutkimusta on jo tehty	1. Parantaa näkyvyyttä huonoissa olosuhteissa (10–100 ke)
3	Merenmittaus-tietojen hankinta	Navakka tai kova tuuli (ja aallokko)	Merenmittaustietojen hankintakustannukset nousevat (tehokkaat mittauspäivät vähenevät tai mittaustietojen laatu vaihtelee)	1. Työnsuunnittelu työmaalla, sekä kokonaisurakan suunnittelu tilattaessa, 2. Sääriskin jakaminen tilaajan ja toimittajan välillä (tehokkuus vs. datan laatu), 3. Nykyään ja tulevaisuudessa mittausaluksissa parempia liikesensoreita, joilla saadaan edes osaksi poistettua aallokon ja malmien vaikutus mittaushavaintoihin	1. Ei urakkakohtaisesti suurta vaikutusta kustannusten vähentämiseen (sääriski nostaa yleisesti valtakunnallisesti kustannuksia), 2. Kustannuksien jakaminen, löydettyä sopiva periaate, viime kädessä tilaaja (MKL) maksaa aina haittatekijöiden vaikutuksen. 3. Rajallisesti lisää tehokasta työaikaa (mutta toimintaan lisää pääomakustannuksia)
4	Talvimerenkulku	Myrskytuuli	Vaikeuttaa avustamista, kauppa-aluksen runko määrättyissä tilanteissa alttiina jäiden puristukselle, joka voi aiheuttaa aluksen runkoon painautumia.	1. Vahinkojen minimointi operationaalisessa toiminnassa, 2. Murtaja tiedottaa olosuhteista VTS:lle, joka pyrkii opastamaan aluksia välttämään ko. tilanteisiin joutumista	1. Nykyprosessin mukaista toimintaa, ei juuri vaikutuksia, 2. Nykyprosessin mukaista toimintaa, voi estää häiriöön johtavien tilanteiden syntyminen

⁴⁰ Riskien priorisoinnissa työstetyt arviot kunkin häiriön vaikutuksesta (vaikutusluokittain) sekä todennäköisyydestä (häiriön esiintyminen toistuvuusluokittain) on esitetty kootusti Merenkulkulaitokselle toimitetussa erillisessä materiaalissa.

5	Alusliikennepalvelut	Lumimyrsky ja/tai raekuuro	Tutka-anturin toiminnan häiriintyminen paikallisesti	1. Korvaavia anturijärjestelmiä eli varajärjestelmien hyödyntäminen (korvaavia järjestelmiä on olemassa, joita jo käytetään), 2. Marginaalisia hyötyjä tutkien tehojen säädöllä tms. esim. tutkajärjestelmiä uudistettaessa 1. Hankitaan generaattoreita, akustoa ym. kriittisiksi katsottuihin kohteisiin, 2. Tietoliikenteessä pyritään reittien kahdentamisiin, 3. Huoltosopimuksissa annettu lisää aikaa huollolle huonojen olosuhteiden aikana, 4. Järjestelmä pyritty rakentamaan niin, että yksikään anturi ei ole korvaamaton, kaksois-kolmoispeitto, ennakoiva huolto 1. Voidaan ottaa huomioon palvelujen tilaussopimuksissa, määritellä lämpötilarajat, jossa toimittava	1. Nykyprosessien mukaiset toimet, eli korvaavien järjestelmien käyttö, antavat jo lähes samanveroisen palvelun (ei lisäkustannuksia), 2. Tästä ei tarkempaa tietoa tässä vaiheessa Järjestelmän minimitoiminta on varmistettu jo nyt. (kaikki keskeiset toimenpiteet varautumiseksi on aloitettu)
6	Alusliikennepalvelut	Myrskytuuli (ja/tai lumimyrsky)	Sähköhuollon, tietoliikenteen häiriintyminen tai vikaantumisen (ilmajohdot ym.) Vikaantumseen syväisemmän anturikohteen korjaus saattaa viivästyä - kohteeseen pääsy vaikeaa keliolosuhteiden vuoksi.	1. Varmistetaan, että kriittiset kohteet voidaan tarvittaessa huoltaa, varmistettava, että kalustovaatimukset sisältävät riittävän määrän kellirakke-olosuhteissa toimivaa kalustoa (useampi 10-100 ke), 2. Työt ajoitetaan olosuhteisiin, joissa ne voidaan tehdä (huoltotoiminnan työsuunnittelun kehittäminen)	1. Varmistetaan, että kriittiset kohteet voidaan tarvittaessa huoltaa, varmistettava, että kalustovaatimukset sisältävät riittävän määrän kellirakke-olosuhteissa toimivaa kalustoa (useampi 10-100 ke), 2. Työt ajoitetaan olosuhteisiin, joissa ne voidaan tehdä (huoltotoiminnan työsuunnittelun kehittäminen)
7	Alusliikennepalvelut / TurkuRadio / Radionavigaatio - järjestelmät	Kova hellejakso	Laitteiston (elektronikkaa) osalta: elektronikan toimintalämpötila-alueen ylittyminen Esim. helteellä laiteilän jäähdytyslaitteistojen vikaantumisen johtuva laitteiden pysähtyminen. Koko järjestelmän vioittuminen epätodennäköistä (laitteet erilaisissa ja eritasoisissa laitteiloissa).	1. Kalustovaatimukset huoltokalustolle, 2. Ennakoiva toiminta	1. Vikaantumiset vähenevät (melko pienet kustannukset, muutama tuhat euroa)
8	Väylänpito	Jääpeitteen muutos	Kellirakkokellillä on väylänhoito vaikeinta		1. Varmistetaan, että kriittiset kohteet voidaan tarvittaessa huoltaa, varmistettava, että kalustovaatimukset sisältävät riittävän määrän kellirakke-olosuhteissa toimivaa kalustoa (useampi 10-100 ke), 2. Työt ajoitetaan olosuhteisiin, joissa ne voidaan tehdä (huoltotoiminnan työsuunnittelun kehittäminen)
9	Talvimerenkulku	Myrskytuuli	Jäävalliin syntyminen, hidastaa toimintaa (yleensä normaalia leudompina talvina)	1. Reitit vallien ohi (nykyprosessi), 2. Murtajakaluston sijoittaminen siten, että olosuhteisiin parhaat sopivilla paikoilla. 3. Talvimerenkululle käyttökelpoisten alueiden kartoitus (edistää vallien kiertoa)	1. Osa nykyprosessia 2. Osa nykyprosessia 3. Suunniteltu toteutettavaksi, riippuu määrärahoista

10	Alusliikennepal- velut	Voimakas myrskytuuli, ukkonen	Mastoihin sijoitettujen laitteistojen rikkoutuminen, Ukkosesta laitevaurioiden mahdollisuus myös laitetiloissa (sähkö- tai tiedonsiirtokaapeleita pitkin)	1. Tuulikuormamitoitukset, 2. Ukkostuhoihin varautuminen erilaisilla suojauksilla	1. Voidaan vähentää vikaantumisia (riski vs. kustannukset), 2. Suojauksilla varsinaisiin laitteisiin kohdistuvat vauriot voidaan estää/ vähentää huomattavasti (osa nykyprosessia)
11	Talvimerenkul- ku	Alhainen vedenkorkeus (meri)	Murtaja ei avusta väylällä, jos on riskiä että murtaja tai alus saa pohjakosketuksen	1. Väylän syventäminen ja alhaisten veden- korkeuksien huomiointi väylän suunnittelussa, 2. Tiedottaminen	1. Kustannukset nousevat väylän syventämi- sessä jyrkästi (väylällä liikennöivien alusten kasvaneet syväykset syövät tästä hyödyn) 2. MKL:lle tärkein välitön toimi tiedottaminen, joka on osa nykyprosessia ja siinä erilaisia tasoja i) nykytilanteen tiedottaminen VTS:ssä, ii) vedenkorkeuden ennusteet, sekä iii) yleisten olosuhteiden tiedottaminen
12	Väylänpito	Vesistötulva	Kanavien ylitulviminen (noin 1 m ylivesitason yläpuolella) (rakenteellisia vaurioita)	1. Riittävä määrä patomateriaalia (väliaikainen tulvasuoja), 2. Tulvantorjunnan toimenpiteiden johtaminen ja suorittaminen	1. Akuuttien vahinkojen torjuminen (torjunnan kustannukset noin 10 ke), 2. Kriisiävalmiutta voidaan nostaa suunnitelmallisesti ja ennakoivasti
13	Väylänpito	Voimakas myrskytuuli ja/tai ukkonen ja/tai raekuuro/lumimyr- ky	Lisääntynyt turvalaitteiden korjaustarve. Huonommat olosuhteet niiden korjaamiseen	1. Turvalaitteiden kehitys, 2. Töiden ennakointi, 3. Tiedotus	1. Paremmiin olosuhteita kestäviä laitteita, 2. Huoltotoiminnan työsuunnittelun kehittäminen, 3. Laitteiden vikaantumisen tiedottaminen VTS:n kautta (osa nykyprosessia)
14	Alusturvallisu- den kehittäminen ja valvonta	Veden lämpötilan nousu	Alusten pohjaan kiinnittyvien lajien elinmahdollisuudet lisääntyvät. Lisää aluksen vastusta ja siten polttoaineen kulutusta.	1. Osallistutaan aktiivisesti IMO:ssa tapahtuvaan sääntökehitykseen, 2. Tulevien mahdollisten sääntöjen valvonta	1. Kansainvälisen vaikuttamisen lopputulokset 2. Vieraslajien leviämisen riski vähenee 3. Lisää MKL:n valvontatehtäviä
15	Alusturvallisu- den kehittäminen ja valvonta	Veden lämpötilan nousu	Uusien lajien määrän mahdollinen lisääntyminen painolastivesissä.	1. Olemassa IMO:n painolastivesien yleissopimus, ratifioitavana (ilmastomuutos ei johda lisätoimenpiteisiin)	1. Vieraslajien leviämisen riski vähenee 2. Lisää MKL:n valvontatehtäviä

16	Merenmittaus-tietojen hankinta	Veden lämpötilan nousu	Lisää epätarkkuutta merenmittauksessa (harppauskerroksen vaikutus ultraäänisignaaliin, pintalämpötilan kasvu)	1. Laitekehitys, 2. Toiminta vaatii enemmän huolellisuutta (enemmän aikaa äänennopeusprofiilien mittaamiseen)	1. Laitekehityksen kustannukset tulevat urakoiden kautta, uudet tekniset vaatimukset, 2. Mitatun pinta-alayksikön tuotantohinta nousee noin 5 % -> kokonaisuuudessa 400 k€/vuosi
17	Veneilyn turvallisuuden kehittäminen ja valvonta	Keskilämpötilan nousu	Pidentynyt veneilykausi ja mahdollisesti lisääntynyt veneily sekä mahdollisesti lisääntyneet ulkomaiset veneilijät, joka johtaa kasvaneeseen tuote- ja markkina valvonnan sekä valistuksen tarpeeseen (mm. vuokraveneiden ohjeistus englanniksi)	1. Lisääntynyt tarve tuote- ja markkina valvonnan	1. Turvallisuustason säilyttäminen lisääntyneestä veneilystä huolimatta (lisäresurssien tarve arviolta 1-2 henkilötyövuotta)
18	Veneilyn turvallisuuden kehittäminen ja valistus	Trombit, myrskytuuli, aallokkoisuus	Trombien / tuulisuuden / aallokon muuttuneiden olosuhteiden vaikutus veneilyyn.	1. Tiedotus- ja valistustyön lisääminen ja muokkaus olosuhteiden mukaan	1. Veneilijöiden parempi sääriskien tuntemus, lopullinen vaikutus riippuu veneilijöistä
19	Alusliikennepalvelut	Meri/vesistötulva	Jotkin laittilat ovat melko matalalla, voivat tulvia ja vahingoittua	1. Orettava huomioon laitteistojen sijoittelussa ja laittilojen valinnassa, 2. Nykyisten riskikohteiden kartointu	1. Ei erityisiä lisäkustannuksia, 2. Oman työnä alle 10 ke (muiden asioiden yhteydessä, sähkö ja tietoliikenne ja ukkossuojaukset) tämä työlle mukaan
20	Alusturvallisuuden kehittäminen ja valvonta	Jääpeitteen muutos	Jäätalvien helpottuessa koneitehomääräyksiä voidaan miettiä uusiksi. IMO:sta voi tulla laivoja koskevia (ilmastonmuutoksen hillintään liittyviä) ympäristömääräyksiä, jotka voivat rajoittaa maksimikonetehtoja. Laivoja koskevat jääloukkamääräykset asettavat toisaalta minimikonetehtoillemääräyksiä. Nämä voivat olla ristiriidassa keskenään.	1. Jäissä kulkeville aluksille erivapauksia IMO:n sääntöihin (yhteistyössä mm. Kanadan, Ruotsin ja Venäjän kanssa), 2. Jäänmurtokapasiteetin turvaaminen	1. Vaikutustyö IMO:ssa, 2. Murtaminen on erittäin kallista (kapasiteetin lisääminen/ylläpito kallista, eli periaate on, että huonoimpia aluksia autetaan viimeiseksi)
21	Alusturvallisuuden kehittäminen ja valvonta	Kova hellejakso	Herkästi syttyvien ja palovaarallisten aineiden onnettomuudet	Puututaan ja ohjeistetaan satamien asetusten (251/2005) mukaisiin turvallisuusselvityksiin. Ohjeistusta ja säädöksiä voidaan kehittää kansainvälisesti IMO:ssa.	Virkatyönä MKL:ssa yhteistyössä sataman/ Satamaliiton kanssa.
22	Alusturvallisuuden kehittäminen ja valvonta	Myrskytuuli ja aallokkoisuus	Matkustaja-autolautojen keulaporttien kuormitus	1. Kuormitusmitoituksen sääntöjen tarkistus	

23	Alusturvallisuuden kehittäminen ja valvonta	Avovesi, pakkaneen ja tuuli	Alusten kansirakenteiden jäätäminen pärskeistä avovedessä ajettaessa pakkasella ja tulella. Jäätämistilanteiden lisääntyminen ja mahdolliset lisävaatimukset aluksille.	1. Olemassa kansainväliset säännöt jääkuormien ottamisesta huomioon laivojen vakavuuslaskennassa, näiden mahdollinen tarkentaminen, 2. Tiedotuksen lisääntyminen	
24	Merenmittaus-tietojen hankinta	Kova hellejakso	Merenmittauksen vaikeuttaminen, kalusto ei ole suunniteltu helteitä varten (tietokoneet)	1. Teknisillä ratkaisuilla, jotka tuottajan vastuulla (ei MKL:n vastuulla)	
25	Merenmittaus-tietojen hankinta // Tiedonantopalvelu	Nopea merenpinnan lasku	Väylien syvyyden väheneminen, merenpinnan laskun tiedotus merenkulkijoille tullut tärkeämmäksi	1. Tiedottaminen, asian ottaminen VTS:n tiedotuslistalle, esim. "häiriötiedote"-statuksella, 2. Ennustemallien kehittäminen (olemassa työryhmä, joka selvittää olemassa olevista vedenkorkeuksista ja niiden muutoksista tiedottamista Itämeren piirissä)	1. Ei ole osa perusprosessia tiedottaa veden- korkeustiedon ennusteesta, vaikka se ennustaisi merenpinnan laskua. Asian lisääminen prosessiin virkayötä, 2. Ilmatieteen laitoksen mahdollisuudet paranevat ennusteiden tuottamiseksi, Itämeren piirissä kehitetään yhteistä tapaa viestiä. 2-3 vuoden kuluessa ollaan todennäköisesti paremmassa tilanteessa.
26	Väylänpito	Voimakassateinen jakso	Tietyissä paikoissa virtausnopeudet voivat tulla todella suuriksi (sisävesillä)	1. Tiedottaminen, 2. Pahimpien kohteiden parantaminen, jos alkaa olla suurta merkitystä	1. Normaali prosessi, 2. Rakenteelliset työt (kalliita), joilla virtausnopeudet hallitaan
27	Väylänpito	Vesistötulva	alikulukorkeuksiin rajoituksia (sisävesillä)	1. Tiedotus, Saimaan VTS, 2. Vedenkorkeuksien pysyvyyksien uudelleenarviointi	1. Normaali prosessi, 2. Alikulukorkeuksien saattaminen ajan tasalle
28	Väylänpito	Alhainen vedenkorkeus (meri)	Alusten syväysten rajoitus (lastinottorajoituksia tai odotuksia, erityisesti Perämeren satamissa)	1. Tiedottaminen, 2. Vedenkorkeusennusteet	
29	Väylänpito	Kuivuus ja alhainen vedenkorkeus (sisävesi)	järvien pinnan voimakkaan alenemisen johdosta väylien syvyyksen lasku	Vastaava toimintamalli kuin alhainen vedenkorkeus merellä (poikkeuksena se, että vedenkorkeustieto ja ennusteet tulevat SYKE:stä)	
30	Väylänpito	Voimakas myrskytuuli	Yksittäisiä turvalaitevaurioita	1. Rakenteiden mitoitus, 2. Oikean rakenteen valitseminen, 3. Kohteiden kuntokartoitus (osana prosessia)	1-3. Vähentävät vaurioiden määriä, uudet/ paremmat rakenteet jonkin verran kalliimpia mutta myös huoltovapaampia ja kestävämpiä
31	Alusliikennepalvelut / TurkuRadio / Radionavigaatio -järjestelmät	Kova pakkasjakso	Laitteiston (elektronikkaa) osalta: elektronikaan toimintalämpötila-alueen alittuminen. Koko järjestelmän vioittuminen epätodennäköistä. Laitteet erilaisissa ja eritasoisissa laitteiloissa.	1. Voidaan ottaa huomioon palvelujen tilaussopimuksissa, määrittellä lämpötilarajat, jossa toimittava	1. Vikaantumiset vähenevät (melko pienet kustannukset, muutama tuhat euroa)

32	Alusturvallisuuden kehittäminen ja valvonta	Meritulva, vesistötulva	Säkkeihin pakattu aineet voivat alkaa liueta ja aiheuttaa edelleen vaaraa lastinkuljetusyksiköissään tai varastointihallissaan	1. Puututaan ja ohjeistetaan satamien asetuksen (251/2005) mukaisiin turvallisuusselvityksiin	1. Virkityönä MKL:ssa yhteistyössä sataman/ Satamaliiton kanssa.
33	Alusturvallisuuden kehittäminen ja valvonta	Meritulva, vesistötulva	Veden kanavoituminen vaarallisten aineiden tilapäisen säilytyksen kentälle ja edelleen lastinkuljetusyksiköihin, esim. allastuksen kautta, riskinä esim. vaarallisten aineiden kuljetusluokka 4.3 (Aineet, jotka veden kanssa kosketukseen joutuessaan kehittävät palavia kaasuja)	1. Puututaan ja ohjeistetaan satamien asetuksen (251/2005) mukaisiin turvallisuusselvityksiin. Ohjeistusta ja säädöksiä voidaan kehittää kansainvälisesti IMO:ssa.	1. Virkityönä MKL:ssa yhteistyössä sataman/ Satamaliiton kanssa.
34	Talvimerenkulku	Kova pakkasjakso	Painolastitankit, joissa ei lämmitystä, saattavat osaksi jäätä ja aiheuttaa pullistumia tankin kyljissä. Ankkurivintturi voi jäätä, joka hidastaa hinauskaapelin käsittelyä.	1. Tiedotus (kapteenin check list -olemassa), pieni asia ja yleensä yksittäistapauksia	
35	Talvimerenkulku	Äkillinen säätyyppin muutos ja kova pakkasjakso	Murtajakapasiteetin (off-shore) kutsuminen myöhästyy	1. Perusasioiden määrittäminen sopimuksissa (valmiusajat vs. hinta), 2. Operointi, 3. Yhteistyötä ruotsin kanssa tiivistetään	
36	Väylänpito	Voimakassateinen jakso	Tulvajuoksutukset kanavien kautta	1. Huomioitava palvelusopimuksissa	1. Ympäristöhallinto maksaa juoksutusten kustannukset
37	Väylänpito	Kova pakkasjakso	Väylänhoito vaikeutuu olosuhteiden takia	1. Sopimuksessa määriteltävä väylänhoidon toimintarajat	
38	Väylänpito	Kova pakkasjakso	Turvalaitteiden akkujen suorituskyky heikkenee	1. Kyseessä akkujen mitoituskysymys	
39	Alusliikennepalvelut	Useat tekijät	Yleinen palveluiden kysyntä voi lisääntyä		

5. Sopeutumistoimien tunnistaminen ja arviointi

5.1 Sopeutumistoimien tunnistaminen merkittävimmille muutoksille ja riskeille

Hankkeen kolmannessa työvaiheessa (kuva 1, tehtävä f) tunnistettiin merkittävimpiä riskejä ja vaikutuksia vastaan mahdollisimman hyvät (so. kustannustehokkaat) sopeutumistoimenpiteet hyödyntäen merenkululaitoksen omaa asiantuntemusta. Pitkän aikavälin sopeutumistoimien arvioinnissa otettiin huomioon toimenpiteiden joustavuus ja soveltuvuus myös lyhyemmällä aikavälillä tapahtuviin muutoksiin, jotka tietyissä tapauksissa voivat poiketa pitkän aikavälin riskikuvasta.

Sopeutumistarpeet riippuvat mm. ilmastollisten muutostekijöiden nopeudesta ja konkreettisen aiheuttajan luonteesta. Myös muutostekijöiden toistuvuuteen liittyy epävarmuuksia, mikä on otettava huomioon optimaalisia kokonaisratkaisuja haettaessa. Suurin tieteellinen konsensus ilmastomuutoksen tulevista vaikutuksista vallitsee keskilämpötilojen ja keskimääräisen sademäärän kasvusta eri päästöskenaarioissa. Tarkasteltaessa näiden hitaiden, keskimääräisten muutostekijöiden vaikutusta Merenkululaitoksen toimintaan, voidaan todeta, että niiden osuus tunnistetuista riskeistä on määrällisesti verrattain pieni, noin neljännes. Vastaavasti merkittävä osuus, yli kolme neljäsosaa, tunnistetuista riskeistä liittyy sään ääri-ilmiöihin, esim. myrskytuuleen ja aallokkoisuuteen. Merkittävät ilmastoriskit ja niihin tunnistetut sopeutumistoimet on listattu toiminta-alueittain liitteessä 5.

5.2 Sopeutumistoimien analyysi ja arviointi keskeisille riskeille

Hankkeessa tunnistetut sopeutumistoimet tarjoavat Merenkululaitokselle konkreettisia vaihtoehtoja keskeisten ilmastoriskien hallintaan. Riippuen toiminta-alueesta ja riskikuvasta hankkeessa tunnistetut kustannustehokkaat sopeutumistoimet edellyttävät mm. i) muutoksia suunnittelu- ja hankintakäytäntöihin, siten että ilmastomuutoksen vaikutukset on ennakoivasti huomioitu mm. työsuunnittelussa ja kalustovaatimuksissa, ii) teknisten laitteiden, turvalaitteiden tuotekehitystyötä, iii) tiedotustoiminnan jatkuvaa turvaamista ja terävöittämistä sekä iv) jatkuvaa tuote- ja markkinavalvontaa sekä osallistumista IMO:ssa tapahtuvaan sääntökehitykseen.

Suuri osa merkittävimmistä ilmastoriskeistä kohdistuu väylänpitoon, jossa kalustovaatimusten kiristäminen (äärevämpiä olosuhteita kestävä laitteisto/kalusto) ja turvalaitteiden (näkyvyys, kestävyys, huoltovarmuus) kehittäminen edelleen muodostavat keskeiset kustannustehokkaat sopeutumistoimet. Ennakoiva työsuunnittelu ja työn tarkempi ajoittaminen (ottaen huomioon esim. kelirikon pitenemisen, tuulisuuden muutokset, jääpeitteen muutokset) voi myös tehokkaasti vähentää ilmastomuutoksesta aiheutuvia vahinkoja ja/tai kustannuksia väylänpidossa. Sateisuuden ja kuivuuden muutokset voivat myös edellyttää toimenpiteiden muutoksia sisävesiväylien väylänpitoon (mm. virtausennusteiden tarkentaminen, vedenkorkeuksien pysyvyyksien uudelleenarviointi, väylien kohennukset, juoksutusten muutokset). Kustannuksiltaan tunnistetut sopeutumistoimet ovat pääosin kokoluokassa 10 000 – 100 000 euroa. Monet sopeutumiskeinot ovat jo osa nykyisiä toimintaprosesseja.

Merikartoituksen osalta ilmastomuutos voi merkitä merenmittaustietojen hankinnan kustannusten merkittävää nousua tehokkaiden mittauspäivien vähentyessä, mittaustiedon laadun varmistamisen vaatiessa laitekehitystä (tuulisuuden, aallokkoisuuden ja/tai veden pintalämpötilan nousun takia) ja/tai uusien alueiden vaatiessa mittaamista jäänmurtotoimintaa varten (katso alla, talvimerenkulku). Muutoksiin sopeutuminen tulee edellyttämään mm. jatkuvaa laitekehitystä, työsuunnittelun ja hankintamenettelyjen tarkentamista (mm. sääriskin jakamiseksi tilaajan ja toimittajan välillä). Mikäli lämpötilan muutos sekä tuulusuolosuhteiden muutos vaikuttaa merkittävästi merenmittaustietojen laatuun, saattaa merenmittaustietojen laadun varmistamisen lisäkustannus tulevaisuudessa nousta useisiin satoihin tuhansiin euroihin, mahdollisesti kokoluokkaan > 0,5 milj. euroa.

Koskien talvimerenkulkua, myrskytuulien mahdollinen lisääntyminen muodostaa keskeisen riskitekijän tulevaisuuden talvimerenkululle. Näin olleen tulevaisuuden leudommat jäätalvet eivät välttämättä merkitse merenkulullisesti helpompia olosuhteita ainakaan lähitulevaisuudessa, koska tuulisuuden myötä merijäät liikkuvat ja ahtautuvat entistä enemmän. Talvimerenkulun turvaaminen edellyttää jatkossa murtajakapasiteetin sijoittamisen entistä tarkempaa optimointia ja entistäkin tiiviimpää yhteistyötä Itämeren naapurivaltioiden

(erityisesti Ruotsin) kanssa, hyödyntäen mm. pidemmän aikavälin sääennusteita. Ennakoiva vaihtoehtojen väylien tunnistaminen jäävalliin turvallisesti kiertämiseksi voi myös tarjota erään sopeutumiskeinon joustavan talvimerenkulun turvaamiseksi lähivuosikymmeninä.

Meriliikenteen ohjauksessa turva- ja kommunikaatiolaitteiden edelleen kehittäminen (äärevämpiä olosuhteita kestävä elektroninen laitteisto/kalusto, huoltovarmuus, sijoittelu) sekä tiedottamisen varmistaminen erilaisissa ääriolosuhteissa (esim. myrskytuuli, jääkentän siirtyminen, merenpinnan nopea lasku), muodostavat keskeiset sopeutumistoimet. Sopeutumistoimet voivat edellyttää mm. korvaavien anturijärjestelmien hyödyntämistä, tuulikuormitusmitoitusten kiristämistä, mahdollisten tulvakohteiden kartoittamista ja parempaa suojaamista. Pääosa kyseisistä toimenpiteistä on mahdollista integroida jo nykyisiin prosesseihin maltillisin lisäkustannuksin ja panostuksin.

Meriturvallisuuden toiminta-alueella sopeutumistoimet kattavat erityisesti tuote- ja markkinavalvontaan sekä tiedotus- ja valistustyöhön liittyviä toimenpiteitä sekä IMO:ssa tapahtuvaan kasvainväliseen sääntökehitykseen vaikuttamista. Ilmastonmuutoksen vaikutusten huomioiminen kustannustehokkaalla tavalla Itämerellä saattaa edellyttää esim. erivapauksien turvaamista jäissä kulkeville aluksille (konetehtojen osalta). Mahdolliset ilmastopolitiikan myötä toimeenpantavat konetehorajoitukset voivat haitata tulevaisuudessa kauppamerenkulun kaluston selviämistä jääolosuhteissa, jolloin jäänmurtaajien tuottamien avustuspalveluiden tarve voi itse asiassa kasvaa merkittävästi kylmempinä talvina. Tulevaisuudessa ilmastonmuutoksen myötä mahdollisesti lisääntyvä, niin kotimainen kuin kansainvälinen liikenne Suomen vesillä (veneilykauden pidetessä, lämpötilan noustessa), lisännee sekä tuotevalvonnan että tiedotustyön merkitystä.

Meriturvallisuuden sopeutumiskeinon puitteissa on myös syytä nostaa esiin MKL:n saumattoman yhteistyön merkitys satamien kanssa. MKL:lla ei ole suoraa vastuuta satamien riskienhallinnasta ja toiminnan sujuvuudesta, mutta merenkulun yleisviranomaisena ja yleisen merenkulun sujuvuuden vastuullisena tahona MKL on avainasemassa ilmastonmuutokseen liittyvässä tiedonkulussa. Ilmastoriskit voivat liittyä niin merenpinnan nopeisiin muutoksiin mutta myös kuljetettavaan tavaraan liittyviin riskeihin, joihin MKL:lla on mahdollisuus tuoda osaamistaan esim. satamien turvallisuusselvitysten valvonnan kautta.

On syytä painottaa, että selkeän, viimeisimpiin säätietoihin ja/tai ennusteisiin perustuvan tiedon välittäminen merenkulun toimijoille, nousi esiin lähes kaikkien sopeutumistoimien onnistumisen keskeisenä edellytyksenä. Tämä arvioinnin perusteella viestinnän prosessit ovat olemassa ja niitä pidetään MKL:ssa yleisesti toimivina. Ilmastonmuutoksen myötä viestintäprosesseille tulee hyvin todennäköisesti lisäkuormitusta ja tämän järjestelmän resursseista ja välityskapasiteetista on systemaattisesti pidettävä huolta.

6. Johtopäätökset

Tulevina vuosina ja vuosikymmeninä ilmastonmuutos tulee olemaan merkittävä muutostekijä, johon yhteiskuntamme on sopeuduttava. Viimeisimmät kansalliset ja kansainväliset tutkimustulokset vahvistavat näkemyksen siitä, että riippumatta siitä, kuinka ripeästi kasvihuonekaasujen päästöjä saadaan vähennettyä, sopeutumista ilmastonmuutoksen vaikutuksiin tullaan tarvitsemaan kaikilla yhteiskuntamme sektoreilla ja tasoilla.

Merenkulkulaitos (MKL) vastaa kauppamerenkulun ja muun vesiliikenteen perustoimintaedellytysten ylläpitämisestä ja kehittämisestä. Ilmastonmuutos tulee merkittävästi muokkaamaan merenkulun toimintaympäristöä ja edellyttämään systemaattisia sopeutumistoimia, joiden avulla voidaan varmistaa Itämeren merenkulun turvallisuus, ympäristöystävällisyys ja tehokkuus myös tulevaisuudessa.

Riippuen kasvihuonekaasujen päästökehityksestä, Itämeren alueella keskilämpötila saattaa nousta 3-6°C astetta ja sademäärien vuosikeskiarvo noin 10-20 % vuosisadan loppuun mennessä. Lämpötilan nousu tulee näkymään mm. meriveden lämpötilan nousuna, merenpinnan korkeuden nousuna sekä muutoksena jääpeitteen laajuudessa, paksuudessa ja jääpäivien määrässä. Ilmastonmuutoksen kiihtyminen tulee näkymään myös mm. rankkasateiden ja kuivien kausien muutoksissa, ns. äärevien sääilmiöiden yleistymisessä, jotka voivat merkittävästi vaikuttaa merenkulkuun. Erät näistä muutostekijöistä saattavat helpottaa merenkulkua tulevaisuudessa, kun taas toiset muutostekijät saattavat vaarantaa tai jopa estää turvallisen merenkulun. Useisiin näistä muutoksista liittyy edelleen merkittäviä

epävarmuustekijöitä, jotka on kyettävä ottamaan huomioon tunnistettaessa optimaalisia sopeutusratkaisuja..

Kyetäkseen varautumaan mahdollisimman kustannustehokkaasti ilmastonmuutoksen synnyttämiin riskeihin 2000-luvulla MKL on teettänyt tämän tarkastelun ilmastonmuutoksen riskeistä ja vaihtoehtoisista sopeutumistoimista merenkulun näkökulmasta. Tarkastelun aikajänteeksi valittiin pitkä aikaväli (2000-luvun loppupuolisko), joka antaa mahdollisuuden tunnistaa keskeiset muutostekijät, jotka merenkulun viranomaistehtävistä vastaavan organisaation on otettava huomioon kaikissa pitemmän aikavälin päätöksissään. Tämän lisäksi analyysia täydennettiin lähivuosisikymmenien tarkastelulla, joka tukee välittömien sopeutumistoimenpiteiden valintaa aikajänteellä 2010–2030 ja voi vähentää haavoittuvuutta ilmaston ns. luontaiselle vaihtelulle ja ääreville sääilmiöille lyhyellä aikavälillä.

Hankkeessa on systemaattisesti ja läpinäkyvästi arvioitu ilmastonmuutoksen mahdollisia vaikutuksia Merenkululaitoksen eri toiminta-alueisiin, eli Merikartoitukseen, Meriliikenteen ohjaukseen, Meriturvallisuuteen, Talvimerenkulkuun, Väylänpitoon sekä Sisäiseen tuotantoon. Työn aikana on arvioitu kunkin toiminta-alueen tehtävien toteuttamisen kannalta keskeisten prosessien ja teknisten järjestelmien haavoittuvuus ilmatoriskeille sekä tunnistettu vaihtoehtoisia sopeutumiskeinoja keskeisille riskeille.

Arvioinnissa voitiin tunnistaa Merenkululaitoksen kuhunkin toiminta-alueeseen kohdistuvia ilmatoriskejä (yhteensä tunnistettiin yli 40 ilmatoriskia, katso taulukko 4). Suurin osa merkittävimmistä riskeistä kohdistuu väylänpitoon, merikartoitukseen (erityisesti merenmittaustietojen hankintaan) sekä meriliikenteen ohjaukseen (erityisesti alusliikennepalveluihin). Talvimerenkulussa mm. jääkenttien siirtyminen ja jäävallien todennäköinen syntyminen entistä useammin leudompina talvina nousee myös esiin eräänä lähitulevaisuuden riskinä. Hankkeessa tunnistettiin myös useita ilmastonmuutoksen potentiaalisia vaikutuksia meriturvallisuuden toiminta-alueeseen, erityisesti alusturvallisuuden kehittämiseen ja valvontaan. Vaikkei mitään näistä alusturvallisuuden kohdistuvista riskeistä arvioitu 10 kaikkein merkittävimmän ilmatoriskin joukkoon, on myös näiden riskien huomioiminen välttämätöntä merenkulun turvallisuuden varmistamiseksi myös jatkossa.

Tarkasteltaessa ilmatoriskien aiheuttajia, ns. sään ääri-ilmiöt nousevat esiin kaikkein merkittävimpien riskien takana. Myrskytuulet, korkea aallokko, rankkasateet, lumipyryt ja meriveden pinnan nopeat muutokset voivat aiheuttaa merkittäviä häiriötä MKL:n prosesseihin ja teknisiin järjestelmiin. Vaikka ilmastotutkimus ei kaikkien näiden parametrien osalta pysty antamaan selkeitä vastauksia toistuvuuden muutoksista ja häiriötapahdumien todennäköisyyksistä 2000-luvulla, on MKL:n syytä edelleen kehittää sopeutumiskykyään sään ääri-ilmiöiden aiheuttamiin riskeihin.

MKL:n kokemukset jo koetut ääri-ilmiöt ja niihin varautumisesta luovat hyvää vertailupohjaa jatkossa tarvittaville sopeutumistoimille. Vaikka asteittaiset muutokset keskilämpötilassa ja sademäärien vuosikeskiarvossa eivät tämän arvion mukaan välittömästi muodosta merkittäviä riskejä merenkulkuun, tulee myös lämpötilan nousu (mm. entistä lämpimimpien hellejaksojen kautta) ja sademäärän muutos (kuivuuden ja tulvien muutosten kautta) edellyttämään muutoksia niin MKL:n teknisiin järjestelmiin kuin prosesseihin. Lisäksi on selvää, että yleinen ilmastopoliittika tulee vaikuttamaan myös merenkulkuun ja MKL:n toimintaan. Ilmastopoliittika ja muut yhteiskunnalliset muutokset oli rajattu tämän selvityksen ulkopuolelle, mutta selvää on, että näillä tulee olemaan vaikutusta myös MKL:n toimintaan. Konkreettinen riskiesimerkki on tulevaisuudessa mahdollinen tilanne, jossa ilmastopoliittisista syistä alennetut kauppamerenkulun alusten koneiden maksimitehot voivat johtaa siihen, että runsaana jäätalvena avustettavia aluksia on enemmän kuin aikaisemmin ja näillä on suurempia ongelmia selvitä jäissä.

Hankkeessa tunnistetut sopeutumistoimet tarjoavat Merenkululaitokselle konkreettisia vaihtoehtoja keskeisten ilmatoriskien hallintaan. Riippuen toiminta-alueesta ja riskikuvasta, hankkeessa tunnistetut kustannustehokkaat sopeutumistoimet edellyttävät mm. i) muutoksia suunnittelu- ja hankintakäytäntöihin, siten että ilmastonmuutoksen vaikutukset on ennakoivasti huomioitu mm. työsuunnittelussa ja kalustovaatimuksissa, ii) teknisten laitteiden, turvalaitteiden tuotekehitystyötä, iii) tiedotustoiminnan jatkuvaa turvaamista ja terävöittämistä sekä iv) jatkuvaa tuote- ja markkinavalvontaa sekä osallistumista IMO:ssa tapahtuvaan sääntökehitykseen. Esim. pidemmän aikavälin sääennusteita hyödyntämällä ja kansainvälistä yhteistyötä tiivistämällä Itämerelle voidaan edelleen parantaa murtajakaluston sijoittamista ja turvata talvimerenkulun turvallisuutta ja sujuvuutta. Ympäri vuorokautinen vedenpinnan

korkeuden muutosten seuranta ja siitä tiedottaminen voi auttaa mm. nopeasta merenpinnan laskusta aiheutuvien riskien systemaattisessa vähentämisessä tulevaisuudessa.

Merenkulkulaitoksen ilmastoriskien hallinnan kannalta on tärkeää huomata, että lähes kaikki keskeiset sopeutumistoimet ovat Merenkulkulaitoksen "omissa käsissä", eli toteutettavissa itse ja/tai jo olemassa olevan toimintaverkoston kautta. Suurin osa toimista on toteutettavissa alhaisin (< 10 000 €) tai maltillisin (< 100 000 €) kustannuksin ja monet toimet ovat jo käynnissä osana Merenkulkulaitoksen normaaleja prosesseja. Arviointi antaa myös pohjan arvioida eräiden korkeampien kustannusten sopeutumistoimia (>100 000 €.) niiden tarkentamista ja ajoittamista. Hyvin suunnitellut sopeutumistoimet, riskin hallinnan ja kustannustehokkuuden lisäksi, voivat myös vähentää kasvihuonekaasupäästöjä ja tätä kautta tarvetta sopeutua entistä voimakkaampaan ilmastomuutokseen.

Ilmastomuutoksen riskit eivät tule Merenkulkulaitokselle yllätyksenä. Tämän hankkeen välittömänä lisäarvona on ollut tuoda viimeisimmän ilmastotutkimuksen tulokset konkreettisella tasolla MKL:n tarkasteltavaksi ja luoda siten pohjaa pitkäjänteiselle ja kokonaisvaltaiselle ilmastoriskien hallinnalle. Hyödyntämällä hankkeessa käytettyä lähestymistapaa ja menetelmää, Merenkulkulaitos voi jatkossa, uusimmat tutkimustulokset huomioiden tuottaa nopeasti ja käytännönläheisesti uutta tietoa päätöksentekonsa pohjaksi.

Ilmastoriskit muodostavat tulevaisuudessa erään keskeisen muutostekijän johon Merenkulkulaitoksen on kyettävä ennakoivasti varautumaan ja kustannustehokkaasti sopeutumaan. Tämä tulee edellyttämään ilmastomuutos-osaamisen jatkuvaa kehittämistä ja syventämistä kaikille Merenkulkulaitoksen toiminta-alueille mutta samanaikaisesti luomaan edellytyksiä vastata menestyksekkäästi MKL:n muihin avainhaasteisiin.

Lähteet:

Aaltonen ym. (2008). Rankkasateet ja taajamatulvat (RATU) Suomen Ympäristö, SYKEN julkaisusarja. SY31/2008.
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=304648&lan=fi&clan=fi>

ACCLIM-hankkeet (2006-2009) Sään ääri-ilmiöt nykyilmastossa ja uusimpiin mallikokeisiin perustuvat arviot ilmastomuutoksesta sopeutumistutkimuksia varten. Hankkeen kotisivut:
http://www.ilmatieteenlaitos.fi/organisaatio/yhteys_92.html

BACC (2008) (BALTEX Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin)
<http://www.baltex-research.eu/BACC/>

Broman, B. Hammarklint, T. Rannat, K. Soomere, T. Valdmann, A. (2006) Trends and extremes of wave fields in the north-eastern part of the Baltic Proper. *Oceanologia* vol X, 165–184.

FINADAPT, Suomalaisen ympäristön ja yhteiskunnan kyky sopeutua ilmastomuutokseen (2004) <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=293878&lan=FI>

Gregow, H. ja muut (2008) *Vaaraa aiheuttavista sääilmiöistä Suomen muuttuvassa ilmastossa*. Ilmatieteen laitos, raportteja. No. 2008:3 551.582 (480).

Gregow, H., Venäläinen, A., Peltola, H., Kellomäki, S. & Schultz, D., 2008. Temporal and spatial occurrence of strong winds and large snow load amounts in Finland during 1961-2000. *Silva Fennica* 42(4), p. 515-534.

Haapala, J., Meier, H. E. M. and Rinne, J. 2001. Numerical investigations of future ice conditions in the Baltic Sea. *Ambio* 30, 237-244

Halonen, M. Nikula, J. Vehviläinen, I. Raivio, T. & Hjelt M. (2007) *Ilmasto-KIHA, Menetelmäkehitys ilmastoriskien arviointiin ja sopeutumistoimien priorisointiin*. Loppuraportti.

Hare, W. L. (2009) *A Safe Landing for the Climate in State of the World 2009. Into a Warming World*. The Worldwatch Institute.

ISTO (Ilmastomuutoksen sopeutumistutkimusohjelma), Maa- ja metsätalousministeriö (MMM) <http://www.mmm.fi/fi/index/etusivu/ymparisto/ilmastopolitiikka/sopeutumistutkimusohjelma.html>

IPCC, Hallitustenvälinen ilmastopaneeli (2007) Ilmastomuutos vuonna 2007. Luonnontieteellinen perusta, yhteenveto päätöksentekijöille. Suomenkielisen tekstin on laatinut tutkija Kimmo Ruosteenoja (Ilmatieteen laitos, www.fmi.fi).

Itämeriportaali (2009) Ilmaston muutos muuttaa Itämerta.
http://www.fimr.fi/fi/tietoa/ilmastonmuutos/fi_FI/muutos/

Itämeriportaali (2008) Jäätalvi 2007/2008. http://www.fimr.fi/fi/tietoa/jaa/jaatalvi/fi_FI/2008/

Itämeriportaali (2008) Merkitsevä aallonkorkeus.
http://www.fimr.fi/fi/tietoa/veden_liikkeet/fi_FI/merkitseva-aallonkorkeus/

Meier, M. Döscher, R. Halkka, A. (2004) Simulated Distributions of Baltic Sea-ice in Warming Climate and Consequences for the Winter Habitat of the Baltic Ringed Seal.. *Ambio* 33

Nikula, J. Halonen, M. & Lehti, R. (2008) *Porvoon kaupungin vesijärjestelmien ilmastomuutoksen riskien ja sopeutumistoimien arviointi*. Loppuraportti. Gaia Consulting Oy (www.gaia.fi).

Veijalainen, N. Dubrovin, T. Vehviläinen, B. Marttunen, M. (2008 alustava raportti) WaterAdapt: Suomen vesivarat ja ilmastomuutos – vaikutukset ja muutoksiin sopeutuminen. Suomen Ympäristökeskus, Hydrologian yksikkö ja Vesivarat yksikkö.

Venäläinen, A. ja muut (2008) Sääilmiöiden vaihtelevuudesta muuttuvassa ilmastossa, esitys ACCLIM-ilmastoseminaarissa 10.10.2008.

Merenkululaitos. Toiminta- ja taloussuunnitelma 2010-2013.

Räisänen J. (2009) Ilmastonmuutoksen ääriskenaariot Suomen ilmaston kannalta, Helsingin Yliopiston fysiikan laitos 26.1.2009. Esitys Valtioneuvoston kanslian tilaisuudessa.

LIITE 1 Hankkeen työpajat sekä hankkeeseen osallistuneet asiantuntijat.

Hanke toteutettiin Syyskuu 2880-maaliskuu 2009 välisenä aikana. Hankkeen aloitus sekä loppupalaverien lisäksi hankkeessa järjestettiin kolme työpajaa, (6.11.2009, 21.1.2009 sekä 4.2.2009) jotka muodostavat Ilmasto-KIHA menetelmän soveltamisen, ryhmätyöpohjaiseen riskinarvioinnin ytimen.

Työpajat valmisteltiin konsultin toimesta siten että Merenkululaitoksen edustajille toimitettiin etukäteismateriaalia, joka työpajassa käsiteltiin ja kokouksen jälkeen toimitettiin osallistujille kommentoitavaksi ja tarkastettavaksi. Työpajojen teemat olivat

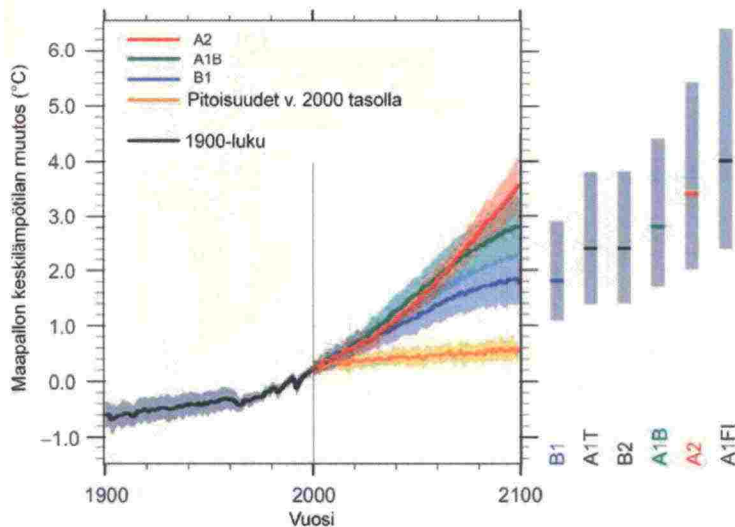
- Työpaja I, 6.11.2008:
 - Merenkululaitoksen toiminta-alueiden tehtävien määrittely ja järjestelmien kuvaus
- Työpaja II, 21.1.2009:
 - Ilmastonmuutoksen riskien tunnistaminen ja riskien arviointi kullekin toiminta-alueelle
- Työpaja III, 4.2.2009
 - Sopeutumistoimien tunnistaminen keskeisille ilmastoriskeille, sopeutumistoimien alustava arviointi

Työpajat toimivat hankkeen kolmen keskeisen vaiheen tärkeänä työkaluna, jonka avulla kunkin työvaiheen tuloksia täydennettiin ja validioitiin. Työajoihin osallistuivat Merenkululaitoksen eri toimi-aloilta seuraavat edustajat:

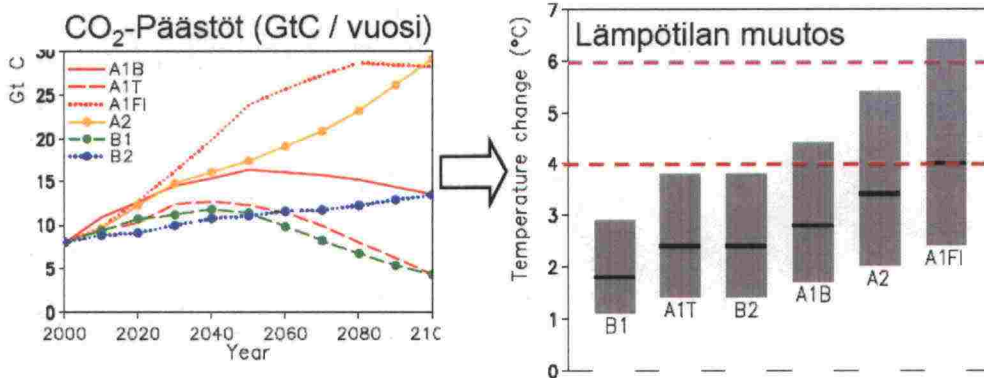
- Olli Holm, Väylänpito
- Jukka Varonen, Merikarttoitus
- Jorma Kämäräinen, Meriturvallisuus
- Markus Helavuo, Meriturvallisuus
- Åke Tötterström, Talvimerenkulku
- Kaisu Heikonen, Meriliikenteen ohjaus

LIITE 1 Hallitustenvälinen ilmastomuutospaneeli (IPCC) ilmastomuutoksesta ⁴¹

Pintalämpötilan muutos: paras arvio ja mallitulosten hajonta



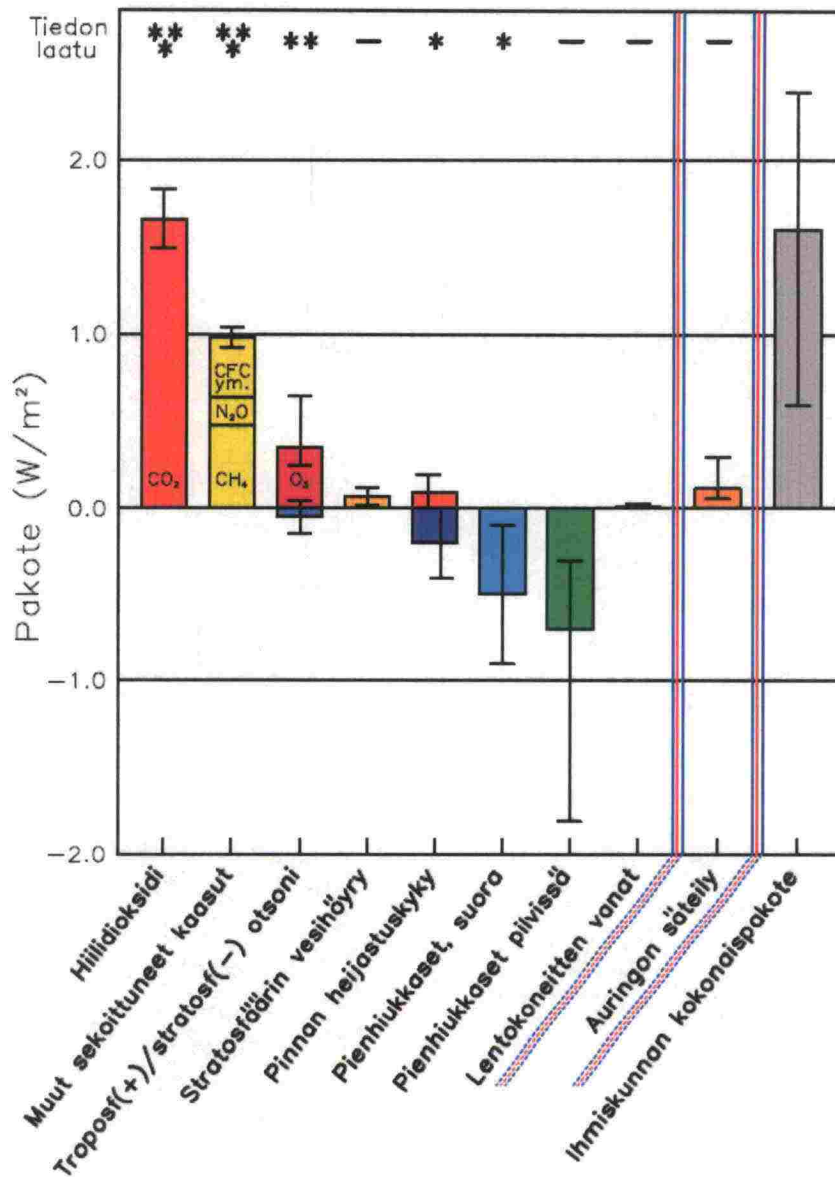
Kuva yllä. Malleilla simuloitu maapallon keskilämpötilan tähänastinen muutos (1900–2000; musta käyrä) ja ennustettuja muutoksia vuosille 2000–2100; usean ilmastomuutosmallin tulosten keskiarvoja. Ennusteet on esitetty erikseen A2- (punainen käyrä), A1B- (vihreä) ja B1- skenaariolle (sininen); oranssi käyrä kuvaa ennustettua lämpötilan muutosta tilanteessa, jossa kaasujen ja hiukkasten pitoisuudet on pidetty v. 2000 vallinneella tasolla. Eri skenaariot poikkeavat toisistaan mm. väestönkasvun, tekniikan kehityksen ja ympäristönsuojeluun panostamisen suhteen. Kaikki lämpötila-arvot on ilmaistu muutoksina suhteessa jakson 1980–1999 keskiarvoon. Epävarmuusasteen mittana kunkin käyrän ympärillä on merkitty varjostuksella \pm yhden keskihajonnan levyinen alue. Kuvan oikeassa reunassa olevat harmaat pylväät kertovat parhaan arvion ja epävarmuusvälin ennustetulle lämpenemiselle v. 2100, erikseen kuudelle SRES-skenaariolle. Pylväitten esittämiä arvioita laadittaessa on käytetty kolmiulotteisten kytkettyjen mallien lisäksi myös muuta tietoa, kuten yksinkertaisempien ilmastomallien tuloksia.



Kuva yllä. IPCC:n (2007) arvio maapallon keskilämpötilan muutoksesta 2090-luvulle mennessä. Suurimpien päästöjen skenaarion (A1FI) toteutuessa n. 50% mahdollisuus, että maapallo lämpenee vähintään 4°C ja pieni mahdollisuus, että maapallo lämpenee jopa yli 6°C . Vuoteen 2050 mennessä lämpenemisestä (1900-luvun loppuvuosikymmeniin verrattuna) saattaisi olla toteutunut vajaa puolet. Maapallon lämmitessä $X^{\circ}\text{C}$ Suomessa lämpenee talvella $2X^{\circ}\text{C}$, kesällä $X^{\circ}\text{C}$ ja vuoden aikana keskimäärin $1.5X^{\circ}\text{C}$.⁴²

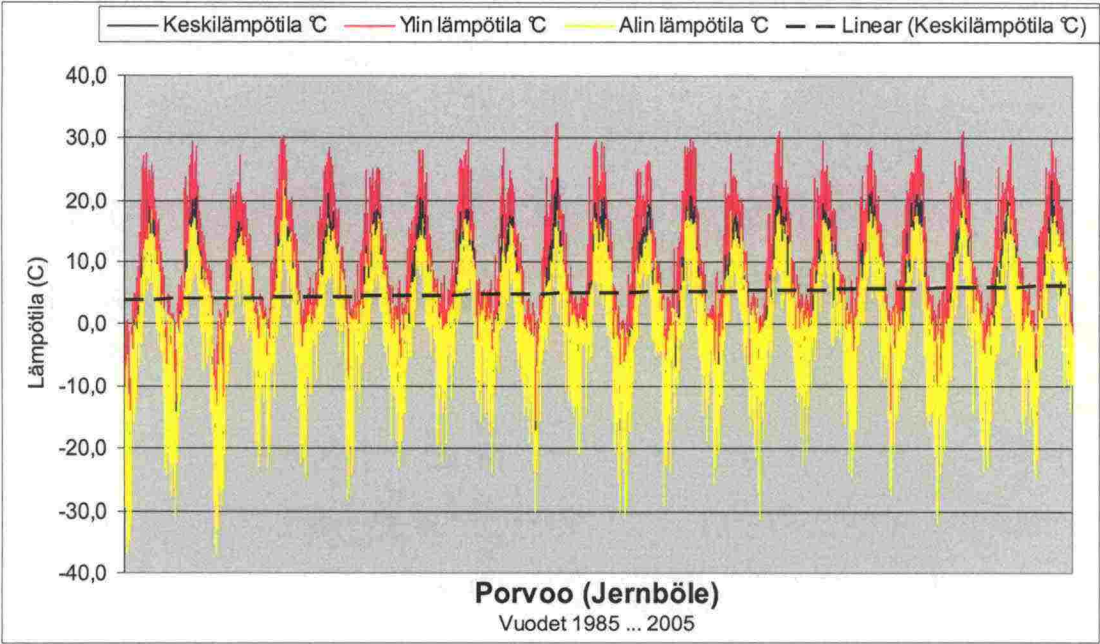
⁴¹ Hallitustenvälinen ilmastomuutospaneeli (IPCC, 2007) Luonnontieteellinen perusta, yhteenveto päätöksentekijöille. Suomenkielisen tekstin on laatinut tutkija Kimmo Ruosteenoja (Ilmatieteen laitos).

⁴² Jos X on hyvin suuri, $2X^{\circ}\text{C}$ voi olla talvella lievä yliarvio, koska lumen ja jään vähenemiseen liittyvä palauteilmiö heikentyy ilmaston lämmitessä. Ilmastomuutoksen ääriskenaariot Suomen ilmaston kannalta, Jouni Räisänen Helsingin Yliopiston fysiikan laitos 26.1.2009 (esitys Valtioneuvoston kanslian tilaisuudessa).

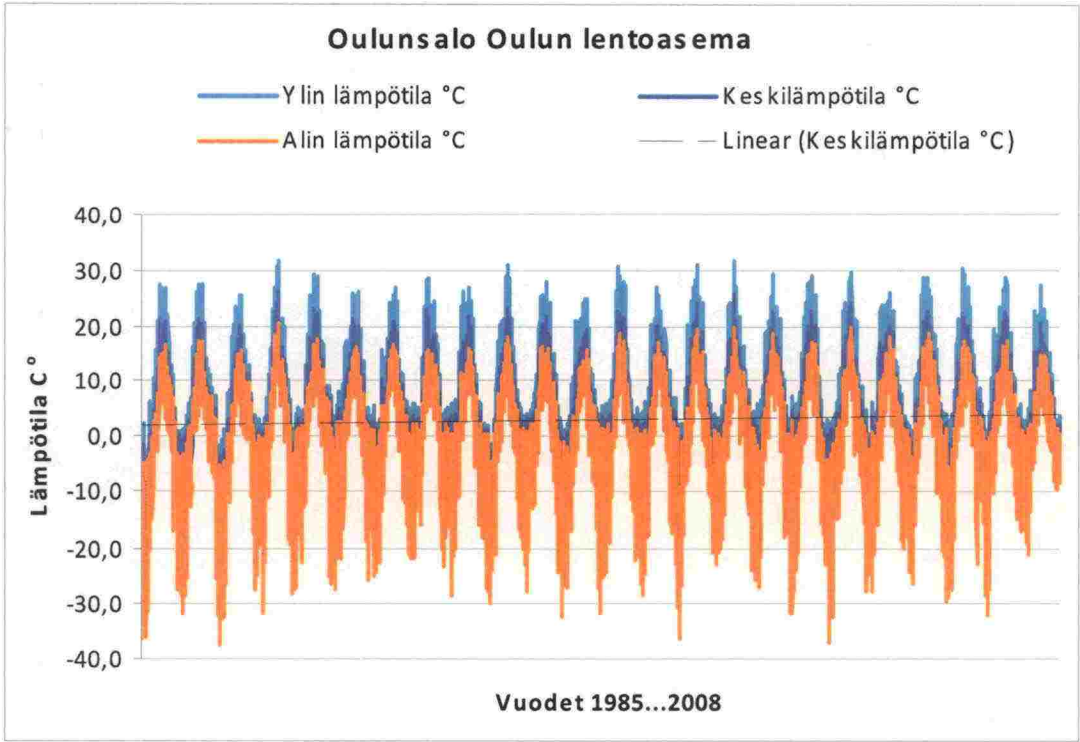


Kuva yllä. Säteilypakotetta aiheuttavat tekijät (pylväät vasemmalta oikealle): (1) hiilidioksidin lisääntyminen, (2) muitten hyvin sekoittuneitten kasvihuonekaasujen (metaani, typpioksiduuli, halogenisoidut hiilivedyt ym.) lisääntyminen, (3) otsonin lisääntyminen troposfäärissä (lämmittävä) ja vähentyminen stratosfäärissä (jäähdyttävä), (4) metaanin hajotessa muodostunut stratosfäärin vesihöyry, (5) maan pinnan heijastuskyvyn muutokset (vaikutuksia molempiin suuntiin), (6) pienhiukkasten (aerosolihiukkasten) suora vaikutus, (7) pienhiukkasten epäsuora vaikutus (toimiminen pilvipisarointien tiivistymisytiminä), (8) lentokoneitten tiivistymisvanot ja (9) auringonsäteilyn muutokset. Pylvään korkeus kertoo parhaan arvion säteilypakotteen suuruudelle, kunkin pylvään päässä oleva jana tämän arvion epävarmuusvälin. Kuvan yläreunassa on kerrottu tähtien lukumäärän avulla arvion tieteellinen hyvyys: kolme tähteä – ilmiö tunnetaan hyvin, ..., ei tähtiä tunnetaan varsin huonosti. Säteilypakotteet on saatu vertaamalla v. 2005 tilannetta oloihin ennen teollista vallankumousta v. 1750. Viimeinen pylväs kuvaa ihmiskunnan aiheuttamien muutosten (pylväät 1–8) yhteisvaikutusta; tätä yhteisvaikutusta ei saada suoraviivaisesti eri pakotetekijöitä yhteenlaskemalla, sillä laskennassa on otettava huomioon eräiden pakotteiden epävarmuusvälien epäsymmetrisyys. Kuvasta on jätetty pois joitakin kovin huonosti tunnettuja pakotetekijöitä. Esimerkiksi tulivuorenpurkausten aiheuttama pakote vaihtelee ajan suhteen hyvin voimakkaasti. Lentokoneitten tiivistymisjuoviin liittyvä pakote ei sisällä lentoliikenteen mahdollista vaikutusta pilvisyyteen.

LIITE 2 Lämpötilan ja sateisuuden muutosten kuukausi- ja todennäköisyysjakautia.

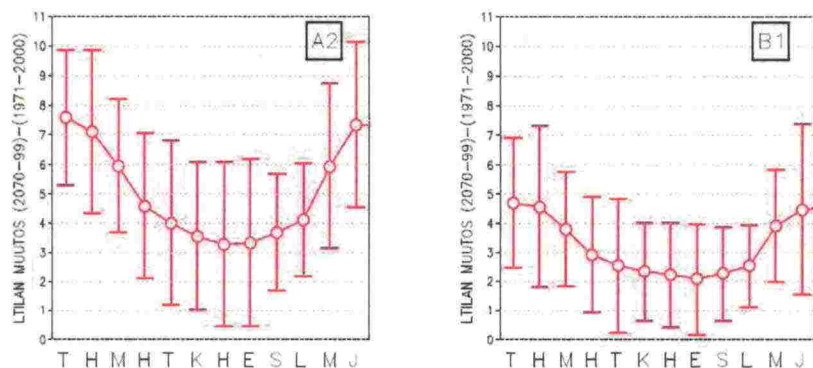


Kuva yllä. Lämpötilan havainnoitu kehitys 1985–2005 Porvoossa. Lähde Ilmatieteen laitos.

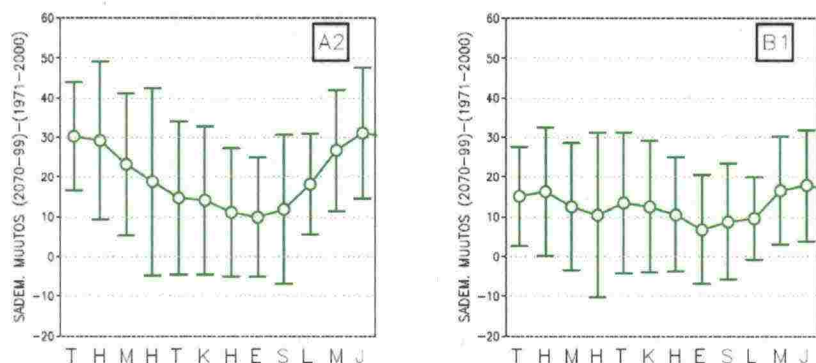


Kuva yllä. Lämpötilan havainnoitu kehitys 1985–2005 Oulussa. Lähde Ilmatieteen laitos.

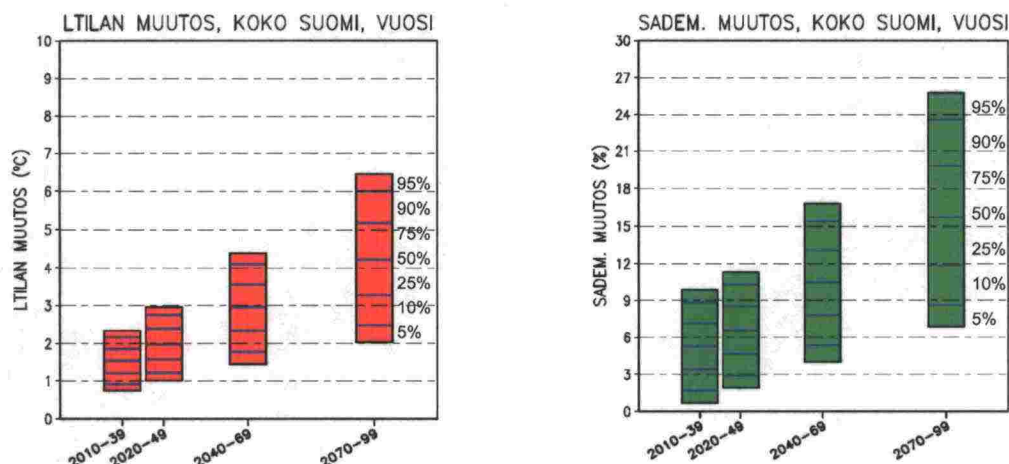
Kuva alla. Arvio keskilämpötilojen muutoksesta Suomessa jaksolta 1971–2000 jaksolle 2070–2099 vuoden eri kuukausina A2 päästöskenaariolla (vasen) ja B1 päästöskenaariolla (oikea). Käyrä esittää 19 eri ilmastomallin ennustamien muutosten keskiarvoa, pystypalkit muutoksen 90 % todennäköisyys--väliä. Kaikki luvut ovat koko Suomen keskiarvoja. (Kimmo Ruosteenoja, Ilmatieteen laitos 2007)



Kuva alla. Sademäärän muutos prosentteina Suomessa keskimäärin jaksolta 1971–2000 jaksolle 2070–99 A2 ja B1 skenaarioilla (vertaa edellinen kuva) (Kimmo Ruosteenoja, Ilmatieteen laitos 2007)



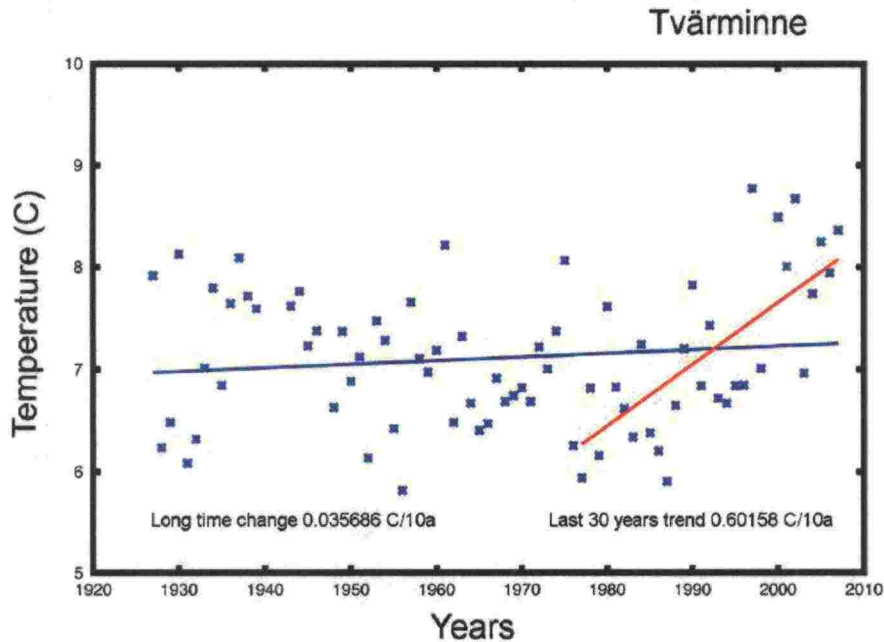
Kuvassa alla on koottuna viimeisimmät arviot sekä lämpötilan että sateisuuden muutoksista Suomessa, ottaen huomioon myös eri lopputulemien todennäköisyys. Lähtökohtaisesti skenaarioihin ei sisälly todennäköisyyksiä mutta päätöksenteon kannalta voi olla hyödyllistä kuvata skenaarioihin liittyviä epävarmuuksia todennäköisyysjakauman avulla.⁴³(Kimmo Ruosteenoja, Ilmatieteen laitos, 2009).



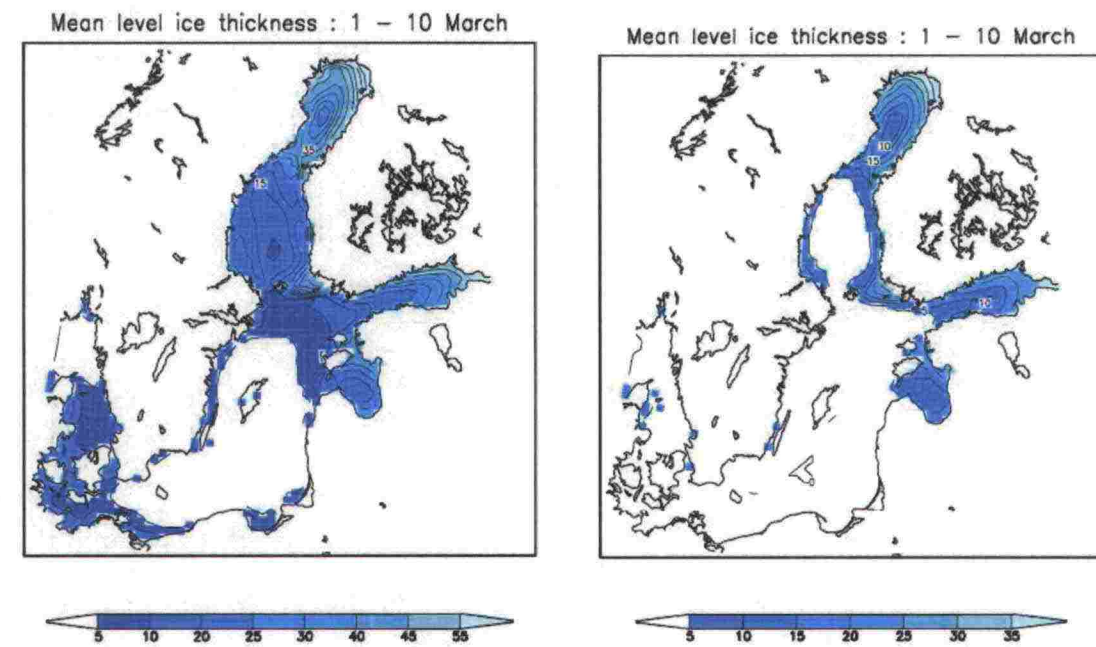
⁴³ Muutosten todennäköisyyden prosenttipisteiden laskemisessa on otettu yhtä aikaa huomioon päästöskenaarioiden erot, mallien herkkyyden erilaisuus ja ilmaston luontainen vaihtelu.

LIITE 3 Lisätietoa Itämeren jääpeitteen muutoksesta

Kuva alla. Havaitut muutokset Itämeren pintalämpötiloissa (lähde: Merentutkimuslaitos, 2008).

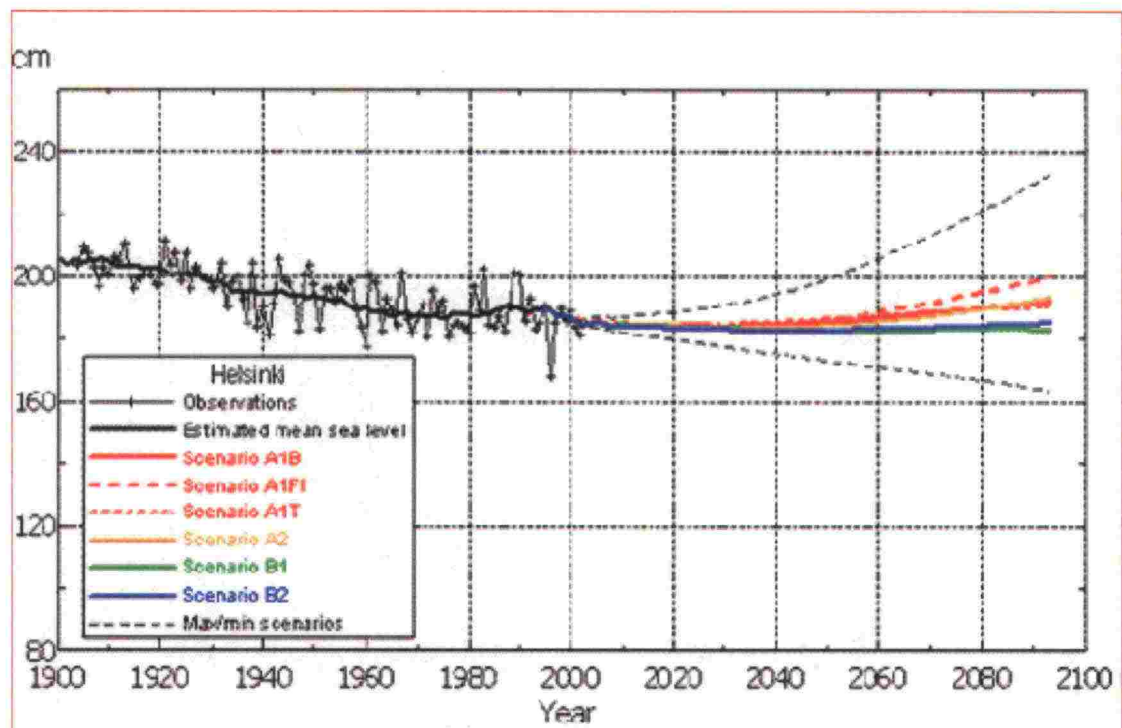


Kuvat alla. Arvio muutoksista keskimääräisissä jääoloissa vuosisadan loppuun mennessä (vasemmalla esiteollinen aika, oikealla vuosi 2100, jään paksuus senttimetreissä)⁴⁴

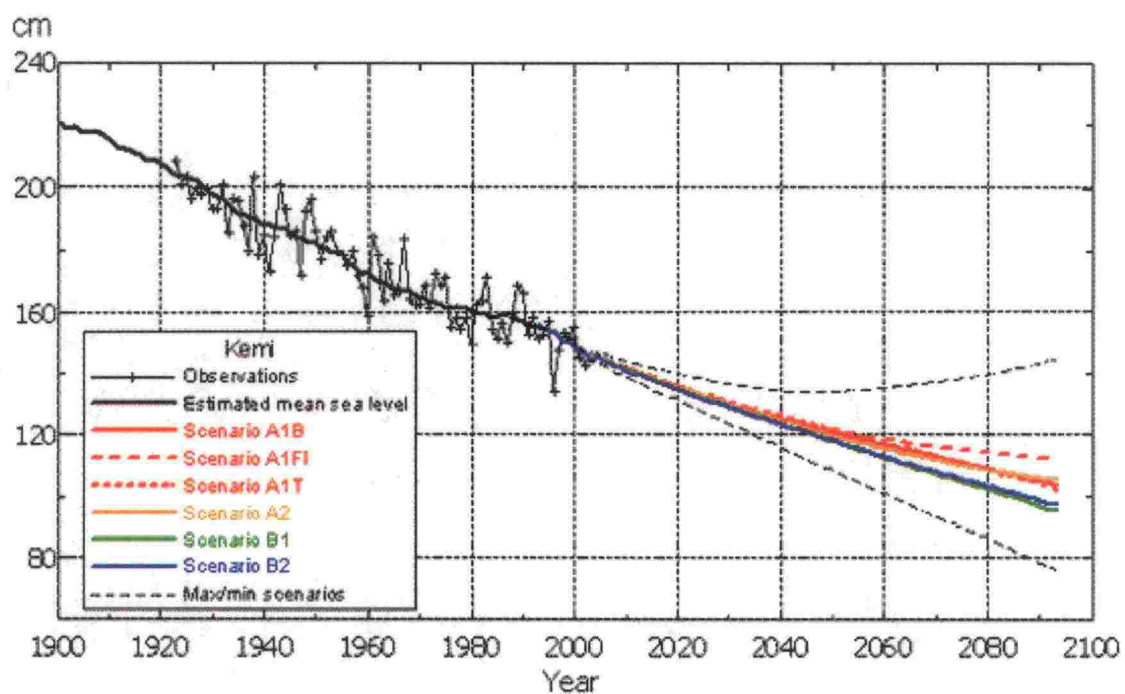


LIITE 4 Lisätietoa veden korkeuden muutoksista ja maankohoamisesta

⁴⁴ Haapala, J., Meier, H. E. M. and Rinne, J. 2001. Numerical investigations of future ice conditions in the Baltic Sea. *Ambio* 30, 237-244



Kuvat. Arvioita keskivedenkorkeuden muutoksista vuoteen 2100, kuva yllä Helsinki, kuva alla, Kemi (Merentutkimuslaitos, 2002)



LIITE 5 MKL:n keskeiset ilmastoriskit ja sopeutumistoimet toiminta-alueittain

Väylänpito

Väylänhoitotoiminnan estyminen

- Aiheuttaja: myrskytuuli ja aallokko
- Kuvaus: Estävät väylänhoitotoiminnan kokonaan (rikkoontuneiden laitteiden korjaaminen). 2-3 metrin aallokko on maksimi keveille veneille. Aluskalustolla voidaan liikkua jonkin verran pahemmassa kelissä, mutta vain syvemmässä vedessä. Myös työturvallisuus rajoittaa toimintaa.
- Sopeutumistoimet: 1. Käytettävän vene/aluskaluston olosuhdevaatimusten korottaminen, 2. Tiedotus VTS:n kautta siitä, että ylläpidosta on jouduttu karsimaan olosuhteiden takia, 3. Turvalaitteiden tuotekehitys ja ennakkoiva huolto, 4. Pidemmän ajan sääennusteiden hyödyntäminen huollon suunnitteluun
- Sopeutumistoimien vaikutukset: 1. Rajallinen vaikutus riskiin, kovat olosuhteet estävät joka tapauksessa väylänhoidon (aluskaluston muutokset n. 10-100 ke), 2. Tiedotuksella käyttäjille tieto riskin kasvamisesta (osa perusprosessia, mutta kehitetään ilmoituksen automaatiota), 3. Vähentää häiriön toistuvuutta (10-100ke, pitkälti omaa työtä jossa konsultti apuna) 4. Työt ajoitetaan olosuhteisiin, joissa ne voidaan tehdä (huoltotoiminnan työsuunnittelun kehittäminen)

Turvalaitteiden näkyvyyden heikkeneminen huonoissa olosuhteissa

- Aiheuttaja: lumimyrsky ja/tai raekuuro
- Kuvaus: Turvalaitteiden näkyvyyden ja tutkanäkyvyyden heikkeneminen olosuhteiden takia sekä mahdolliset satelliittiyhteyksien heikkeneminen
- Sopeutumistoimet: 1. Tutkamerkkien näkyvyyden parantaminen myös huonoissa olosuhteissa, tutkimusta on jo tehty (10-100 ke)
- Sopeutumistoimien vaikutukset: 1. Parantaa näkyvyyttä huonoissa olosuhteissa

Väylänhoidollisesti hankalan kelirikkoajan piteneminen

- Aiheuttaja: Jääpeitteen muutos
- Kuvaus: Väylänhoito on vaikeinta kelirikkokelillä, jonka pituuden odotetaan kasvavan
- Sopeutumistoimet: 1. Kalustovaatimukset huoltokalustolle, 2. Ennakkoiva toiminta
- Sopeutumistoimien vaikutukset: 1. Varmistetaan, että kriittiset kohteet voidaan tarvittaessa huoltaa. Varmistettava, että kalustovaatimukset sisältävät riittävän määrän kelirikko-olosuhteissa toimivaa kalustoa (useampi 10-100 ke), 2. Työt ajoitetaan olosuhteisiin, joissa ne voidaan tehdä (huoltotoiminnan työsuunnittelun kehittäminen)

Kanavien (erityisesti Saimaan kanava) vaurioituminen vesistötulvassa

- Aiheuttaja: Vesistötulva
- Kuvaus: Vesistön (Saimaa) tason noustessa yli metrin ylävesipinnan yläpuolelle voi vesi tulla kanavan sulkujen yli ja aiheuttaa merkittäviä rakenteellisia vaurioita.
- Sopeutumistoimet: 1. Riittävä määrä patomateriaalia (väliaikainen tulvasuoja), 2. Tulvantorjunnan toimenpiteiden johtaminen ja suorittaminen kanavalla.
- Sopeutumistoimien vaikutukset: 1. Akuuttien vahinkojen torjuminen (torjunnan kustannukset noin 10 ke), jolla vähennetään häiriön toistuvuutta, 2. Kriisivalmiutta voidaan nostaa suunnitelmallisesti ja ennakkoivasti

Myrskystä johtuva lisääntynyt turvalaitteiden korjaustarve ja huonontuneet olosuhteet korjaukselle

- Aiheuttaja: Voimakas myrskytuuli, ukkonen ja/tai raekuuro/lumimyrsky
- Kuvaus: Lisääntynyt turvalaitteiden korjaustarve ja huonontuneet olosuhteet korjaukselle
- Sopeutumistoimet: 1. Turvalaitteiden kehitys, 2. Töiden ennakointi, 3. Tiedotus
- Sopeutumistoimien vaikutukset: 1. Paremmiin olosuhteita kestäviä laitteita, 2. Huoltotoiminnan työsuunnittelun kehittäminen, 3. Laitteiden vikaantumisen tiedottaminen VTS:n kautta (osa nykyprosessia)

Virtausnopeuksien kasvu paikoittain (sisävedet)

- Aiheuttaja: Voimakassateinen jakso
- Kuvaus: Tietyissä paikoissa virtausnopeudet voivat tulla todella suuriksi

- Sopeutumistoimet: 1. tiedottaminen, 2. pahimpien kohteiden parantaminen, jos alkaa olla suurta merkitystä
- Sopeutumistoimien vaikutukset: 1. normaaliprosessi, 2. rakenteelliset työ (kalliita), joilla virtausnopeudet hallintaan

Rajoitukset alikulkukorkeuksiin

- Aiheuttaja: Vesistötulva
- Kuvaus: Rajoituksia alikulkukorkeuksiin tulvan takia
- Sopeutumistoimet: 1. tiedotus - Saimaan VTS, 2. vedenkorkeuksien pysyvyyksien uudelleenarviointi
- Sopeutumistoimien vaikutukset: 1. normaaliprosessi, 2. alikulkukorkeuksien saattaminen ajan tasalle

Alusten syväysten rajoitukset alhaisen vedenpinnan (sekä meri että sisävesi) korkeuden vuoksi

- Aiheuttaja: Alhainen vedenkorkeus
- Kuvaus: Alusten syväysten rajoitus (esim. lastinottorajoituksia tai odotuksia)
- Sopeutumistoimet: 1. tiedottaminen, 2. vedenkorkeusennusteet
- Sopeutumistoimien vaikutukset:

Myrskyn aiheuttamat yksittäiset turvalaitevauriot

- Aiheuttaja: Voimakas myrskytuuli
- Kuvaus: Yksittäiset turvalaitevauriot
- Sopeutumistoimet: 1. rakenteiden mitoitus, 2. oikean rakenteen valitseminen, 3. kohteiden kuntokartoitus (osana prosessia)
- Sopeutumistoimien vaikutukset: 1-3- vähentämään vaurioiden määriä, kyseessä ehkä jonkin verran kalliimpia rakenteita tosin huoltovapaampia ja kestävämpiä

Tulvajuoksutukset kanavien kautta

- Aiheuttaja: Voimakassateinen jakso
- Kuvaus: Tulvajuoksutukset kanavien kautta
- Sopeutumistoimet: 1. Huomioitava palvelusopimuksissa
- Sopeutumistoimien vaikutukset: 1. Ympäristöhallinto maksaa kustannukset

Merikartoitus

Merenmittaustietojen hankintakustannusten nousu

- Aiheuttaja: Navakka ja kova tuuli (ja aallokko)
- Kuvaus: Merenmittaustietojen hankintakustannukset nousevat (tehokkaiden mittauspäivät vähenee tai mittaustietojen laatu vaihtoehtoisesti vaarantuu)
- Sopeutumistoimet: 1. Työsuunnittelu työmaalla, sekä kokonaisurakan suunnittelu tilattaessa, 2. Sääriskin jakaminen tilaajan ja toimittajan välillä (tehokkuus vs. datan laatu), 3. Nykyään ja tulevaisuudessa aluksissa parempia liikesensoreita, joilla saadaan maininkeja tulkittua
- Sopeutumistoimien vaikutukset: 1. Ei urakkakohtaisesti suurta vaikutusta kustannusten vähentämiseen (sääriski nostaa yleisesti valtakunnallisesti kustannuksia), 2. Kustannuksien jakaminen, löydettävä sopiva periaate, 3. rajallisesti lisää tehokasta työaikaa (mutta toimintaan lisää pääomakustannuksia)

Veden lämpötilan muutoksen vaikutus merenmittauksen epätarkkuuteen

- Aiheuttaja: Veden (pinta)lämpötilan nousu
- Kuvaus: Lisää epätarkkuutta merenmittauksessa (harppauskerroksen vaikutus ultraäänisignaaliin, pintalämpötilan kasvu)
- Sopeutumistoimet: 1. laitekehitys, 2. toiminta vaatii enemmän huolellisuutta (enemmän aikaa äänennopeusprofiilien mittaamiseen)
- Sopeutumistoimien vaikutukset: 1. laitekehityksen kustannukset tulevat urakoiden kautta, tekniset vaatimukset, 2. arvioilta noin 5 % nousee mitatun pinta-alayksikön tuotantohinta (kok. 7-8 milj.e) -> 400 ke

Talvimerenkulku

Myrskyn aiheuttama avustamistoiminnan vaikeutuminen

- Aiheuttaja: Myrskytuuli
- Kuvaus: Vaikeuttaa avustamista, kauppa- aluksen runko määrätyissä tilanteissa alttiina jäiden puristukselle, joka voi aiheuttaa aluksen runkoon painautumia.
- Sopeutumistoimet: 1. Vahinkojen minimointi operationaalisessa toiminnassa, 2. Murtaja tiedottaa olosuhteista VTS:lle, joka pyrkii opastamaan aluksia välttämään ko. tilanteisiin joutumista
- Sopeutumistoimien vaikutukset: 1. Nykyprosessin mukaista toimintaa, ei juuri vaikutuksia, 2. Nykyprosessin mukaista toimintaa, voi estää häiriöön johtavien tilanteiden syntymisen

Jäävalliin syntyminen myrskytuulen johdosta

- Aiheuttaja: Myrskytuuli
- Kuvaus: Jäävalliin syntyminen, hidastaa toimintaa (yleensä normaalia leudompina talvina)
- Sopeutumistoimet: 1. Reitit vallien ohi (nykyprosessi), 2. Murtajakaluston sijoittaminen siten, että olosuhteisiin parhaat sopivilla paikoilla. 3. Talvimerenkulun kannalta käyttökelpoisten alueiden kartoitus (edistää vallien kiertämistä)
- Sopeutumistoimien vaikutukset: 1 ja 2 nykyprosessia, 3. suunniteltu toteutettavaksi, riippuu määrärahoista

Avustamisen estyminen alhaisen vedenkorkeuden myötä

- Aiheuttaja: Alhainen vedenkorkeus
- Kuvaus: Murtaja ei avusta väylällä, jos on riskiä että murtaja tai alus saa pohjakosketuksen
- Sopeutumistoimet: 1. Väylän syventäminen ja alhaisten vedenkorkeuksien huomioiminen väylän suunnittelussa, 2. tiedottaminen
- Sopeutumistoimien vaikutukset: 1. Kustannukset nousevat väylän syventämisessä jyrkästi ja väylällä liikennöivien alusten vastaavasti kasvaneet syväykset syövä hyödyn, 2. MKL:lle tärkein välitön toimi tiedottaminen, joka on osa nykyprosessia ja siinä erilaisia tasoja i) nykytilanteen tiedottaminen VTS:ssä, ii) vedenkorkeuden ennusteet, iii) yleisten Suomalaisten olosuhteiden tiedottaminen

Jäätymisongelmat aluksilla

- Aiheuttaja: kova pakkasjakso
- Kuvaus: Painolastitankit, joissa ei lämmitystä, saattavat osaksi jäätyä ja ääritilanteissa aiheuttaa pullistumia tankin kyljissä. Ankkurivintturi voi jäätyä, joka hidastaa hinauskaapelin käsittelyä.
- Sopeutumistoimet: 1. tiedotus (kapteenin check list -olemassa)
- Sopeutumistoimien vaikutukset:

Murtajakapasiteetin kutsumisen myöhästyminen

- Aiheuttaja: Äkillinen säätyypin muutos ja kova pakkasjakso
- Kuvaus: Murtajakapasiteetin (off-shore) kutsuminen myöhästyy
- Sopeutumistoimet: 1. perusasioiden määrittelemine sopimuksissa (valmiusajat vs. hinta), 2. operointi, 3. yhteistyötä ruotsin kanssa tiivistetään
- Sopeutumistoimien vaikutukset:

Meriliikenteen ohjaus

Tutka-anturin toiminnan häiriintyminen

- Aiheuttaja: lumimyrsky ja/tai raekuuro
- Kuvaus: Tutka-anturin toiminnan häiriintyminen paikallisesti
- Sopeutumistoimet: 1. Korvaavia anturijärjestelmiä eli varajärjestelmien hyödyntäminen (korvaavia järjestelmiä on olemassa, joita jo käytetään), 2. Marginaalisia hyötyjä tutkien tehojen säädöllä tms. esim. tutkajärjestelmiä uudistettaessa

- Sopeutumistoimien vaikutukset: 1. Nykyprosessien mukaiset toimet, eli korvaavien järjestelmien käyttö, antavat jo lähes samanveroisen palvelun (ei lisäkustannuksia), 2. tästä ei tarkempaa tietoa tässä vaiheessa

Elektroniikkalaitteiston toimintalämpötilan ylittyminen hellejakson aikana

- Aiheuttaja: Hellejakso
- Kuvaus: Elektroniikkalaitteiston vikaantuminen esim. laitetilän jäähdytyslaitteistojen pysähtymisestä johtuen. Vaikutus paikallinen, koko järjestelmän vioittuminen epätodennäköistä. Laitteet erilaisissa ja eritasoisissa laitetoiloissa.
- Sopeutumistoimet: 1. Voidaan ottaa huomioon palvelujen tilaussopimuksissa, määritellä lämpötilarajat, jossa toimittava
- Sopeutumistoimien vaikutukset: 1. Vikaantumiset vähenevät (melko pienet kustannukset, muutama tuhat euroa)

Laitevauriot ukkosella tai myrskyllä

- Aiheuttaja: Voimakas myrskytuuli ja/tai ukkonen
- Kuvaus: Mastoihin sijoitettujen laitteistojen rikkoontuminen, Ukkosesta laitevaurioiden mahdollisuus myös laitetoiloissa (sähkö- tai tiedonsiirtokaapeleita pitkin)
- Sopeutumistoimet: 1. Tuulikuormamitoitukset, 2. Ukkostuhoihin varautuminen erilaisilla suojuuksilla
- Sopeutumistoimien vaikutukset: 1. voidaan vähentää vikaantumisia (riski vs. kustannukset), 2. suojuuksilla varsinaisiin laitteisiin kohdistuvat vauriot voidaan estää/vähentää huomattavasti (osa nykyprosessia)

Meri/vesistötulvan aiheuttama laitetilän tulviminen

- Aiheuttaja: Meri/vesistötulva
- Kuvaus: Jotkin laitetilat ovat melko matalalla, voivat tulvia ja vahingoittaa
- Sopeutumistoimet: 1. Otettava huomioon laitteistojen sijoittelussa ja laitetoiloin valinnassa, 2. nykyisten riskikohteiden kartoitus
- Sopeutumistoimien vaikutukset: 1. ei erityisiä kustannuksia, 2. oman työnä alle 10 ke (muiden asioiden yhteydessä, sähkö ja tietoliikenne ja ukkossuojuukset) tämä työlialle mukaan

Nopea merenpinnan lasku

- Aiheuttaja: Nopea merenpinnan lasku
- Kuvaus: Väylien syvyyden väheneminen, merenpinnan laskun tiedotus merenkulkijoille tullut tärkeämmäksi
- Sopeutumistoimet: 1. Tiedottaminen, asian ottaminen VTS:n tiedotuslistalle, esim "häiriötiedote"-statuksella, 2. ennustemallien kehittäminen (olemassa työryhmä, joka selvittää olemassa olevista vedenkorkeuksista ja niiden muutoksista tiedottamista Itämeren piirissä)
- Sopeutumistoimien vaikutukset: 1. Ei ole osa perusprosessia tiedottaa vedenkorkeustiedon ennusteesta, jos se ennustettu merenpinnan laskua. Asian lisääminen prosessiin virkatyötä, 2. ITL:n mahdollisuudet paranivat ennusteiden tuottamiseksi, itämeren piirissä kehitetään yhteistä tapaa viestiä. 2-3 vuoden kuluessa ollaan todennäköisesti paremmassa tilanteessa.

Meriturvallisuus

Alusten pohjaan kiinnittyvien lajien elinmahdollisuuksien lisääntyminen

- Aiheuttaja: Veden lämpötilan nousu
- Kuvaus: Alusten pohjaan kiinnittyvien lajien elinmahdollisuudet lisääntyvät. Lisää aluksen vastusta ja siten polttoaineen kulutusta.
- Sopeutumistoimet: 1. osallistutaan IMO:ssa tapahtuvaan sääntökehitykseen, 2. tulevien mahdollisten sääntöjen valvonta
- Sopeutumistoimien vaikutukset: 2. leviämisen riski vähenee, lisää MKL:n valvontatehtäviä

Vieraslajien leviäminen

- Aiheuttaja: Veden lämpötilan nousu
- Kuvaus: Uusien lajien määrän mahdollinen lisääntyminen painolastivesissä ja pohjaan kiinnittyneenä

- Sopeutumistoimet: 1. olemassa IMO:n painolastivesien yleissopimus, ratifioitavana (ilmastonmuutos ei johda lisätoimenpiteisiin)
- Sopeutumistoimien vaikutukset: 1. leviämisen riski vähenee, lisää MKL:n valvontatehtäviä

Veneilyn lisääntyminen ja kasvaneet vaatimukset

- Aiheuttaja: Keskilämpötilan nousu
- Kuvaus: Pidentynyt veneilykausi ja mahdollisesti lisääntynyt veneily sekä mahdollisesti lisääntyneet ulkomaiset veneilijät, joka johtaa kasvaneeseen tuote- ja markkinavalvonnan sekä valistuksen tarpeeseen (mm. vuokraveneiden ohjeistus englanniksi)
- Sopeutumistoimet: 1. lisääntynyt tarve tuote- ja markkinavalvonnalle
- Sopeutumistoimien vaikutukset: 1. turvallisuustason säilyttäminen lisääntyneestä veneilystä huolimatta, 1-2 htv

Ääri-ilmiöiden lisääntymisen kommunikointi veneilijöille

- Aiheuttaja: Trombit, myrskytuuli, aallokkoisuus
- Kuvaus: Trombien / tuulisuuden / aallokon muuttuneiden olosuhteiden vaikutus veneilyyn.
- Sopeutumistoimet: 1. Tiedotus- ja valistustyön lisääminen ja muokkaus olosuhteiden mukaan
- Sopeutumistoimien vaikutukset: 1. Veneilijöiden parempi säänriskien tuntemus, lopullinen vaikutus riippuvainen veneilijöistä

Jääpeitteen muutos ja ilmastopolitiikka

- Aiheuttaja: Jääpeitteen muutos ja ilmastopolitiikka
- Kuvaus: Jäätalvien helpottuessa konetehomääräyksiä voidaan miettiä uusiksi. IMO:sta voi tulla laivoja koskevia (ilmastonmuutoksen hillintään liittyviä) ympäristömääräyksiä, jotka voivat rajoittaa maksimikonetehoja. Laivoja koskevat jääluokkamääräykset asettavat toisaalta minimikonetehoille määräyksiä. Nämä voivat olla ristiriidassa keskenään.
- Sopeutumistoimet: 1. jäissä kulkeville aluksille erivapauksia IMO:n sääntöihin (yhteistyössä mm. Kanadan, ruotsin ja venäjän kanssa), 2. jäänmurtokapasiteetin turvaaminen
- Sopeutumistoimien vaikutukset: 1. vaikutustyö IMO:ssa, 2. murtaminen on niin kallista, että kapasiteetin lisääminen/ylläpito kallista (periaate on, että huonoimpia aluksia autetaan viimeiseksi)

Palovaarallisten aineiden onnettomuudet

- Aiheuttaja: kova hellejakso
- Kuvaus: Herkästisyytyvien ja palovaarallisten aineiden onnettomuudet
- Sopeutumistoimet: Puututaan ja ohjeistetaan satamien asetuksen (251/2005) mukaisesti turvallisuus selvityksiin. Ohjeistusta ja säädöksiä voidaan kehittää kansainvälisesti IMO:ssa.
- Sopeutumistoimien vaikutukset: Virkatyönä MKL:ssa yhteistyössä sataman/ Satamaliiton kanssa.

Matkustaja-autolauttojen keulaporttien kestävyys

- Aiheuttaja: Myrskytuuli ja aallokkoisuus
- Kuvaus: Matkustaja-autolauttojen keulaporttien kuormitus
- Sopeutumistoimet: 1. kuormitusmitoituksen sääntöjen tarkistus
- Sopeutumistoimien vaikutukset:

Jäätäminen

- Aiheuttaja: Avovesi, pakkanen ja tuuli
- Kuvaus: Alusten kansirakenteiden jäätäminen pärskeistä avovedessä ajettaessa pakkasella ja tuulella. Jäätämistilanteiden lisääntyminen ja mahdolliset lisävaatimukset aluksille.
- Sopeutumistoimet: 1. olemassa kv-säännöt jääkuormien ottamisesta huomioon laivojen vakavuuslaskennassa, näiden mahdollinen tarkentaminen, 2. tiedotuksen lisääntyminen
- Sopeutumistoimien vaikutukset:

