

Kalankasvatuksen tuotanto-olosuhteet Suomen rannikolla

Markus Kankainen ja Jari Niukko



RIISTA - JA KALATALOUS
TUTKIMUKSIA JA SELVITYKSIÄ

8/2014

RIISTA- JA KALATALOUS

TUTKIMUKSIA JA SELVITYKSIÄ

8 / 2 0 1 4

Kalankasvatuksen tuotanto-olosuhteet Suomen rannikolla

Markus Kankainen ja Jari Niukko



Hanke on osittain Euroopan kalatalousrahaston (EKTR) rahoittama.
EU investoi kestävään kalatalouteen (komission asetus (EY) 498/2007).



RIISTAN- JA KALANTUTKIMUS

Julkaisija:
Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos
Helsinki 2014

Kannen kuvat: Mika Remes ja Akvagroup

Julkaisujen myynti:
[www.rktl.fi /julkaisut](http://www.rktl.fi/julkaisut)
www.juvenes.fi /verkkokauppa

Pdf-julkaisu verkossa:
www.rktl.fi /julkaisut/
ISBN 978-952-303-151-7 (Painettu)
ISBN 978-952-303-152-4 (Verkkojulkaisu)

ISSN 1799-4764 (Painettu)
ISSN 1799-4748 (Verkkojulkaisu)

Sisällys

Tiivistelmä	5
Sammandrag	6
Abstract	7
1. Johdanto.....	8
1.1. Kalankasvatus Suomen rannikkoalueilla.....	8
1.2. Kalankasvatuksen sijainninohjaus	9
1.3. Kalankasvatukseen vaikuttavat olosuhteet.....	9
2. Yleiset tuotanto-olosuhteet Suomen vesialueilla	10
2.1. Lämpötila	10
2.2. Jäät	11
2.3. Tuuli	12
2.4. Aallonkorkeus ja -pituus.....	13
2.5. Virtaukset	13
3. Mahdolliset kasvu- ja keskittämisaalueet.....	15
3.1. Eteläinen Saaristomeri – Kemiönsaari	16
3.1.1. Jäät	16
3.1.2. Lämpötila	16
3.1.3. Tuuli	16
3.1.4. Aallonkorkeus.....	17
3.2. Pohjoinen Saaristomeri – Kustavi	18
3.2.1. Jäät	18
3.2.2. Lämpötila	18
3.2.3. Tuuli	19
3.2.4. Aallonkorkeus.....	19
3.3. Eteläinen Selkämeri – Uusikaupunki.....	20
3.3.1. Jäät	20
3.3.2. Lämpötila	20
3.3.3. Tuuli	20
3.3.4. Aallonkorkeus.....	21
3.4. Selkämeri – Luvia	22
3.4.1. Jäät	22
3.4.2. Lämpötila	23
3.4.3. Tuuli	24
3.4.4. Aallonkorkeus.....	24
3.5. Merenkurkku – Mustasaari.....	25
3.5.1. Jäät	25
3.5.2. Lämpötila	25
3.5.3. Tuuli.....	26
3.5.4. Aallonkorkeus.....	27
3.6. Pohjoinen Perämeri – Simo.....	28
3.6.1. Jäät	28
3.6.2. Lämpötila	28
3.6.3. Tuuli.....	29
3.6.4. Aallonkorkeus.....	30

3.7. Suomenlahti – Loviisa	30
3.7.1. Jäät	30
3.7.2. Lämpötila	31
3.7.3. Tuuli	32
3.7.4. Aallonkorkeus.....	32
3.8. Itäinen Suomenlahti – Virolahti.....	33
3.8.1. Jäät	33
3.8.2. Lämpötila	33
3.8.3. Tuuli	34
3.8.4. Aallonkorkeus.....	35
4. Yhteenveto.....	36
4.1. Työolosuhteet ja kasvatuslaitteiston valinta rannikkoalueilla	36
4.2. Lämpötila ja tuotantokauden pituus vaikuttaa tehokkuuteen	37
4.3. Jäiden vaikutus tuotannonsuunnitteluun	37
4.4. Ilmastomuutoksen vaikutukset tuotanto-olosuhteisiin	38
Viitteet.....	39

Tiivistelmä

Tässä raportissa on selvitetty kalankasvatustuotannon kannalta olennaisia tuotanto-olosuhteita Suomen rannikolla. Kansallisen vesiviljelyn sijainninhjaussuunnitelman mukaan uudet mahdolliset kasvualueet sijaitsevat ulommilla alueilla kuin nykyinen tuotanto, mikä aiheuttaa olosuhteiden puolesta haasteita tuotannolle ja tuotannon suunnittelulle.

Raportissa kuvataan ensin yleisesti kalankasvatukseen liittyviä tuotanto-olosuhteita pohjoisella Itämerellä. Tämän jälkeen esitetään tuotanto-olosuhdeanalyysit kahdeksasta erikseen valitusta sijainnista rannikon eri alueilta. Erityistarkastelun paikat on valittu perustuen kalankasvatuksen sijainninhjaussuunnitelman sekä paikallisten yritysten kiinnostukseen kyseisiä alueita kohtaan. Tuotanto-olosuhdeanalyysit on tehty veden lämpötilasta, tuuliolosuhteista, aallokon korkeudesta sekä jäätiedoista, ja ne perustuvat pitkäaikaisiin säähavaintoihin rannikkoalueella.

Asiasanat: aallonkorkeus, jää, kalankasvatus, lämpötila, sijainti, tuotanto-olosuhteet, tuuli

Kankainen, M. & Niukko, J. 2014. Kalankasvatuksen tuotanto-olosuhteet Suomen rannikolla. *Riista- ja kalatalous – Tutkimuksia ja selvityksiä 8/2014*. 40s.

Sammandrag

I den här rapporten har utretts vilka produktionsomständigheter är väsentliga för fiskodling på den finska kusten. Enligt den nationella planen för lokaliseringsstyrning ligger de nya eventuella tillväxtområdena i det yttre skärgårdsområdet eller på öppen sjö, vilket leder till nya utmaningar för produktionen och planeringen av den.

I rapporten ges först en allmän beskrivning av produktionsomständigheterna i Norra ishavet. Därefter presenteras analyser av produktionsomständigheterna för åtta potentiella produktionsplatser på olika kustområden. Dessa platser har valts på basis av planen för lokaliseringsstyrning samt lokala företagares intresse. Analyserna gäller vattentemperaturen, vindförhållanden, våghöjd samt uppgifter om isläget och de baserar sig på långvariga väderobservationer på kustområdet.

Nyckelord: våghöjd, is, fiskodling, temperatur, läge, produktionsförhållanden, vind

Kankainen, M. & Niukko, J. 2014. Produktionsomständigheterna för fiskodling på den finska kusten. *Vilthushållning och fiskeri – Undersökningar och utredningar 8/2014*. 40 s.

Abstract

This report describes the production conditions associated with fish farming on the Finnish coastline. New potential production sites are located in open sea areas, in line with the Finnish national aquaculture spatial plan. Open sea weather conditions pose new challenges for production planning.

We begin by describing the overall production conditions for sea farming in the Northern Baltic Sea, based on a long-term statistical analysis of the weather on the Finnish coastline. Thereafter, we present a detailed condition analysis based on sites along the coastline. These sites have been selected according to the aquaculture spatial plan and the interest shown by companies in producing fish in these areas. The condition indicators analysed include wind, waves, water temperature and ice movements.

Keywords: fish farming, ice, location, production conditions, temperature, wave height, wind

Kankainen, M. & Niukko, J. 2014. Fish farming production conditions in Finnish coastline of the Baltic Sea. *Riista- ja kalatalous – Tutkimuksia ja selvityksiä 8/2014*. 40 p.

1. Johdanto

1.1. Kalankasvatus Suomen rannikkoalueilla

Suomen rannikolla kalankasvatustiluksia on Suomenlahdelta aina Perämeren pohjukkaan asti. Tuotantomäärä on Ahvenanmaan maakunta pois lukien noin 5 000 tonnia. Pääosa tuotannosta sijaitsee Lounais-Suomessa Saaristomerellä ja Satakunnan eteläosissa. Yli 90 % tuotannosta on kirjolohta, lisäksi meressä tuotetaan jonkin verran siikaa.

Keskimääräinen tuotantoyksikön koko on noin 50 tonnia vuodessa. Yhdessä tuotantoyksikössä saattaa olla useita verkkoaltaita samassa paikassa. Tavallisesti yhden yrityksen tuotantomäärä samalla alueella on noin 200–600 tonnia, jolloin tuotantoyksikköjä on neljästä kahteentoista yritystä kohti. Lisäksi alueella voi olla joitain pieniä tuottajia, jotka ovat erikoistuneet poikastuotantoon, muihin arvokkaisiin tuotantolajeihin tai jalostukseen.

Suomen rannikolla kaloja kasvatetaan kaksi tai kolme kasvatuskautta ennen perkausta. Kirjolohtea kasvatetaan tavallisesti yli kaksikiloiseksi ja siiat noin kilon painoiksi. Yrittäjillä on tavallisesti erilliset tuotantoyksiköt poikaskasvatusta varten. Poikaslaitoksista kalat lajitellaan ja siirretään ensimmäisen tai toisen kasvukauden jälkeen jatkokasvatustiloihin. Kasvatuskaudella tarkoitetaan sitä aikaa vuodesta, jolloin veden lämpötila on riittävän korkea, jotta kalat syövät ja kasvavat. Kasvukausi on tavallisina vuosina noin toukokuun alusta marraskuun alkuun. Talvella Itämeren lämpötila laskee niin alhaiseksi, että kirjolohi ja siika eivät juurikaan kasva. Toisaalta lämpiminä kesinä lämpötilat saattavat kohota matalilla ja suojaisilla alueilla liian korkeaksi, jolloin kasvatuskausi keskeytyy muutamiksi viikoiksi.

Jääpeitteen ja erityisesti jään liikkeiden takia verkkoaltaita ja kehikot hinataan saariston suojaan talvisäilytyspaikoille loppusyksyllä. Jääpeitteen syntyminen ja syksyn myrskyt vaikeuttavat tuotantolaitteiston ja kalojen siirtoa. Talvisäilytyspaikat sijaitsevat suojaisilla alueilla, joilla ei muodostu ahtojäitä ja jään liikkuminen on maltillista. Tuotantovälineistön lisäksi myös markkinakokoiset kalat siirretään tavallisesti rannikon läheisyyteen paikkoihin, joista ne voidaan siirtää perattaviksi kelirikkoaikana tai viimeistään jään muodostuttua. Kelirikkoajalla tarkoitetaan sitä ajankohtaa, jolloin merelle ei pääse veneellä, koska jäät estävät kulkemisen, mutta myöskään jään päällä ei ole turvallista liikkua esimerkiksi autoilla tai moottorikelkoilla.

1.2. Kalankasvatuksen sijainninhajaus

Yritysten tuotantopaikat ovat sijoittuneet merialueella toistaiseksi osittain suojaisille alueille väli- ja ulkosaaristoon. Nykyisissä paikoissa ja erityisesti sisäsaaristossa tuotantolupia on lakkautettu ja tuotantopaikkojen tuotantomääriä on vähennetty ympäristölupaprosesseissa. Kielteisestä ympäristölupapolitiikasta ja lupaprosessin epävarmuudesta sekä kustannuksista johtuen yrittäjät eivät ole hakeneet Suomen rannikolle kasvatuslupia uusille kasvatusalueille muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta 1990-luvun jälkeen. Tämän vuoksi kotimainen kalantuotanto on vähentynyt.

Koska tavoitteena on kuitenkin lisätä kalantuotantoa Suomessa, maa- ja metsätalousministeriön ja ympäristöministeriön yhteistyönä on laadittu kalankasvatuksen sijainninhajaus-suunnitelma. Se on tehty yhteistyössä ympäristönsuojelun, kalatalouden ja vesien käytön

suunnittelun asiantuntijoiden kanssa vesiviljelyn kehittämisryhmän vahvistamien kriteereiden perusteella. Kalankasvatukseen sopivat vesialueet on tunnistettu alueellisesti tausta-aineisto- ja tai -selvityksiä hyödyntäen sekä vesiensuojelun, kalankasvatuksen ja vesien muiden käyttömuotojen tarpeita yhteen sovittaen (maa- ja metsätalousministeriö ja ympäristöministeriö 2014). Sijainninhajauksen yhteydessä on samalla pyritty arvioimaan, kuinka suuria tuotantomääriä vesialueille voidaan sijoittaa. Koska nykyisiin, hajallaan oleviin pieniin yksiköihin perustuva tuotanto ei ole kilpailukykyistä, yritysten etu on keskittää tuotanto suurempiin yksiköihin.

Kansallisessa sijainninhjaussuunnitelmassa suurille tuotantoyksiköille soveltuvat alueet sijaitsevat pääosin avoimilla merialueilla, joilla tuotanto-olosuhteet ovat nykyistä haastavampia ja erilaisia esimerkiksi kasvatuslämpötilan suhteen. Vain pieni osa sijainninhjauksessa tunnistetuista alueista on suojaisilla paikoilla, joilla voidaan soveltaa nykyistä kasvatustekniikkaa kevyillä verkkoallasrakenteilla. Ennen kuin tuotantolupia haetaan uusille alueille, on syytä selvittää, minkälaiset tuotanto-olosuhteet määritellyissä paikoissa vallitsee ja ovatko alueet tuotantotaloudellisesti mahdollisia ja kilpailukykyisiä, jotta kalankasvatusinvestoinnit kannattaa toteuttaa.

1.3. Kalankasvatukseen vaikuttavat olosuhteet

Tässä raportissa selvitetään alustavasti kalankasvatukseen liittyviä tuotanto-olosuhteita niillä Suomen rannikkoalueilla, joille mahdollisesti uutta tuotantoa voitaisiin sijoittaa tai olemassa olevaa tuotantoa keskittää. Yleisen olosuhdetarkastelun lisäksi raporttiin on valittu tarkempaan tarkasteluun alueita kansallisen sijainninhjaussuunnitelman kriteerien perusteella sekä yritysten olemassa olevien suunnitelmien tai yritysten infrastruktuurin läheisyyden perusteella.

Tarkasteltavia tuotantoon vaikuttavia olosuhdetekijöitä ovat jään esiintyminen, tuuli, aallonkorkeus sekä veden lämpötila. Jään esiintyminen ja veden lämpötila vaikuttavat olennaisesti kasvatuskauden pituuteen ja kalan kasvunopeuteen. Kirjolohen kasvu hidastuu veden kylmetessä, toisaalta ruokintaa on tarpeellista vähentää voimakkaasti, kun lämpötilat nousevat yli 20 °C:een. Mikäli kasvatuskausi on kovin lyhyt ja lämpötilat eivät ole otollisia tuotantolajien kasvatuksen kannalta, tuotannon tehokkuus ja kannattavuus vähenee merkittävästi (Kankainen ym. 2012). Jäiden liikkeet ja nopeasti muuttuvat lämpötilat lisäävät tuotantoon liittyviä riskejä.

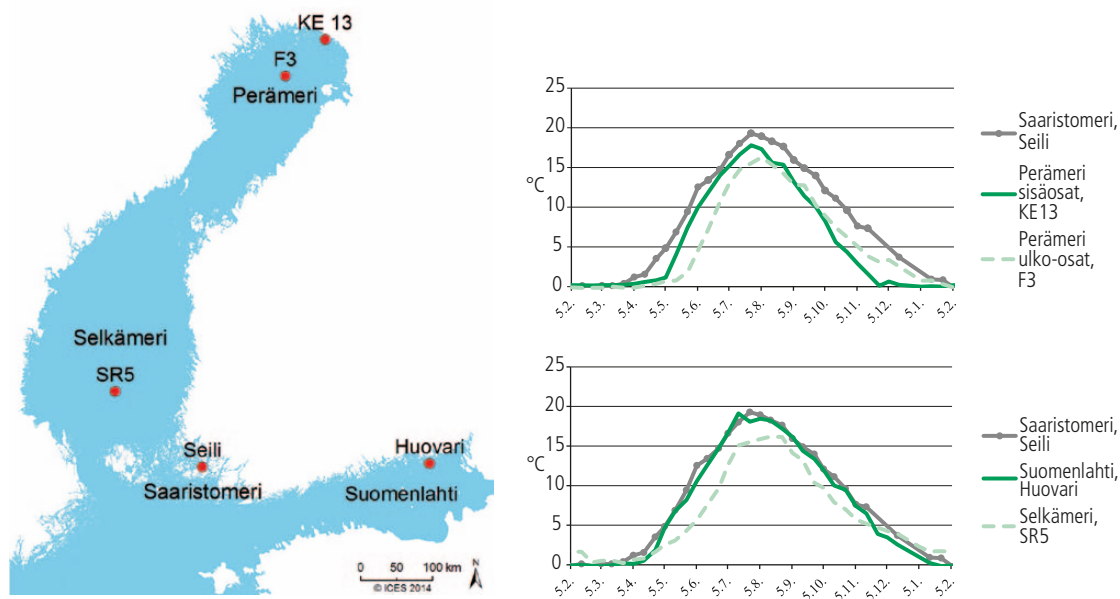
Tuuliolosuhteet ja niistä aiheutuva aallokko vaikuttavat sekä tuotantolaitteiston valintaan että käytännön kasvatustyön onnistumiseen ja työturvallisuuteen. Korkeat aallot vaikeuttavat esimerkiksi kalojen ruokinnan järjestämistä. Tuuliolosuhteet ovat avoimilla merialueilla vaikeampia kuin rannikon tuntumassa ja vastaavasti myös aallonkorkeudet suurempia. Kasvattajien kokemuksen mukaan edes ulkosaariston nykyisissä paikoissa ei pysty työskentelemään yli 12 m/s tuulen muodostamassa aallokossa, vaikka hyvillä työveneillä paikalle pääsisikin. Tässä raportissa erityistarkkailussa olevat tuotantopaikat ovat nykyisiä laitoksia avoimemmilla alueille. Siksi tuotannon tehokkuuteen liittyviä jatkoselvityksiä varten on arvioitu kovien tuulipäivien määrää kasvatuskaudella sekä aallokon maksimikorkeutta tuotantolaitteiston arviointia varten. Tuotantopaikan ja tuotantolaitteiston valinnalle vastaavasti tärkeitä vesialueiden syvyys- ja veden virtaamatietoja ei tässä yhteydessä ole tarkasteltu yksityiskohtaisesti, koska virtaamat ovat Itämerellä vähäisiä ja syvyys valtamerialueisiin verrattuna pieni.

2. Yleiset tuotanto-olosuhteet Suomen vesialueilla

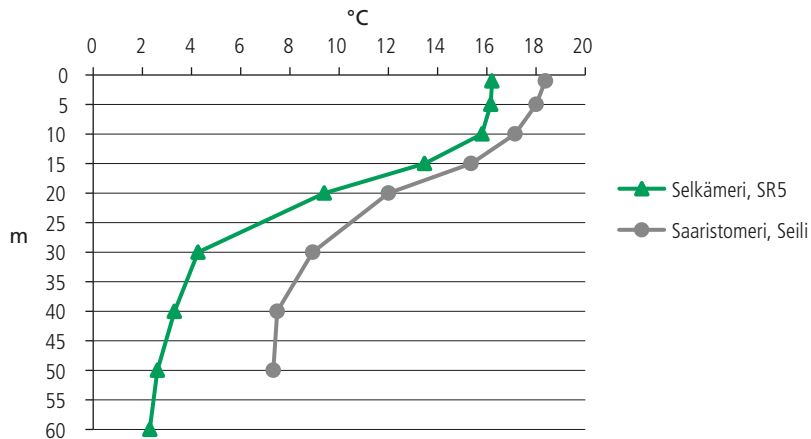
2.1. Lämpötila

Itämeri jäätyy Suomen rannikolla yleisesti leutoinakin talvina. Jääpeitteen alla vesi voi olla kylmimmillään suunnilleen $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Talven jälkeen vedet alkavat lämmetä pinnasta, ja ke-sän edetessä noin 15–20 metrin syvyyteen muodostuu lämpötilan harppauskerros, joka erottaa lämpimämmän pintaveden ja kylmemmän pohjaveden. Harppauskerroksessa veden lämpötila laskee nopeasti. Harppauskerroksen yläpuolella voi tapahtua lämpimien vesien sekoittumista ja sen alapuolella vedet pysyvät viileämpinä. Matalilla alueilla tapahtuu helpommin vesikerroksen sekoittumista, eikä siellä muodostu yhtä selvää lämpötilaeroa pinnan ja pohjan välille.

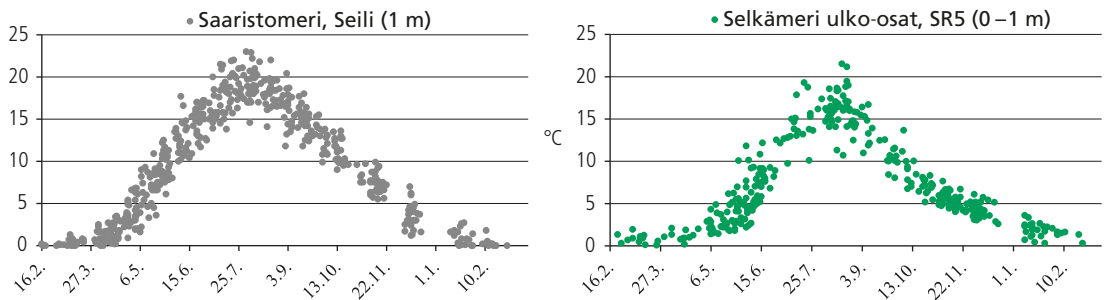
Itämeren rannikonläheiset alueet lämpenevät avomerialueita nopeammin, koska vesimassat ovat rannikon lähellä pienempiä (kuvat 1, 2 ja 3). Lämpimimmillään pintavesien lämpötilat ovat olleet avomerialueilla noin $16\text{--}18\text{ }^{\circ}\text{C}$ elokuun alussa ja lähempänä rannikkoa vastaavasti noin $17\text{--}20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Lämpiminä yksittäisinä vuosina yli $20\text{ }^{\circ}\text{C}$:n vesiä on monin paikoin. Rannikon tuntumassa kumpuaa toisinaan viileää alusvettä pintaa kohti, esimerkiksi silloin, kun tuulet työntävät pintavettä rannikolta avomerelle. Tällöin nopeat lämpötilamuutokset ovat mahdollisia. Syksyllä lämpötilaerot tasoittuvat, kun harppauskerros häviää vesien viileessä ja kovat tuulet sekoittavat vettä. Matalat alueet jäähtyvät syviä alueita aikaisemmin. Suomenlahdella ja Selkämerellä veden lämpötila lokakuussa on keskimäärin noin $8\text{ }^{\circ}\text{C}$, Perämerellä hie-man vli $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja rannikon lähellä Perämeren matalimmilla osilla alle $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Grönvall ym. 1987).



Kuva 1. Saaristomerellä (Seili: 50,6 m) ja Suomenlahden itäosassa (Huovari: 47 m) pintavedet (1 m) lämpenevät nopeammin kuin Selkämeren ulko-osissa (SR5: 125 m). Perämerellä pintavesien keskilämpötilat ovat rannikon lähellä (KE13: 9 m) kesällä lämpimämpiä kuin Perämeren ulko-osissa (F3: 100 m), mutta vedet viilenevät matalilla alueilla kuitenkin nopeammin. Mittauksia on vaihtelevasti viime vuosikymmeniltä. Selkämeren mittaukset ovat osin vanhempia kuin Saaristomerien ja Suomenlahden (ICES 2014, OIVA - Ympäristö- ja paikkatietopalvelu 2014).



Kuva 2. Veden keskilämpötila elokuussa eri syvyyksissä Saaristomerren välisaaristossa (1983–2011 ja osin vanhempia, 15 ja 30 m, mittaukset Seilin läheisyydestä) (OIVA - Ympäristö- ja paikkatietopalvelu 2014) ja Selkämeren ulko-osissa (1978–2013, syvyys 120 m) (ICES 2014).



Kuva 3. Pintaveden lämpötilojen ajallista hajontaa. Lämpötilamittaukset Selkämeren ulko-osasta ovat vuosilta 1962–2013 (ICES 2014) ja Saaristomereltä vuosilta 1983–2011 (OIVA - Ympäristö- ja paikkatietopalvelu 2014).

2.2. Jäät

Syksyllä rannikon läheiset vedet viilenevät ulapan vesiä nopeammin, koska matalille vesialueille on varastoitunut lämpöä vähemmän. Itämerellä pohjoisten alueiden matalissa osissa jään muodostuminen alkaa marraskuun aikoihin. Vaasan edustalla ensijäätyminen tapahtuu keskimäärin joulukuun alussa ja esimerkiksi Uudenkaupungin ja Kotkan edustalla joulukuun lopulla tai vuoden vaihteessa (Seinä ja Peltola 1991). Rannikolta ulospäin mentäessä jäätymisajankohta käy myöhäisemmäksi. Jäätymisajankohdissa esiintyy vaihtelua vuosien välillä enemmän kuin jäänlähtöajankohdissa. Ilman lämpötila, joka vaikuttaa syksyllä meren jäähtymiseen, ei ole yhtä paljon aikaan sidonnainen kuin kevään myötä lisääntyvä auringon säteily (Leppäranta ym. 1988). Yleistäen jäät lähtevät etelässä huhtikuun aikana ja Perämerellä toukokuussa. Selkämeren ulappa-alueilla jäätalven pituus on keskimäärin noin kaksi kuukaut-

ta, Saaristomerellä se on paikoin kolmekin kuukautta, mutta Perämeren matalissa osissa jopa kuusi kuukautta.

Ulappa-alueilla jäät esiintyvät usein ajojääkenttinä, koska avoimilla alueilla tuuli rikkoo jään helposti. Tuulen pyyhkäisymatkan pituus, tuulen nopeus, jään paksuus, jään kovuus ja veden korkeuden vaihtelut vaikuttavat jääkentän rikkoutumiseen. Liikkuvat ajojääät voivat olla paksumpia ulommilla alueilla, koska sisäosissa saaret ja matalat alueet vaikuttavat jäiden paikallaan pysymiseen. Pohjanlahden pohjoisosan ulappa-alueilla ajojääät voivat olla paksuimmillaan jopa yli 90 cm, Selkämeren ulappa-alueilla noin 70 cm ja sisemmällä, suojaisilla saaristo-alueilla vastaavasti alle 30 cm (Palosuo ym. 1982).

Alkutilvella ohut jääpeite rikkoutuu helpommin, jolloin jäät voivat mennä päällekkäin ja ahtautua. Ajojääät voivat painua kovan tuulen vaikutuksesta kasaan ja ahtautua kiintojäättä vasten valleiksi. Jäiden liikkumiseen vaikuttavat pääosin tuulet, mutta myös virtaukset. Aivan rannikon läheisyydessä esiintyy keskitalvella kiintojäättä. Ahtojäiden esiintymisen todennäköisyys kasvaa ulommas mentäessä. Talven edetessä jää paksunee ja kiintojääräjä muodostuu ulommas rannikosta. Kiintojäää pysyy suurimman osan talvea vakaana. Kiintojään ulkoraja on riippuvainen talven kylmyydestä, ja leutoina talvina kiintojääräjä jää matalammille alueille. Kiintojään reunassa voidaan tavata 1–10 km leveä tiivis ahtojäävyöhyke (Myrberg ym. 2006). Myös avoimilla ulappa-alueilla voi esiintyä ajojäälauttojen ahtautumista. Perämeren ulapalla ahtojääät ovat yleisiä, ja usein niitä voi esiintyä myös Selkämerellä ja Suomenlahdenkin ulomissa osissa (SMHI ja Merentutkimuslaitos 1982). Perämerellä jäitä voi kasautua myös lähellä rantaa.

Ahtojääät voivat ottaa rannikolla pohjaan kiinni, jolloin yläpuolinen osa voi kasvaa huomattavasti. Perämeren rannikolla voidaan usein tavata pohjaan asti ulottuvia ahtojääkasoja, joiden näkyvä osa kasvaa yli 10-metriseksi. Pohjaan ulottuvat ahtojääät voivat tietyissä oloissa kyntää pohjaa (Rintamäki 2011). Ahtautuneet jäät voivat myös kellua, jolloin vedenpinnan yläpuolinen näkyvä osa on selvästi matalampi kuin veden alla oleva osa. Perämerellä on mitattu ahtojäävälli, joka oli näkyvältä osaltaan 3,5 metriä ja vedenalaiselta osaltaan 28 metriä korkea (Palosuo 1975).

2.3. Tuuli

Keskimäärin tuulet ovat avoimilla merialueilla kovempia kuin rannikon sisäosissa, jossa saaret ja maaston moninaisuus aiheuttavat rosoisuutta ja kitkaa, joka hidastaa tuulta. Lisäksi saaret luovat suojaisuutta. Myrskyjä esiintyy useimmin syksyn ja talven aikana, mutta kesän aikana ne ovat harvinaisia. Syksyisin tuulet voimistuvat matalapaineiden voimistumisen myötä. Keskimäärin vuositasolla Suomen merialueilla mitataan yhteensä 20 myrskypäivää, mutta yhdellä merialueella tai mittausasemalla myrskyjen määrä on pienempi (Ilmatieteen laitos 2014). Kovin 10 minuutin keskituuli Suomen merialueella on ollut 31 m/s. Puuskissa nopeudet voivat olla suurempia. Saaristomerен eteläosassa Utössä huhtikuun ja elokuun välillä myrskytuulia (≥ 21 m/s) lähellä olevat tuulet ovat harvinaisia, mutta syys–marraskuussa jopa 23–25 m/s:n tuulet ovat pitkällä aikavälillä mahdollisia. Valassaarilla, Vaasan länsipuolella, on kesänkin aikana mitattu myrskylukemia, mutta vastaavasti mantereen puolella Turussa ja Vaasassa tuulen nopeus ei yleisesti useinkaan ole yli 13 m/s (Heino ja Hellsten 1983).

2.4. Aallonkorkeus ja -pituus

Itämerellä voi kovissa tuuliooloissa ulappa-alueilla esiintyä korkeitakin aaltoja. Aallonkorkeuteen vaikuttaa tuulen nopeus, tuulen kesto sekä tuulen pyyhkäisymatka eli etäisyys rantaan tuulen tulosuunnassa. Lisäksi aallonkorkeuteen vaikuttavat rannikon syvyys ja muodot. Aallokko sisältää lukuisia erilaisia aaltoja, ja siksi aallonkorkeuden mittana käytetään yleisesti merkitsevää aallonkorkeutta, joka tarkoittaa tietystä ajassa korkeusjärjestykseen laitettujen aaltojen korkeimman kolmanneksen keskiarvoa, jonka on todettu myös vastaavan merenkulkijoiden arvioimaa aallonkorkeutta. Aallokko sisältää siis useita merkitsevää aallonkorkeutta korkeampia aaltoja, ja korkein yksittäinen aalto voi olla korkeudeltaan lähes kaksinkertainen merkitsevään aallonkorkeuteen verrattuna (U.S. Army Corps of Engineers 2008). Aallokko ei välttämättä kulje tuulen suuntaan, vaan siihen vaikuttaa esimerkiksi vesialueen muoto. Kovilla tuulilla kuluu valtamerialueilla yli vuorokausi, ennen kuin täysi aallonkorkeus on saavutettu. Itämerellä tuulen lyhyt pyyhkäisymatka voi olla aallon kasvua rajoittava tekijä. Itämerellä tuuli ehti myös yleensä muuttaa suuntaa, ennen kuin aallon täysi korkeus on saavutettu. Tämän seurauksena meressä tavataan eri suuntiin kulkevaa aallokkoa (Mälkki 1984).

Aaltojen käyttäytymistä kuvaa myös aallonpituus sekä aallon periodi, joka tarkoittaa sitä aikaa, joka kuluu kahden aallonharjan esiintymisen välissä. Aaltojen kehittyessä ne ovat aluksi jyrkkiä, mutta etäisyyden kasvaessa aallonpituus kasvaa korkeutta nopeammin. Itämerellä aallonpituus ei pääse kasvamaan niin pitkäksi kuin valtamerillä, jolloin aaltojen harjat ovat Itämerellä lähempänä toisiaan. Aaltojen tullessa syvältä lähemmäs rannikkoa aaltojen muoto ja käyttäytyminen muuttuu. Syvällä aallot voivat kulkea nopeammin, mutta veden madaltuessa aallon aiheuttama ympyräliike ottaa pohjaan. Tällöin tapahtuu aallonpituuden lyhenemistä ja aallon jyrkkenemistä. Matalikoita kohdatessaan aallot myös murtuvat. Lisäksi rannikolla tapahtuu esimerkiksi refraktiota (aaltojen kääntyminen matalaa kohti, koska matalalla aallot kulkevat hitaammin kuin syvällä), diffraktiota (aallon muodon muuttumista saaren kohdalla), aaltojen heijastumista sekä toisten aaltojen ja virtausten vaikutusta (U.S. Army Corps of Engineers 2008). Näiden tekijöiden seurauksena tapahtuu saaristossa aallokon vaimenemista.

Koska tuulet ovat kovimmillaan talvella ja syksyllä, myös aallot ovat silloin korkeimmillaan. Selkämerellä ja Perämeren ulappa-alueilla voi syksyllä esiintyä 6–7 metrin ja kesäläkin yli kolmen metrin merkitseviä aallonkorkeuksia. Suurimmat aallot ovat olleet noin 14 metriä korkeita. Suomen ulkomerialueilla merkitsevät aallonkorkeudet ovat vuodessa alle 2 metriä noin 90–95 % ajasta. Alle metrin aaltoja on noin 65–75 % ajasta. Suomenlahdella aallot ovat hieman Pohjanlahtea pienempiä (Tuomi ym. 2011).

2.5. Virtaukset

Pääosin virtausnopeudet eivät ole Itämerellä erityisen suuria. Suomenlahdella koko vesimassan keskimääräinen virtausnopeus on 5 cm/s ja pintakerroksessa hieman suurempi, suunnilleen 5–10 cm/s (Gästgifvars ym. 2004). Myrskytuulilla hetkelliset virtaukset voivat olla kuitenkin jopa 50 cm/s. Salmipaikoissa virtaus voi olla kovaa, ja esimerkiksi Saaristomerellä on salmessa mitattu virtausnopeudeksi yli 70 cm/s (Suominen ja Helminen 2003).

Suomen rannikolla virtauksissa esiintyy siis voimakasta vaihtelua. Virtauksiin vaikuttavat muun muassa tuuli, ilmanpaine-erot, syvyyden vaihtelut ja rannikon muodot. Myös veden

tiheyserojen ja jokivesien aiheuttamia virtauksia voidaan havaita. Lisäksi maapallon pyörimisliike vaikuttaa virtauksiin. Suomen rannikkoalueilla vesi kiertää keskimäärin vastapäivään. Itämeressä ei esiinny mainittavasti vuorovesien aiheuttamia virtauksia.

Myrskytuulien seurauksena vettä voi kasautua esimerkiksi länsituulella Suomenlahden perukkaan, jolloin vedenkorkeus siellä nousee. Vedenpinnan kallistuma purkautuu lopulta, jolloin virtaussuunta muuttuu. Tällöin virtauksen suunta voi olla toinen kuin vallitseva tuulen suunta. Suuret kallistumat saattavat aiheuttaa myös vesimassojen vastaheilahduksia (Mälkki 1984). Myös rannikonläheisillä alueilla voi esiintyä vastaavia heilahdusliikkeitä, jotka osaltaan vaikuttavat virtausten moninaisuuteen (Virtaustutkimuksen neuvottelukunta 1979).

Virtausnopeudet ja niiden suunnat vaihtelevat eri syvyyksissä. Hetkelliset virtaukset ovat tyypillisesti voimakkaampia kapeikoissa ja silloin, kun saaret tai rannikon muodot oh-jaavat virtaavan veden syviltä ja laajemmilta alueilta matalikoille. Tuuli vaikuttaa ensisijaisesti pintakerroksen virtauksiin. Näin virtausnopeus on voimakkaampaa pinnassa ja heikkenee syvemmälle mentäessä. Kerrostuneisuuden vallitessa virtaukset voivat kulkeutua eri syvyyskerroksissa myös vastakkaissuuntiin.

3. Mahdolliset kasvu- ja keskittämialueet

Kalankasvatuksen tuotanto-olosuhteita pyrittiin tarkastelemaan kattavasti Suomen rannikolla. Yksityiskohtaiset paikat, joille olosuhdetarkastelu tehtiin, sijaitsevat kansallisessa kalankasvatuksen sijainninohjaussuunnitelmassa määritetyllä alueella. Tarkasteluun valittiin ensisijaisesti ne paikat, joihin nykyisillä yrityksillä oli kiinnostusta suunnata uutta tuotantoa. Muita valinnan kriteereitä olivat olemassa olevien yritysten infrastruktuurin läheisyys ja tuotantopaikan suojaisuus. Tarkasteltavien paikkojen sijainti on esitetty kuvassa 4. Lämpötiloista ja aallonkorkeuksista on esitetty tietoja julkaisussa Kankainen ym. (2013).



Kuva 4. Paikat 1–8, joiden tuotanto-olosuhteita arvioitiin yksityiskohtaisesti.

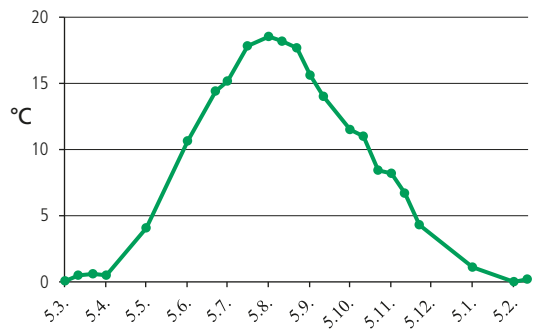
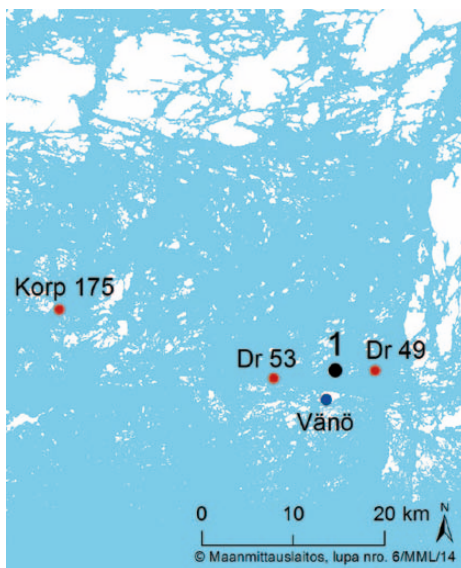
3.1. Eteläinen Saaristomeri – Kemiönsaari

3.1.1. Jäät

Ensijäätyminen tapahtuu Saaristomeren ulkosaaristossa keskimäärin tammikuun puolenvälin jälkeen ja jäiden lopullinen katoaminen suunnilleen huhtikuun alussa (Seinä ja Kalliosaari 1991, Seinä ym. 1996, 2001, 2006). Leudoimpina talvina jäätä ei muodostu. Aikaisimmillaan ensijäätyminen tapahtuu joulukuun puolenvälin jälkeen. Myöhäisin jään lopullinen katoaminen tapahtuu huhti–toukokuun vaihteessa. Ahtojäiden pääasiallinen esiintyminen on ulompänä. Paksuimmat 30 vuoden aikavälillä esiintyvät ajojääät voivat olla 40–50 cm (Palosuo ym. 1982).

3.1.2. Lämpötila

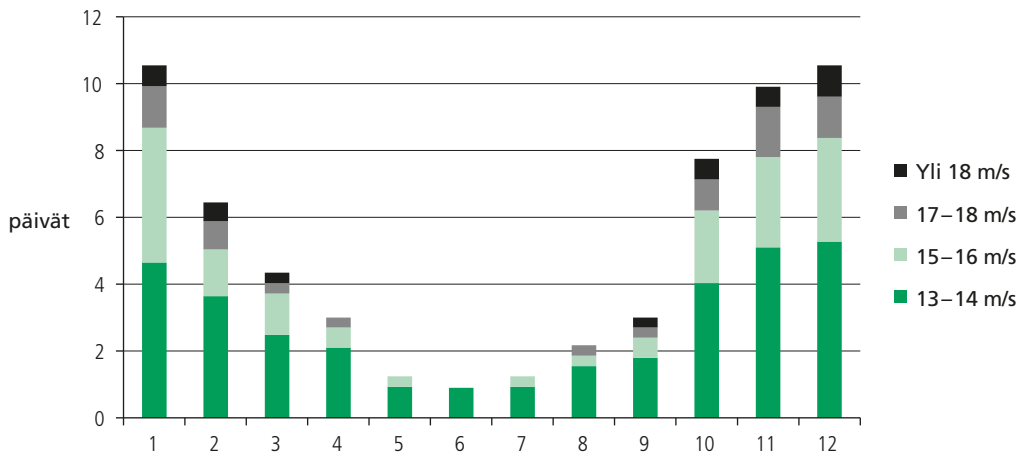
Lämpötilat nousevat keskimäärin yli kymmenen asteen kesäkuun puolivälissä (kuva 5). Lämpimimmillään vedet ovat keskimäärin suunnilleen 18–19 °C. Lämpimimpinä vuosina veden lämpötila on yli 22 °C.



Kuva 5. Keskilämpötila (1 m) eteläisen Saaristomeren Kemiönsaaren paikassa 1. Tehty havainto-asetmien Dr 49, Dr 53 ja Korp 175 perusteella. Mittauksia on vaihtelevasti eri vuosilta (OIVA - Ympäristö- ja paikkatietopalvelu 2014). Kuvassa on myös Vänon tuulimittausaseman sijainti.

3.1.3. Tuuli

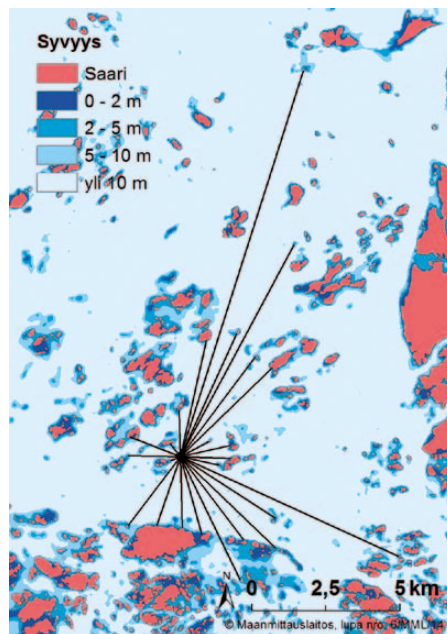
Eteläisen Saaristomeren Kemiönsaaren paikan 1 tuuliolosuhteita kuvaavat Vänon sääaseman mittaukset. Kesän aikana vähintään 13 m/s:n tuulia esiintyy harvoin, mutta lokakuussa keskimäärin noin kahdeksana päivänä (kuva 6). Arvot kuvaavat vuorokaudessa tavattuja suurimpia 10 minuutin keskiarvotuulia.



Kuva 6. Väinön sääasemalta mitattuja kovien tuulien päiviä kuukaudessa keskimäärin vuosilta 1991–2010 (Ilmatieteen laitos 2012).

3.1.4. Aallonkorkeus

Kemiönsaaren paikka on monin osin saarten suojassa (kuva 7). Pisimmillään tuuli pääsee vaikuttamaan pohjoisen ja koillisen välistä. Koillisen suunnasta ei tule kuitenkaan tavanomaisesti kaikkein kovimpia tuulia. Suurimmillaan merkitsevän aallonkorkeuden oletetaan olevan noin metrin.



Kuva 7. Eteläisen Saaristomerén Kemiönsaaren paikassa puskurisaaret sijaitsevat 10 km:n säteellä.

3.2. Pohjoinen Saaristomeri – Kustavi

3.2.1. Jäät

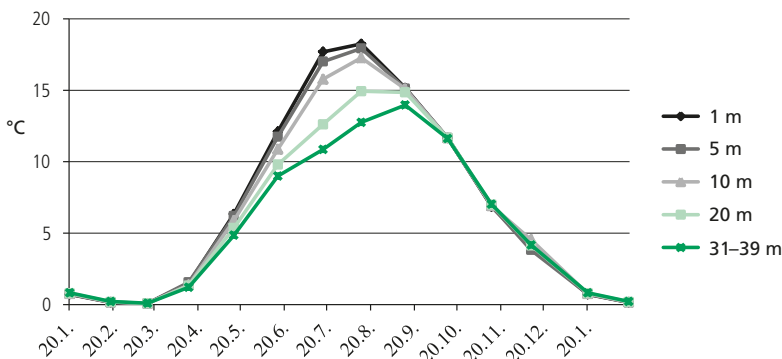
Jääolosuhteissa on talvien välillä Kustavin länsipuolella suuria eroja. Aikaisimmillaan jäätä on esiintynyt jo joulukuun alussa, mutta myöhäisimmillään ensijää on tullut vasta helmikuun puolivälin jälkeen (taulukko 1). Jäähavaintopaikka sijaitsee 3 km:n päässä paikasta 2. Ensijään muodostumisen jälkeen voi mennä vielä päiviä, ennen kuin jääpeitteestä muodostuu pysyvä. Tuolloin voi esiintyä ajojäätä, sohjoa ja jossain määrin mahdollisesti jäiden ahtautumista (Palosuo 1963). Pääasiassa ahtojäitä esiintyy kuitenkin ulommilla alueilla. Pysyvän jääpeitteen sulamisen jälkeen menee keskimäärin vajaa viikko ennen jäiden lopullista katoamista. Vuosina 1990 ja 1992 jäätä esiintyi vain yhden vuorokauden ajan. Pisimmillään jäitä on esiintynyt joulukuun ja toukokuun välillä. Vuosittain ajojään paksuus voi olla noin 20 cm ja 30 vuoden aikana paksuimmaksi mahdolliseksi ajojääksi on arvioitu noin 30 cm (Palosuo ym. 1982).

Taulukko 1. Kustavin paikan ensijään muodostumisen ja jään lopullisen katoamisen ajankohdat talvien 1985/1986–2004/2005 mukaan (Seinä ja Kalliosaari 1991, Seinä ym. 1996, 2001, 2006).

	Ensijää	Jään katoaminen
Keskiarvo	14.1.	28.3.
Aikaisin	5.12.	4.1.
Myöhäisin	21.2.	5.5.

3.2.2. Lämpötila

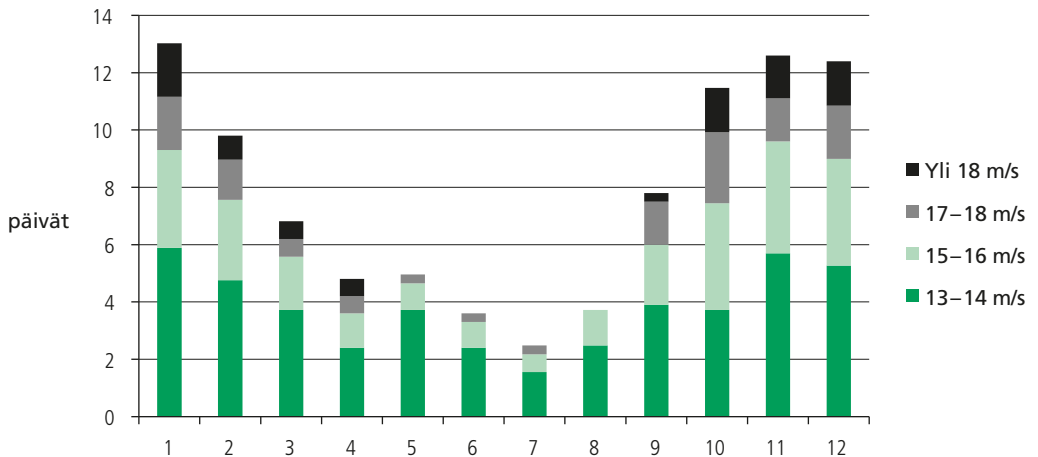
Pohjoisen Saaristomeren Brändön lämpötilan mittausasema sijaitsee tarkasteltavan paikan vieressä ja kuvastaa näin hyvin Kustavin paikan lämpötilaoloja. Kesällä lämpötilaerot pinnan ja pohjan välillä ovat suurimmillaan, mutta erot poistuvat syksyllä tapahtuvan vesien sekoittumisen myötä (kuva 8). Vuosien välillä lämpötiloissa on selviä eroavaisuuksia.



Kuva 8. Saaristomeren pohjoisosan kuukausikeskilämpötilat eri syvyyksissä vuosien 2000–2011 mukaan (OIVA - Ympäristö- ja paikkatietopalvelu 2014).

3.2.3. Tuuli

Lokakuussa vähintään 13 m/s:n tuulia on mitattu keskimäärin 11,5 päivänä (kuva 9). Kovimpia myrskytuulia tulee mereltä lounaan ja pohjoisen väliltä. Kustavin paikan läheisin tuuliasema on Isokarin sääasema

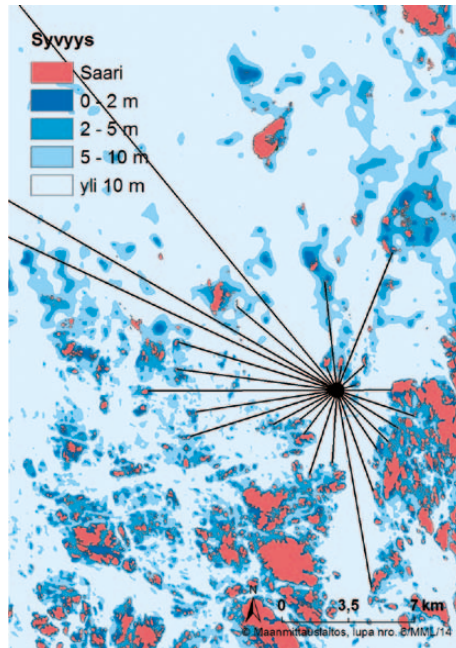


Kuva 9. Isokarin aseman tuulioloja vuosina 1995–2010 (Ilmatieteen laitos 2012).

3.2.4. Aallonkorkeus

Kustavin paikka on monelta osin saariston suojassa (kuvat 10 ja 11), mutta luoteen puolella tuulen pyyhkäisymatka ylittää Ruotsiin asti. Näiltä kohdin kauan samasta suunnasta tuleva erittäin kova tuuli voi aiheuttaa suuria merkitseviä aallonkorkeuksia. Teoriassa eri syvyyksillä mallinnettuna aallot voivat nousta 2-metrisiksi tai jopa 3-metrisiksi. Aallonkorkeuksia kuvaavia arvoja on tarkemmin esitettyä julkaisussa Kankainen ym. (2013). Korkeudet ovat suuntaa antavia, koska mallit jättävät huomioimatta esimerkiksi syvyyden vaihteluja. Laskuissa on käytetty matalien vesien aaltojen kaavaa (U.S. Army Corps of Engineers 1984).

Kustavin paikan syvyys vaihtelee noin 20 ja 30 metrin välillä, mutta paikan ympärillä on saaria ja matalia alueita, jotka vaikuttavat aallokkoon. Matalalle tultaessa pohjan aiheuttaman kitkan vuoksi aalto voi muodostua jyrkemmäksi ja rannan lähentyessä murtua. Lisäksi saarien ja matalien kohdilla tapahtuu aaltojen kääntymistä. Toistuvien matalikoiden seurauksena voi tapahtua aallokon vaimenemista. Myös mahdolliset tuulen suunnan muutokset vaikuttavat.



Kuva 10. Kustavin paikan tuulen pyyhkäisymatka voi luoteen suunnassa ylittää Ruotsiin asti, mutta muutoin paikka on monelta osin saarten suojassa.

3.3. Eteläinen Selkämeri – Uusikaupunki

3.3.1. Jäät

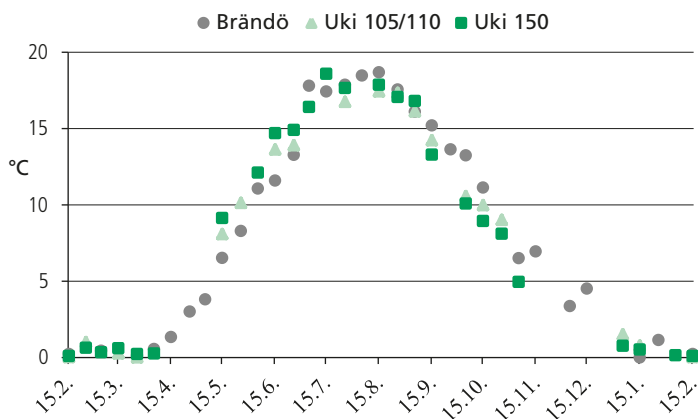
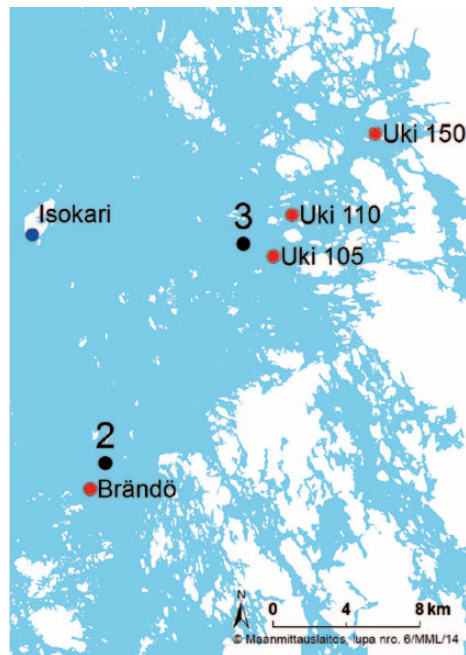
Uudenkaupungin länsipuolella paikassa 3 voi ensijään arvioida muodostuvan keskimäärin vuoden vaihteessa ja jäiden lopullisen katoamisen tapahtuvan huhtikuun alussa. Uudenkaupungin satamassa keskimääräinen ensijään muodostumispäivä on 7.12. ja jäiden katoamispäivä 11.4. (Seinä ja Kalliosaari 1991, Seinä ym. 1996, 2001, 2006). Ahtojäiden pääasiallinen esiintyminen tapahtuu ulompana. Suurin mahdollinen ajojään paksuus 30 vuoden ajanjaksolla on noin 30 cm (Palosuo ym. 1982).

3.3.2. Lämpötila

Kuvassa 11 on Kustavin paikan 2 ja Uudenkaupungin paikan 3 sijainti sekä näiden läheisyydessä olevia lämpötilan mittauspisteitä. Näissä paikoissa lämpötilat ovat etenkin kesä–syyskuussa toisiaan vastaavia. Yleisesti ulompana lämpeneminen ja viileneminen tapahtuu kuitenkin myöhemmin, ainakin aivan matalimpiin alueisiin verrattuna.

3.3.3. Tuuli

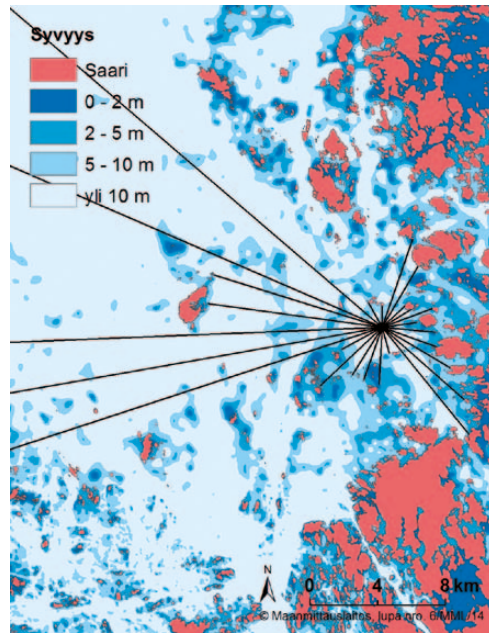
Tuuliolosuhteet ovat samankaltaisia Kustavin ja Uudenkaupungin ulkosaaristossa. Tuulitiedot ovat Isokarin sääasemalta, jossa tuulen nopeudet saattavat olla hieman tarkasteltuja paikkoja kovempia (kuva 9).



Kuva 11. Kustavin paikan 2 ja Uudenkaupungin paikan 3 sijainti sekä lämpötilan mittauspisteiden (Uki 150, 110, 105 ja Brändö) sijainti ja pintalämpötilojen (1 m) keskiarvoja (OIVA - Ympäristö- ja paikkatietopalvelu 2014) sekä Isokarin tuulimittausaseman sijainti. Lämpötilan mittauksia on suoritettu 1960–1980-luvuilta lähtien, mutta Brändössä vasta vuodesta 2000 lähtien.

3.3.4. Aallonkorkeus

Uudenkaupungin paikalla idänpuoleiset tuulen pyyhkäisymatkat ovat lyhyitä (kuva 12), selvästi alle 10 km, eikä aallonkorkeus kasva niiltä suunnilta suureksi. Osittain lännen ja luoteen puoleiset tuulen pyyhkäisymatkat yltyvät kuitenkin Ruotsiin asti. Näiltä suunnilta on mahdollista tulla korkeita aaltoja, mutta matalikoilla ja saarilla on aallokkoon kuitenkin vaikutusta. Teoriassa merkitsevät aallonkorkeudet voivat kasvaa noin 2–3 metriin riippuen pohjan muotojen vaikutuksesta.



Kuva 12. Uudenkaupungin paikan tuulen pyyhkäisymatkat. Länsipuolella on avoimempaa ja tuuli voi vaikuttaa pitkältä matkalta.

3.4. Selkämeri – Luvia

3.4.1. Jäät

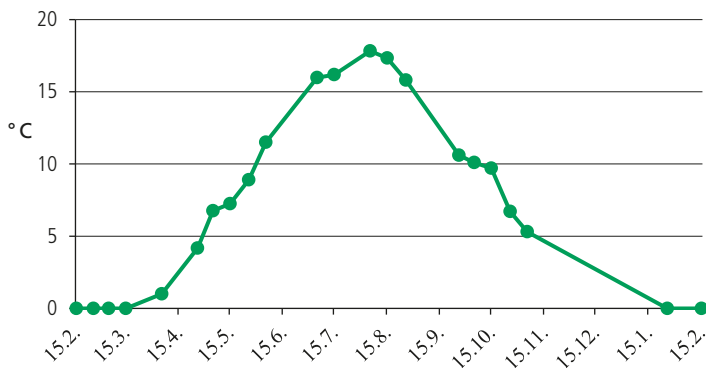
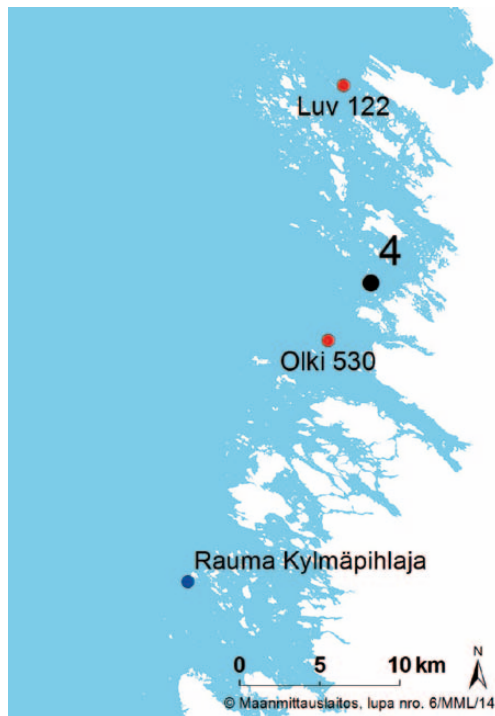
Paikassa 4 Luvian edustalla ensijää muodostuu keskimäärin tammikuun alussa ja jää pois-tuu lopullisesti huhtikuun alussa. Ensijään muodostuminen ja jään sulaminen on laskettu taulukkoon 2 keskiarvona kahdesta tarkkailupaikasta, joista toinen sijaitsee pohjoisempana Porin edustalla ja toinen etelämpänä Rauman edustalla. Ensijäätymisen jälkeen voi mennä päiviä, ennen kuin jääpeite muodostuu pysyväksi. Ahtautuneiden jäiden esiintyminen alueella voi olla mahdollista. Kiintojävyöhykkeen keskimääräinen raja on keskitalvella ulompänä (SMHI ja Merentutkimuslaitos 1982). Paksuimmillaan ajojää voi olla 30 vuoden aikavälillä noin 30 cm (Palosuo ym. 1982).

Taulukko 2. Selkämeren Luvian paikan ensijään muodostumisen ja lopullisen jään katoamisen ajankohdat 1985/1986–2004/2005 (Seinä ja Kalliosaari 1991, Seinä ym. 1996, 2001, 2006).

	Ensijää	Jään katoaminen
Keskiarvo	2.1.	2.4.
Aikaisin	2.12.	23.1.
Myöhäisin	9.2.	6.5.

3.4.2. Lämpötila

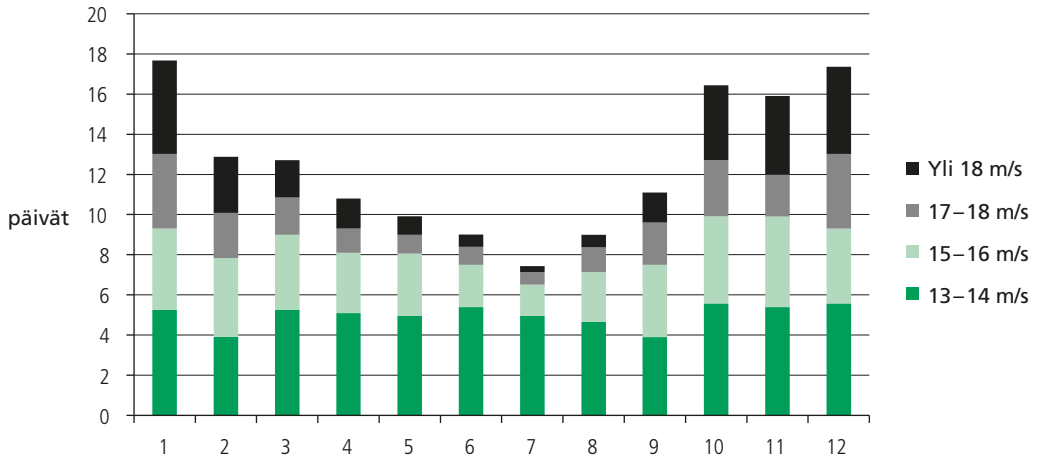
Huhtikuun alussa jään poistumisen jälkeen alkaa pintavesien lämpeneminen, ja keskimäärin lämpötila saavuttaa alueella elokuussa noin 18 °C lämpötilan (kuva 13). Tämän jälkeen alkaa vesien viileneminen, ja lokakuun lopulla vedet saavuttavat noin 7 °C lämpötilan. Vuosien välillä voi esiintyä monen asteen eroja lämpötiloissa.



Kuva 13. Selkämeren Luvian paikan 4 pintaveden (1 m) keskilämpötilakäyrä. Tehty asemien Luv 122 ja Olki 530 (1979/1981–2011) tietojen perusteella. Loppuvuoden osalta mittauksia puuttuu (OIVA - Ympäristö- ja paikkatietopalvelu 2014). Lisäksi kartalla on Kylmäpihlajan tuuli-mittausaseman sijainti.

3.4.3. Tuuli

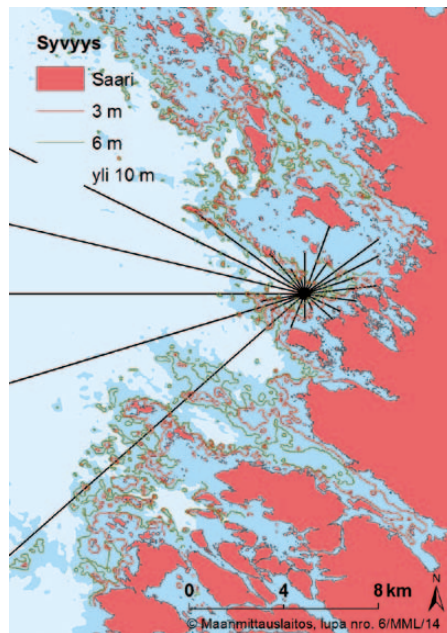
Lähimpänä Luvian paikkaa sijaitseva tuuliolosuhteita kuvaava toiminnassa oleva sääasema on Kylmäpihlaja. Asema sijaitsee 22 km:n päässä Luvian paikasta ja on hieman ulompana. Luvian paikan pohjoispuolella on lisäksi runsaasti saaristoa, joten Kylmäpihlajan asemalla kovia tuulia esiintyy useammin kuin Luvialla. Kylmäpihlajan asemalla vähintään 13 m/s:n tuulia on syyskuussa mitattu keskimäärin noin 11 päivänä ja lokakuussa yli 16 päivänä (kuva 14).



Kuva 14. Rauma Kylmäpihlajan tuulioloja vuosina 1991–2010 (Ilmatieteen laitos 2012).

3.4.4. Aallonkorkeus

Luvian paikka on avoin tuulille, jotka tulevat lounaan ja luoteen välistä, eikä niissä suunnissa ole kuin joitakin pieniä saaria (kuva 15). Näiltä suunnilta tuulee myös usein eniten. Paikan läheisyydessä on kuitenkin matalia kohtia, joilla on vaikutuksensa aallokkoon. Ulommilla alueilla, jossa syvyys ei vaikuta aallokkoon, aallonkorkeudet voivat olla yleisesti suurempia, mutta Luvian paikan läheisyydessä aallot saattavat olla jyrkempiä. Laskennassa merkittäväksi aallonkorkeudeksi on saatu 2,3–3,2 metriä. Itätuulilla aallot eivät kasva suuriksi. Tarkemmin tuulitietoja on julkaisussa Kankainen ym. (2013). Käytetty laskentamenetelmä ei ota huomioon rannikolle ominaisia tekijöitä, kuten syvyyden muutoksia, mikä aiheuttaa epävarmuutta arvioihin.



Kuva 15. Selkämeren Luvian paikkaan tuuli voi päästä vaikuttamaan lounaan ja luoteen väliltä pitkältä matkalta.

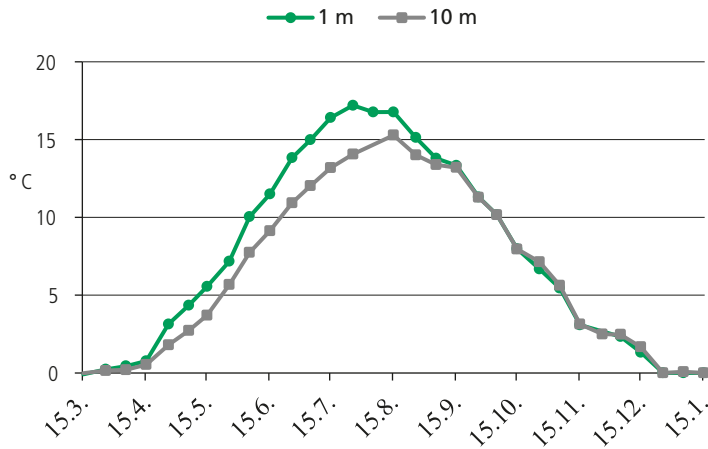
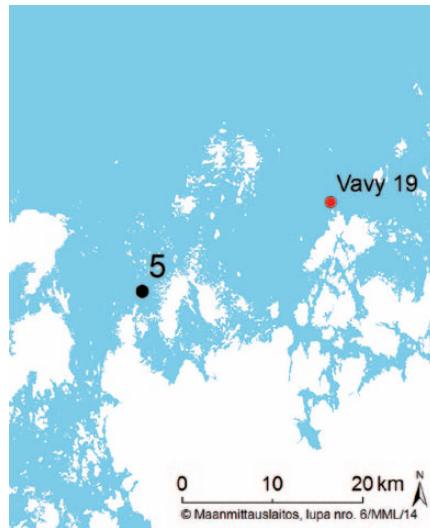
3.5. Merenkurkku – Mustasaari

3.5.1. Jäät

Mustasaaren paikassa 5 ensijäätyminen tapahtuu suunnilleen joulukuun alussa ja jäiden lopullinen poistuminen aivan huhtikuun lopulla. Vuosien välisiä eroja kuitenkin esiintyy, ja pisimmillään jäitä on marraskuun ja toukokuun välisenä aikana. Ahtojäitä paikassa ei esiinny. Suurin ajojään paksuus 30 vuoden aikavälillä on noin 30 cm (Palosuo ym. 1982).

3.5.2. Lämpötila

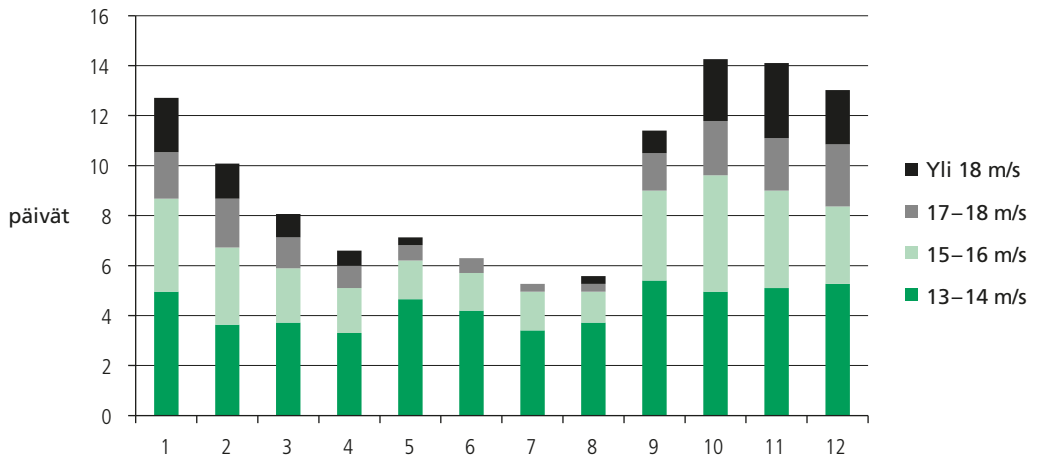
Lämpötila-arvioissa hyödynnettiin 23 km:n päässä olevaa lämpötilan mittauspistettä, jossa syvyys on 26,5 m. Mustasaaren paikka on mittauspisteeseen verrattuna kuitenkin matalampi (n. 13 m) ja lähistöllä on runsaasti matalikkoja, minkä vuoksi Mustasaaren paikan lämpötilat voivat olla hieman mittauspistettä korkeampia. Mittauspisteellä keskimääräinen pintalämpötila on heinäkuun lopulla noin 17 °C (kuva 16). Etenkin 10 metrin syvyydessä voi vuosien välillä olla usean asteen ero lämpötiloissa mittaushetkellä. Veden kumpuaminen voi aiheuttaa nopeita lämpötilavaihteluja



Kuva 16. Mustasaaren paikan 5 ja lämpötilan mittauspisteen (Vavy 19, syvyys 26,5 m) sijainti sekä keskimääräiset lämpötilat vuosien 1988–2011 mukaan (OIVA - Ympäristö- ja paikkatieto-palvelu 2014).

3.5.3. Tuuli

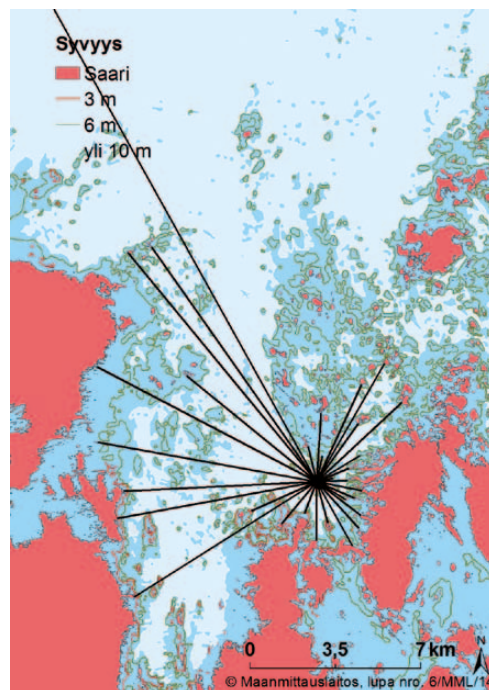
Tuulitiedot ovat Pietarsaari Kallanista, joka sijaitsee noin 70 kilometrin päässä mallinnuspaikasta ja huomattavasti avoimemmalla alueella. Näin voidaan katsoa, että tuuliasemalla on useammin kovia tuulia kuin Mustasaaren paikassa. Pietarsaari Kallanin asemalla vähintään 13 m/s:n tuulia tavataan syyskuussa keskimäärin yli 11 päivänä (kuva 17).



Kuva 17. Pietarsaari Kallanin tuuliolot vuosilta 1995–2010 (Ilmatieteen laitos 2012).

3.5.4. Aallonkorkeus

Mustasaaren paikka on monelta osalta saarien suojassa (kuva 18). Luoteen suunnalta tuulen pyyhkäisymatka on noin 60 km. Luoteen suunnan merkitsevät aallonkorkeudet voivat nousta yli metrin.



Kuva 18. Mustasaaren paikan tuulen pyyhkäisymatkat.

3.6. Pohjoinen Perämeri – Simo

3.6.1. Jäät

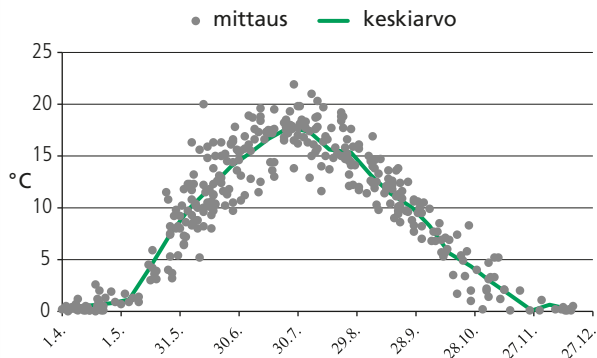
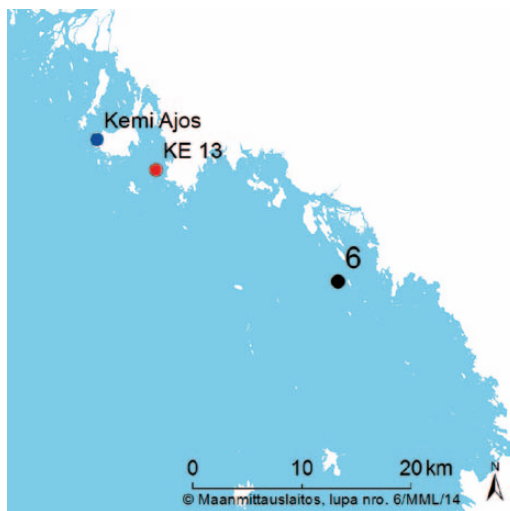
Rannikon läheisyydessä olevan Kemi Ajoksen aseman tietojen voidaan katsoa vastaavan Perämeren Simon paikan 6 jäätietoa. Ensijäät tulevat loka–joulukuussa ja jäiden lopullinen poistuminen tapahtuu suunnilleen toukokuussa (taulukko 3). Ensijäätymisen jälkeen ennen pysyvän jääpeitteen muodostumista voidaan tavata ajojaitä, sohjoa, avovettä ja ahtaumiakin (Palosuo 1963). Ahtojäiden pääasiallinen esiintyminen tapahtuu Perämeren Simon paikkaa ulompana. Paksuimman 30 vuoden aikavälillä esiintyvän ajojään on arvioitu olevan alle 30 cm (Palosuo ym. 1982).

Taulukko 3. Perämeren Simon paikan ensijäätymisen ja jään lopullisen katoamisen ajankohdat talvilta 1985/1986–2004/2005 (Seinä ja Kalliosaari 1991, 1996, 2001, 2006).

	Ensijää	Jään katoaminen
Keskiarvo	12.11.	15.5.
Aikaisin	13.10.	29.4.
Myöhäisin	19.12.	30.5.

3.6.2. Lämpötila

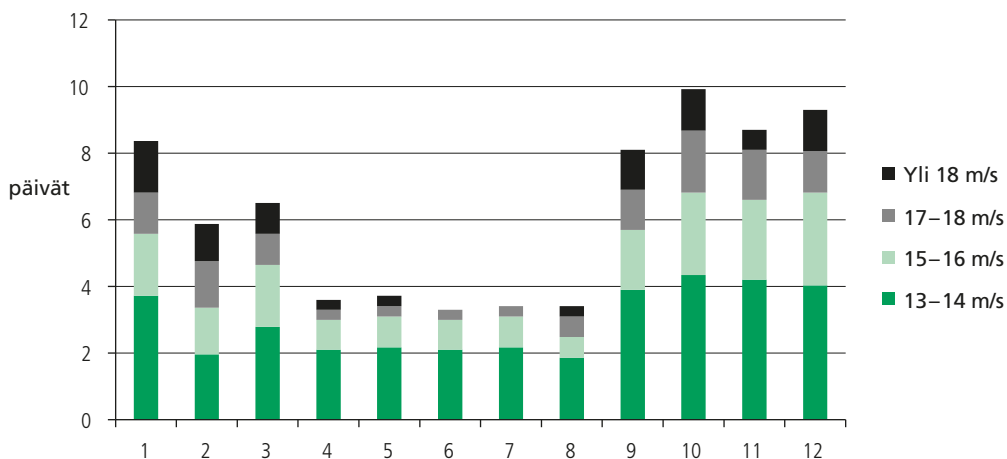
Kemin edustalla olevalla lämpötilan mittauspisteellä (KE 13) keskimääräiset lämpötilat ovat heinäkuun lopulla ja elokuun alussa yli 17 °C. Lähempänä Perämeren Simon paikkaa olevista mittauspisteistä on kesän aikana mitattu myös yli 18 °C:n keskimääräisiä lämpötiloja. Vuosien välillä pintalämpötiloissa esiintyy hajontaa, etenkin kesän aikana yli 5 °C (kuva 19). Kuvassa 1 Perämeren sisäosan lämpötiloja on vertailtu ulappa-alueeseen.



Kuva 19. Perämeren Simon paikan 6 ja lämpötilan mittauspisteen (KE 13) sijainti sekä suoritettujen pintalämpötilan mittaukset (1 m) (1977–2011) ja näiden perusteella laskettu keskiarvo (OIVA - Ympäristö- ja paikkatietopalvelu 2014). Lisäksi kuvassa on Kemin Ajoksen tuulimittausaseman sijainti.

3.6.3. Tuuli

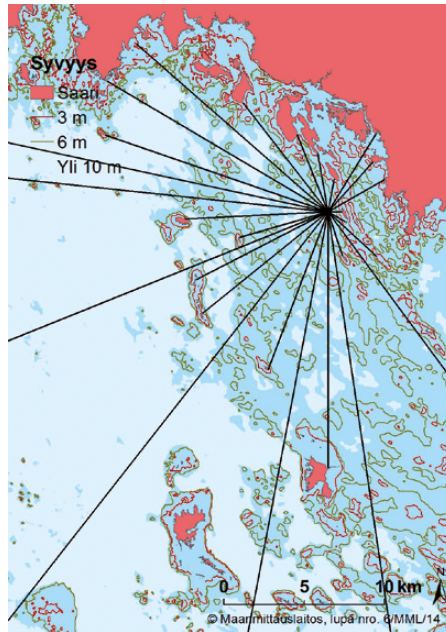
Kemin Ajoksen sääaseman mittaustulosten voi olettaa kuvaavan Perämeren Simon paikan tuuliolosuhteita. Syksyllä vähintään 13 m/s:n tuulia on keskimäärin 8–10 päivänä kuukaudessa (kuva 20). Meren puolelta tulevat tuulet ovat kovempia verrattuna idän suunnasta tuleviin tuuliin.



Kuva 20. Kemin Ajoksen sääaseman tuulioloja vuosina 1991–2010 (Ilmatieteen laitos 2012).

3.6.4. Aallonkorkeus

Perämeren Simon paikka on monin osin melko avoin tuulille (kuva 21). Perämeren pohjoisosissa aallot voivat kasvaa jopa 5–6-metrisiksi ja yksittäiset aallot vielä korkeammiksi, mutta vesi mataloituu kohti rannikkoa ja siksi mallinuksissa on arvioitu noin kahden metrin merkitseviä aallonkorkeuksia. Monesta suunnasta voimakas tuuli aiheuttaa yli metrin merkitseviä aallonkorkeuksia, mutta pohjoisen ja idän tuulilla aallot jäävät mataliksi.



Kuva 21. Perämeren Simon paikkaan tuuli voi päästä vaikuttamaan pitkältä matkalta, mutta veden syvyys pienee rannikkoa kohti.

3.7. Suomenlahti – Loviisa

3.7.1. Jäät

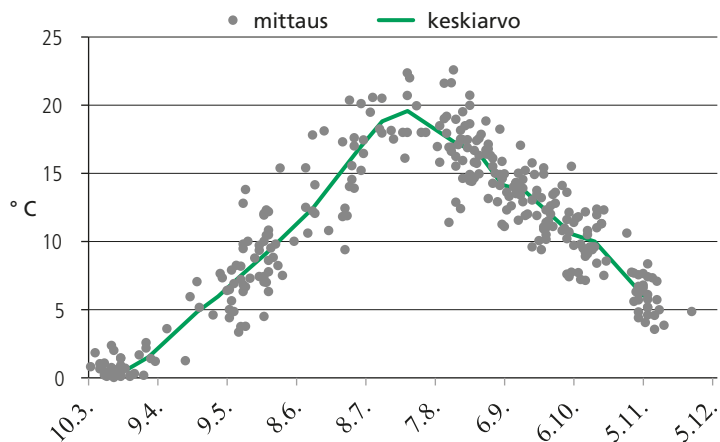
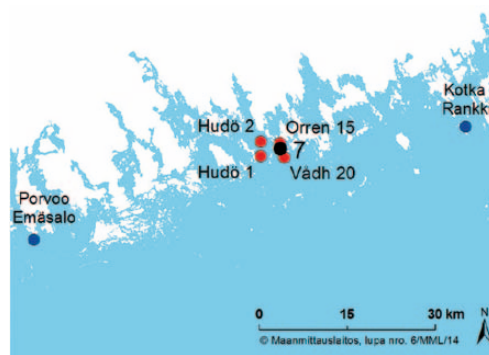
Keskimäärin ensijää muodostuu Loviisan paikan 7 tuntumassa vuoden vaihteessa, ja jäiden lopullinen katoaminen tapahtuu huhtikuun alkupuolella (taulukko 4). Talvella 2002/2003 jäitä esiintyi joulukuun alkupuolelta toukokuun alkupuolelle asti. Jäähavaintopaikka on noin kahden kilometrin päässä Loviisan paikasta. Kiintojään keskimääräinen ulkoraja on maaliskuussa mallinuspaiikka ulompana (SMHI ja Merentutkimuslaitos 1982), ja myös ahtojäiden pääasiallinen esiintyminen on ulompana Suomenlahdella. Ajojäiden suurimmaksi paksuudeksi 30 vuoden aikavälillä on arvioitu noin 30–40 cm (Palosuo ym. 1982).

Taulukko 4. Loviisan paikan ensijäätymisen ja jään lopullisen katoamisen ajankohdat talvilta 1985/1986–2004/2005 (Seinä ja Kalliosaari 1991, Seinä ym. 1996, 2001, 2006).

	Ensijää	Jään katoaminen
Keskiarvo	30.12.	7.4.
Aikaisin	2.12.	11.1.
Myöhäisin	1.12.	8.5.

3.7.2. Lämpötila

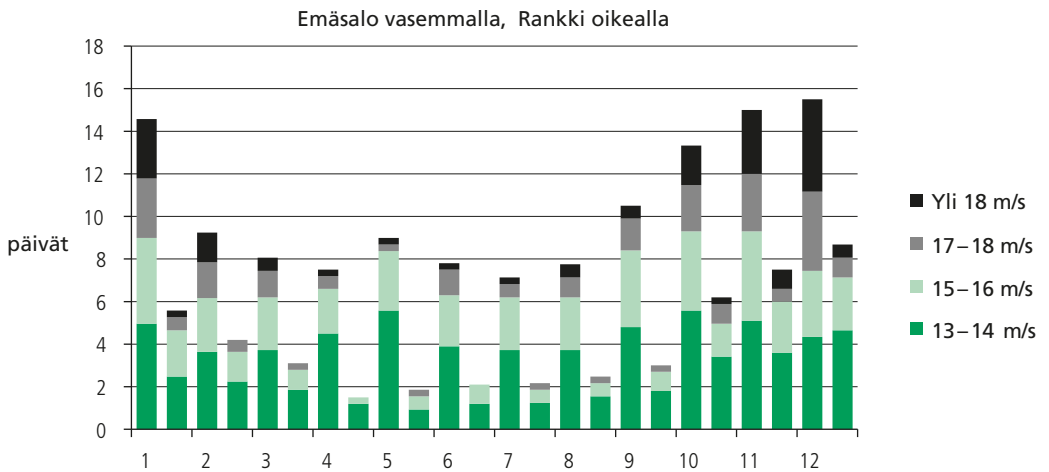
Suomenlahdella vuosien välillä lämpötiloissa voi olla melko suuria eroja etenkin kesän aikana (kuva 22). Lämpimimpinä vuosina vesi on yli 20 °C.



Kuva 22. Lämpötilan mittauspisteiden (Hudö 1, 2, Orren 15 ja Vådih 20) sijainti sekä lämpötilan mittaukset (0–1 m) (OIVA - Ympäristö- ja paikkatietopalvelu 2014). Pisteet ovat näytepaikoista laskettuja keskiarvoja tietyltä näytopäivältä. Näytteitä on 1970-luvulta vuoteen 2011. Lisäksi kuvassa on Porvoo Emäsalon ja Kotka Rankin tuulimittausasemien sijainti.

3.7.3. Tuuli

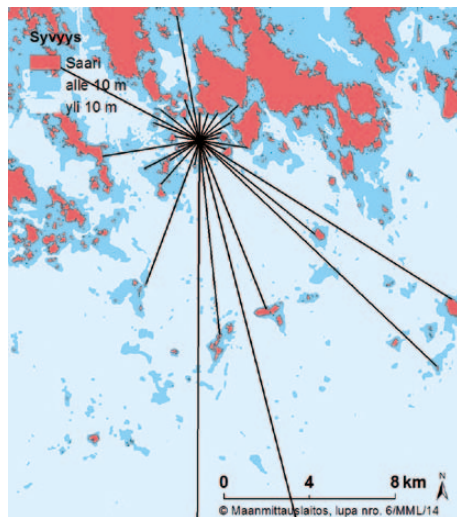
Loviisan paikka sijaitsee Kotka Rankin tuulihavaintoasemasta 32 km:n päässä ja Porvoo Emäsalon asemasta 45 km:n päässä. Porvoon Emäsalon asemalla on mitattu useammin vähintään 13 m/s:n tuulia kuin Kotka Rankin asemalla (kuva 23). Mittauserot osoittavat, kuinka paljon katvealueilla ja mittauspisteen korkeudella on merkitystä tuulien mittaustuloksiin. Esimerkiksi Emäsalon tuulimittauslaite on huomattavasti Rankin mittauspistettä korkeammalla. Kovan tuulen päiviä on vähemmän, jos mittausta paikka on katveessa lounaan ja lännen puoleisilta tuuilta, erityisesti kesällä ja syksyllä.



Kuva 23. Porvoo Emäsalon (vuodet 1998–2010) ja Kotka Rankin (1991–2010) kuukausittaiset tuuliot (Ilmatieteen laitos 2012).

3.7.4. Aallonkorkeus

Loviisan paikalle etelän suunnasta tulevien tuulien pyyhkäisymatka voi olla jopa 100 km (kuva 24). Kyseisestä suunnasta tulevat tuulet voivat teoriassa aiheuttaa 2–3 metrin merkitseviä aallonkorkeuksia. Suomenlahdella aallot eivät aina kuitenkaan etene tuulen suuntaisesti. Alueella on myös saaria, ja pienillä paikan muutoksilla voi vaikuttaa suojaisuuteen ja siten tuulien osumiseen oletettuun tuotantopaikkaan.



Kuva 24. Loviisan paikan tuulenpyyhkäisymatkat ovat etelän suunnassa pitkiä.

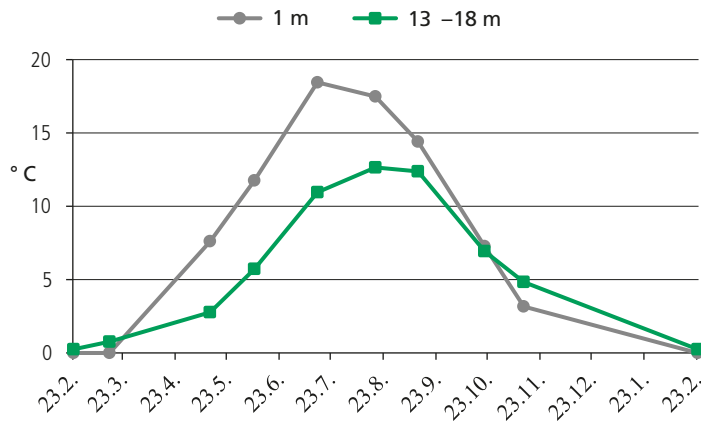
3.8. Itäinen Suomenlahti – Virolahti

3.8.1. Jäät

Itäisen Suomenlahden paikka 8 sijaitsee Virolahden eteläpuolella saaristossa, osittain saarten suojassa. Keskimäärin ensijäiden muodostuminen tapahtuu Kotkan ja Haminan edustalla joulukuun loppupuolella ja jäiden lopullinen poistuminen huhtikuun puolenvälin aikoihin (Seinä ja Kalliosaari 1991, Seinä ym. 1996, 2001, 2006). Virolahden paikassa ajankohdat ovat jokseenkin vastaavat. Ahtojäät esiintyvät ulompana. Ajojäiden suurin paksuus 30 vuoden aikavälillä on noin 30 cm (Palosuo ym. 1982).

3.8.2. Lämpötila

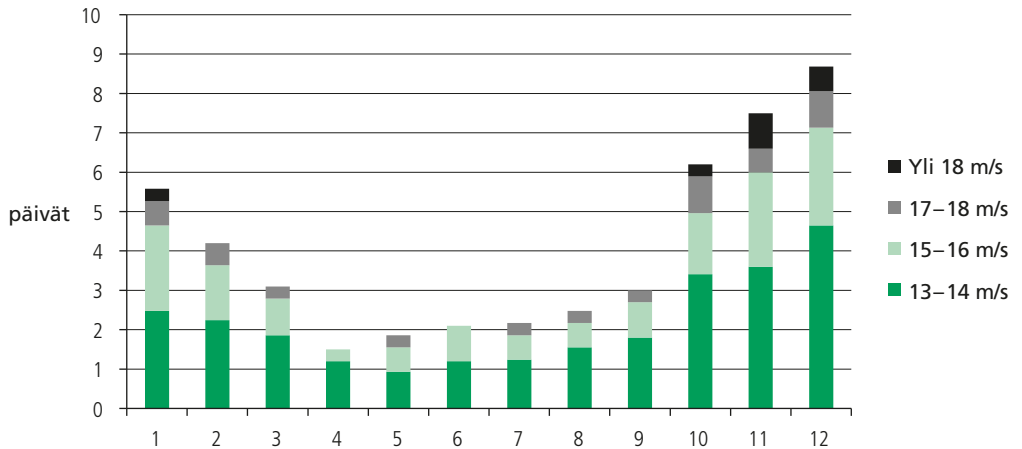
Virolahden paikassa pintavesien lämpötila on kesäkuun alkupuolella keskimäärin noin 10 °C. Lämpimimpinä vuosina pintavedet voivat lämmetä noin 23 asteeseen. Vedet lämpenevät pinnalla enemmän kuin syvemmällä pohjan tuntumassa noin 15 metrissä, jossa vedet ovat kesän aikana selvästi viileämpiä (kuva 25).



Kuva 25. Virolahden paikan 8 keskimääräinen lämpötila pinnalla ja pohjan lähellä (OIVA - Ympäristö- ja paikkatietopalvelu 2014). Lämpötila on laskettu kolmen pisteen (Virol 345, 285 ja Santio 013) tietojen keskiarvona. Mittauksia on hieman vaihdellen 1981–2012 väliseltä ajalta. Keväältä ja loppuvuodelta mittauksia on vain vähän.

3.8.3. Tuuli

Virolahden paikkaa lähin jokseenkin samalla etäisyydellä rannikosta oleva tuuliasema on Kotka Rankin sääasema. Asema sijaitsee noin 40 km:n päässä Virolahden paikasta. Syyskuussa vähintään 13 m/s:n tuulia on asemalla mitattu keskimäärin noin kolmena päivänä ja lokakuussa kuutena (kuva 26).



Kuva 26. Kotka Rankin tuulioloja vuosina 1991–2010 (Ilmatieteen laitos 2012).

3.8.4. Aallonkorkeus

Virolahden paikassa aallonkorkeudet jäävät monesta tuulen suunnasta pieniksi. Lounaan suunnasta tuulen pyyhkäisymatka on mallinnuspaikkaan 16 km (kuva 27), mikä voisi teoriassa mahdollistaa yli 1,5 m aallonkorkeuden, mutta lähellä on pieniä saaria, joiden vaimentavaa vaikutusta aallokkoon on kuitenkin vaikea arvioida. Pienillä paikan muutoksilla voi vaikuttaa suojaisuuteen ja siten tuulien osumiseen oletettuun tuotantopaikkaan.



Kuva 27. Virolahden paikassa tuulen pyyhkäisymatkat ovat enimmäkseen lyhyitä.

4. Yhteenveto

4.1. Työolosuhteet ja kasvatustalteen valinta rannikkoalueilla

Kalankasvatuksessa merellä tuotantolaitteet tulee valita siten, että ne kestävät kovimmatkin myrskyt ja olosuhteet. Tuuli ja aallokko vaikeuttavat olennaisesti ruokintaa sekä rakenteiden ja kalojen kuljetusta talvisäilytykseen syksyllä. Kalankasvatuksen riskit kasvavat sitä suuremmiksi, mitä haastavampiin olosuhteisiin tuotantoa suunnitellaan. Kun kasvatustalteen menetelmät vaikeutuvat ja tulevat kalliimmiksi, on tuotantomääriä lisättävä, jotta elintarvikemarkkinoille pystytään tuottamaan kilpailukykyisesti kalaa. Samalla tuotannon kasvaessa myös riskin vahinkoarvo lisääntyy. Välineiden rikkoutuessa yritys voi pahimmillaan menettää vuoden myyntulonsa, joten paikallisten tuotanto-olosuhteiden tunteminen ja niihin sopeutuminen on välttämätöntä.

Suurimman osan ajasta aallonkorkeudet ovat Suomen merialueilla kohtuullisia kalankasvatustalteen toukokuusta lokakuuhun, mutta kovimmissa tuulioaloissa aallonkorkeudet voivat olla suuria. Avoimilla alueilla, ennen kuin saaret tai matalikot rikkovat aallokon, yksittäiset aallot saattavat kasvaa yli kymmenmetrisiksi. Tämän raportin osittain suojaisilla tarkastelupaikoilla yli kolmemetrinen aaltojen arvioitiin olevan mahdollisia. On arvioitu, että käytännön työ vaikeutuu ja työturvallisuus heikkenee merkittävästi, kun aallonkorkeus nousee yli metrin. Itämerellä aaltojen tiheys on suurempi ja aallot voivat olla myös jyrkempiä kuin valtamerialueilla. Tiheät aallot saattavat rasittaa kasvatustalteen ja vaikeuttaa työskentelyä eri tavalla kuin loivat aallot, vaikka niin sanotut mainingit olisivatkin korkeampia.

Rannikon suojissa kasvatustalteen esiintyy keskimäärin muutamia päiviä, jolloin tuuli nousee yli 17 m/s keskinopeuteen, kun avoimilla alueilla tuulipäiviä voi olla parisenkymmentä. Sekä loka- että marraskuussa on useita päiviä, jolloin tuulee kovaa, yli 13 m/s. Avoimilla merialueilla tämä vaikeuttaa tai tekee mahdottomaksi pienten tai keskisuuren veneiden käytön kalojen huollon ja ruokinnan järjestämisessä ja vaikuttaa siten myös ruokintatekniikan valintaan.

Kovimpia tuulia tulee yleistään meren puolelta enemmän kuin idän suunnasta. Mahdollista suojaavaa saaristoa kannattaa hyödyntää yksityiskohtaisessa paikan valinnassa. Aallot voivat matalikoita kohdatessaan jyrkentyä, mutta samalla tapahtuu myös aallokon heikentymistä. Matalikkojen vaikutusta aallokkoon on vaikea arvioida, ja siksi tarkemmat arviot tulee tehdä paikkakohtaisten suunnitelmien yhteydessä.

Veden virtaukset ovat olennaisia sekä kalankasvatustalteen kiinnityksen ja suunnittelun kannalta että kalojen hyvinvoinnin takia, mutta myös ympäristösyistä. Pääsääntöisesti avomerellä virtaukset eivät ole niin suuria, ettei tuotantolaitteistoa pystyttäisi asentamaan mereen. Virtaukset tulee kuitenkin ottaa huomioon suunniteltaessa ankkurointia ja esimerkiksi verkkoalaiden asemointia, muotoa ja painotusta. Virtaukset ovat rannikolla ja erityisesti avomerellä riittäviä, jotta hapekas vesi vaihtuu kasvatustalteen. Avomerellä virtausten suunnan vaihteluista ja nopeuksista johtuen ravinteet hajautuvat eri suuntiin ja laajalle alueelle.

4.2. Lämpötila ja tuotantokauden pituus vaikuttaa tehokkuuteen

Avoimilla ulappa-alueilla lämpötila on yleensä alhaisempi kuin rannikon läheisyydessä. Kylmä vesi hidastaa esimerkiksi kirjolohen kasvua. Suomen merialueella ulappa lämpenee talven jälkeen niin hitaasti, että oletettavasti paremmat kasvuolosuhteet saavutetaan keväällä rannikon läheisyydessä. Toisaalta vähäisestä vesimäärästä johtuen rannikon läheiset alueet viilenevät ulappaa nopeammin syksyllä. Kesän helteillä välisaariston alueilla, jossa vesimassat ovat suuria ja veden vaihtuvuus on hyvää, kuten Seilin mittaustaikassa Saaristomerellä, vesi ei tavallisesti lämpene niin paljon, että kirjolohen kasvu hidastuisi. Sisäsaariston alueilla tai ulkosaariston lahdissa, jossa vesimassat ovat pieniä tai vedenvaihtuvuus huono, kesähelteillä kasvu saattaa hidastua, koska ruokintaa on rajoitettava kalan terveyssyistä. Suomenlahdella ja Saaristomerellä kasvatuskausi saattaa olla keväällä enemmän kuin viikon ja syksyllä yli kuu-kauden pidempi kuin Perämerellä.

Tarkastelun kohteena olleissa tuotantopaikoissa avomerren läheisyydessä ulkosaaristossa lämpötila ei kuitenkaan ollut merkittävästi alhaisempi kuin välisaaristossa. Tarkastelupaikoilla vesialueet olivat laajoja ja lämpötila nousee harvoin niin korkeaksi, että ruokintaa tulisi rajoittaa kesän helteillä. Perämerellä lämpötilat ovat kasvukaudella muutaman asteen viilempiä verrattuna etelärannikon pintavesiin.

Eräs avomerellä kalankasvatuksessa maailmalla käytetty ja Suomeenkin esitetty toimintamalli on upottaa kasvatuslaitokset suojaan kovalta merenkäynniltä ja ehkä myös jäiltä (Vienna ja Kankainen 2013). Avoimilla alueilla lämpötilan harppauskerros on suunnilleen 15–20 metrissä, ja syvillä alueilla tämän alapuolella vedet ovat viileitä ja ero pintalämpötiloihin kesällä on selvä. Voidaan arvioida, että jos kasvatusalaita aiotaan upottaa yli kymmenen metrin syvyyteen, ympäristö vaikuttaa negatiivisesti kalan kasvuun, jos lämpötila laskee huomattavasti alle optimikasvulämpötilan. Toisaalta kasvu voi syvällä olla nopeampaa, jos pintakerroksessa lämpötilat muodostuvat liian korkeiksi (ks. luku 4.4). Koska avomerellä pintavesi ei lämpene yleensä liikaa kirjolohen optimikasvulle, kalojen kasvattaminen syvällä oletettavasti hidastaisi kasvua veden kylmetessä.

4.3. Jäiden vaikutus tuotannonsuunnitteluun

Jäätyminen aiheuttaa Itämerellä erityisen haasteen kalankasvatukselle. Keskimäärin rannikko-alueet jäätyvät joulukuussa, mutta Perämerellä joskus jopa lokakuussa. Etelässä jäät sulavat keskimäärin huhtikuun alussa ja pohjoisessa toukokuun puolessa välissä. Avoimilla alueilla ajojääät aiheuttaisivat pinnassa suurta rasitusta ja vahinkoja kalankasvatuslaitoksille, jos rakenteita ei tuoda rannikon suojaan. Kun suuret jäämassat liikkuvat, rasitus pinnassa on kova, vaikka tämän raportin tarkkailupaikoissa ajojäämassan paksuuden arvioidaan olevan maksimissaankin vain noin 30–40 cm. Todennäköisesti ainoastaan kiinteät massiiviset rakenteet, joita käytetään esimerkiksi öljyporauslautoissa tai tuulivoimaloissa, kestäisivät rakenteisiin ahtautuvien ajojääiden ja tuulen aiheuttaman paineen. Mitkään tiedossa olevat köysi- tai ketinkiankkuroinnit tai metalliset tai muoviset kasvatusrakenteet eivät todennäköisesti kestäisi. Tämän vuoksi perinteisten kasvatusrakenteiden tai kelluvien ruokintalaitteiden jättäminen talvella ulappa-alueelle pintaan tuskin kannattaa.

Kiintojääräjän tuntumaan voi talven aikana muodostua ahtojäävalleja, jotka voivat vahingoittaa kalankasvatuksessa käytettävää laitteistoa jopa yli 10 metrin syvyydessä. Pohjaan ulottuvat ahtojäät saattavat repiä mukanaan esimerkiksi pohjassa olevat ankkuroinnit tai kiinnikkeet. Myös ulappa-alueilla voidaan tavata jokseenkin yleisesti ahtojäitä, mutta kerrostumat eivät ole niin korkeita kuin jäiden ahtautuessa rannikolla tai kiintojään reunaan. Jos tarkoituksena on jättää verkkoaltaat tai muut kasvatusrakenteet jääkerroksen alle suojaan, pitää ensin paikkakohtaisesti varmistaa, että ahtojääriskiä ei ole. Riskittömin vaihtoehto on kuitenkin tuoda kasvatusrakenteet saariston suojaan kasvatuskauden loputtua, koska saariston ja kiintojääalueen suojoissa ahtojäitä ei muodostu ja ajojaiden aiheuttama rasitus on pienempää.

4.4. Ilmastomuutoksen vaikutukset tuotanto-olosuhteisiin

Suomessa ilman lämpötila on vuosina 1979–2008 noussut (Tietäväinen ym. 2009). Ilmaston voidaan ennustaa edelleen lämpenevän vuosisadan loppua kohti (Jylhä ym. 2009). Pohjois-Suomessa ilman lämpenemistä tapahtuu hieman enemmän kuin Etelä-Suomessa. Talven lämpötilat nousevat enemmän kuin kesän lämpötilat. Talven pituus tulee myös lyhenemään, ja äärimmäisen lauhojen talvikuukausien todennäköisyys kasvamaan. Vastaavasti kesä tulee pitenemään ja helteiden esiintymisen todennäköisyys kasvamaan.

Myös vedet ovat lämmenneet runsaan sadan tarkkailuvuoden aikana, ja 1980-luvun puolivälin jälkeen pintavesien lämpeneminen on ollut etenkin kesällä Itämerellä selvää (MacKenzie ja Schiedek 2007). Pohjanlahden ulko-osan mittausasemalla vuosina 1990–2004 on ollut selvä nouseva suuntaus heinä–lokakuun pintaveden lämpötiloissa, suunnilleen 0,18–0,33 °C vuotta kohden, mutta huhti–kesäkuun lämpötiloissa vastaava nousua ei ollut (Siegel ym. 2006). Tulevaisuudessa veden lämpötilojen arvioidaan nousevan vuosisadan loppuun mennessä Itämerellä noin 2,9 °C. Eri skenaarioissa on hiukan eroavaisuuksia (Döscher ja Meier 2004, Meier 2006). Lämpötilan nousu on suurempaa Selkämeren ulappa-alueilla kuin yleisesti rannikkoalueilla. Pohjanlahdella muutokset ovat suurimpia kesällä. Tässä selvityksessä esitetyt lämpötila-arviot perustuvat pitkän ajan keskiarvoihin, joten on oletettavaa, että jo nykyisin, mutta etenkin tulevaisuudessa, lämpötilat saattavat olla esitettyjä korkeampia.

Jääpeitteen kesto-aika on pitkällä aikavälillä lyhentynyt (Ronkainen 2013). Tulevaisuudessa vedet jäähtyvät myöhemmin, koska syksyllä mereen on kerääntynyt suurempi lämpövarasto. Näin jäätyminen tapahtuu myöhemmin. Myös keskimääräinen jäiden poistuminen tapahtunee tulevaisuudessa nykyistä aikaisemmin.

Keskituulien arvioidaan voimistuvan lokakuussa 2–4 % ja marraskuussa 5–6 % vuosisadan puoliväliin mennessä. Kesän aikana mahdolliset muutokset keskituulissa ovat vähäisiä. Myrskytuulet saattavat olla syksyn ja talven aikana joitakin prosentteja nykyistä kovempia eteläisellä Itämerellä ja mahdollisesti myös Itä-Suomessa, mutta ennusteessa on jonkin verran vaihtelua (Gregow ym. 2011). On arvioitu, että tuulisuuden lisääntyminen saattaa lisätä samalla jäiden liikkeitä ja ahtojaiden määrää, mutta parin prosentin tuulen lisääntyminen ei lisää ahtojaiden määrää merkittävästi (Luomaranta ym. 2010).

Viitteet

- Döscher, R. & Meier, M. 2004. Simulated sea surface temperature and heat fluxes in different climates of the Baltic Sea. *Ambio* 33: 242–248.
- Gregow, H., Ruosteenoja, K., Pimenoff, N. & Jylhä, K. 2011. Changes in the mean and extreme geostrophic wind speeds in Northern Europe until 2100 based on nine global climate models. *International Journal of Climatology* 32: 1834–1846.
- Grönvall, H., Hietala, R., Kalliosaari, S., Leppäranta, M. & Seinä, A. 1987. Statistics of the sea surface temperature of the Baltic Sea 21 October – 1 March (1965–1986). *Finnish Marine Research* 254 supplement. Helsinki. 97 s.
- Gästgifvars, M., Sarkanen, A., Frisk, M., Lauri, H., Myrberg, K., Alenius, P., Andrejev, O., Mustonen, O., Haapasaari, H. & Andrejev, A. 2004. Ajelehtimiskokeet ja kulkeutumisenusteet Suomenlahdella. *Suomen ympäristö* 720. 57 s.
- Heino, R. & Hellsten, E. 1983. Tilastoja Suomen ilmastosta 1961–1980. Liite Suomen meteorologiseen vuosikirjaan 80: 1a – 1980. Ilmatieteen laitos, Helsinki. 560 s.
- ICES 2014. Baltic Sea monitoring data. <http://ocean.ices.dk/Helcom/Helcom.aspx?Mode=1>. [Luettu 21.7.2014].
- Ilmatieteen laitos 2012. Maksimituuliyhteenveto. Julkaisematon.
- Ilmatieteen laitos 2014. Merialueiden tuulipäivät. <http://ilmatieteenlaitos.fi/tuulitilastot>. [Luettu 11.8.2014].
- Jylhä, K., Ruosteenoja, K., Räisänen, J., Venäläinen, A., Tuomenvirta, H., Ruokolainen, L., Saku, S. & Seitola, T. 2009. Arvioita Suomen muuttuvasta ilmastosta sopeutumistutkimuksia varten. ACCLIM-hankkeen raportti 2009. Ilmatieteenlaitos, *Raportteja* 2009: 4. 78 s. + liitteet.
- Kankainen, M., Setälä, J., Berrill, I.K., Ruohonen, K., Nobel, C. & Schneider, O. 2012. How to measure the economic impacts of changes in growth, feed efficiency and survival in aquaculture. *Aquaculture Economics & Management* 16: 341–364.
- Kankainen, M., Niukko, J. & Tarkki, V. 2013. Fish farming production conditions in Finnish coastline of the Baltic Sea. *Reports of Aquabest project* 11/2013. 36 s. + liitteet.
- Leppäranta, M., Palosuo, E., Grönvall, H., Kalliosaari, S., Seinä, A. & Peltola, J. 1988. Itämeren jäätalven vaiheet (leveyspiiriltä 57° N pohjoiseen). *Finnish Marine Research* 254 supplement 2. Helsinki. 83 s.
- Luomaranta, A., Haapala, J., Gregow, H., Ruosteenoja, K., Jylhä, K. & Laaksonen, A. 2010. Itämeren jääpeitteen muutokset vuoteen 2050 mennessä. Ilmatieteenlaitos, *Raportteja* 2010: 4. 23 s.
- Maa- ja metsätalousministeriö & ympäristöministeriö 2014. Kansallinen vesiviljelyn sijaaninohjaussuunnitelma. 29 s + liitteet.
- MacKenzie, B.R. & Schiedek, D. 2007. Daily ocean monitoring since the 1860s shows record warming of northern European seas. *Global Change Biology* 13: 1335–1347.
- Meier, M.H.E. 2006. Baltic Sea climate in the late twenty-first century: a dynamical downscaling approach using two global models and two emission scenarios. *Climate Dynamics* 27: 39–68.
- Myrberg, K., Leppäranta, M. & Kuosa, H. 2006. *Itämeren fysiikka, tila ja tulevaisuus*. Yliopistopaino, Helsinki. 202 s.
- Mälkki, P. 1984. Lämpötalous ja virtausolot. Teoksessa: Voipio, A. & Leinonen, M. (toim.), *Itämeri*. Kirjayhtymä, Helsinki, s. 32–40.
- OIVA - Ympäristö- ja paikkatietopalvelu 2014. Ympäristötiedon hallintajärjestelmä Hertta. <http://wwwwp2.ymparisto.fi/scripts/palvelut.asp>. [Luettu 15.8.2014].
- Palosuo, E. 1963. Pohjanlahti talvella: 2. Jäätyminen ja jäänlaadut. *Merentutkimuslaitoksen julkaisu* 209. 64 s.
- Palosuo, E. 1975. Formation and structure of ice ridges in the Baltic. *Styrelsen for Vintersjöfartsforskning/Winter Navigation Research Board, Research Report* 12. 54 s.
- Palosuo, E., Leppäranta, M., & Seinä, A. 1982. Formation, thickness and stability of fast ice along the Finnish coast. *Styrelsen for Vintersjöfartsforskning/Winter Navigation Research Board, Research Report* 36. 19 s. + 32 liitettä.

- Rintamäki, H. 2011. Jääeroosioselvityksen täydentäminen. *Pohjois-Pohjanmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen julkaisuja*. 68 s. + 19 liitettä.
- Ronkainen, I. 2013. Long-term changes in Baltic Sea ice conditions. Pro gradu -tutkielma. Helsingin yliopisto, Fysiikan laitos. 73 s.
- Seinä, A. & Kalliosaari, S. 1991. Jäätalvet 1986–1990 Suomen merialueilla. *Finnish Marine Research* 259: 3–61.
- Seinä, A. & Peltola, J. 1991. Jäätalven kesto aika ja kiintojään paksuustilastoja Suomen merialueilla 1961–1990. *Finnish Marine Research* 258. 46 s.
- Seinä, A., Grönvall, H., Kalliosaari, S. & Vainio, J. 1996. Ice seasons 1991–1995 along the Finnish coast. *Meri – Report series of the Finnish Institute of Marine Research* 27: 3–77.
- Seinä, A., Grönvall, H., Kalliosaari, S. & Vainio, J. 2001. Ice seasons 1996–2000 in Finnish sea areas. *Meri – Report series of the Finnish Institute of Marine Research* 43: 3–98.
- Seinä, A., Eriksson, P., Kalliosaari, S. & Vainio, J. 2006. Ice seasons 2001–2005 in Finnish sea areas. *Meri – Report series of the Finnish Institute of Marine Research* 57. 94 s.
- Siegel, H., Gerth, M. & Tschersich, G. 2006. Sea surface development of the Baltic Sea in the period 1990–2004. *Oceanologia* 48: 119–131.
- SMHI & Merentutkimuslaitos 1982. Climatological ice atlas for the Baltic Sea, Kattegat, Skagerrak and Lake Vänern (1963–1979). Norrköping. 220 s.
- Suominen, T. & Helminen, H. 2003. Kustavin kalankasvatuksen sijainninohjausmalli. *Alueelliset ympäristöjulkaisut* 322. 54 s.
- Tietäväinen, H., Tuomenvirta, H. & Venäläinen, A. 2009. Annual and seasonal mean temperatures in Finland during the last 160 years based on gridded temperature data. *International Journal of Climatology* 30: 2247–2256 (2010).
- Tuomi, L., Kahma, K.K. & Pettersson, H. 2011. Wave hindcast statistics in the seasonally ice-covered Baltic Sea. *Boreal Environment Research* 16: 451–472.
- U.S. Army Corps of Engineers 1984. Shore protection manual Vol. I (4th ed.). Coastal engineering research center, Washington, D.C. 652 s.
- U.S. Army Corps of Engineers 2008. Coastal engineering manual (Part II) EM 1110–2–1100. Washington, D.C. 608 s.
- Vielma, J. & Kankainen, M. 2013. Offshore fish farming technology in Baltic Sea production conditions. *Reports of Aquabest project* 10/2013. 23 s.
- Virtaustutkimuksen neuvottelukunta 1979. Saaristomeren virtaustutkimus. Turku. 265 s.



Itella Green

JULKAISIJA

Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos

Viikinkaari 4

PL 2

00791 Helsinki

Puh. 0295 301 000

www.rktl.fi