

# ITÄMEREN VIERASLAJIEN AIHEUTTAMAT ONGELMAT VOIMALAITOKSISSA – NYKYHETKI JA TULEVAISUUS



© Fortum Power and Heat Oy 2023

Selvityksen rahoittajat: Energiateollisuus ry:n Ympäristöpooli ja Fortum Power and Heat Oy

Kannen kuva: Teollisuuden Voima Oyj, Forsmark Kraftgrupp AB, Fortum Power and Heat Oy

## TIIVISTELMÄ

Itämerellä esiintyvät niin kutsutut fouling-lajit aiheuttavat merivesijärjestelmien likaantumisen- ja tukkeutumisongelmia merivettä jäähdytysvetenään käyttävissä voimalaitoksissa. Fouling-ilmiö vaikuttaa merivesijärjestelmissä heikentävästi virtaukseen ja lämmönsiirtoon ja sitä kautta voimalaitoksen hyötysuhteeseen. Voimalaitosten näkökulmasta fouling-lajien aiheuttaman ongelman ydin on, että useimmat merkittävistä fouling-lajeista ovat vieraslajeja ja uusia vieraslajeja havaitaan Itämerellä jatkuvasti.

Selvitykseen kerättiin tietoja fouling-haitan laajuudesta kuudesta Itämeren ranta-alueella sijaitsevasta voimalaitoksesta. Laitoksista neljä sijaitsee tai on sijainnut Suomessa (Loviisan ydinvoimalaitos, Olkiluodon ydinvoimalaitos, Vuosaaren voimalaitokset ja Inkoon purettu voimalaitos) ja kaksi Ruotsissa (Oskarshamnin ydinvoimalaitos ja Forsmarkin ydinvoimalaitos). Voimalaitokset, erityisesti ydinvoimalat, käyttävät tuotannossa suuria määriä merivettä jäähdytysvetenään ja johtavat veden lämmenneenä takaisin vesistöön.

Vieraslajien leviämisen estämistä säännellään lainsäädännöllä sekä EU-tasolla että kansallisella tasolla, mutta lajin levittyä ja vakiinnuttua uudelle vesialueelle on sen poistaminen lähes mahdotonta. Suomen merialueilla havaittujen vieraslajien lukumäärän kasvu on kiihtynyt erityisesti 1980-luvulta lähtien. Jatkossa ilmastomuutoksen myötä lämpenevä merivesi sekä mahdolliset muutokset Itämeren suolapitoisuudessa mahdollistavat uusien lajien vakiintumisen Itämereen.

Vieraslajeista selkeintä haittaa selvitykseen osallistuneilla voimalaitoksilla ovat aiheuttaneet kaspianpolyyyppi (*Cordylophora caspia*), valesinisimpukka (*Mytilopsis leucophaeata*) ja merirokko (*Amphibalanus improvisus*). Eriasteista haittaa voimalaitoksille aiheutuu myös kotoperäisistä fouling-lajeista, lähinnä sinisimpukasta. Haittaa voimalaitoksilla aiheuttavat lähinnä ne lajit, jotka kykenevät kiinnittymään järjestelmien kovalle pinnoille ja muodostamaan yhdyskuntia. Voimalaitokset kertoivat myös muun muassa kalojen, levien sekä yksi voimalaitos myös meduusojen aiheuttamista haitoista merivesijärjestelmissä.

Vieraslajien aiheuttamia haittoja torjutaan voimalaitoksilla ensisijaisesti mekaanisesti. Tuotannon aikana voidaan käyttää pesupalloja ja vuosihuollon aikana järjestelmiä pestään. Kemikaalien käyttöä on minimoitu, mutta kemikaaleja käytetään mahdollisesti pesujen yhteydessä tai ennakoivaan torjuntaan ympäristölupaehtojen puitteissa.

Voimalaitosten kokemat haitat ja niiden laajuus ovat varsin erilaisia keskenään. Meressä elävän lajiston lisäksi haitan laajuuteen vaikuttavat ainakin meriveden ottoaikan sijainti sekä merivesijärjestelmien rakenne ja toimintaperiaate. Selvityksen perusteella voidaan tehdä joitain karkeita johtopäätöksiä erilaisten ratkaisujen alttiudesta fouling-haitoille. Meriveden ottoaukon sijainti ja ympäristö (mm. syvyys, merialueen suojaisuus, merenpohjan luonne) vaikuttavat joidenkin lajien viihtymiseen ja sitä kautta kulkeutumiseen alueella. Simpukoiden esiintymiseen järjestelmissä voivat vaikuttaa vedenottosyvyys ja lämmenneen jäähdytysveden jälleekierron esiintyminen. Järjestelmien suunnittelulla voidaan vaikuttaa virtausnopeuksiin ja sitä kautta fouling-eliöiden kiinnittymisen hillitsemiseen, järjestelmien osien erotusmahdollisuuksiin fouling-eliöiden tuhoamiseksi, pesujen toteutukseen ja pesupallojen käyttöön.

Selvitys herätti runsaasti jatkoselvitysaiheita. Uusien laitosten suunnittelussa suositellaan kiinnitettävän huomiota vieraslajien, kuten myös kotoperäisten lajien elinolosuhteiden selvittämiseen, fouling-ilmiöön sekä merivesijärjestelmän ominaisuuksiin.

## ALKUSANAT

Jäähdytysveden ottoon liittyvät kysymykset, ilmastonmuutos, vieraslajit ja fouling-likaantuminen ovat aiheita, joita selvityksen tekijöiden omassa työssä sivutaan erityisesti Loviisan voimalaitokseen liittyen, mutta vertailua muihin laitoksiin ei ole kattavasti tehty. Syksyllä 2022 heräsi ajatus Energiateollisuus ry:n rahoituksen hakemisesta julkisen ja eri laitoksia vertailevan selvityksen laatimiseksi aihepiiriin liittyen. Alustavien visioiden jälkeen selvityksen laajuus realisoitui lopulta kiinnostusta osoittaneiden voimalaitosten pohjalle, sillä voimalaitoskohtaista tietoa tämän selvityksen aihepiiristä on julkistettu varsin niukasti ainakin Suomessa.

Selvitys on toteutettu Energiateollisuus ry:n Ympäristöpoolin rahoituksella sekä Fortum Power and Heat Oy:n ydinvoimaliiketoiminnan tutkimus- ja kehitysrahoituksella. Kiitämme selvityksen rahoittajia sekä tähän raporttiin tietoja antaneita yhtiöitä: Teollisuuden Voima Oyj, Helen Oy, Oskarshamns Kraftgrupp AB ja Formarks Kraftgrupp AB. Työssä on hyödynnetty myös Fortumin Loviisan sekä Inkoon voimalaitoksien toiminnasta kertynyttä tietoa.

Selvityksen laatimiseen Fortumilta osallistuvat Reetta Hurmekoski (vanhempi asiantuntija, ympäristö), Reko Rantamäki (johtava vanhempi erityisasiantuntija, säteilyturvallisuus ja ympäristö), Oona Mahnala (harjoittelija, ympäristö), Juha-Pekka Jurvanen (vanhempi asiantuntija, meteorologia), Nici Bergroth (johtava vanhempi erityisasiantuntija, uusi ydinvoima) sekä Satu Ojala (erityisasiantuntija, ympäristö). Selvityksen laatimista seuraamaan koottiin ohjausryhmä, johon osallistuivat edustajat Energiateollisuus ry:stä, Teollisuuden Voima Oyj:stä, Helen Oy:stä sekä Fortum Power and Heat Oy:stä.

## SISÄLLYS

<b>1</b>	<b>JOHDANTO</b> .....	<b>7</b>
1.1	Yleiskuva vieraslajeista ja vieraslajitilanteesta voimalaitoksilla .....	7
1.2	Aiemmat selvitykset .....	7
1.3	Selvityksen tavoitteet ja toteutus .....	8
<b>2</b>	<b>VIERASLAJEJA KOSKEVA LAINSÄÄDÄNTÖ, LAJILUETTELOT JA TORJUNTA ITÄMERELLÄ</b> .....	<b>10</b>
2.1	EU:n vieraslajiasetus ja -luettelo .....	10
2.2	Kansallinen vieraslajiluettelo .....	10
2.3	Vieraslajien torjuminen Itämerellä .....	10
<b>3</b>	<b>VIERASLAJIT ITÄMERELLÄ</b> .....	<b>12</b>
3.1	Vieraslajien määrän kehitys Itämerellä .....	12
3.2	Voimalaitoksille haitallisimpia vieraslajeja Suomen aluevesillä .....	13
3.2.1	Kaspianpolyyppi ( <i>Cordylophora caspia</i> ) .....	13
3.2.2	Merirokko ( <i>Amphibalanus improvisus</i> ) .....	14
3.2.3	Valesinisimpukka ( <i>Mytilopsis leucophaeata</i> ) .....	15
3.2.4	Rangiasimpukka ( <i>Rangia cuneata</i> ) .....	17
3.2.5	Vaeltajasimpukka ( <i>Dreissena polymorpha</i> ) .....	18
3.2.6	Amerikankampamaneetti ( <i>Mnemiopsis leidyi</i> ) .....	19
<b>4</b>	<b>ITÄMEREN OMINAISUUDET, ILMASTONMUUTOS JA VAIKUTUKSET VIERASLAJEIHIN ITÄMERELLÄ</b> .....	<b>21</b>
4.1	Itämeren ominaisuudet ja biodiversiteetti .....	21
4.2	Itämeren alueella havaittuja muutoksia ilmasto-olosuhteissa .....	22
4.3	Itämeren alueella ennustettuja muutoksia ilmasto-olosuhteissa .....	25
4.4	Ilmasto-olosuhteiden muutoksien mahdollisia vaikutuksia lajistoon .....	27
<b>5</b>	<b>TARKASTELLUT VOIMALAITOKSET</b> .....	<b>28</b>
5.1	Voimalaitosten sijainnit ja käytetty aineisto .....	28
5.2	Loviisan voimalaitos (Fortum Power and Heat Oy) .....	29
5.2.1	Laitoskuvaus ja merivedenkäyttö .....	29
5.2.2	Jäähdytysveden otto- ja purkuvesistö ja jäähdytysveden vaikutuksia ...	30
5.3	Olkiluodon voimalaitos (Teollisuuden Voima Oyj) .....	32
5.3.1	Laitoskuvaus ja merivedenkäyttö .....	32
5.3.2	Jäähdytysveden otto- ja purkuvesistö ja jäähdytysveden vaikutuksia ...	34
5.4	Vuosaaren voimalaitokset (Helen Oy) .....	34
5.4.1	Laitoskuvaus ja merivedenkäyttö .....	34
5.4.2	Jäähdytysveden otto- ja purkuvesistö ja jäähdytysveden vaikutuksia ...	36
5.5	Inkoon purettu voimalaitos (Fortum Power and Heat Oy) .....	36
5.5.1	Laitoskuvaus ja merivedenkäyttö .....	36
5.5.2	Jäähdytysveden otto- ja purkuvesistö ja jäähdytysveden vaikutuksia ...	37
5.6	Oskarshamnin voimalaitos (Oskarshamns Kraftgrupp) .....	38
5.6.1	Laitoskuvaus ja merivedenkäyttö .....	38
5.6.2	Jäähdytysveden otto- ja purkuvesistö ja jäähdytysveden vaikutuksia ...	40
5.7	Forsmarkin voimalaitos (Forsmarks Kraftgrupp AB) .....	41
5.7.1	Laitoskuvaus ja merivedenkäyttö .....	41
5.7.2	Jäähdytysveden otto- ja purkuvesistö ja jäähdytysveden vaikutuksia ...	43

<b>6</b>	<b>KOKEMUKSIA JA LAJIHAVAINTOJA .....</b>	<b>46</b>
6.1	Loviisan voimalaitos (Fortum Power and Heat Oy) .....	46
6.1.1	Vieraslajien seuranta ja havainnot.....	46
6.1.2	Vieraslajien aiheuttamat haitat ja torjuntakeinot.....	51
6.1.3	Muita jäähdytysvedeen liittyviä käyttökokemuksia.....	53
6.2	Olkiluodon ydinvoimalaitos (Teollisuuden Voima Oyj) .....	54
6.2.1	Vieraslajien seuranta ja havainnot.....	54
6.2.2	Vieraslajien aiheuttamat haitat ja torjunta.....	54
6.2.3	Muita jäähdytysvedeen liittyviä käyttökokemuksia.....	57
6.3	Vuosaaren voimalaitokset (Helen Oy).....	57
6.3.1	Vieraslajien seuranta ja havainnot.....	57
6.3.2	Vieraslajien aiheuttamat haitat ja torjunta.....	58
6.4	Inkoon purettu voimalaitos (Fortum Power and Heat Oy).....	58
6.4.1	Vieraslajien seuranta ja havainnot.....	58
6.4.2	Fouling-lajien aiheuttamat haitat ja torjunta .....	59
6.4.3	Muita jäähdytysvedeen liittyviä käyttökokemuksia.....	59
6.5	Oskarshamnin voimalaitos (Oskarshamns Kraftgrupp).....	59
6.5.1	Vieraslajien seuranta ja havainnot.....	59
6.5.2	Vieraslajien aiheuttamat haitat ja torjunta.....	60
6.5.3	Muita jäähdytysvedeen liittyviä käyttökokemuksia.....	60
6.6	Forsmarkin voimalaitos (Forsmarks Kraftgrupp AB) .....	62
6.6.1	Vieraslajien seuranta ja havainnot.....	62
6.6.2	Vieras- ja muiden fouling-lajien aiheuttamat haitat ja torjunta.....	62
6.6.3	Muita jäähdytysvedeen liittyviä käyttökokemuksia.....	63
6.7	Yhteenveto fouling-haittaa aiheuttavista lajeista voimalaitoksilla .....	64
<b>7</b>	<b>POHDINTOJA.....</b>	<b>65</b>
7.1	Ongelmien luonne ja vaikutusmahdollisuudet.....	65
7.2	Mahdolliset jatkoselvityksaiheet .....	66
<b>8</b>	<b>YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET .....</b>	<b>68</b>
	<b>VIITTEET .....</b>	<b>70</b>



## 1 JOHDANTO

### 1.1 Yleiskuva vieraslajeista ja vieraslajitilanteesta voimalaitoksilla

Monet Itämeren rannalla sijaitsevat voimalaitokset hyödyntävät suuria määriä helposti saatavilla olevaa merivettä jäähdytykseen. Meriveden käytöstä on kokemuksia jo pitkältä ajalta, mutta ilmastonmuutos ja uusien paikallisesti ennalta tuntemattomien eliölaajien ilmestyminen muuttavat laitosten toimintaympäristöä. Ennakoimattomia ongelmia on ilmaantunut esimerkiksi merivesilämmönvaihtimien likaantuessa ja lämmönsiirron heiketessä, kun järjestelmiin on päässyt uusia vieraslajeja. Järjestelmissä kasvavien organismien vaikutuksesta virtaukset putkistoissa heikentyvät ja putket voivat jopa tukkeentua. Tällä niin sanotulla fouling-ilmiöllä on laitoksien näkökulmasta merkitystä, sillä ilmiö voi laitoksen käytettävyyden ja taloudellisuuden heikkenemisen lisäksi vaarantaa myös laitoksen turvallisuuden.

Merivesijärjestelmien fouling-ongelmaa on jo nykyään torjuttava voimalaitoksilla eri tavoin. Vuosihuollon aikana laitoksien merivettä sisältäviä järjestelmiä puhdistetaan tyypillisesti mekaanisesti sinne kertyneestä fouling-eliöstöstä. Käyttöjakson aikana monilla laitoksilla on käytössä pieniin kumipalloihin perustuva pesupallojärjestelmä, mikä helpottaa fouling-ongelmaa. Fouling-ilmiön torjuntaan on mahdollista käyttää myös kemikaaleja, mutta yleisesti kemikaalien käyttöä pyritään välttämään, jotta vesistöön ei päätyisi ylimääräistä kemikaalikuormitusta.

Kotoperäisten lajien rinnalle ilmestyneiden vieraslajien siirtyminen ja leviäminen uusille alueille on seurausta ihmisen toiminnasta. Kehityksen yleiskuva on, että ilmastonmuutoksen edetessä Itämeri lämpenee ja talvet tulevat olemaan leudompia, jolloin lämmintä vettä tarvitsevat vieraslajit tulevat todennäköisesti yleistymään ja levittäytymään Itämerellä entistä pohjoisemmaksi. Lisäksi paikalliset ongelmat voivat korostua, sillä vesialue, joka altistuu voimalaitoksen jäähdytysveden tuomalle lämpövaikutukselle, voi tarjota suotuisan elinympäristön vieraslajeille ja luoda näin paikallisen fouling-ongelman.

Vieraslajilla tarkoitetaan kasvia, eläintä tai muuta eliölajia, jotka ihmisen toiminnan, tahattoman tai tahallisen, seurauksena ovat levinneet uusille alueille. Vieraslajia pidetään haitallisena, jos sen tuonnin tai leviämisen on todettu uhkaavan tai haittaavan luonnon monimuotoisuutta. Jotkin erittäin hyvin menestyvistä vieraslajeista voivat olla huomattava uhka ja aiheuttaa vakavaa vahinkoa alkuperäislajeille, ekosysteemeille tai elinkeinoille. Vieraslajit voivat myös aiheuttaa esimerkiksi merkittävää taloudellista haittaa vaikuttamalla ihmisten, eläinten tai kasvien terveyteen tai kiinteistöjen arvoon. Kaikki vieraslajit eivät ole haitallisia eikä vieraslajia tule sekoittaa tulokaslajiin. Tulokaslajit leviävät uudelle alueelle luontaisesti eli omin voimin, esimerkiksi ilmastonmuutoksen seurauksena. /Vieraslajit.fi 2023a/, /MMM 2023/

### 1.2 Aiemmat selvitykset

Vieraslajien ilmestyminen tai fouling-eliöstön esiintyminen merivettä käyttävien laitosten jäähdytysvesijärjestelmissä on tiedostettu jo aiemmin, ja aiheesta on laadittu myös selvitys, jota Energiategollisuus ry on ollut rahoittamassa. Energiategollisuus ry:n jäsenyritysten kymmenelle lämpövoimalaitokselle Suomen- ja Pohjanlahden rannikoilla on vuonna 2006 toteutettu kysely, jonka pohjalta on laadittu tilannekatsaus fouling-eliöstöstä lämpövoimalaitosten jäähdytysvesijärjestelmissä /Raita 2006/. Viitteen /Raita

2006/ perusteella joitain selvityksiä fouling-eliöstön esiintymisestä ja haitoista Suomessa on tehty aiemminkin, kuten vuonna 1985 julkaistu kirja *Fouling-ilmiön esiintyminen ja torjunta Suomen voimaloissa 1984*, tekijöinä Laihon P., Lietzen E. ja Vuorinen I (Sarjassa Turun yliopiston biologian laitoksen julkaisuja).

### 1.3 Selvityksen tavoitteet ja toteutus

Tämän selvityksen tavoitteena on ollut koota tietoa ongelmista, joita vieraslajit ovat aiheuttaneet suuria määriä merivettä käyttäville voimalaitoksille Itämeren ranta-alueilla Suomessa ja Ruotsissa, ja tarjota kerätty tieto julkisesti saataville. Selvityksen näkökulma eroaa jonkin verran aiemmista saman aihepiirin raporteista, sillä tämä selvitys laajentaa tarkastelualuetta Suomesta Ruotsin suuntaan ja pyrkii nykytilanteen toteutuksen lisäksi myös peilaamaan mahdollista tulevaisuuden kehitystä ilmastomuutoksen vaikutukset huomioiden.

Selvitykseen saatiin laitoskohtaisia tietoja kuudelta voimalaitokselta. Selvityksen haastattelujen pohjaksi luotiin kysymyspatteri, jota hyödynnettiin myös jossain määrin voimalaitoskohtaisten tekstiosuuksien kirjoittamisessa. Ensimmäisenä kirjoitettiin luonnokset Loviisan voimalaitosta koskevista osuuksista, jotta muut osapuolet näkisivät esimerkit laitoskuvauksista ja kokemusten kuvauksista. Laitoskohtaisten osuuksien ensimmäiset versiot saatiin laitoksilta. Näitä versioita on sitten yhtenäistetty ja täydennetty kysymysten ja vastausten avulla.

Selvityksen alussa esitetään lyhyt katsaus vieraslajien leviämisen hallintaan luodusta sääntelystä EU:ssa ja Suomessa. Tämän jälkeen käsitellään yleisemmin vieraslajeja, niiden leviämisestä Itämerellä, voimalaitoksille haitallisimmiksi tunnistettuja vieraslajeja sekä vieraslajeja, jotka voivat tulevaisuudessa aiheuttaa haittaa voimalaitoksille muun muassa Suomen ja Ruotsin aluevesillä. Lisäksi lukijoiden tiedoksi tuodaan erilaisia käyttökelpoisia tietolähteitä, joihin voidaan myös syöttää lajihavaintoja (esim. laji.fi ja vieraslajit.fi).

Selvityksessä luodaan lyhyt katsaus Itämeren alueella viimeisen parin sadan vuoden aikana havaittuun ilmastomuutokseen sekä tarkastellaan ilmastomallien avulla ennustettua ilmastomuutoksen kehitystä tulevaisuudessa. Tarkastelun painopiste pidetään ilmastomuutoksen laadullisessa kuvauksessa, sillä ennustetut lukuarvot ja yksityiskohdat riippuvat valitusta ilmastomuutoskenaariosta. Lisäksi tarkastellaan ilmastomuutokseen liittyvää elinympäristön muutosta kasvien ja eläinten näkökulmasta.

Selvityksessä on kuvattu lyhyesti selvitykseen osallistuneiden voimalaitosten sijaintia ja toimintaa sekä yksityiskohtaisemmin meriveden ottojärjestelyjä. Keskeinen osa selvitystä ovat laitoskohtaiset kuvaukset jäädytysveteen liittyvistä käyttökokemuksista, vieraslajien seurannasta, havainnoista ja haitoista sekä käytetyistä torjuntatoimenpiteistä. Lopuksi esitetään pohdintoja ja johtopäätöksiä selvityksen aikana tehtyihin havaintoihin ja mahdollisiin jatkotutkimusaiheisiin liittyen.

Selvitys rajattiin koskemaan ensisijaisesti voimalaitosten käytön kannalta haitallisimpia selkärangattomia vieraslajeja, vaikka fouling-ilmiön ongelmien ja käyttökokemusten käsittelyn yhteydessä sivutaan muitakin ongelmallisiksi osoittautuneita lajeja. Selvityksessä sekä kotoperäisten eliölajien että tulokaslajien käsittely on jätetty lähinnä mainintojen tasolle. Selvityksessä ei käsitellä tarkemmin myöskään vesikasveja tai kaloja, vaikka esimerkiksi kasvualustastaan irronneiden vesikasvien tai kalaparven



ajautuminen voimalaitoksen jäähdytysveden ottoon voivat aiheuttaa suuriakin ongelmia merivesijärjestelmissä. Kalojen ajautumisesta voimalaitoksille on käyttökokemusten yhteydessä annettu kuitenkin esimerkkejä.

## 2 VIERASLAJEJA KOSKEVA LAINSÄÄDÄNTÖ, LAJILUETTELOT JA TORJUNTA ITÄMERELLÄ

### 2.1 EU:n vieraslajiasetus ja -luettelo

EU:n vieraslajiasetuksen (EU) N:o 1143/2014 tavoitteena on vähentää vieraslajeista aiheutuvia vahinkoja luonnolle, yhteiskunnalle ja taloudelle sekä estää uusien haitallisten vieraslajien pääsy EU:n alueelle. Asetus tuli voimaan 2015. Asetuksen toimenpiteet kohdistetaan kaikkein haitallisimpiin vieraslajeihin. Asetus edellyttää, että kaikissa jäsenvaltioissa on käytössä tehokkaita hallintatoimenpiteitä haitallisten vieraslajien hävittämiseksi tai niiden leviämisen rajoittamiseksi.

EU:n vieraslajiluettelo sisältää ne EU:ssa haitalliseksi säädetty vieraslajit, joihin EU:n vieraslajiasetusta sovelletaan. EU:n vieraslajiluetteloon kuuluu tällä hetkellä 88 lajia, joista 41 on kasvilajia ja 47 eläinlajia, kuten lintuja, kaloja, nisäkkäitä ja matelijoita. EU:n vieraslajiluetteloon sisältyvät lajit on säädetty haitalliseksi vieraslajiksi koko EU:ssa. Vieraslajiluettelossa olevan lajin maahantuonti, kasvatusta, myynti ja muu hallussapito sekä ympäristöön päästäminen on kielletty. /Valtioneuvosto 2022/, /MMM 2023/

### 2.2 Kansallinen vieraslajiluettelo

Kansallinen vieraslajilaki (Laki vieraslajeista aiheutuvien riskien hallinnasta, 1709/2015) tuli Suomessa voimaan 1.1.2016 ja uudistettu vieraslajiasetus (Valtioneuvoston asetus vieraslajeista aiheutuvien riskien hallinnasta, VN:n 704/2019) vuonna 2019. Vieraslajiasetusta ja siihen sisältyvää kansallista vieraslajiluetteloa päivitettiin vuonna 2023 (VN:n 912/2023).

Suomen kansallinen vieraslajiluettelo täydentää EU:n vieraslajiluetteloa. Kansallinen vieraslajiluettelo sisältää ne haitalliset vieraslajit, jotka eivät kuulu EU:n vieraslajiluetteloon, mutta joita voidaan pitää Suomen oloissa haitallisina /MMM 2023/. Kansallisessa vieraslajiluettelossa ei ole mainittu tätä selvitystä laadittaessa yhtään Itämerellä elävää lajia.

Suomessa esiintyy runsaasti enemmän vieraslajeja kuin kansalliseen tai EU:n vieraslajiluetteloon on haitallisuuden perusteella sisällytetty. Luonnonvarakeskuksen (Luke) ylläpitämällä kansallisella vieraslajisivustolla (Vieraslajit.fi) esitellään kaikkiaan 400–500 vieraslajia.

Vuonna 2012 hyväksytty Suomen kansallinen vieraslajistrategia kokoaa ohjeistuksen, jonka avulla haitallisten vieraslajien aiheuttamia haittoja voidaan torjua tai yrittää vähentää. Julkaisussa on myös esitelty lajeja, joista arvioidaan olevan haittaa Itämeren alueella. Strategiassa haitallisiksi Itämeren vieraslajeiksi on luokiteltu kaspianpolyoppi, koukkuvesikirppu, liejuputkimato (3 lajia), merirokko ja valesinisimpukka. Lisäksi luokkaan *Tarkkailtavat tai paikallisesti haitalliset Itämeren vieraslajit* lukeutuu 14 eri eläinlajia, kuten mustatäplätokko, vaeltajasimpukka ja amerikankampamaneetti. /MMM 2012/

### 2.3 Vieraslajien torjuminen Itämerellä

Vieraslajien torjuntatoimista tehokkaimpia ovat ennakoivat toimenpiteet, sillä lajin leviittäytyttyä ja vakiinnuttua uudelle vesistöalueelle sen poistaminen sieltä on usein liki

mahdotonta. Vieraslajeja pääsee kulkeutumaan Itämereen laivaliikenteen mukana painolastivesitankeissa, kun vesi otetaan laivaan Itämeren ulkopuolella olevasta satamasta ja vesi tyhjennetään jossain Itämeren satamassa vapauttaen samalla vieraslajiyksilöitä. Myös pienemmät alukset ja veneet voivat levittää fouling-lajeja vesialueiden välillä.

Alusten painolastivesiä koskeva kansainvälinen yleissopimus (YK:n kansainvälisen merenkulkujärjestön IMO:n painolastivesiyleissopimus) tuli voimaan vuonna 2017. Sopimuksen mukaiset toimenpiteet vähentänevät tulevaisuudessa vieraslajien leviämistä uusille alueille. Sopimus velvoittaa varustamaan alukset painolastivesien käsittelylaitteistolla, joka estää vieraslajien leviämisen. Itämeren rannikkovaltiot tekevät yhteistyötä painolastivesiyleissopimuksessa määriteltyjen toimien yhtenäistämiseksi Itämerellä. Suomessa Liikenne- ja viestintävirasto Traficom valvoo painolastivesiyleissopimuksen noudattamista satamavaltiotarkastuksissa. /MMM 2021/, /Paulomäki et al. 2023/

Suomen aluevesien lähimpiä naapureita, Ruotsin ja Viron aluevesiä uhkaavat todennäköisesti samat vieraslajit kuin Suomen aluevesiä. Usein uudet lajit levittäytyvät ensin Ruotsin ja Viron rannikoille, joten myös ensimmäiset lajihavainnot tehdään usein naapurimaissa muutamaa vuotta aiemmin kuin Suomessa. Maat ovatkin laatineet sekä omia sekä yhteisiä EU:n määrittelemiä suojelutoimia Itämeren suojelemiseksi.

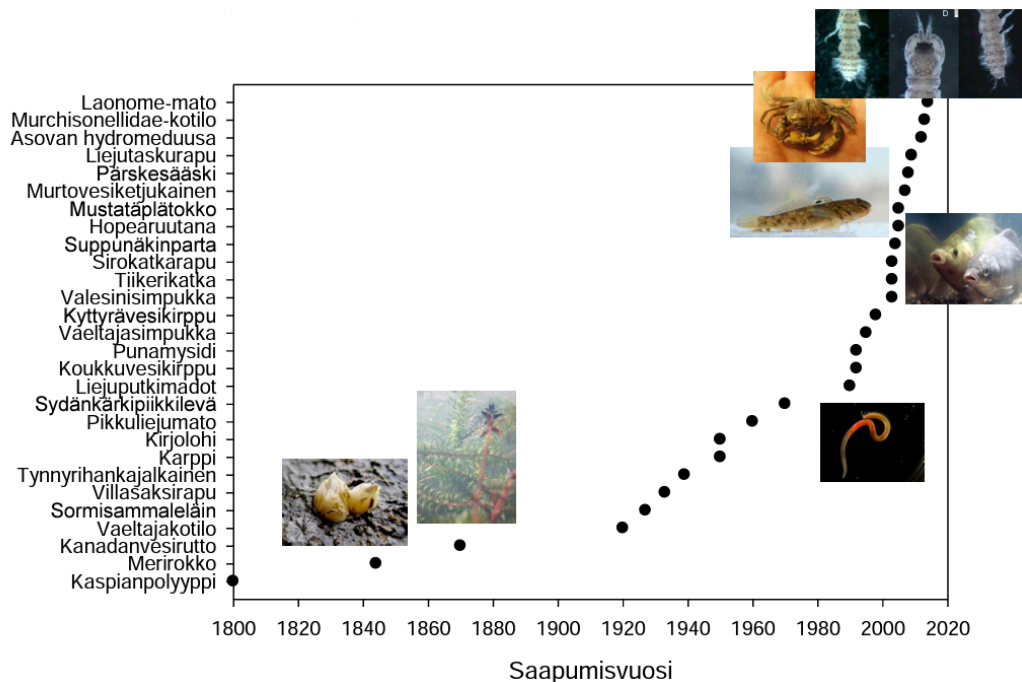
### 3 VIERASLAJIT ITÄMERELLÄ

#### 3.1 Vieraslajien määrän kehitys Itämerellä

Haitallisten vesieliöiden kulkeutuminen ja leviäminen laivaliikenteen painolas-tivesisäiliöissä nousi yleiseen tietoisuuteen ensimmäisen kerran jo 1900-luvun alussa, kun Pohjanmereltä löydettiin laajalti aasialaista alkuperää olevaa kasviplanktonlevää /HE 122/2015/. Laajemmin haitalliset vieraslajit nousivat yleiseen tietoisuuteen 1970- ja 1980-luvuilla /Lehtiniemi 2018/.

Osa Itämerellä tavatuista vieraslajeista on asettunut elämään sinne pysyvästi. Ne pysty-vät lisääntymään ainakin osassa Itämeren, jossa muun muassa veden suolapitoisuus ja lämpötila ovat lajille suotuisat. Pysyvästi asettuneiden vieraslajien määrä Itämerellä myös kasvaa jatkuvasti. Vuonna 2016 Baltic Marine Environment Protection Commis-sion (Helsinki Commission – HELCOM) arvioi, että koko Itämeressä on noin 140 ei-kotoperäistä tai tuntemattomasta alkuperästä olevaa lajia. Esimerkiksi vuosina 2011–2016 Itämeren maiden merialueille saapui yhteensä 12 uutta vieraslajia. /HELCOM 2023/. Baltic Sea Action Group -säätiön mukaan Itämerestä on tähän mennessä löytynyt kaikkiaan yli 220 vieraslajia tai tuntemattomasta alkuperästä olevaa lajia /BSAG 2022/.

Vieraslajit.fi-sivustolla on tällä hetkellä esitelty 36 lajia, jotka on tavattu Itämerellä Suo-men aluevesillä /Vieraslajit.fi 2023b/. Ruotsin meri- ja vesiviraston (Havs- och vat-ten-myndigheten) verkkosivuilla on esitelty 46 Ruotsin aluevesillä tavattua lajia, jotka voivat elää murtovedessä /Havs- och vatten-myndigheten 2023/.



Kuva 3-1. Vieraslajien määrän kasvu Suomessa /Lehtiniemi 2018/(alkuperäinen kuva teoksesta /Lehtiniemi et al. 2016/).

Suomen merialueille vieraslajeja saapui jo 1800-luvulla. Saapumismäärä on kiihtynyt erityisesti 1980-luvulta lähtien (Kuva 3-1). Eniten vieraslajeja on havaittu tiedossa

olevan historian aikana Suomenlahdella (28 lajia) ja seuraavaksi eniten Saaristomerellä (19 lajia). Vähiten vieraslajeja on päätyntä Perämerelle (14). Kaikki havaitut vieraslajit eivät ole jääneet Suomen vesialueille pysyvästi eli niistä on tehty vain muutamia havaintoja rajatulla aikavälillä eikä havaintoja ole tehty myöhemmin lisää. /Lehtiniemi 2018/

Maakohtaisesti tavattuja vieraslajeja on koottu vapaasti saatavilla olevaan kansainväliseen rekisteriin *Global Register of Introduced and Invasive Species (GRIIS)*, jonka 1. vaihe on koota vahvistettu ja todennettu lista vieraslajeista *the Global Biodiversity Information Facility (GBIF)* osallistujamaista. GBIF on kansainvälinen, maiden hallitusten rahoittama verkko- ja tietoinfrastruktuuri, jonka tarkoituksena on tarjota ilmaista ja avointa tietoa liittyen elämään maapallolla. Esimerkiksi Suomessa, Ruotsissa ja Virossa havaitut vieraslajit on koottu omiksi kokonaisuuksiksi. Dataan on listattu kaikki alueella tavatut vieraslajit, eivät vain haitalliset tai tarkkailtavat lajit. /GBIF 2023/

Koska Itämeren olosuhteisiin on odotettavissa muutoksia ilmastonmuutoksen seurauksena (ks. luku 4.4), tulevaisuudessa on odotettavissa, että uudet lajit pystyvät vakiintumaan sinne. Erityisesti Kaspianmeren ja Mustameren alueelta lähtöisin olevien vesikirppulajien sekä *dressenidae* -heimoon kuuluvien simpukoiden, katkojen sekä äyriäisten levinneisyyden odotetaan lisääntyvän Itämerellä, kun taas siimajalkaisten kuten meri-rokon ja monisukamatojen odotetaan mahdollisesti vähenevän. /Holopainen et al. 2016/

### 3.2 Voimalaitoksille haitallisimpia vieraslajeja Suomen aluevesillä

Tässä luvussa on esitetty lajikuvaukset niistä Itämerellä havaituista vieraslajeista, jotka ovat aiheuttaneet selkeää suoraa haittaa tämän selvityksen voimalaitoksille (Taulukko 3-1). Luvussa on lisäksi esitetty kuvaus rangiasimpukasta eli kiilasimpukasta (*Rangia cuneata*, ruot. amerikanska trågmussla), vaeltajasimpukasta (*Dreissena polymorpha*, ruot. vandarmussla) sekä amerikankampamaneetista (*Mnemiopsis leidy*, ruot. amerikansk kammanet), sillä levitessään laajemmin Itämerelle ne voivat aiheuttaa merkittäviä haittoja voimalaitosten jäähdytysvesijärjestelmille. Tiedot esitettyihin lajikuvauksiin on saatu pääosin Vieraslajit.fi-sivustolta sekä Fortumin sisäisestä dokumentaatiosta eikä kyseisiä lähteitä ole esitetty tekstissä. Muut käytetyt lähteet on merkitty tekstiin.

*Taulukko 3-1. Itämerellä havaituista vieraslajeista ne, jotka ovat aiheuttaneet selkeää haittaa tähän selvitykseen osallistuneissa voimalaitoksissa.*

Havaittu laji			
Suomeksi	På Svenska	In English	Tieteellinen nimi
Kaspianpolyyyppi	Klubbpolyp	Freshwater hydroid	<i>Cordylophora caspia</i>
Merirokko	Slät havstulpan	Bay barnacle	<i>Amphibalanus improvisus</i>
Valesinisimpukka	Trekantig brackvat-tenmussla	Conrad's false mussel (dark false mussel)	<i>Mytilopsis leucophaeata</i>

#### 3.2.1 Kaspianpolyyyppi (*Cordylophora caspia*)

Kaspianpolyyyppi on polyyyppieliäin, joka esiintyy suurina kasvimaaisina yhdyskuntina kiinnittyneenä muun muassa vesikasveihin, simpukoihin, kiviin ja erilaisiin ihmisen tuottamiin rakenteisiin, kuten veneenpohjiin, laitureihin ja rakenteisiin. Yksittäiset polyyyppiyksilöt näkyvät haaroina, jotka ovat erikoistuneet joko ravinnonottoon tai lisääntymiseen (Kuva 3-2). Kaspianpolyyyppit ovat noin millimetrin mittaisia, mutta

yhdyskunnat voivat kasvaa 5–10 senttimetrin korkuisiksi polyypin kerrostuessa ja kasvaessa toisten yksilöiden päälle ja peittäen laajoja pintoja. Polyypiyhdyskunnat eivät tarvitse valoa kasvaakseen.



Kuva 3-2. Kaspiantpolyyppeja /Vieraslajit.fi, 2023c/.

Kaspiantpolyyppi on peräisin Mustanmeren ja Kaspiantmeren alueelta. Laji havaittiin Itämerellä jo 1800-luvun alussa, ja nykyään se on levinnyt lähes kaikille maailman merille. Kaspiantpolyyppi on murtovesilaji, mutta se voi elää myös sekä suolaisessa että makeassa vedessä. Lajia esiintyy kaikkialla Itämerellä sekä Pohjois- ja Keski-Euroopan rannikkovesissä, jokisuistoissa ja useissa joissa. Suomen aluevesillä sitä tavataan rannikolla laajasti Suomenlahdelta pohjoiselle Perämerelle asti.

Vaikka kaspiantpolyyppi on lämpimän veden laji, se pystyy myös talvehtimaan kylmissä vesissä lepovaiheiden avulla. Kaspiantpolyypeilla ei ole meduusavaihetta vaan ne lisääntyvät vapaasti uivien planulatoukkien avulla sekä suvuttomasti kasvattamalla kolonioita. Kolonioista voi irrota paloja, jotka edelleen leviävät virtausten mukana kunnes kiinnittyvät uusiin kasvupaikkoihin, kuten laivojen runkoihin, laitureihin tai muihin rakenteisiin. Vaihtelevia olosuhteita kestävä lepomuodot ovat osaltaan auttaneet sitä leviämiseen ja selviämään laajalla alueella.

Kaspiantpolyypiyhdyskunnat voivat haitata voimalaitosten toimintaa jäähdytysvesijärjestelmissä kasvaessaan. Kaspiantpolyypit vaikuttavat lämmönvaihtimien toimintaan lämmönsiirtoa heikentämällä ja korroosiota lisäämällä. Torjuntakeinoja kaspiantpolyyppejä vastaan ovat muun muassa erilaiset mekaaniset ja kemialliset keinot sekä lämpökäsittelyt. Kaspiantpolyyppi voi kilpailla tilasta ja ravinnosta koviin pintoihin kiinnittyvien lajien, kuten sinisimpukan, kanssa sekä ravinnosta muiden planktonia ja pieniä selkärangattomia saalistavien eläinten, kuten kalojen, kanssa. Kaspiantpolyypin on myös todettu kilpailevan toisen vieraslajin, vaeltajasimpukan (*Dreissena polymorpha*), kanssa.

### 3.2.2 Merirokko (*Amphibalanus improvisus*)

Merirokko on siimajalkainen äyriäinen, joka elää toukkana vapaana vedessä. Toukat ovat alle millimetrin mittaisia. Toukkovaiheessa merirokko kiinnittyy sopivaan pintaan



eikä liiku enää sen jälkeen. Alustallaan merirokot kasvavat aikuiseksi yhdyskuntia muodostaen (Kuva 3-3). Aikuinen merirokko on noin senttimetrin pituinen.



Kuva 3-3. Merirokkoja /Vieraslajit.fi, 2023d/.

Merirokon maantieteellinen alkuperä on Pohjois-Amerikassa Atlantilla, ja ensi kerran sitä havaittiin Itämeressä 1840-luvulla. Nyt laji on levinnyt koko Itämeren alueelle Perämeren lukuun ottamatta.

Merirokot kiinnittyvät erilaisiin pintoihin, kuten kallioon, simpukan kuoreen tai erilaisiin rakennelmiin, kuten laitureihin ja veneiden pohjiin. Laji voi myös tukkia laitosten jäähdytysvesijärjestelmiä. Merirokon aiheuttamia haittoja voidaan ehkäistä esimerkiksi mekaanisin keinoin tai kemikaaleilla. Merirokko on muokannut voimakkaasti rannikoiden eliöyhteisöjä viemällä tilaa ja ravintoa muilta eliöiltä ja kasveilta Itämereen levietyään. Se häiritsee myös esimerkiksi rakkoleviä ja simpukoita kiinnittymällä niihin. Toisaalta merirokon toukat syövät kasviplanktonia vedestä, mikä voi osaltaan lisätä veden kirkkautta paikallisesti.

### 3.2.3 Valesinisimpukka (*Mytilopsis leucophaeata*)

Valesinisimpukka, aiemmalta nimeltään valesimpukka, on aikuisena alle kahden senttimetrin mittainen ja tasaisen vaaleanruskea simpukkalaji. Nuorena sen kuoren väri on usein voimakkaan raidallista (kuva 3-4). Valesinisimpukka muistuttaa sekä sinisimpukkaa (*Mytilus trossulus*) että vaeltajasimpukkaa (*Dreissena polymorpha*), minkä vuoksi valesinisimpukan tunnistus silmämääräisesti ei ole yksistään riittävä keino, vaan rinnalle tarvitaan mikroskooppilla tehtävä kuoren sisäpuolen tarkempi tarkastelu tai DNA-testaus.

Valesinisimpukan toukat ovat erittäin pieniä. Ne pystyvät uimaan vapaasti vedessä ja ennen kiinnittymistään koville alustoille levittäytymään virtausten mukana tehokkaasti uusille elinalueille.



Kuva 3-4. Valesinisimpukoita /Vieraslajit.fi, 2023e/.

Alun perin valesinisimpukka on lähtöisin Meksikonlahdelta, josta se on levinnyt Eurooppaan laivojen painovesilastien mukana tai kiinnittymällä laivojen runkoon. Suomessa lajia tavattiin ensimmäisenä Loviisan ja Olkiluodon ydinvoimaloiden jäähdytysveden purkualueilla vuonna 2003, missä meriveden lämpötila on ympäristöään selvästi korkeampi ja vastaa näin niiden alkuperäistä subtrooppista ja lauhkean vyöhykkeen elinympäristöä. Nykyisin Suomessa lajia tavataan laajemmin, eikä sen levinneisyys ole rajoittunut vain voimalaitosten läheisyyteen, mikä tukee ajatusta, että valesinisimpukan esiintyminen on vakiintunut Suomen aluevesille.

Valesinisimpukka kestää laajasti eri suolapitoisuuksia makeasta vedestä aina 20 promilleen asti, minkä takia se viihtyy hyvin murtovesissä rannikon tuntumassa. Valesinisimpukkayksilöiden on raportoitu selvinneen veden lämpötilan ollessa 0 °C, joten näin ollen on mahdollista, että osa aikuisista valesinisimpukoista kestää Itämeren jääpeitteisen talven yli ja lisääntyy kesäisin lämpötilan ylittäessä + 13 °C, vaikka yleisesti talvikaan kuolleisuuden on huomattu olevan suurta. /Forsström et al. 2016/ Sääolosuhteilla on suuri vaikutus valesinisimpukan esiintyvyyteen ja kasvuun, sillä leutoina talvina useampi yksilö selviää talven yli, kun taas kylminä ja kosteina kesinä lisääntyminen on suhteellisen niukkaa. Lämpenevän ilmaston ja Itämeren odotetaan edistävän lajin levinneisyyttä Suomessa.

Lajista vähäisesti kerätyn tiedon pohjalta vielä ei ole ollut mahdollista arvioida valesinisimpukan aiheuttamia haittoja Itämerelle. Valesinisimpukka on luokiteltu haitalliseksi vieraslajiksi muun muassa Suomen kansallisessa vieraslajistrategiassa, mutta laji ei kuulu kansalliseen vieraslajiluetteloon. Muualla maailmassa valesinisimpukat ovat aiheuttaneet merkittäviä taloudellisia haittoja tukkimalla laitosten putkistoja ja heikentäen voimalaitosten lämmönvaihtimien toimintaa. Niiden esiintyvyys lisää myös kilpailua elintilasta kovilla alustoilla alkuperäisen lajiston kanssa.

### 3.2.4 Rangiasimpukka (*Rangia cuneata*)

Rangiasimpukka, joka tunnetaan myös nimellä kiilasimpukka, on ruskea, pyöreä ja paksukuorinen simpukkalaji (kuva 3-5). Itämerestä löydetyn suurimman yksilön pituus on ollut neljä senttimetriä, mutta ne saattavat kasvaa otollisissa olosuhteissa jopa 10 senttimetrin mittaisiksi. Rangiasimpukka muistuttaa esimerkiksi itämerensimpukkaa (*Macoma balthica*), mutta rangiasimpukan tunnistaa huomattavasti vahvemmassa ja suuremmasta kuorestaan.



Kuva 3-5. Rangiasimpukoita /Vieraslajit.fi, 2023f/.

Rangiasimpukka on Meksikonlahdelta alun perin laivojen painovesien mukana levinnyt vieraslaji, josta Suomessa ensimmäiset havainnot aikuisesta simpukasta on tehty Suomenlahdella Loviisan edustalla keväällä 2021. Eteläisellä Itämerellä lähellä Kaliningradin aluetta ensimmäiset havainnot rangiasimpukasta tehtiin jo vuonna 2010, joten on hyvin todennäköistä että laji on levinnyt Suomeen jo ennen ensimmäisiä havaintoja Loviisassa. Rangiasimpukat elävät matalissa vesissä kaivautuneina hiekkaan tai mutaan. Niiden ravintoa ovat kasviplankton sekä hajoava kasviaines ja ne toimivat itse ravintona monille linnuille ja kaloille. Meksikonlahdella rangiasimpukoita käytetään myös ihmisten ravintona.

Rangiasimpukat lisääntyvät nopeasti vedessä vapaasti uivina toukkina, kun ympäristöolosuhteet ovat siihen suotuisat. Rangiasimpukka on murtovesilaji. Aikuiset simpukat viihtyvät niin makeissa kuin suolaisemmissakin merivesissä, mutta ne pystyvät lisääntymään vain 6–10 promillen suolapitoisuuksissa, mikä rajoittaa lajin lisääntymistä Suomen vähäsuolaisissa aluevesissä. Kuoriutuvat toukat kestävät hyvin suolapitoisuuden (2–20 ‰) ja lämpötilan vaihteluita (8–32 °C), joten niiden levittäytyminen laivaliikenteen mukana saattaisi selittää Suomesta löydetyt yksilöt. Alueelle asettumisen jälkeen suolapitoisuus ei vaikuta eloonjäämiseen. Aikuiset rangiasimpukat kestävät hyvin lämpötilavaihteluita, mutta niiden kuolleisuus lisääntyy kylmissä lämpötiloissa. Kylmät, jääpeitteiset talvet karsivat populaatiokokoa, mutta tutkimuksissa on myös raportoitu yksittäisten yksilöiden kestäneen matalia, noin 1 °C lämpötiloja. /Möller & Kotta 2017/

Tällä hetkellä rangiasimpukoita on havaittu pääasiassa voimalaitosten läheisyydestä, jossa meriveden lämpötila on ympäröivää ympäristöä selvästi korkeampi.

Rangiasimpukasta ei ole kerätty vielä tarpeeksi tietoa Itämerellä, jotta sen aiheuttamia haittoja voitaisiin arvioida varmuudella. Muiden fouling-lajien tavoin, ne saattavat kerääntyä vedenottoputkiin ja aiheuttaen tukoksia sekä kilpailla elintilasta alueen alkupe- räisen lajiston kanssa.

### 3.2.5 Vaeltajasimpukka (*Dreissena polymorpha*)

Vaeltajasimpukka on kolmiomainen ja melko pullea simpukkalaji, jonka kuoren molemmilla puoliskoilla on jyrkkä harjanne. Kuoren väritys ja muoto vaihtelevat, mutta yleensä kuoreissa on tummia ja vaaleita raitoja muodostaen tunnistettavan siksak-ku- vion (kuva 3-6). Kooltaan vaeltajasimpukat ovat pieniä ja kasvavat noin 3–5 senttimet- rin mittaisiksi. Ne muistuttavat muodoltaan ja elinympäristöiltään sinisimpukkaa, muo- dostaen tiheitä kolonioita pinnoille tai kasveihin. Vaeltajasimpukka sietää lämpötiloja välillä -20°C –40°C. Parhaiten ne kasvavat lämpötiloissa 18–20°C /Global Invasive Species Database 2023a/.



Kuva 3-6. Vaeltajasimpukoita /Vieraslajit.fi, 2023g/.

Alun perin vaeltajasimpukka on kotoisin Kaspianmeren ja Mustanmeren alueelta. Itäi- sellä Suomenlahdella ensimmäinen vaeltajasimpukka löydettiin 1990-luvulla, jonka jäl- keen laji on vakiintunut itäisen Suomenlahden ja Riiianlahden vähäsuolaisiin vesiin. Vaeltajasimpukan haitallisimmat massaesiintymät esiintyvät makeissa vesissä ja sitä esiintyy myös murtovesissä. Vaeltajasimpukka sietää suolapitoisuutta 7 promilleen asti /Global Invasive Species Database 2023a/. Suomen järvissä ja joissa vaeltajasimpukkaa ei ole vielä tavattu, vaikka Viron ja Ruotsin makeissa sisävesissä laji on elänyt jo pit- kään.

Vaeltajasimpukat lisääntyvät muiden simpukkalajien tavoin planktonisena toukkavai- heen avulla, mikä tekee niiden leviämisestä nopeaa kun mikroskooppiset toukat pääse- vät liikkumaan virtaavan veden mukana uusille alueille ja alustoille. 1980-luvulta läh- tien vaeltajasimpukka on aiheuttanut Pohjois-Amerikassa miljoonien dollarien talou- dellisia tappioita vuosittain kiinnittyessään vedenottoputkiin voimaloissa tai muissa ve- denalaisissa rakenteissa muodostaen tiheitä kasvustoja. Kasvustot voivat peittää myös laivojen ja veneiden runkoja ja lisäksi simpukoiden massaesiintymät ja niiden terävät kuoret aiheuttavat haittaa uimarannoilla. Suomessa vaeltajasimpukoista ei ole ainakaan vielä muodostunut yhtä suurta ongelmaa kuin Pohjois-Amerikassa, vaikka suuria popu- laatiota on havaittakin Neva-joen suistossa Itäisellä Suomenlahdella.

Vaeltajasimpukka kilpailee ravinnosta ja kiinnittymispaikoista kotoperäisten lajien ku- ten sinisimpukan kanssa. Joillain alueilla eteläisen Itämeren laguuneissa ne ovat



syryttäneet sinisimpukat kokonaan. Ne voivat kiinnittyä myös muiden simpukoiden päälle vaikeuttaen alla elävien simpukoiden ravinnonottoa. Linnut ja kalat voivat hyödyntää vaeltajasimpukoita ravintonaan, mikä mahdollisesti saattaa lisätä lintu- ja kalayksilöiden määrää ympäristössä. Sinisimpukoiden tapaan vaeltajasimpukat myös suodattavat vettä tehokkaasti, minkä ansiosta alueen vesi voi kirkastua, jos siellä elää suuria määriä vaeltajasimpukoita. Hyvästä puolista huolimatta, vaeltajasimpukka on listattu sadan pahimman vieraslajin joukkoon maailmanlaajuisessa haitallisten vieraslajien tietokannassa /Global Invasive Species database 2023b/.

### 3.2.6 Amerikankampamaneetti (*Mnemiopsis leidyi*)

Amerikankampamaneetti on meduusamainen, läpikuultava ja hyytelömäinen eläin, joka kuuluu kampamaneettien pääjaksoon. Aikuisena se voi kasvaa noin 10 senttimetrin pituiseksi, muodoltaan soikeaksi ja sivuilta litistyneeksi eläimeksi, jolla on useita uimiseen tarkoitettuja ripsiä (kuva 3-7). Amerikankampamaneetti elää merien pintakerroksissa ja kestää hyvin elinympäristön suolaisuuden ja lämpötilojen vaihteluita. Tutkimuksissa on huomattu yksilöiden selviytyneen eteläisellä Itämerellä talven yli (talvi 2006–2007) ja laajentaneen levinneisyyttään lounaisosien merialueilta kohti Gotlannin allasta. /Kube et al. 2007/ Laji ei kuitenkaan viihdy matalasuolaisissa tai makeissa vesissä, joten Itämerellä sen levinneisyyttä epäillään rajoittavan itäisen ja pohjoisen Itämeren alhaisen suolapitoisuuden ennemmin kuin matalan lämpötilan. Amerikankampamaneettia pidetään Itämerellä tarkkailtavana tai paikallisesti haitallisena vieraslajina.



Kuva 3-7. Amerikankampamaneetti /Vieraslajit.fi, 2023h/.

Alun perin amerikankampamaneetti on kotoisin Pohjois- ja Etelä-Amerikan itärannikolta, josta se on todennäköisesti levinnyt muualle maailmaan laivojen painolastivesissä. Ruotsin länsirannikolla Kattegatin alueella lajista on ensimmäisen kerran tehty havaintoja syksyllä 2006, mutta lajia ei ole vielä tavattu Suomen vesissä.

Amerikankampamaneetit ovat aiheuttaneet suuria taloudellisia tappioita esimerkiksi Yhdysvalloissa ja Mustanmeren alueella. Suotuisissa oloissa amerikankampamaneetti lisääntyy tehokkaasti aiheuttaen häiriöitä merien ravintoverkkoihin ja lajien väliseen dynamiikkaan. Kampamaneetti on tehokas peto ja se käyttää ravinnokseen eläinplanktonia sekä kalojen mätiä ja poikasia. Tämä puolestaan kasvattaa kasviplanktonin määrää

ympäristössä ja romahduttaa esimerkiksi petokalakantoja, kun alemmilla ravintoverkon tasoilta ei riitä niille tarpeeksi ravintoa. Voimalaitoksille amerikankampamaneetit voivat massaesiintyminä aiheuttaa tukkeutumisriskejä laitosten jäähdytysvesijärjestelmissä.

Amerikankampamaneetin torjuntaan ei ole tunnistettu muita keinoja kuin sen luontaiset viholliset, jotka rajoittavat sen lisääntymistä, kuten Mustanmeren alueella on havaittu käyneen. Amerikankampamaneetti on listattu sadan pahimman vieraslajin joukkoon maailmanlaajuisessa haitallisten vieraslajien tietokannassa /Global Invasive Species database 2023b/.

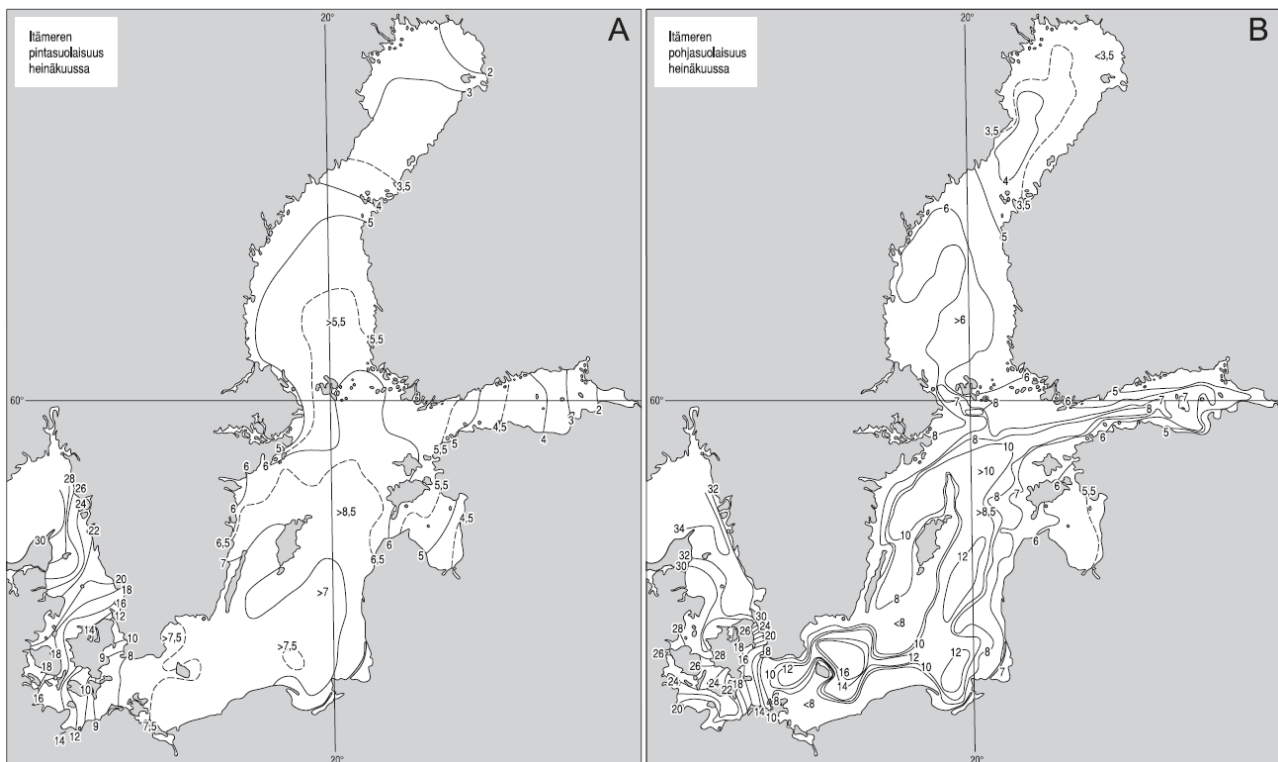


## 4 ITÄMEREN OMINAISUUDET, ILMASTONMUUTOS JA VAIKUTUKSET VIERASLAJEIHIN ITÄMERELLÄ

### 4.1 Itämeren ominaisuudet ja biodiversiteetti

Itämeren monimuotoisuus on luontaisesti suhteellisen pieni johtuen erityisesti sen lämpötilasta ja suolapitoisuudesta. Itämeren suolapitoisuus on liian matala monille merivedessä eläville lajeille, mutta liian korkea makeaan veteen sopeutuneille lajeille. Itämeri tarjoaa karun elinympäristön niin sen kotoperäisille kuin vieraslajeillekin. Itämeressä elävien lajien tulee olla sopeutuneita kylmiin, useilla alueilla jääpeitteisiin talviin kuin myös vaihtelevaan suolapitoisuuteen meren eri alueilla. Näistä tekijöistä johtuen uusien lajien levittäytymistä ja vakiintumista merialueelle luonnollisesti tai ihmistoiminnan seurauksena rajoittaa usein lajin omaan sopeutumiskyky. Erilaisten elinpaikkojen määrää ja sitä kautta lajimäärää Itämerellä vähentävät niin ikään suurien syvyyksien puuttuminen ja vähäinen vuorovesi-ilmiö. Lajimäärä pienenee asteittain siirryttäessä Ruotsin rannikolta Itämeren länsiosista pohjoiseen ja Suomenlahden pohjukkaan. /Holopainen et al. 2016, Itämeri.fi 2023/

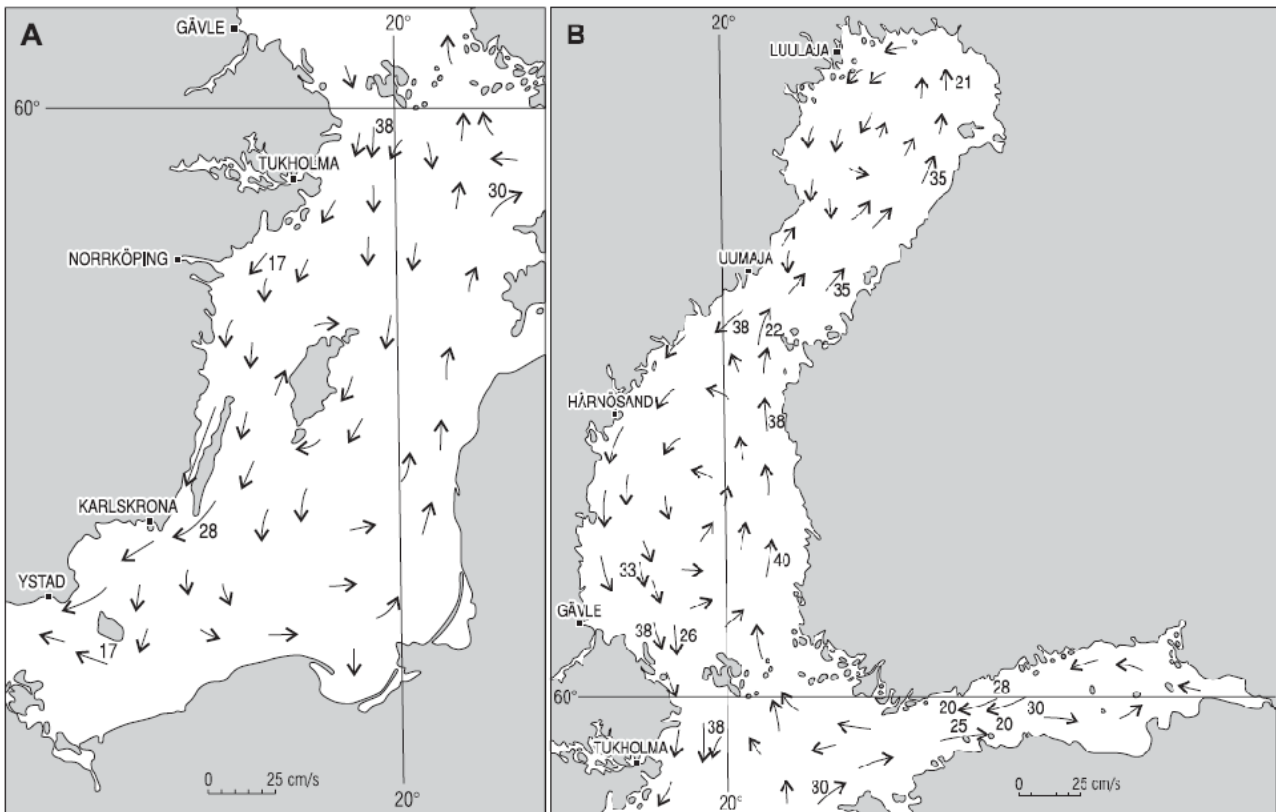
Kuvassa 4-1 on esitetty Itämeren tyypillinen pinta- ja pohjasuolaisuus heinäkuussa, mistä käy selvästi ilmi, että suolapitoisuus laskee siirryttäessä lännestä itään ja etelästä pohjoiseen. Kattegatin vesillä Tanskan salmilla lähellä valtameriä, suolapitoisuus on pääosin yli 20 promillea. Aivan Perämeren ja Suomenlahden pohjukkoissa suolapitoisuus on enää muutamia promilleja. Veden suolapitoisuus onkin tärkein yksittäinen lajien levinneisyyttä rajoittava tekijä /Paavola et al. 2005/.



Kuva 4-1. Itämeren tyypillinen pinta- ja pohjasuoloisuus heinäkuussa. Kuva muokattu viitteen /Myrberg et al. 2006/ kuvista.

Itämeri on matala, mutta pinta-alaltaan laaja sekä vähälajinen, minkä takia se on haavoittuvainen vesiekosysteemi valtameriin verrattuna. Itämeri on herkkä erityisesti muuttuvan ilmaston aiheuttamille muutoksille hydrologiassa sekä vieraslajien aiheuttamille häiriölle sen alkuperäisessä lajikoostumuksessa. /Holopainen et al. 2016, Itämeri.fi 2023/

Itämerellä vallitsee keskimäärin vastapäiväinen, varsin pysyvä kierto. Keskimääräiset virtausnopeudet ovat melko alhaisia, vain noin 5 cm/s luokkaa (kuva 4-2). Keskimäärin virtaukset siis kulkevat Itämeren itäisiä rantoja pitkin kohti pohjoista ja läntisiä rantoja pitkin kohti etelää. Näin ollen esimerkiksi ennen Suomen rannikolle saapumistaan uudet lajit saapuvat Viron rannikolle ja kulkeutuvat Suomenlahden pohjukan kautta ennen Suomen rannikolle saapumistaan. Esimerkiksi *Prorocentrum minimum* -panssarilevä on tällainen virtausten mukana rannikoita pitkin levinnyt ja lopulta Suomenkin rannikon saavuttanut tulokaslaji. /Myrberg et al. 2006/



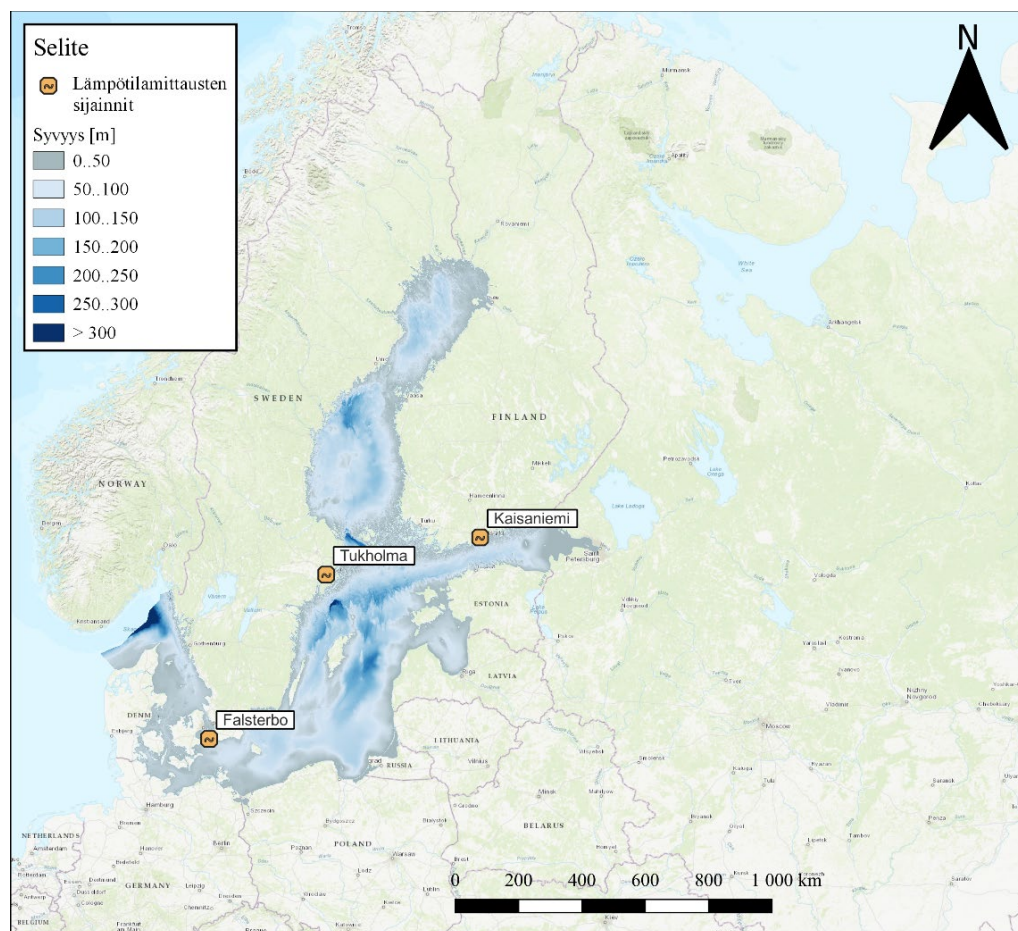
Kuva 4-2. Itämerellä vallitsee keskimäärin vastapäiväinen, varsin pysyvä kierto. Kuva muokattu viitteen /Myrberg et al. 2006/ kuvista.

## 4.2 Itämeren alueella havaittuja muutoksia ilmasto-olosuhteissa

Itämeri on verrattain nuori meri ja se on olemassaolonsa aikana kokenut monia merkittäviä muutoksia. Viimeisin jääkausi päättyi Itämeren alueella noin 11 000 vuotta sitten, minkä jälkeen Itämeri on ollut ajoittain makean veden allas, kun yhteyttä Pohjanmereen ei ollut, ja ajoittain murtovesiallas, kun vedenvaihtumisen mahdollistava yhteys Pohjanmereen on taas auennut. Näissä eri vaiheissa Itämeren lajisto on vaihdellut muun

muassa veden suolapitoisuuden mukaan, mutta nykyisessäkin Itämeressä viihtyy jään-  
nöslajeja aikaisemmista suolaisen ja makean veden kausista. /Myrberg et al. 2006/

Tässä tarkastelussa keskitytään viimeisen parin sadan vuoden aikana ilmenneisiin ympäristöolosuhteiden muutoksiin Itämerellä. Tarkastelun perustaksi luodaan katsaus Itämeren ympäristössä mitattuihin ilman lämpötilojen vuosikeskiarvoihin, joista on tarjolla tietoja 1800-luvun loppupuolelta nykyhetkeen saakka. Ilman lämpötila on hyvä ympäristöolosuhteiden muutosten indikaattori, koska siitä on saatavilla pitkiä mittausaikaasarjoja, vuosikeskiarvojen vaihtelu on verrattain pientä ja mahdolliset muutostrendit erottuvat aineistosta kohtalaisen hyvin, ja ilman lämpötila toimii suorasti tai epäsuorasti keskeisenä taustamuuttujana myös muille ympäristömuuttujille.

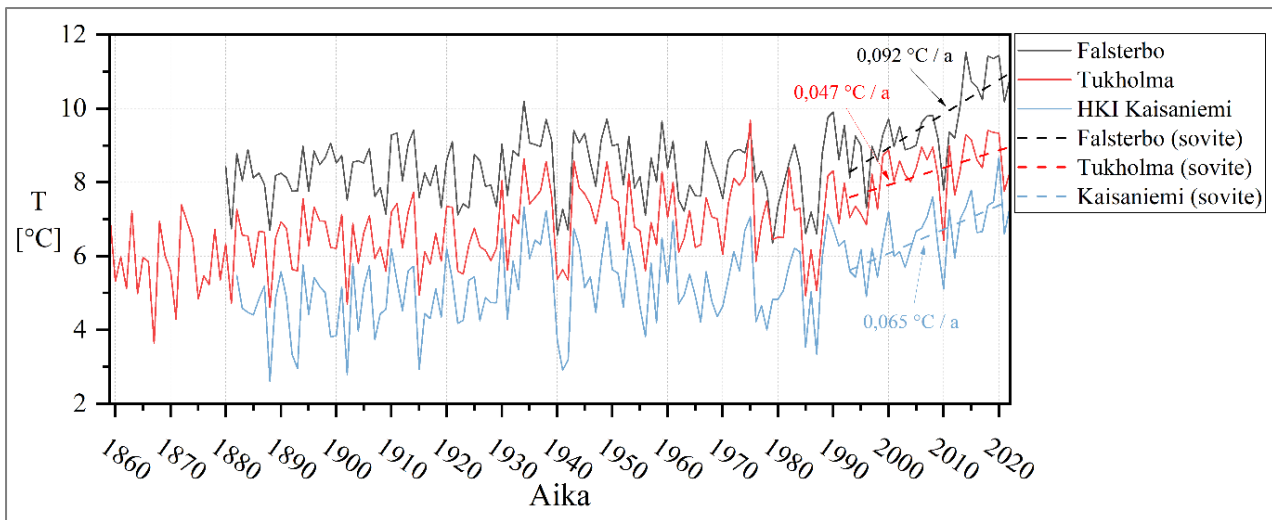


Kuva 4-3. Ilman lämpötilan mittausasemia Itämeren piirissä, joilta on saatavissa pitkiä mittausaikaasarjoja.

Tarkasteluun on valikoitu Ruotsin ilmatieteen laitoksen (SMHI) Falsterbon ja Tukholman mittausasemien tuloksia sekä Suomen Ilmatieteen laitoksen (IL) Kaisaniemen mittausaseman tuloksia. Kuvassa 4-3 on esitetty karttakuva kyseisten mittausasemien sijainneista. Mittausasemien sijainneissa mitattujen ilman lämpötilan vuosikeskiarvot on esitetty kuvassa 4-4. Mittaustuloksia on hyödynnetty sellaisenaan. Pitkien aikasarjojen osalta on kuitenkin hyvä huomioida, että tuloksiin vaikuttavat muun muassa käytetyt

mittalaitteet ja mittauksen sijaintiympäristö, jotka molemmat ovat todennäköisesti aikojen saatossa muuttuneet.

Kuvasta 4-4 nähdään ilman lämpötilan vuosikeskiarvojen keskihajonnan olevan noin 1 °C luokkaa. Lämpötila-aikasarjoissa on havaittavissa jaksoja, jolloin lämpötilat ovat kasvaneet sekä jaksoja, jolloin ne ovat pienentyneet, kuten 1930-luvun huomattavan lämmin jakso, 1940-luvun alun ja 1980-luvun loppupuolen kylmät jaksot. Kuvassa on esitetty myös katkoviivalla viimeisen 30 vuoden (aikaväli 1993–2022) ilman lämpötilan vuosikeskiarvoihin sovitetut suorat. Sovituksista nähdään, että ilman lämpötilojen vuosikeskiarvot ovat viimeisen 30 vuoden aikana kasvaneet noin 1,4–2,8 °C mittaasemasta riippuen. Itämeren alueella lähihistoriassa ilman lämpötilan merkittävin kasvu on mittausten perusteella ilmennyt parin viimeisen vuosikymmenen aikana.



Kuva 4-4. Ilman lämpötilojen aikasarjat Falsterbon, Tukholman ja Kaisaniemen mittaasemilla 1800-luvun loppupuolelta vuoteen 2022 sekä aikasarjojen viimeisen 30 vuoden aineistoon sovitetut suorat ja niiden kulmakertoimet (Mittaasaineisto IL:n ja SMHI:n avointa dataa, jota hyödynnetty lisenssin /CC BY 4.0 DEED 2023/ rajoissa).

Viitteessä /Bolle et al. (toim.) 2015/ on esitetty useiden eri ympäristömuuttujien historiallisia havaintoja, sekä tulkintoja muutoksista. Valikoituja keskeisiä havaintoja on esitetty kootusti taulukossa 4-1. Esitettyjen ympäristömuuttujien osalta ilman lämpötilan, meriveden lämpötilan ja merijään lisäksi tapahtuneet keskimääräiset muutokset eivät ole niin selkeitä tai vaihtelevat alueesta riippuen.

Taulukko 4-1. Valikoitujen ympäristömuuttujien historiallisia havaintoja ja tulkintoja mahdollisista muutoksista /Bolle et al. (toim.) 2015/.

Ympäristömuuttuja	Kuvaus muutoksesta
Ilman lämpötila	Ilman lämpötiloissa on havaittu selkeä kasvava trendi, mikä näkyy myös kasvukauden pitenemisenä ja kylmän kauden lyhentymisenä.
Sade	Sateisuuden osalta ei ole havaittu selkeitä pitkänajan trendejä, joskin jonkinlaisia signaaleja on ollut havaittavissa sadetilanteiden kestoajan pidentymisestä sekä rankkasateiden esiintymisriskin kasvusta.



Ympäristömuuttuja	Kuvaus muutoksesta
Jokien hydrografia	Jokien virtaamissa on ollut monien Itämeren jokien osalta havaittavissa kasvava trendi vuositasolla sekä talvi- ja kevätkaudella. Toisaalta eteläisellä Itämerellä on jokia, joilla virtaamat ovat pienentyneet eli muutosten suunta vaihtelee alueesta riippuen. Jokien jääpeitteinen aika on lyhentynyt ja jäiden lähtö aikaistunut.
Meriveden lämpötila	Meriveden pintalämpötilan vuosikeskiarvo on noussut aikavälillä 1990–2008 paikoittain jopa 1 °C / 10 a. Joillakin alueilla lämpötilan nousu on ollut hitaampaa johtuen ilmeisesti myrskyratojen siirtymisestä ja tämän seurauksena paikoin kumpuamisilmion yleistymisestä.
Meriveden suolaisuus	Itämeren suolaisuudessa ei ole havaittavissa selkeää muutostrendiä.
Merijää	Merijääpeitteen suurin vuosittainen laajuus on pienentynyt ja jääpeitteinen aika lyhentynyt viimeisen 100 vuoden aikana, joskin vuosittainen vaihtelu on suurta, ja tilanne vaihtelee paljon sijainnista riippuen.
Aallokko	Keskimääräisissä aallokko-olosuhteissa ei ole havaittu merkittäviä muutoksia, mutta ääriolosuhteissa sen sijaan systemaattisia muutoksia on havaittu.

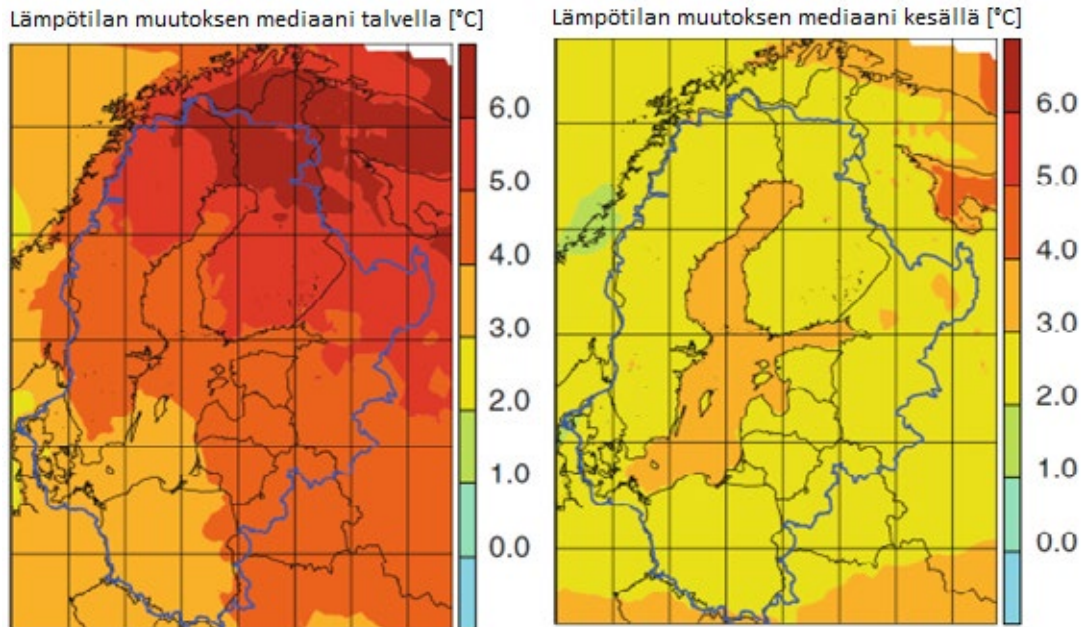
### 4.3 Itämeren alueella ennustettuja muutoksia ilmasto-olosuhteissa

Itämeren olosuhteiden kehittymisen tarkasteluun ilmastomuutoksen näkökulmasta voidaan hyödyntää alueellisia ilmastomalleja. Tavallisesti tulevaisuuden ilmastomuutosta tutkitaan globaalien ilmastomallien avulla, mutta laajojen laskentahilakokojen vuoksi globaalit ilmastomallit eivät välttämättä sovellu pienehköjen alueiden, kuten Itämeren, olosuhteiden kehittymisen tarkasteluun. Globaalien mallien tuloksia voidaan kuitenkin skaalata alaspäin alueellisilla ilmastomalleilla. Tässä yhteydessä hyödynnetään viitteessä /Bolle et al. (toim.) 2015/ esitettyjä CMIP3 (*Coupled Model Intercomparison Project*) -alueellisen ilmastomallinnuksen tuloksia. Tulokset perustuvat parvi-tarkasteluun eli useita eri ilmastomalleja tarkastelemalla saadaan luotettavampi arvio ympäristösuureiden keskimääräisestä kehityksestä sekä arvio sen epävarmuudesta. Julkaisu /Bolle et al. (toim.) 2015/ on jo vuodelta 2015, mutta tarkastelu keskittyy nimenomaan Itämeren ympäristöön ollen hyödyllinen tämän selvityksen kannalta.

Kuvassa 4-5 on esitetty SRES A1B -päästöskenaariolla (skenaarion taustaoletuksena globaali, talouskasvuun keskittynyt maailma) ajettujen ilmastomallitulosten ilman lämpötilan muutosten mediaanit talvi- ja kesäkaudelle Itämeren ympäristössä. Kuva esittää ennustettua ilman lämpötilan muutosta kausien 1961–1990 ja 2070–2099 välillä. Kuvasta nähdään, että ilman lämpötilan ennustetaan nousevan tulevaisuudessa sekä talvi- että kesäkaudella. Nousu on kuitenkin selvästi voimakkaampaa talvikaudella, jolloin lämpötilojen ennakoita voivan olla Fennoskandian pohjoisosissa jopa yli 6 °C vertailukautta korkeampia ja laajalti muuallakin Itämeren ympäristössä 4–5 °C vertailukautta korkeampia. Kesäaikaan lämpötilan nousun ennakoita olevan noin 2–4 °C nousun painottuessa merialueille. Kuvan 4-5 osalta on hyvä huomioida, että päästöskenaario SRES A1B on verrattain pessimistinen eli siihen perustuvia arvioita ilman lämpötilan muutoksesta voidaan pitää konservatiivisina.

Taulukossa 4-2 on esitetty kootusti valikoituja muutosarviota eri ympäristömuuttujien kehityksestä tulevaisuudessa. Ilman, kuten myös meriveden, lämpötilan kasvun lisäksi

muun muassa talvisadannan ennustetaan lisääntyvän, merijääpeitteen vähenevän ja erilaisten sääilmiöiden ääriarvojen voimistuvan.



Kuva 4-5. Ilman lämpötilan muutosten mediaanit talvi- ja kesäkaudelle Itämeren ympäristössä ajettuna SRES A1B -päästöskenaariolla, jossa taustaoletuksena on globaali, talouskasvuun keskittynyt maailma /Bolle et al. (toim.) 2015/.

Taulukko 4-2. Ennusteita ympäristömuuttujien muutoksista. /Bolle et al. (toim.) 2015/.

Ympäristömuuttuja	Kuvaus muutoksesta
Ilman lämpötila	Ilman lämpötila kasvaa kaikkina vuodenaikoina, mutta pohjoisessa lämpeneminen on voimakkainta talvella (muutoksen suuruus riippuu päästöskenaariosta ja aikajänteestä). Talven kylmät ja kesän lämpimät ääriämpötilat muuttuvat keskiarvolämpötiloja enemmän.
Sade	Talvisadanta lisääntyy koko Itämeren alueella, kun taas kesällä sateet kasvavat Itämeren pohjoisosissa. Itämeren eteläosissa ei ole selvää indikaatiota sadannan muutoksista kesäkaudella. Sekä äärisadetilanteiden voimakkuus että toistuvuus yleistyy tulevaisuudessa.
Meriveden lämpötila	Meriveden lämpötila nousee tulevaisuudessa. Pessimistisimpien päästöskenaarioiden perusteella meriveden kesäisten pintalämpötilojen ennustetaan nousevan vuosisadan loppuun mennessä eteläisellä Itämerellä noin 2 °C ja pohjoisella Itämerellä jopa noin 4 °C. Syvemmällä muutosten ennustetaan olevan pienempiä.
Suolaisuus	Suolaisuus Itämerellä mahdollisesti pienenee tulevaisuudessa johtuen jokivirtaamien kasvusta. Arvioon liittyy kuitenkin merkittäviä epävarmuuksia vesitaseen suhteen, joten myös suolaisuuden muutoksissa on isoja epävarmuuksia.
Merijää	Merijääpeite vähenee merkittävästi. Muutoksen suuruus riippuu ilman lämpötilaolosuhteiden kehittymisestä talvikaudella.
Meriveden pinnankorkeus	Keskittason päästöskenaarioiden (A1B) perusteella meriveden pinnankorkeuden ennakoidaan nousevan Itämerellä noin 0,7 m tämän vuosisadan loppuun mennessä. Pinnannousu on vahvasti paikkasidonnaista maankohoamisesta johtuen, joka Tanskan salmien kohdalla on likimain 0 m ja Pohjanlahdella 0,8 m vuosisadassa.
Myrskyvuoksi	Myrskyvuoksien arvioidaan korottavan meriveden pinnankorkeuden ääriarvoja luokkaa 10 cm vuosisadan loppuun mennessä.



Ympäristömuuttuja	Kuvaus muutoksesta
Ilmakehän CO <sub>2</sub> -pitoisuus	Kasvava ilmakehän CO <sub>2</sub> -pitoisuus aiheuttaa merien happamoitumista. Vaikka pH:n muutos Itämerellä on ollut toistaiseksi ennakoitua vähäisempää, niin happamoituminen todennäköisesti jatkuu myös tulevaisuudessa.

#### 4.4 Ilmasto-olosuhteiden muutoksien mahdollisia vaikutuksia lajistoon

Tulevaisuudessa sekä meri- että maaympäristön lämpimämpien olosuhteiden uskotaan mahdollistavan lajien siirtymisen etelästä pohjoiseen. Olosuhteiden lämpeneminen tarkoittaa myös pidempää kasvu- ja lisääntymiskautta Itämeren rannikon kasvi- ja eläinkunnalle. Itämeren biodiversiteetti on erityisen herkkä suolaisuuden suhteen, jolloin ilmastonmuutoksen aiheuttamat muutokset suolaisuudessa voivat aiheuttaa ketjuttuneita vaikutuksia meri- ja maaympäristön välillä. Muutokset meriveden lämpötilassa ja suolaisuudessa voivat mahdollistaa uusien lajien asettumisen Itämerelle, millä voi myös olla vaikutusta kotoperäisten lajien menestymiseen. /Bolle et al. (toim.) 2015/, /Holopainen et al. 2016/

Meriveden lämpeneminen luo otolliset olosuhteet lämpimästä vedestä hyötyville lajeille, kuten syanobakteereille (sinilevät). Sinileväkukintojen uskotaankin runsastuvan ja pidentyvän tulevaisuudessa, millä olisi mahdollisesti negatiivinen vaikutus pohjaeläimille ravinnoksi päätyvän orgaanisen aineksen laatuun. Meriveden lämpenemisen uskotaan myös vaikuttavan eläinplanktonien esiintymiseen, koska niiden käyttämän ravinnon laadun uskotaan heikkenevän, joskin tähän vaikuttaa myös muita tekijöitä eikä kokonaisvaikutuksen suunnasta ole varmuutta. Toisaalta ilmaston lämpeneminen myös pienentää merijääpeitteen laajuutta Itämerellä. Merijää on biologisesti aktiivinen elinympäristö, josta on löydetty muun muassa planktonleviä ja piileviä. Merijääkauden lyhenemisellä voi siis olla vaikutusta merijäätä kasvu- tai talvehtimisalustanaan käyttävien levien määrälle, ja sitä kautta laajempaa vaikutusta ravintoketjuun. /Bolle et al. (toim.) 2015/, /Myrberg et al. 2006/

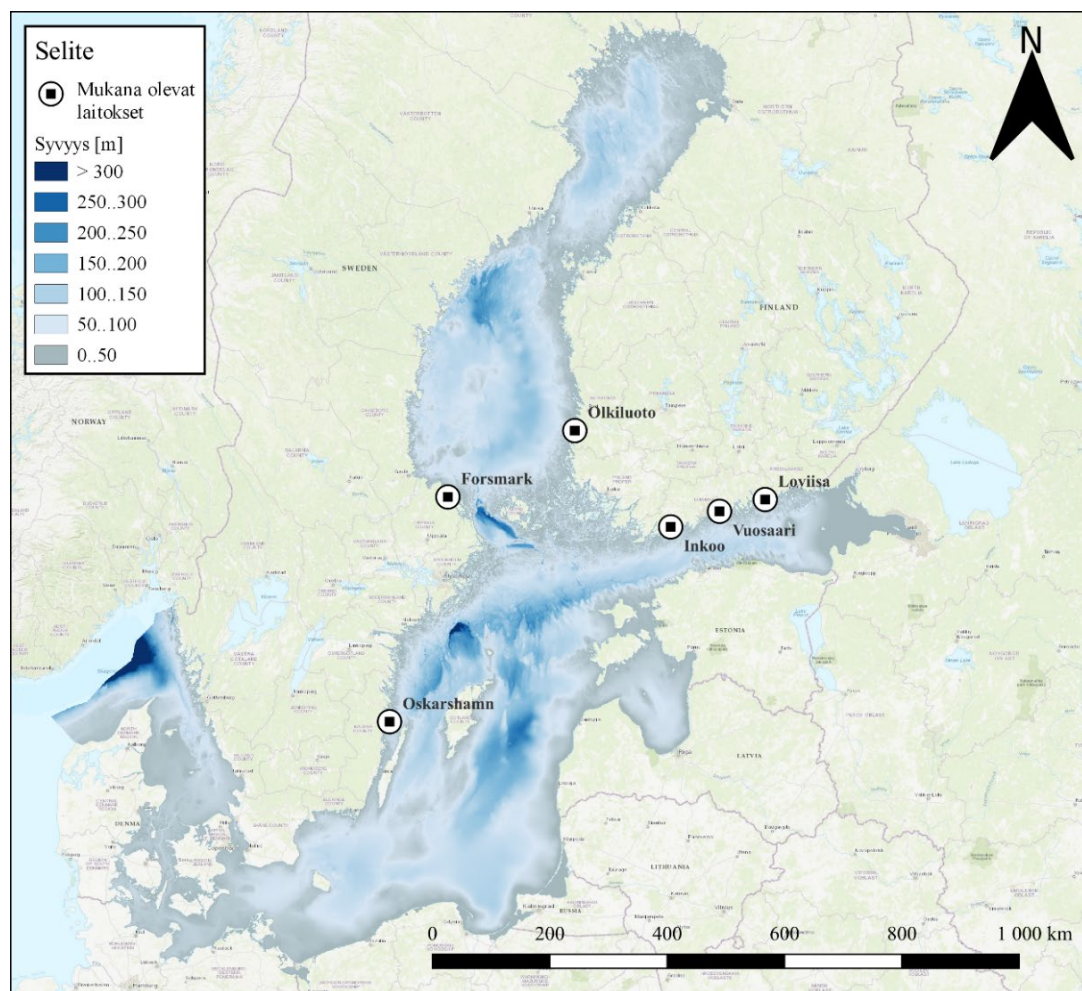
Meriveden lämpötilan nousun, mahdollisen suolaisuuden pienenemisen ja myös happamoitumisen arvioidaan muuttavan olosuhteita suotuisammiksi näihin olosuhteisiin luonnollisilla esiintymisalueillaan tottuneille lajeille. Olosuhteiden muutoksen myötä lajikirjon voidaan tulevaisuudessa odottaa kasvavan, mikä on toisaalta myös osa Itämeren luonnollista, jääkauden jälkeistä kehitystä /Bolle et al. (toim.) 2015/. Erityisesti Kaspianmeren ja Mustameren alueelta lähtöisin olevien vesikirppulajien sekä *dressenidae*-heimoon kuuluvien simpukoiden, katkojen sekä äyriäisten levinneisyyden odotetaan lisääntyvän Itämerellä, kun taas siimajalkaisten, kuten merirokon ja monisukamatujen odotetaan mahdollisesti vähenevän. /Holopainen et al. 2016/. Lämpenevän ilmaston odotetaan edistävän myös esimerkiksi valesinisimpukan levinneisyyttä Itämerellä /Vieraslajit.fi 2023e/.

Lajikirjon ohella eräs lajien menestymiseen Itämerellä vaikuttava tekijä on geneettinen monimuotoisuus, joka on monen Itämeressä elävän lajin osalta verrattain vähäistä. Tämä asettaa vähäisemmän geneettisen monimuotoisuuden omaavia lajeja haavoittuvasen asemaan ulkoisten muutospaineiden suhteen. /Bolle et al. (toim.) 2015/

## 5 TARKASTELLUT VOIMALAITOKSET

### 5.1 Voimalaitosten sijainnit ja käytetty aineisto

Tässä selvityksessä tarkasteltiin kuutta voimalaitosta, jotka kaikki sijaitsevat Itämeren rannikolla. Fortum Power and Heat Oy:n (Loviisa ja Inkoo), Teollisuuden Voima Oyj:n (Olkiluoto), Helen Oy:n (Vuosaari), Oskarshamns Kraftgrupp AB:n (Oskarshamn) ja Forsmarks Kraftgrupp AB:n (Forsmark) voimalaitosten sijainnit Suomessa ja Ruotsissa on esitetty kuvassa 5-1. Tarkastelluista kohteista neljä on ydinvoimalaitoksia Suomessa (Loviisa ja Olkiluoto) ja Ruotsissa (Oskarshamn ja Forsmark), yksi kombivoimalaitos Suomessa (Vuosaari) ja yksi jo käytöstäpoistettu lauhdevoimalaitos Suomessa (Inkoo).



Kuva 5-1. Selvityksessä tarkasteltujen Fortum Power and Heat Oy:n (Loviisa ja Inkoo), Teollisuuden Voima Oyj:n (Olkiluoto), Helen Oy:n (Vuosaari), Oskarshamns Kraftgrupp AB:n (Oskarshamn) ja Forsmarks Kraftgrupp AB:n (Forsmark) voimalaitosten sijainnit Suomessa ja Ruotsissa.

Tässä luvussa on keskitytty kuvaamaan tarkasteltujen laitosten jäähdytysvedenottoon liittyviä järjestelmiä sekä laitosten lähivesistöä, jota käytetään jäähdytysveden ottoon ja purkamiseen. Lähteinä on käytetty muun muassa julkisia vesistötarkkailuraportteja, erilaisia lupa-asiakirjoja sekä Vesimuodostumat-tietokantaa /Vesimuodostumat -

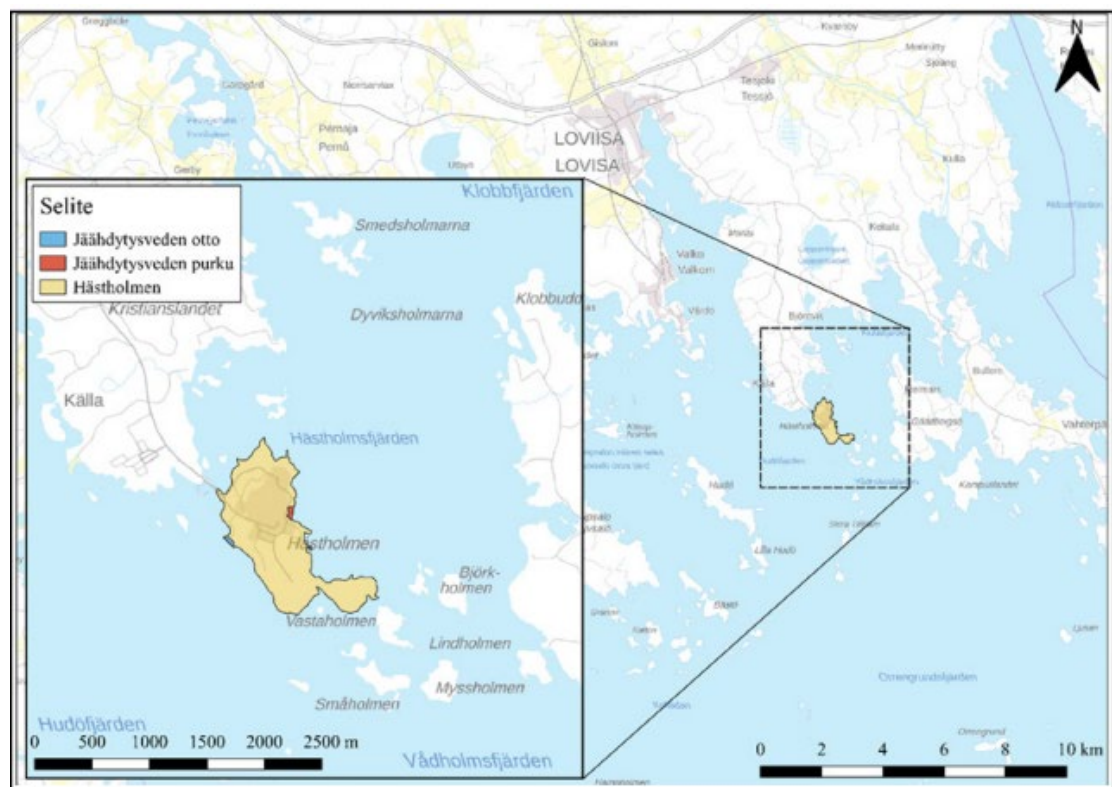
tietojärjestelmä 2023/. Loviisan voimalaitoksen osalta on hyödynnetty myös vuosina 2020–2021 laadittua ympäristövaikutusten arviointimenettelyn selostusta /Fortum 2021/.

## 5.2 Loviisan voimalaitos (Fortum Power and Heat Oy)

### 5.2.1 Laitoskuvaus ja merivedenkäyttö

Fortum Power and Heat Oy:llä on Hästholmenin saarella sijaitsevalla Loviisan voimalaitoksella kaksi painevesireaktorilla varustettua VVER-440 ydinvoimalaitosyksikköä, Loviisa 1 (LO1) ja Loviisa 2 (LO2). Laitosten lämpöteho on yhteensä 3 000 MW ja sähköteho 1 014 MW. Loviisan voimalaitosta käytetään sähkön peruskuorman tuotantoon. Voimalaitoksen käyttökerroin vuonna 2022 oli 89,4 prosenttia ja sähköä tuotettiin yhteensä 7,9 TWh, eli yli 10 prosenttia Suomen sähköntuotannosta. Laitosyksiköiden jokavuotiset vuosihuollot ajoittuvat elo-lokakuun väliselle ajalle. LO1 on otettu käyttöön vuonna 1977 ja LO2 vuonna 1980.

Loviisan voimalaitos ottaa jäähdytysvetensä Hästholmenin saaren länsipuolelta Hudöfjärdeniltä ja purkaa sen saaren itäpuolelle Hästholmsfjärdenille. Loviisan voimalaitoksen sijainti, jäähdytysveden otto- ja purkupaikat sekä voimalaitoksen lähimerialueet on esitetty kuvassa 5-2.



Kuva 5-2. Loviisan voimalaitoksen sijainti, jäähdytysveden otto- ja purkupaikat sekä lähimerialueet (Taustakartta: Maanmittauslaitoksen 01/2021 aineisto).

Jäähdytysveden otto Hudöfjärdeniltä tapahtuu Hästholmenin rannalla -11,1 – -8,5 metrin syvyydessä sijaitsevan, kuuden aukon muodostaman, noin 30 metriä leveän

(kaikkiaan noin 80 m<sup>2</sup>) aukon kautta. Jäähdytysveden virtaama on talvella noin 40 m<sup>3</sup>/s ja kesällä enimmillään noin 55 m<sup>3</sup>/s. Näin ollen jäähdytysveden virtausnopeus ottoaukolla vaihtelee välillä 0,5–0,7 m/s vuodenajan mukaan.

Ottoaukolta jäähdytysvesi kulkee karkeavälpän (vapaaväli 80 mm) jälkeen laitosyksiköille yhteisessä kalliotunnelissa, kunnes tunneli haarautuu kahdeksi hieman pienemmäksi tunneliksi. Tunnelien pituudet ottoaukolta merivesipumppaamoille ovat noin 350 metriä (LO1) ja noin 650 metriä (LO2). Virtausnopeus ottotunneleissa on korkeimmillaankin selvästi alle 1 m/s. Ottotunnelin jälkeen merivesi kulkee aaltoilutilan, hienovälppien (vapaaväli 16 mm), ketjukorisuotimien (silmäkoko 1 mm<sup>2</sup>), pumppujen, putkien ja turbiinin lauhduttimien läpi laitosyksiköiden yhteiseen jäähdytysveden purkutunneliin (pituus noin 100 m ja pinta-ala 67 m<sup>2</sup>) ja sitä kautta edelleen noin 0,5 metrin syvyydessä olevan kynnyksen yli pintapurkuna Hästholmsfjärdenille 10–14 °C lämmenneenä.

### 5.2.2 Jäähdytysveden otto- ja purkuvesistä ja jäähdytysveden vaikutuksia

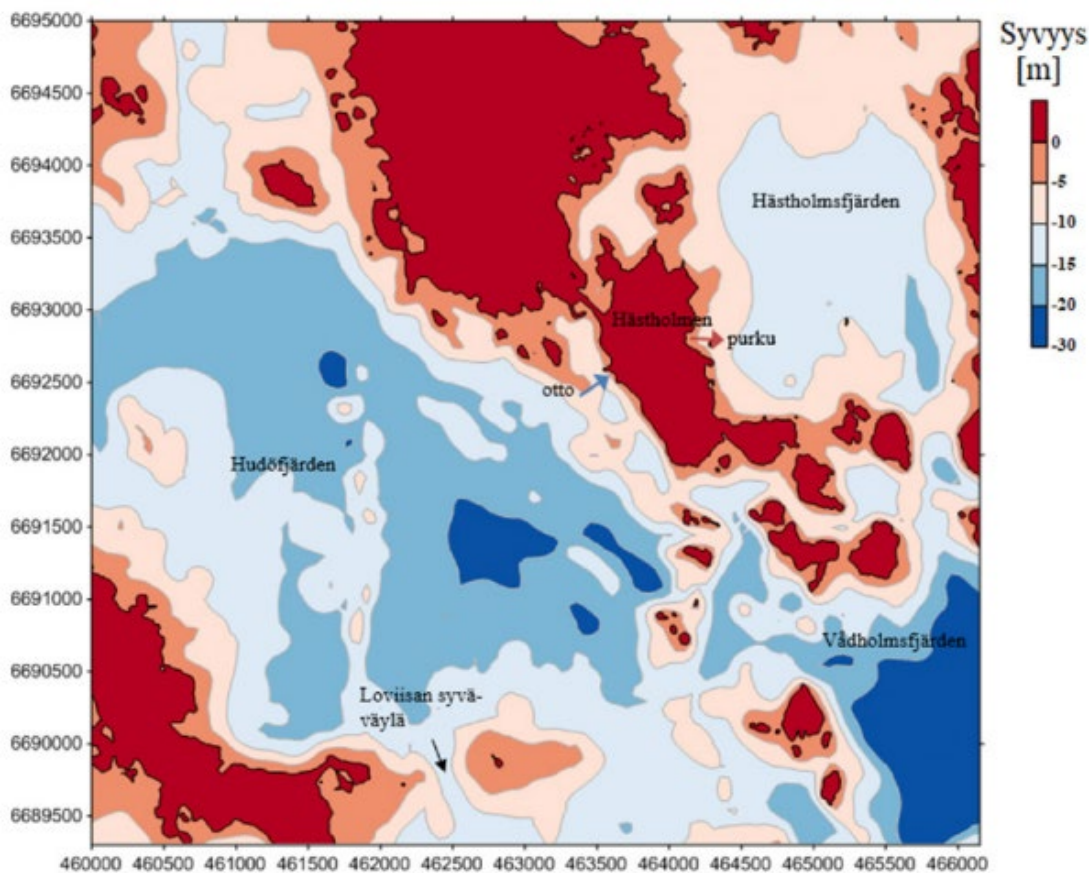
Loviisan voimalaitoksen lähimerialue (Hudöfjärden, Hästholmsfjärden ja Vådholmsfjärden) on esitetty kuvassa 5-2. Jäähdytysveden ottopuoli (Hudöfjärden) on luokiteltu sisäsaaristoksi, mutta avoin merialue ottoaukon edustalla on noin 5 kilometriä leveä ja suurimmaksi osaksi 15–20 metriä syvä.

Otettavan jäähdytysveden lämpötila on vaihdellut pääosin välillä 0–22 °C vuodenajasta riippuen, mutta pintaveden lämpötila ottoaukolla voi korkeimmillaan olla jopa noin 30 °C. Ottopuolella alusveden suolapitoisuus on kesäisin keskimäärin vuosina 2000–2022 ollut noin 4–6 promillea, fosforipitoisuus noin 50–90 µg/l ja typpipitoisuus noin 390–510 µg/l. Vastaavasti pintaveden suolapitoisuus on ollut noin 3,5–5 promillea, fosforipitoisuus noin 30–35 µg/l ja typpipitoisuus noin 310–420 µg/l. Fosforipitoisuuden perusteella vesi on ollut runsasravinteista eli rehevää ja typpipitoisuuden perusteella keskivänteistä.

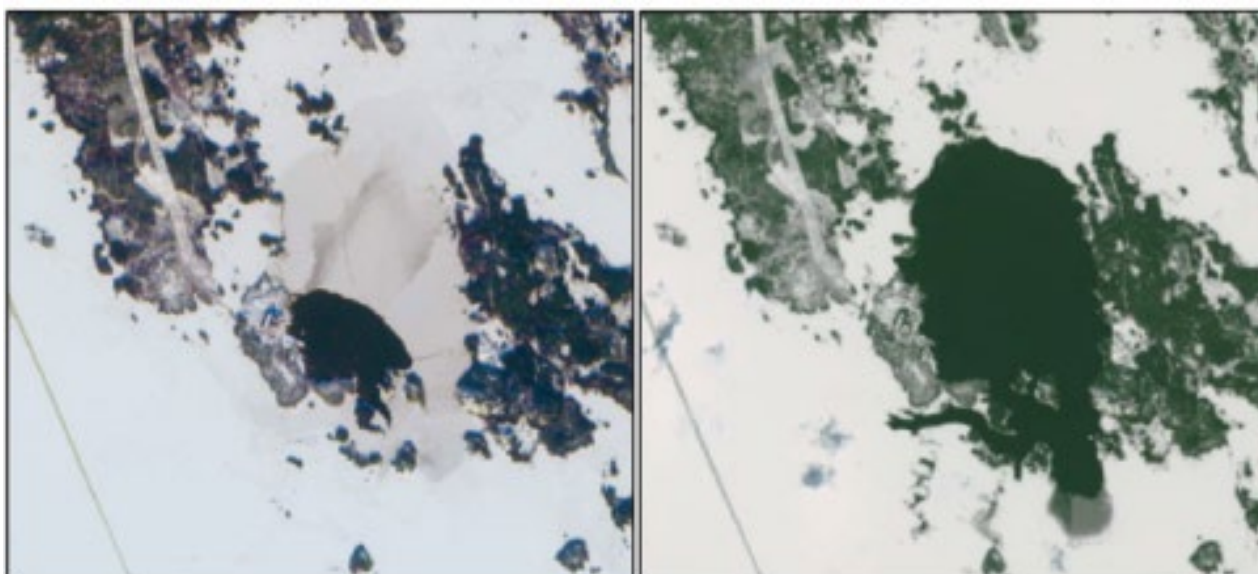
Kuvassa 5-3 on esitetty Loviisan voimalaitoksen lähimerialueen karkea syvyysmalli sekä veden virtaukset otto- ja purkuaukoilla. Ottopuoleen (Hudöfjärden) verrattuna jäähdytysveden purkupuoli (Hästholmsfjärden) on veden vaihdoltaan rajoittuneempi merialue, jolle joet tuovat merkittävässä määrin makeaa vettä ja erityisesti keväisin myös ravinteita. Hästholmsfjärdenin noin 15 metriä syvä pääallas yhtyy vedenvaihtoa rajoittavien salmien kautta Vådholmsfjärdeniin, joka muodostaa noin 25 metriä syvän altaan ennen noin 5 kilometrin päässä voimalaitokselta etelään sijaitsevaa Orregrundsfjärdeniä. Orregrundsfjärden on jo varsin avoin merialue, mutta varsinainen avomeri avautuu vasta noin 12 kilometriä Hästholmenista etelään olevan Orregrundin tasalta.

Voimalaitoksen ottopuolella meri yleensä jäätyy talvisin, mutta viime vuosina alueella on ollut myös täysin jäättömiä talvia. Purkupuolella on talvella yleensä pinta-alaltaan useamman neliökilometrin sulana pysyvä alue, jonka koko kuitenkin vaihtelee voimakkaasti sekä talven aikana että talvesta riippuen. Kuva 5-4 havainnollistaa sulana pysyvän alueen laajuutta talvella 2018. Sula-alueen koko huhtikuun alussa havainnollistaa varsin hyvin jäähdytysveden vaikutusalueutta ja jälleenkiertoreittiä ottoaukolle.





Kuva 5-3. Loviisan voimalaitoksen lähimerialueen karkea syvyysmalli (koordinaatisto ETRS-TM35FIN) /Fortum 2021/.



Kuva 5-4. Sulan veden alueen koon vaihtelua voimalaitoksen lähimerialueella talvella 2018. Vasemmalla satelliittikuva helmikuun lopusta (27.2.2018), jolloin sula-alue oli pienimmillään. Oikealla satelliittikuva huhtikuun alusta (3.4.2018), jäät sulivat huhtikuun puolenvälin paikkeilla. /Fortum 2021/

Mittausten lisäksi Fortum on mallintanut jäähdytysveden leviämistä lähimerialueella ja tuloksia on hyödynnetty esimerkiksi Loviisan voimalaitoksen käytön jatkoa käsitellessä ympäristövaikutusten arviointiselostuksessa vuonna 2021.

Loviisan voimalaitoksen purkupuolen vesialue Hästholmsfjärden kuuluu Klobbfjärdenin vesimuodostumaan (2\_Ss\_017), jonka ekologinen tila on arvioitu kolmannella vesienhoidon suunnittelukaudella huonoksi ja kemiallinen tila hyvää huonommaksi. Merkittävin Klobbfjärdenin vesimuodostuman ravinnekuormittaja on Taasianjoki ja ravinteita tuo myös Kymijoen Ahvenkosken haara, jotka ovat yhteydessä Klobbfjärdenin vesimuodostumaan vain matalan, noin 150 pitkän ja noin 15 metriä leveän Jomalsundin kanavan kautta. Lisäksi Hästholmsfjärdenillä, kuten muuallakin lähimerialueilla, on syvänteiden ajoittaisen heikon happitilanteen tai hapettomuuden takia havaittu sisäistä kuormitusta, jolloin pohjasedimenttiin varastoituneet ravinteet vapautuvat takaisin veteen. Loviisan voimalaitoksen ympäristövaikutukset purkuvesistössä ovat havaittavissa vain paikallisesti ja toiminnan energiataloudelliseen merkitykseen nähden niitä voidaan pitää vähäisinä. Voimalaitoksen merkittävin ympäristövaikutus on lämpimän jäähdytysveden johtaminen Hästholmsfjärdenille.

## 5.3 Olkiluodon voimalaitos (Teollisuuden Voima Oyj)

### 5.3.1 Laitoskuvaus ja merivedenkäyttö

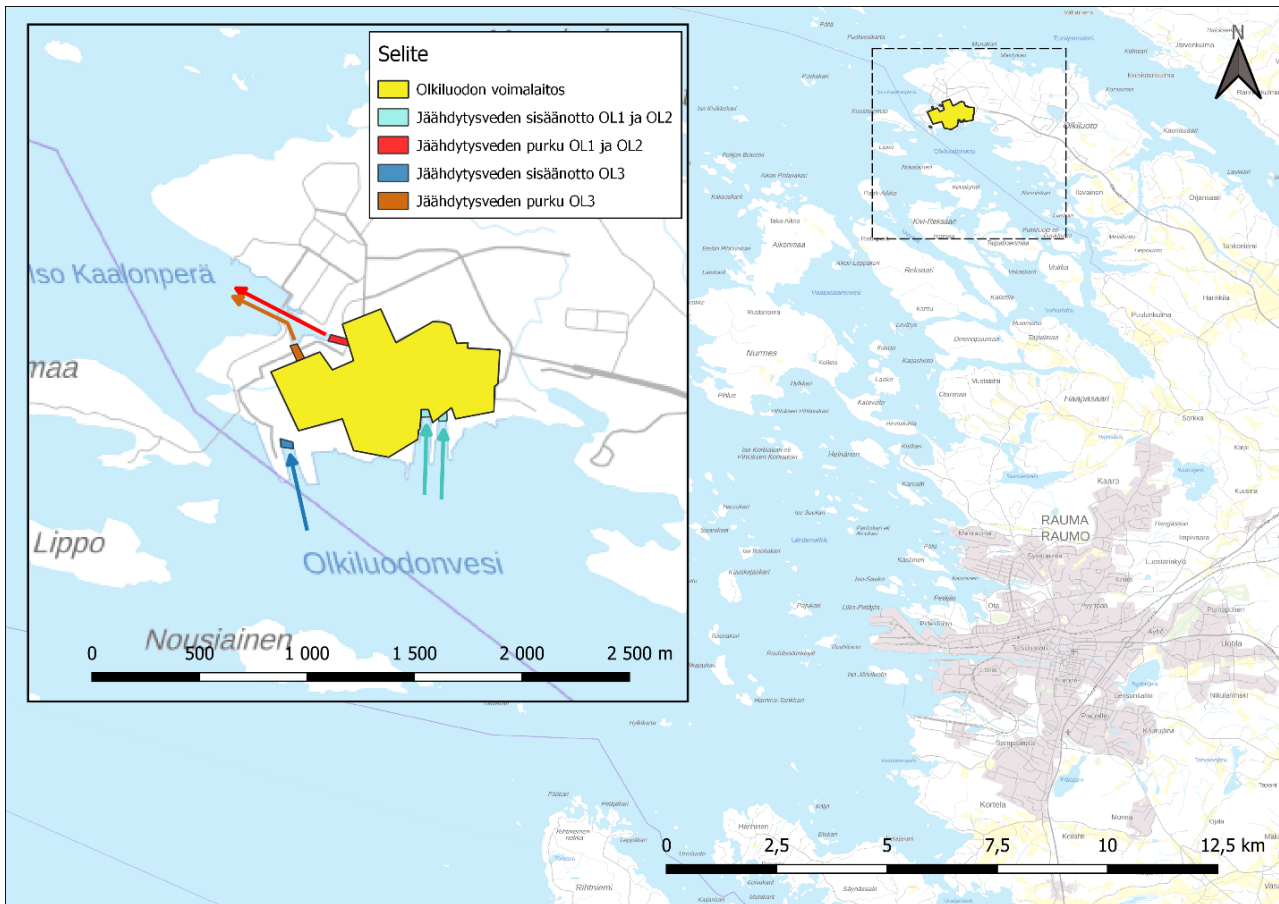
Teollisuuden Voima Oyj:llä (TVO) on Olkiluodon saarella kaksi identtistä kiehutusvesireaktoria, Olkiluoto 1 (OL1) ja Olkiluoto 2 (OL2). Molempien ydinvoimalaitosyksiköiden nykyinen lämpöteho on 2 500 MW ja nettosähköteho 890 MW. TVO:n kolmas ydinvoimalaitosyksikkö, Olkiluoto 3 (OL3), on EPR-tyyppinen painevesilaitos, jonka lämpöteho on noin 4 300 MW ja nettosähköteho on noin 1 600 MW. Yhteensä kaikkien kolmen yksikön lämpöteho on noin 9 300 MW ja sähköteho noin 3 380 MW. Olkiluodon voimalaitosta käytetään sähkön peruskuorman tuotantoon. OL1 on otettu kaupalliseen tuotantoon vuonna 1979, OL2 vuonna 1982 ja OL3 vuonna 2023.

Laitosyksiköiden OL1 ja OL2 jokavuotiset vuosihuollot ovat viime vuosina ajoittuneet huhti-kesäkuun väliselle ajalle. Yksikön OL3 ensimmäinen vuosihuollon suunniteltu ajankohta on vuonna 2024 ja tulevina vuosina kaikkien kolmen yksikön vuosihuollot sijoittuvat maaliskesäkuun väliselle ajalle.

Olkiluodon voimalaitokset käyttävät jäähdytysvetenä Selkämerestä otettua merivettä. Olkiluodon saaren eteläpuolella on Olkiluodonvesi, josta jäähdytysvesi otetaan laitokselle. Vesi kulkee laitoksien läpi ja lämpenee 10–14 °C. Vesi puretaan Olkiluodon saaren länsipuolelle Iso Kaalonperään. Olkiluodon voimalaitoksen sijainti, jäähdytysveden otto- ja purkupaikat sekä voimalaitoksen lähimerialueet on havainnollistettu kuvassa 5-5.

Jäähdytysvedenotto Olkiluodonvedestä tapahtuu painovoimaisesti avokanavaa pitkin. Kaikille voimalaitosyksiköille on oma tulovesikanavansa ja jokaisen pituus on noin 200 metriä. Taulukossa 5-1 on esitetty laitosyksiköiden tulokanavien leveys, pinta-ala, virtaama, maksimisyvyys, nopeus sekä keskinopeus. Jäähdytysveden virtaamat perustuvat tulovesikanavista keväällä 2023 tehtyihin mittauksiin. Jokaisella laitoksella oli 100 prosentin teho, kun mittaukset suoritettiin. Yhteenlaskettuna virtaama laitoille on mitausten perusteella ollut 124,5 m<sup>3</sup>/s.





Kuva 5-5. Olkiluodon voimalaitoksen sijainti, jäähdytysveden otto- ja purkupaikat sekä lähimerialueet (Taustakartta: Maanmittauslaitoksen 1:40000 -aineistoa (07/2023). Lisenssi: <https://www.maanmittauslaitos.fi/avoindata-lisenssi-cc40> (12.7.2023)).

Taulukko 5-1. Tietoja jäähdytysveden tulokanavista ja virtaamista keväällä 2023 Olkiluodossa.

Laitos	Leveys (m)	Pinta-ala (m <sup>2</sup> )	Max syvyys (m)	Keskinopeus (m/s)	Max nopeus (m/s)	Virtaama (m <sup>3</sup> /s)
OL1	50,2	221,1	7,4	0,15	1,05	33,2
OL2	58,9	243,7	6,7	0,14	0,96	34,6
OL3	45,3	173,8	5,4	0,33	0,98	56,7

Ottoaukolta jäähdytysvesi johdetaan karkeavälppien läpi tulotunneliin, jota pitkin jäähdytysvesi virtaa voimalaitoksen jäähdytysvesijärjestelmän pumppaamoon. Karkeavälppien vapaaväli kaikilla yksiköillä on 100 mm. Tulotunnelin pituus on yksikössä OL1 noin 220 metriä, yksikössä OL2 noin 300 metriä ja yksikössä OL3 noin 180 metriä. Pumppujen tulopuolella vesi käsitellään hienovälppillä (OL1 ja OL2 vapaaväli 20 mm, OL3 vapaaväli 50 mm) ja ketjukorisuotimilla (OL1 ja OL2 reikäkoko 2 mm, OL3 reikäkoko 4 mm). Tulopuolen avopintaiset kanavat ja altaat toimivat tulotunnelin aaltoilualtaana. Pumppaamosta vesi pumpataan turbiinilauhduttimille. Lauhduttimesta vesi virtaa aaltoilualtaan (OL1, OL2) tai poistovesikanavan (OL3) kautta takaisin mereen.

### 5.3.2 Jäähdytysveden otto- ja purkuvesistö ja jäähdytysveden vaikutuksia

Laitos- ja lähimerialue ovat esitetty kuvassa 5-5. Jäähdytysvesi otetaan Olkiluodonvesi nimisestä merenlahdesta. Olkiluodonvesi on noin kolme kilometriä pitkä ja 0,7–1,0 kilometriä leveä. Olkiluodonvesi on melko suljettu, salmikaapeikkojen avomerestä erottama vesialue, joten eniten veden virtauksiin vaikuttaa jäähdytysvedenoton määrä. Tuulet eivät merkittävästi muuta jäähdytysveden otosta aiheutuvia virtauksia. Pääsääntöisesti vesi virtaa lähimerialueella etelästä pohjoiseen. Olkiluodonvesi on melko matalaa, ja syvyys vaihtelee välillä 0–8 metriä. Olkiluodossa ja sen lähialueilla meren pohja on pääosin paljasta kalliota tai moreenia, eikä pohjalla ole varsinaista sedimenttikerrosta.

Olkiluodonvesi kuuluu vesimuodostumaan Olkiluodonvesi-Haapasaarenvesi (S\_Ses\_040). Vesimuodostuma on tyypitelty Selkämeren sisempiin rannikkovesiin. Vesimuodostuman ekologinen tila on arvioitu kolmannella vesienhoidon suunnittelukaudella tyydyttäväksi ja kemiallinen tila hyvää huonommaksi. Vedenlaatumittausten perusteella Olkiluodonvedessä fosforipitoisuus on vuonna 2022 ollut heinä-elokuussa pintavedessä keskimäärin 18 µg/l (keskiravinteinen) ja tuotantokerroksessa 14 µg/l (vähäravinteinen). Typpipitoisuus on vastaavasti ollut pintavedessä keskimäärin 230 µg/l ja tuotantokerroksessa 255 µg/l eli vähäravinteinen. Suolapitoisuus vaihteli mittausten perusteella välillä 5,2...6 promillea.

Jäähdytysveden purkukanavat johdetaan Iso Kaalonperään ja sieltä virtaus käy länteen. Iso Kaalonperä kuuluu vesimuodostumaan Luvian-Rauman avomeri (3\_Seu\_110), jonka ekologinen tila on kolmannella vesienhoidon suunnittelukaudella arvioitu olevan hyvä ja kemiallinen tila hyvää huonompi.

Olkiluodon lähimerialueen veden laatuun ja ekologiseen tilaan vaikuttavat Selkämeren rannikkovesien yleistila, jokien kuljettamat ravinteet ja muut aineet. Olkiluodon voimalaitoksesta purettavilla vesillä on vesistöön paikallinen lämmittävä vaikutus ja jäähdytysvedet vaikuttavat lähialueen jäätilanteeseen. Olkiluodon edustalle muodostuvan sulan ja heikkojen jäiden alue vaihtelee vuosien välillä.

Pohjaeläimistön osalta voimalaitoksen vaikutukset ovat suurimpia jäähdytysvesien purkukanavaa lähinnä olevilla alueilla. OL3-yksikön käyttöönoton myötä tapahtuva jäähdytysvesivirtaaman kasvu paljastaa rajoitetulta alueelta pehmeitä pohja-alueita vaikuttaen näin myös pohjaeläinten elinympäristöön ja itse pohjaeläinlajistoon ja runsaussuhteisiin. Pääosalla jäähdytysvesien vaikutusalueita pohjaeläimistön koostumukseen ja biomassaan vaikuttavat kuitenkin merkittävämmässä määrin muut tekijät kuin voimalaitoksen jäähdytysvedet.

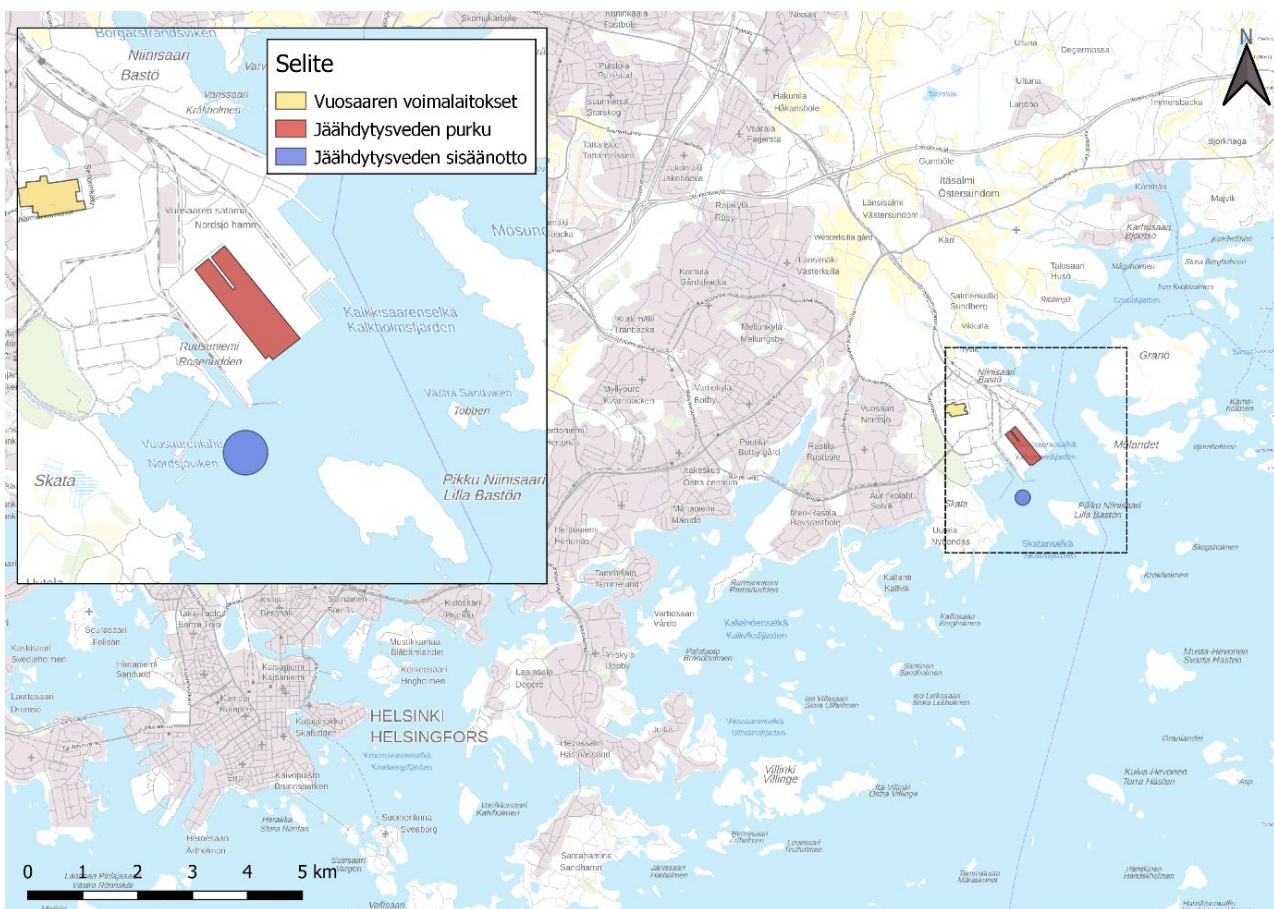
## 5.4 Vuosaaren voimalaitokset (Helen Oy)

### 5.4.1 Laitoskuvaus ja merivedenkäyttö

Helen Oy:n Vuosaaren voimalaitos on kahdesta kombivoimalaitoksesta (Vuosaari A ja Vuosaari B) muodostuva sähköä ja kaukolämpöä tuottava voimalaitos. Laitokset käyttävät pääpolttoaineenaan maakaasua ja varapolttoaineena kevyttä polttoöljyä. Vuosaari A-voimalaitoksella ja Vuosaari B-voimalaitoksella on pääkoneistona kaksi kaasuturbiinia, kaksi lämmön talteenottokattilaa ja yksi höyryturbiini. Vuosaari A:n yhteenlaskettu sähköteho on 165 MW ja kaukolämpöteho 162 MW ja vastaavasti Vuosaari B:n sähköteho 486 MW ja kaukolämpöteho 432 MW. A-voimalaitos on otettu käyttöön vuonna

1991 ja B-voimalaitos vuonna 1998. Jäähdytysvetenä laitoksilla käytetään merivettä. Maksimivedenotto kesäaikaan voi olla jopa noin 25 000 m<sup>3</sup>/h (noin 7 m<sup>3</sup>/s).

Voimalaitosten pääasiallinen käyttötapa on sähkön ja lämmön yhteistuotanto, jolloin lämpöä ei ole tarve johtaa mereen jatkuvasti suuria määriä. Yhteistuotannossa voimalaitosten hyötysuhde on tyypillisesti noin 90–92 prosenttia ja keskimääräinen vuotuinen käyttöaika noin 4 000–7 000 tuntia. Mikäli kaukolämpöverkossa ei ole riittävästi lämmöntarvetta ja sähkölle on tarvetta, voidaan laitosten tuottama lämpö joko kokonaan tai osittain johtaa mereen. Vuosaaren voimalaitosalueelle on rakennettu lämpöpumppulaitos vuonna 2022 ja se tuottaa kaukolämpöä voimalaitosprosessien hukkalämmöstä sekä merivedestä. Vuosihuollot Vuosaassa tehdään kesäaikana, toukokuun ja elokuun välisenä aikana.



Kuva 5-6. Vuosaaren voimalaitosten sijainti, jäähdytysveden otto- ja purkupaikat sekä lähimerialueet (Taustakartta: Maanmittauslaitoksen 1:40000 -aineistoa (07/2023). Lisenssi: <https://www.maanmittauslaitos.fi/avoindata> lisenssi cc40 (12.7.2023)).

Jäähdytysvesi otetaan laitokselle merestä Kalkkisaarenselältä Pikku Niinisaaren ja Ruusuniemen väliseltä merialueelta (kuva 5-6). Vedenotto syvyys on noin 9 metriä. Merivesi johdetaan jäähdytysvedenottotunnelin imupäässä olevien välppiin (rakoväli 20 mm) läpi voimalaitoksille. Vesi käsitellään myös ketjukorisuodattimilla (silmäkoko 1 mm). Jäähdytysvedet ja hulevedet puretaan Vuosaaren sataman alueelle, joka on Vuosaaren itäpuolista merialuetta. Jäähdytysvedet puretaan omaa merivesikanavaa pitkin

pääasiassa Vuosaaren sataman satama-altaaseen. Satama-altaassa jäähdytysvesien sisältämää lämpöenergiaa hyödynnetään talviaikaan satama-altaan sulana pitämisessä. Voimalaitoksien jäähdytysvesille on myös toinen, aiemmin ainoana käytössä ollut, Ruusuniemen kanavan purkupiste, joka sijoittuu pääasiallisen purkupaikan länsipuolelle. Ruusuniemen kanavan purkupistettä käytetään nykyisin vain kesäajan lauhdeajotilanteessa, kun jäähdytysvesien kuorma on suurimmillaan eivätkä kaikki jäähdytysvedet mahdu satama-altaaseen menevään putkeen. Kanavaan arvioidaan päätyvän korkeintaan 5 prosenttia jäähdytysvesistä loppujen purkautuessa satama-altaaseen.

#### 5.4.2 Jäähdytysveden otto- ja purkuvesistö ja jäähdytysveden vaikutuksia

Vuosaaren edustan merialue kuuluu itäisen Suomenlahden rannikkoalueeseen. Alue on pääosin matalaa sisäsaaristoa, jossa keskisyvyys, matalia ranta-alueita lukuun ottamatta, on 10–20 metriä. Merivesi otetaan laitokselle Vuosaaren edustalta Kalkkisaaren selältä Pikku Niinisaaren ja Ruusuniemen väliseltä merialueelta. Vedenottoaikka sataman edustalla on avointa merialuetta ja sitä ympäröi itäpuolella Mölandet ja lounaispuolella Pikku Niinisaari. Vuosaaren satama on rakennettu vuosina 2003–2008, jolloin rantaviivaa ja sataman merialuetta on muokattu voimakkaasti.

Jäähdytysveden ottopaikan ympäristössä suolapitoisuuden mediaani oli vuosina 2002–2022 kuukaudesta riippuen noin välillä 5...6 promillea (kesäisin noin 5,5 ‰), kokonaisfosforipitoisuus noin välillä 20–45 µg/l ja kokonaistyyppipitoisuus noin välillä 240–460 µg/l. Fosforipitoisuuden perusteella vesi on ollut keskiravinteista tai runsasravinteista (rehevää) ja tyyppipitoisuuden perusteella vähäravinteista tai keskiravinteista.

Vuosaaren sataman alue kuuluu Sipoon saariston vesimuodostumaan (2\_Ss\_025). Kolmannella vesienhoidon suunnittelukaudella vesimuodostuman ekologinen tila on arvoitu välttäväksi ja kemiallinen tila hyvää huonommaksi.

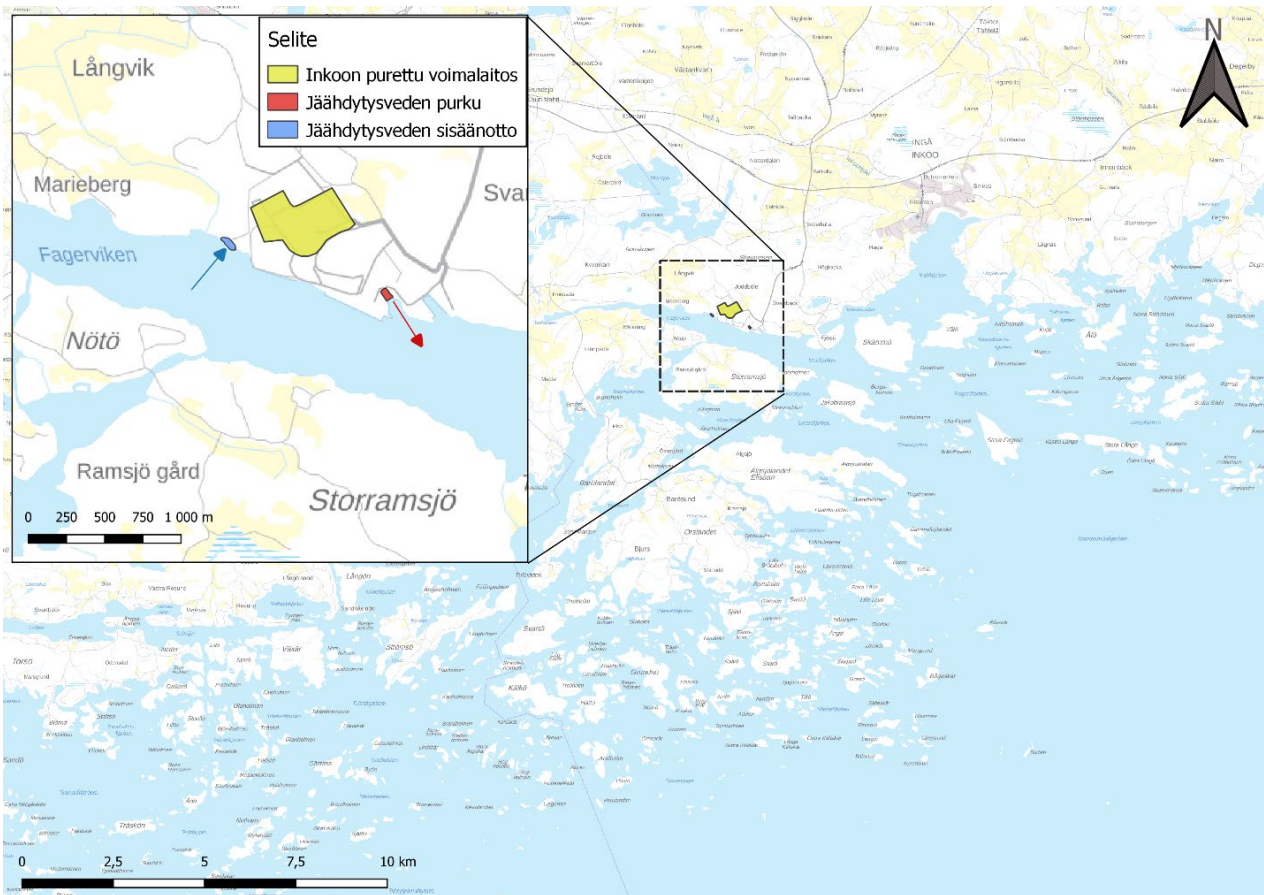
Vuosaaren voimalaitosten potentiaaliset vesistö- ja kalataloudelliset vaikutukset ja tarkkailuvelvoitteet kohdistuvat Vuosaaren itäpuoliselle merialueelle, ja ne koostuvat pääosin jäähdytysvesipäästöistä, jotka lämmittävät tai viilentävät vastaanottavan vesistön lämpötilaa. Vuosaaren lämpöpumpun käyttö vähentää mereen johtuvaa lämpökuormaa.

### 5.5 Inkoon purettu voimalaitos (Fortum Power and Heat Oy)

#### 5.5.1 Laitoskuvaus ja merivedenkäyttö

Inkoon lauhdevoimalaitos sijaitsi Inkoon kunnassa Joddbölessä. Inkoon voimalaitoksen neljä 250 MW:n kivihiilikattilayksikköä valmistuivat vuosien 1974–1978 välisenä aikana. Sähkötuotannon kokonaiskapasiteetti oli 1 000 MW. Toiminta-aikanaan Inkoon voimalaitos oli Pohjoismaiden suurin hiilivoimalaitos. Voimalaitoksessa tuotettiin yksinomaan sähköä. Viimeisimpinä vuosinaan 2000-luvulla Inkoon voimalaitos toimi pääosin vain varavoimalana kulutushuippujen tasaamiseen. Pääsääntöisesti voimalaitoksen vuosihuollot ajoittuivat keväälle ja/tai alkukesään.





Kuva 5-7. Inkoon purettu voimalaitoksen sijainti, jäähdytysveden otto- ja purkupaikat sekä lähimerialueet (Taustakartta: Maanmittauslaitoksen 1:40000 -aineistoa (07/2023). Lisenssi: <https://www.maanmittauslaitos.fi/avoindata> lisenssi cc40 (12.7.2023)).

Lopullisesti Inkoon voimalaitoksen toiminta ajettiin alas loppuvuodesta 2013, jonka jälkeen sitä pidettiin käyttöön otettavassa kunnossa vielä parin vuoden ajan. Toiminnan loppumisen jälkeen laitoksen purku-urakka kesti vuodesta 2017 vuoteen 2020 asti.

Voimalaitoksen jäähdytykseen käyttämä merivesi otettiin Fagerviken-nimisestä merenlahdesta (Kuva 5-7). Täydellä teholla toimiessaan voimalaitoksen jäähdytysvesivirtaama oli 30–32 m<sup>3</sup>/s. Merivesi käsiteltiin mekaanisesti ottoaukolla karkealla välillä, meriveden puhdistuslaitoksella hienovälillä sekä ketjukorisuodattimilla ennen lauhduttimiin pumppaamista. Jäähdytysvedet johdettiin mereen noin 150 metriä pitkän ja 50 metriä leveän kanaalin avulla kohti avomerta. Kanaalin pohja oli tasossa -1,5 metriä. Saman purkukanavan kautta johdettiin mereen myös jäte- ja hulevesiä.

Vuosina 2009–2013 voimalaitos käytti merivettä jäähdytyksiin keskimäärin 112,6 miljoonaa m<sup>3</sup>/a ja lämpökuormaa johdettiin mereen keskimäärin 2 660 TJ/a (0,74 TWh/a), vuosittaisen vaihtelun ollessa suurta. Ympäristöluvan mukaisesti otetun jäähdytysveden ja mereen johdettavan veden lämpötilaero vuorokausikeskiarvona ei saanut ylittää 12 °C.

### 5.5.2 Jäähdytysveden otto- ja purkuvesistö ja jäähdytysveden vaikutuksia

Fagerviken on kapea, noin kuusi kilometriä pitkä lahti, joka syvenee ilman kynnyksiä Norrfjärdenille ja edelleen Barösunds-fjärdenille ja läntiselle Suomenlahdelle.



Vesimuodostuman nimi on Inkoo Fagervik (2\_Ls\_004). Fagervikeniin laskee puroja, joita pitkin tulevan makean veden vaikutus näkyy ajoittain jopa Fagervikenin suulla asti. Fagerviken on suurilta osin varsin mereinen ja sen suolapitoisuus vastaa suunnilleen ulkopuolisen saaristoalueen suolapitoisuutta, ainoastaan lahden perukka on vähäsuolaisempi. Fagervikenin veden suolapitoisuus näkyy myös eliölajistossa: kasveissa ja pohjaeläimistöissä on runsaasti mereisiä lajeja. Veden sameudessa, ravinteiden määrässä ja klorofylli-a-pitoisuuksissa esiintyy sekä vuosittaista että vuodenaikaista vaihtelua. Vesistön yleiskuntoa kuvaava happitilanne on ollut vuosina 2009–2013 Fagervikenillä koko tarkkailualueella hyvä lukuun ottamatta vuoden 2011 loppukesää.

Inkoon voimalaitoksen viimeisinä varsinaisina toimintavuosina 2009–2013 voimalaitoksen käyttö oli vähäistä kapasiteettiin nähden, joten voimalaitoksen toiminta ei merkittävästi vaikuttanut meriveden lämpötilaan Fagervikenillä. Voimakkaimmin Fagervikenin alueen veden laatuun vaikuttavat läheisen saaristoalueen yleistila sekä veden liikkeet lahden ja saariston välillä. Vuosina 2009–2013 analysoitujen kokonaisravinne- ja klorofylli-a -pitoisuuksien perusteella Fagerviken luokiteltiin luokkaan lievästi rehevöitynyt ja vuonna 2013 Fagervikenin sisäsaariston ekologinen tila arvioitiin välttäväksi /Pellikka 2023/. Kolmannella vesienhoidon suunnittelukaudella Fagervikenin vesimuodostuman ekologinen tila on arvioitu välttäväksi ja kemiallinen tila hyvää huonomaksi.

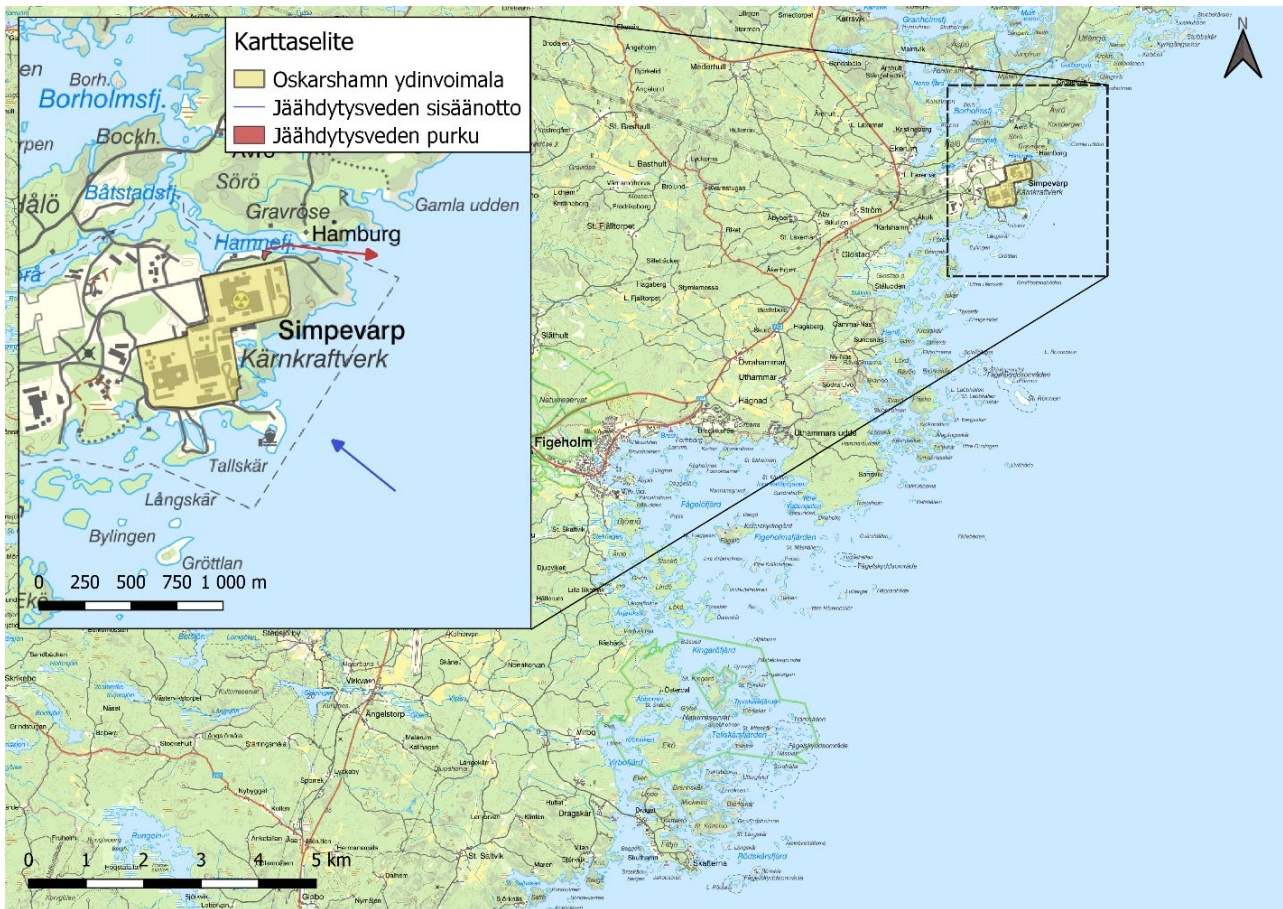
## 5.6 Oskarshamnin voimalaitos (Oskarshamns Kraftgrupp)

### 5.6.1 Laitokuvaus ja merivedenkäyttö

Oskarshamns Kraftgruppenin (OKG) ydinvoimalaitoksella on käytössä yksi maailman suurimmista kiehutusvesireaktoreista, Oskarshamn 3 (O3), jonka lämpöteho on 3 900 MW ja sähköteho 1 450 MW. Laitosyksikkö on otettu käyttöön 1985. Muut laitosyksiköt, jotka otettiin käyttöön 1972 (Oskarshamn 1) ja 1974 (Oskarshamn 2), poistettiin käytöstä vuosina 2017 ja 2015. Käytöstä poistetut laitosyksiköitä ei tarkastella tässä selvityksessä.

Laitosyksikön O3 vuosittainen käyttöaika on noin 8 000 tuntia. Vuosihuolto sijoittuu keväälle, yleensä noin huhti-toukokuulle.

Oskarshamnin voimalaitosalue sijaitsee Simpevarpin niemellä Oskarshamnin kunnassa Smålandissa, noin 25 kilometriä pohjoiseen Oskarshamnin keskustajamasta (Kuva 5-8). Laitosyksikkö O3 sijaitsee laitosalueen pohjoisosassa.



Kuva 5-8. Oskarshamnin voimalaitoksen sijainti, jäähdytysveden otto- ja purkupaikat sekä lähimerialueet (Taustakartta: Lantmäteriet 1:50000 -aineistoa (07/2023). Lisenssi: <https://www.lantmateriet.se/oppnadata> lisenssi cc0 (28.8.2023)).

Oskarshamn käyttää jäähdytysvetenä Itämerestä otettua merivettä. Jäähdytysveden otto sijaitsee Simpevarp-niemen kaakkoispuolella. Jäähdytysvesi otetaan syvänvedenottona 18 metrin syvyydestä noin 450 metrin etäisyydellä rantaviivasta (Kuva 5-8). Vaakasuo-  
ran veden virtauksen saavuttamiseksi ja virtausnopeuden pienentämiseksi sekä jään, raskaan öljyn, suurten kalamäärien ja kasvimateriaalin ongelmien poistamiseksi ottoaukko on varustettu katollisella betonista valmistetulla ottorakenteella.

Ottoaukolta jäähdytysvesi johdetaan 650 metriä pitkän kalliotunnelin läpi rannalla sijaitsevaan jäähdytysveden ottoaltaaseen, joka on pengerretty luonnonlahti. Ottoaltaan vieressä sijaitsee jäähdytysveden ottorakennus puhdistusjärjestelmineen (Kuva 5-9). Ottoaltaasta vesi kulkee ottorakennukseen öljypuomien läpi. Sisäänvirtausnopeus ottorakennukseen on noin 0,3 m/s. Ottorakennuksessa sijaitsevat hienovälpät (vapaaväli 15 mm) ja ketjukorisuodattimet (silmäkoko 2 mm).



Kuva 5-9. Oskarshamnin laitoksen O3 jäähdytysveden ottoallas ja ottorakennus /Dagens Nyheter 2019/.

Ottorakennuksesta vesi johdetaan tunnelia pitkin laitoksen merivesipumppaamolle. Käytön aikana kuusi merivesipumppua pumppaa jäähdytysvettä yhteensä noin 54 m<sup>3</sup>/s. Vuonna 2022 merivettä käytettiin maksimissaan 59,3 m<sup>3</sup>/s.

Jäähdytysvesi puretaan Simpevarpin niemen pohjoispuolella sijaitsevaa Hamnefjärdeniin (Kuva 5-8). Jäähdytysveden purkuaukon mitat ovat 8,0 x 5,9 m<sup>2</sup>. Virtausnopeus on noin 0,9 m/s laitoksen maksimiteholla.

## 5.6.2 Jäähdytysveden otto- ja purkuvesistö ja jäähdytysveden vaikutuksia

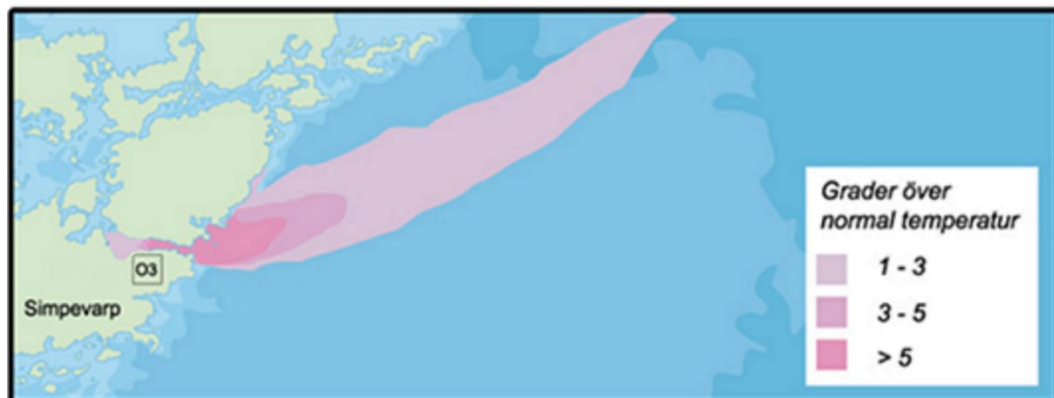
Aivan Simpevarpin niemen ulkopuolella aukeaa avoin meri. Voimalaitospaikan lounaispuolella on matala ja hyvin saaririkas saaristo. Koillisessa avoin rannikko muuttuu vähitellen Kråkelundin saaristoksi, jossa on suuri määrä saaria ja matalia osia, joita leikkaavat syvemmät salmet. Simpevarpia ympäröivän alueen merivirrat johtuvat pääasiassa tuulesta, mutta myös Ruotsin rannikon vedenkorkeuseroista, jotka johtuvat pääasiassa Itämeren alueen ilmanpaine-eroista. Rannikon suuntaiset virtaukset ovat yleisiä, mutta tilanteita, joissa virtaukset kulkevat rannikolta ulospäin tai rannikkoa kohti esiintyy myös.

Oskarshamnin voimalaitoksen jäähdytysveden otto- ja purkuvesistö kuuluvat vesimuodostumaan Simpevarpsområdet (ID:t WA58194721, SE572500-164500), jonka ekologinen tila on luokiteltu tyydyttävään tilaan. Koko vesimuodostumassa (laajuus 84 km<sup>2</sup>) kokonaisfosforipitoisuus on ollut kesällä vuosina 2013–2018 keskimäärin noin 20 µg/l ja kokonaistyyppi noin 294 µg/l /VISS 2023/. Fosforipitoisuuden ja suomalaisen rehevyysluokituksen perusteella vesimuodostumassa vesi on keskivirteistä ja tyypipitoisuuden perusteella vähänravinteista. Vesialueella meriveden suolapitoisuus on pintakerroksessa tyypillisesti noin 6,5–7 promillea ja pohjasuolaisuus alle 8 promillea (ks. Kuva 4-1).



Oskarshamnin voimalaitoksen jäähdytysvesi puretaan Hamnefjärdeniin, jonka mereen yhdistää kapea salmi, Hamnehålet. Virtausnopeus on kapeassa salmessa paikallisesti voimakas puretun jäähdytysveden takia. Veden virtausnopeus pienenee nopeasti, kun virtaus laskee 800 metrin jälkeen Itämereen.

Oskarshamnin normaaleissa käyttöolosuhteissa jäähdytysvesi lämpenee laitoksella noin 10 °C. Simpevarpin ulkopuolella lämpimämpi vesi leviää kuin pilvi Hamnefjärdenin ulostuloaukolta Itämerelle, mitä on havainnollistettu kuvassa 5-10. Vesialue, jolla lämpötila on yli viisi celsiusastetta korkeampi, on yleensä alle 1 km<sup>2</sup> kokoinen. Normaaleissa sääolosuhteissa, vesialueen, jossa lämpötila on asteen tai enemmän korkeampi, laajuus on 3–6 km<sup>2</sup>.



Kuva 5-10. Oskarshamnin laitossyklikön O3 vesistöön puretun jäähdytysveden vaikutus ympäröivän merialueen lämpötiloihin (celsiusasteina yli normaalilämpötilan) (Kuva: Oskarshamns Kraftgrupp AB).

## 5.7 Forsmarkin voimalaitos (Forsmarks Kraftgrupp AB)

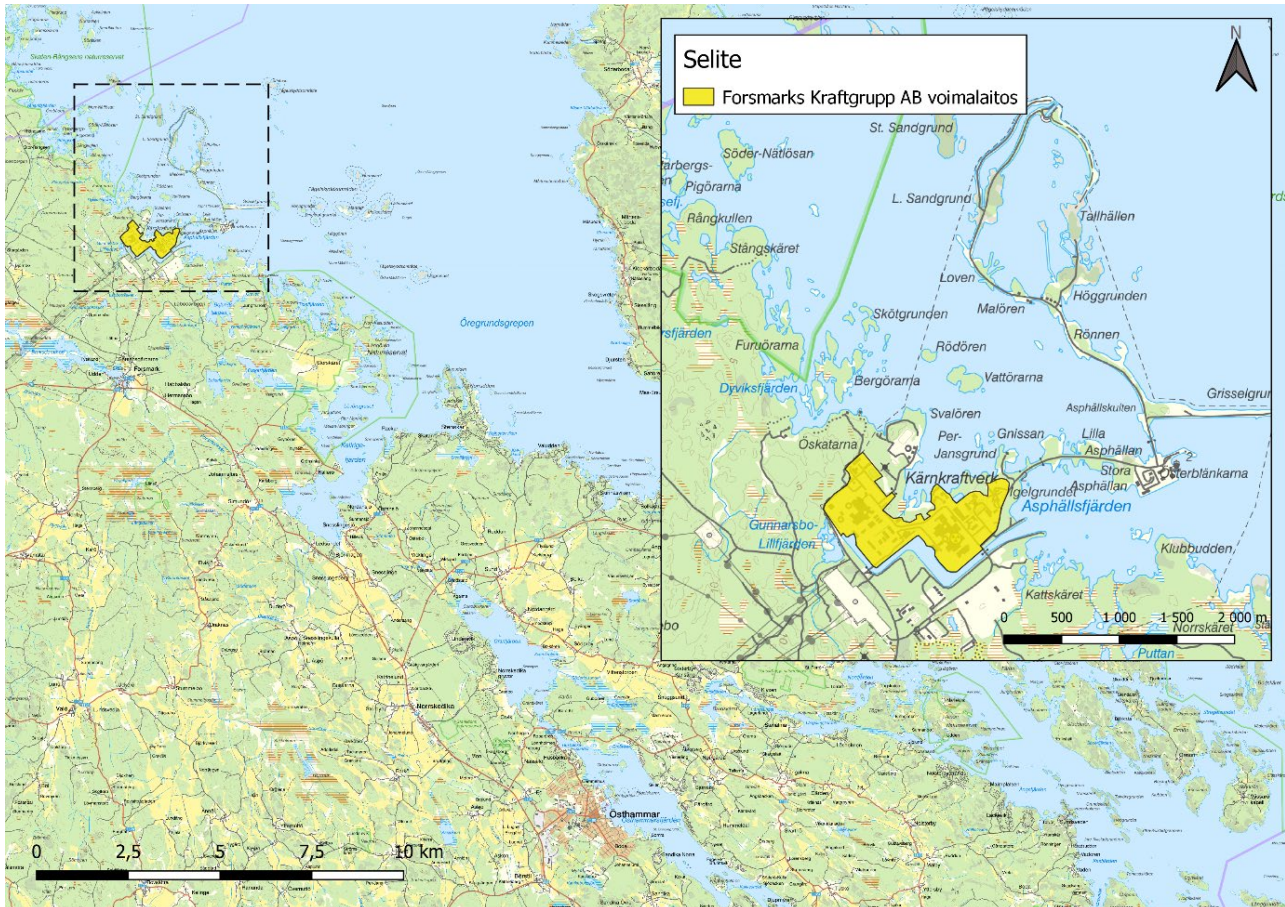
### 5.7.1 Laitoskuvaus ja merivedenkäyttö

Uplantin (*Ruot.* Uppland) rannikon koillisosassa sijaitseva Forsmarks Kraftgrupp AB:n (FKA) Forsmarkin ydinvoimalaitos on Ruotsin suurin sähköntuottaja. Forsmarkin ydinvoimalaitoksella on kolme kiehuvesireaktorilla varustettua laitossyklikkää, joista ensimmäinen otettiin käyttöön vuonna 1980 (F1) ja seuraavat vuosina 1981 (F2) ja 1985 (F3). Laitossykliköiden sähkötehot ovat 1 014 MW (F1), 1 121 MW (F2) ja 1 172 MW (F3). Vuosittainen käyttöaste on korkea. Vuonna 2022 voimalaitossykliköt olivat käytössä yli 90 prosenttia vuoden tunneista. Vuosihuolto ajoittuu myöhäisestä keväästä alkusyksyyn.

Forsmarkin ydinvoimalaitoksen kolmen laitossyklikön toiminta täydellä teholla vaatii vettä hieman yli 150 m<sup>3</sup>/s lauhduttimien jäähdyttämiseen. Voimalaitoksen maksimijäähdytysveden tarve on 157,5 m<sup>3</sup>/s. Merivesipumppaamoiden maksimisuunnittelukapasiteetti on 200 m<sup>3</sup>/s.

Jäähdytysvesi otetaan voimalaitoksen kaakkoispuolella sijaitsevasta merenlahdesta, Asphällsfjärdenistä (Kuva 5-11). Jäähdytysvesi johdetaan voimalaitossykliköille Asphällsfjärdenistä yhteistä jäähdytysvesikanavaa pitkin. Jäähdytysvesikanavan suuaukko on 180 metriä leveä. Syvyys suuaukolla on noin 10 metriä. Suuaukolta

jäähdytysvesikanava kapenee suppilomaisesti 500 metrin matkalla kapeammaksi ja syvemmäksi. Tätä seuraa noin 400 metriä pitkä, 57 metriä leveä ja 10 metriä syvä kanava, joka johtaa leveämpään laitossykiköiden F1 ja F2 jäähdytysveden ottoaltaaseen. Ottoallas, jonka pituus on 530 metriä ja leveys 110–130 metriä, on suunniteltu hidastamaan jäähdytysveden virtausnopeutta ja ylläpitämään suotuisa virtaus laitossykiköiden F1 ja F2 yhteiseen jäähdytysveden ottorakennukseen. Laitossykiköiden F1 ja F2 jäähdytysveden ottoaltaan jälkeen jäähdytysvesikanava jatkuu noin 700 metriä laitossykikön F3 jäähdytysveden ottorakennukseen.



Kuva 5-11. Forsmarkin voimalaitoksen sijainti. Jäähdytysvesien purkuun hyödynnettävä Biotest-allas sijoittuu laitosalueen pohjoispuolelle (Taustakartta: Lantmäteriet 1:50000 -aineistoa (07/2023). Lisenssi: <https://www.lantmateriet.se/oppnadata> lisenssi cc0 (28.7.2023)).

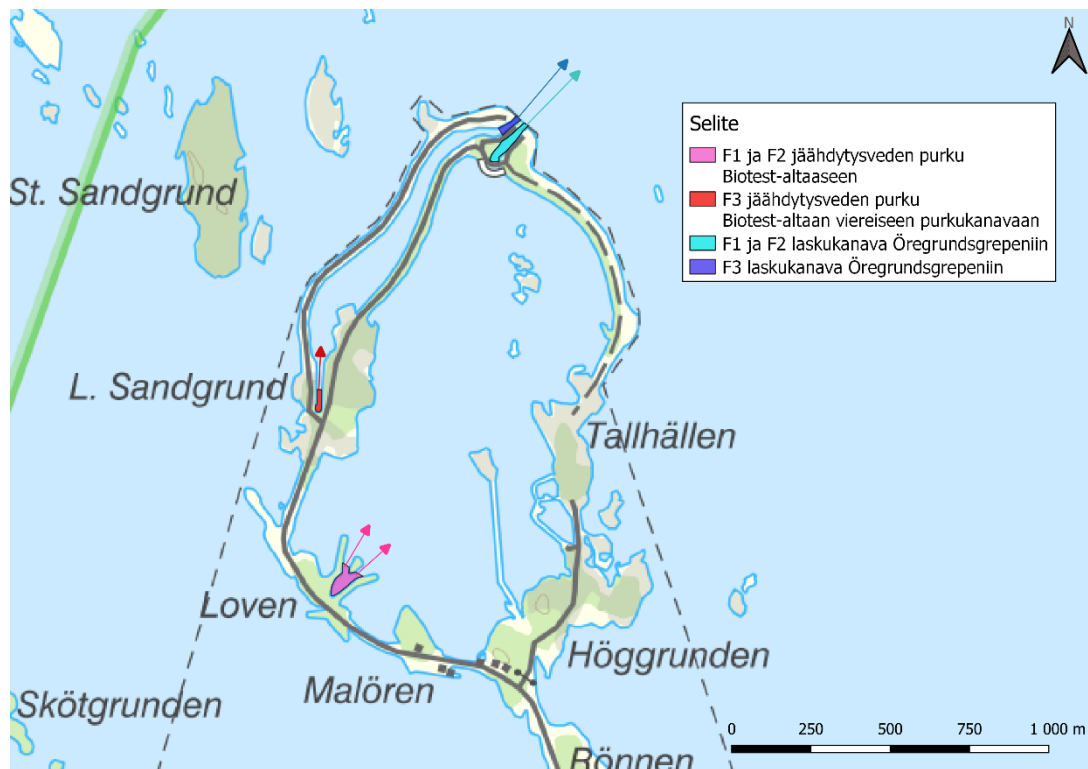
Laitossykiköiden F1 ja F2 yhteisestä jäähdytysveden ottorakennuksesta lähtee seitsemän erillistä betonikanavaa, jotka johtavat maan alla noin 130–190 metriä laitossykiköiden merivesipumppaamoille (kaksi pumppaamo per laitossykikö) ja merivesipumpuille. Jäähdytysveden ottorakennuksessa on 40 mm karkea välppä, jonka jälkeen sijaitsevat erilliset liikkuvat ketjukorisuodattimet (silmäkoko 2,5 mm) jokaiselle yksittäiselle sisäänottoaukolle. Suurin vaadittu jäähdytysveden virtaus laitossykiköille F1 ja F2 on 108,5 m<sup>3</sup>/s.

Laitossykikön F3 jäähdytysveden ottorakennuksesta lähtee kuusi erillistä betonikanavaa, jotka johtavat maan alla noin 180 metriä laitossykikön merivesipumppaamolle ja



merivesipumpuille. Jäähdytysveden ottorakennuksessa on 40 mm karkea välppä, jonka jälkeen sijaitsevat erilliset liikkuvat ketjukorisuodattimet (silmäkoko 2,5 mm) jokaiselle yksittäiselle sisäänottoaukolle. Suurin vaadittu jäähdytysveden virtaus laitosyksikölle F3 on 49 m<sup>3</sup>/s.

Voimalaitokseen otettu jäähdytysvesi lämpenee noin 10–11 °C ennen purkua kalliotunneleita pitkin vesialueille. Laitosyksikön F1 ja F2 jäähdytysvedet puretaan Biotest-altaaseen (Biotestsjön) ja laitosyksikön F3 jäähdytysvesi Biotest-altaan viereiseen jäähdytysveden purkukanavaan (Kuva 5-12). Biotest-altaasta ja viereisestä purkukanavasta jäähdytysvesi johdetaan purkuaukkojen kautta mereen Öregrundsgrepenille. Etäisyys voimalaitokselta jäähdytysveden purkupaikkaan merelle on noin kolme kilometriä.



Kuva 5-12. Forsmarkin voimalaitoksen jäähdytysvesien purkupisteet. Yksiköiden F1 ja F2 purku sijaitsee Biotest-altaan eteläosassa, yksikön F3 purkukanavassa altaan länsiosassa ja purku Öregrundsgrepeniin altaan pohjoisosassa. (Taustakartha: Lantmateriet 1:50000 -aineistoa (07/2023)). Lisenssi: <https://www.lantmateriet.se/oppnadata> lisenssi cc0 (28.7.2023).

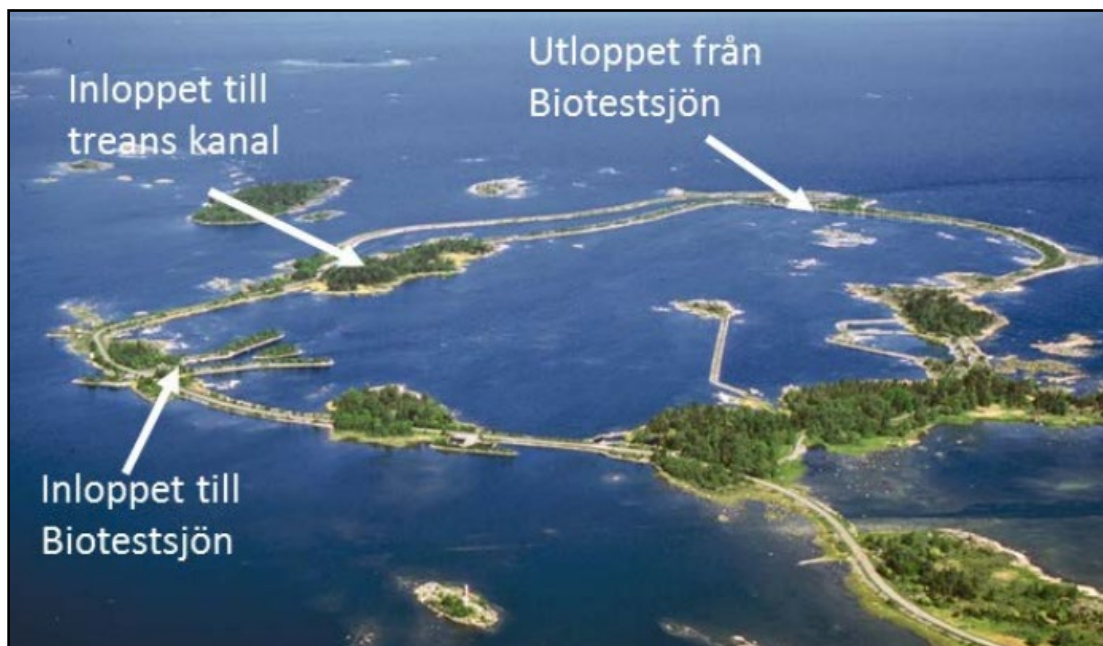
## 5.7.2 Jäähdytysveden otto- ja purkuvesistö ja jäähdytysveden vaikutuksia

Asphällsfjärden, josta jäähdytysvesi otetaan voimalaitokselle, on osa suurempaa vesialuetta Öregrundsgrepeniä. Öregrundsgrepen on sisäsaaristotyyppinen vesialue, joka sijoittuu mantereeseen ja Gräsö-nimisen saaren väliselle alueelle ja jonka pituus on noin 10 kilometriä ja pohjoispuolella aukeaa avomeri. Jäähdytysveden ottopaikan läheisyydessä syvyys vaihtelee välillä 2–10 metriä ja kasvaa 10–15 metriin siirryttäessä muutama kilometri ulommas ottopaikalta (Kuva 5-11). Otettavan jäähdytysveden lämpötila

vaihtelee yleensä välillä 0–23 °C riippuen vuodenajasta. Talvella Asphällsfjärden on tavallisesti jäästä vapaa. Meriveden suolaisuus alueella on tavallisesti noin 5 promillea ja ravinteiden pitoisuuden ovat keskimäärin 13,6 µg/l fosforia ja 287,6 µg/l kokonaisytyppiä.

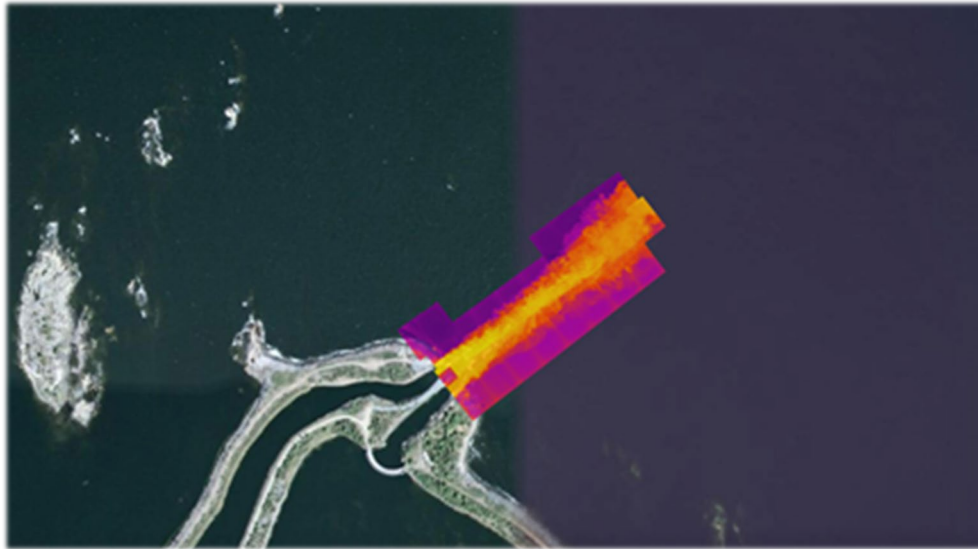
Forsmarkin voimalaitoksen jäähdytysveden otto- ja purkuvesistö kuuluvat vesimuodostumaan Öregrundsgrepen (ID:t WA20826862, SE603000-181500), jonka ekologinen tila on luokiteltu tyydyttävään tilaan.

Biotest-allas, jonka kautta laitosyksiköiden F1 ja F2 lämmennyt jäähdytysvesi puretaan Öregrundsgrepenille, on noin 90 hehtaarin kokoinen pengerreretty alue (tekojärvi) (Kuva 5-13). Biotest-altaan veden lämpötila on normaalin toiminnan ja tuotannon aikana 7–9 °C korkeampi kuin ympäröivän meren lämpötila. Altaan keskisyvyys on noin 2–2,5 metriä ja sen pinta on noin 0,5 metriä korkeammalla kuin ympäröivän meren pinta. Altaan veden vaihtuminen kestää arviolta noin 4,5–5,5 tuntia tulo- ja poistovesien välillä. Laitosyksikön F3 jäähdytysvesi puretaan Biotest-altaan luoteispuolella olevaan noin 900 metrin pituiseen avoimeen jäähdytysveden purkukanavaan, josta se puretaan edelleen Öregrundsgrepenille (Kuva 5-13).



Kuva 5-13. Sisäätulo Biotest-altaaseen (inloppet till Biotestsjön), sisäätulo purkukanavaan (inloppet till treans kanal) sekä purkaukko merialueelle (utloppet från Biotestsjön) (Kuva: Forsmarks Kraftgrupp AB).

Öregrundsgrepenille johdettu lämmennyt jäähdytysvesi leviää laajemmalle alueelle merelle. Jäähdytysveden lämmittävä vaikutus ulottuu noin 400 metrin päähän purkuaukosta, mutta alueen laajuus riippuu suuresti veden virtauksista ja tuulesta. Leviämistä on havainnollistettu kuvassa 5-14. Lämmin jäähdytysvesikerros kulkeutuu purkupisteen neljän metrin syvyydestä noin kymmenen metrin syvyyteen 100 metrin matkalla.



*Kuva 5-14. Jäähdytysveden kulkeutuminen Biotest-altaan pohjoisosan purkuaukoista. Kuvan keskellä alue, joka kuvattu dronen lämpökameralla noin 300 metriä purkuaukosta ulospäin (Kuva: Forsmarks Kraftgrupp AB 2021-03-03).*

## 6 KOKEMUKSIA JA LAJIHAVAINTOJA

### 6.1 Loviisan voimalaitos (Fortum Power and Heat Oy)

Fouling-lajeista aiheutuva merivesijärjestelmien likaantuminen vaikuttaa Loviisan voimalaitoksen hyötysuhteeseen heikentävästi. Merkittävimmät fouling-lajit Loviisan voimalaitoksella ovat kaikki vieraslajeja ja haittaa aiheuttaa erityisesti valesinisimpukka. Vieraslajien torjuntaan on jouduttu panostamaan jo pitkään.

#### 6.1.1 Vieraslajien seuranta ja havainnot

##### Tarkkailuhistoria

Loviisan voimalaitoksen lähimerialuetta on tutkittu jo ennen voimalaitoksen käyttöönottoa ja tämän lisäksi valvottu käyttöönoton jälkeen säännöllisellä tarkkailulla yli 40 vuoden ajan, joten käytettävissä on pitkä aikasarja muun muassa pohjaeläinten esiintymisestä ja vieraslajien ilmaantumisesta alueelle. Ensisijaisesti vieraslajihavainnot liittyvät jäähdytys- ja jätevesien vaikutusten tarkkailuun.

Loviisan voimalaitoksen fouling-selvitysten alkupisteeksi voidaan tunnistaa uuteen tulokaslajiin liittyvät simpukkahavainnot ensin vuonna 2003 Hästholmsfjärdenin merialueella ja vuonna 2004 useissa paikoissa voimalaitoksella sekä kesällä että etenkin vuosihuollon aikana. Vuonna 2003 uskottiin vaeltajasimpukan levinneen alueelle, mutta 2004 otettujen näytteiden tarkastelussa päädyttiin lajintunnistuksessa valesinisimpukkaan (tuon ajan raporteissa käytettiin nimeä valekirjosimpukka). Simpukkaongelmaa käsittelemään muodostui Loviisan voimalaitokselle syksyllä 2004 työryhmä, jonka johdolla vuosina 2004–2006 selvitettiin, mitä fouling-lajeja voimalaitoksen järjestelmistä löytyy, kartoitettiin fouling-eliöstön esiintymistä sekä selvittiin simpukan toukkien määrää ja fouling-eliöstön kiinnittymisen ajankohtaa. Työ johti myöhemmin vuonna 2007 erillisten valesinisimpukakartoitusten aloittamiseen.

Loviisan voimalaitoksella ei ole seurattu pitkäjänteisesti järjestelmissä esiintyvien simpukoiden ja muiden fouling-eliöstön määrän kehittymistä. Jälkikäteen arvioituna edes tänä päivänä ei ole itsestään selvää, kuinka voimalaitoksen sisäinen seuranta olisi kannattanut toteuttaa ja olisiko tarkasta seurannasta ollut konkreettista hyötyä, sillä fouling-ongelmat on saatu pidettyä kurissa.

##### Voimalaitoksen lähimerialueella ja voimalaitoksella havaitut vieraslajit

Loviisan voimalaitoksen lähimerialueen tarkkailussa havaitut vieraslajit on esitetty Taulukossa 6-1. Voimalaitoksella havaitut vieraslajit on korostettu taulukossa 6-1 harmaalla pohjalla.

Loviisan voimalaitoksella eniten haittaa aiheuttavat vieraslajit ovat luontaisesti koville pohjille kiinnittyviä. Tämä ominaisuus mahdollistaa niiden kiinnittymisen ja menestymisen myös voimalaitoksen järjestelmien ja rakenteiden kovilla pinnoilla.

Taulukko 6-1. Loviisan edustan yhteistarkkailun pohjaeläintutkimuksissa tavatut vieraslajit erilaisilla pohjilla. Voimalaitoksella havaitut vieraslajit esitetty harmaalla pohjalla.

Vieraslaji	Tieteellinen nimi	Pehmeät pohjat	Ranta-vyöhyke	Kova pohja	1. havaintoa-jankohta
Liejuputkimato	<i>Marenzelleria</i>	x			1990-luku
Pikkuliejumato	<i>Boccardiella ligerica</i>		x		2020
Kirjoviuhkamato	<i>Laonome xeprovala</i>	x	x		2020
Kaspianpolyyyppi	<i>Cordylophora caspia</i>			x	Ei tiedossa
Vaeltajakotilo	<i>Potamopyrgus antipodarum</i>	x	x		Ei tiedossa
Kuultokierteihiskotilo	<i>Murchisonella</i>		x		2017
Valesinisimpukka	<i>Mytilopsis leucophaeta</i>		x	x	2003
Rangiasimpukka (kiilasimpukka)	<i>Rangia cuneata</i>	x			2022
Merirokko	<i>Amphibalanus improvisus</i>		x	x	Ei tiedossa
Kaspianmassiainen	<i>Hemimysis anomala</i>		x		1990-luku
Tiikerikatka	<i>Gammarus tigrinus</i>		x		2000-luku
Sirokatkarapu	<i>Paleomon elegans</i>		x		2000-luku

### Valesinisimpukkakartoitusten tulokset

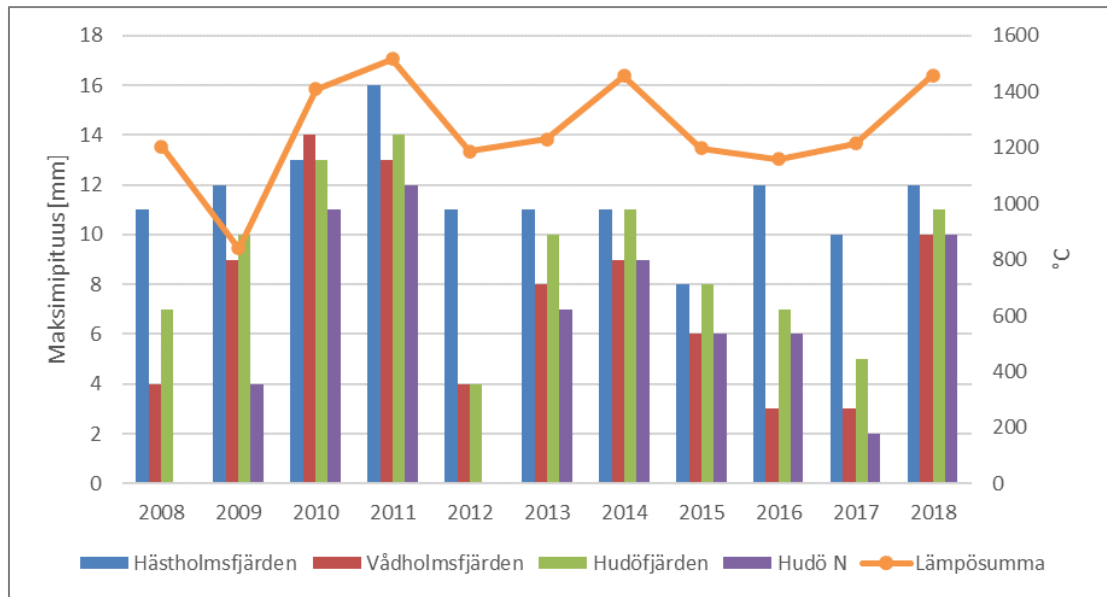
Vuonna 2007 aloitettiin Loviisan voimalaitoksen lähimerialueilla valesinisimpukan järjestelmällinen seuranta, joka jatkui samankaltaisena vuoteen 2018 saakka. Tämän jälkeen seuranta toteutettiin myös vuonna 2020. Seurannassa on arvioitu simpukoiden määrää (leviämistä ja kannanmuutoksia) kolmella arviointilinjalla eri syvyyksissä luonnonpohjilla sekä tutkimalla simpukoiden leviämistä ja kiinnittymistä keinotekoisien kiinnittymisalustojen avulla.

Sukelluksia arviointilinjoilla on yleensä tehty lokakuun aikana. Eri paikkoihin metrin syvyydelle sijoitetut kiinnittymisalustat on tavallisesti laskettu mereen kesäkuun puolivälissä ja nostettu lokakuun aikana. Tuloksia on saatu simpukoiden pohjan peittävydestä, yksilötiheyksistä, kokojakaumasta ja levinneisyydestä. Tämän lisäksi seurannasta on saatu yleiskuva säätilan ja ympäristöolosuhteiden vaihtelun vaikutuksesta valesinisimpukoiden runsauteen ja selviytymiseen.

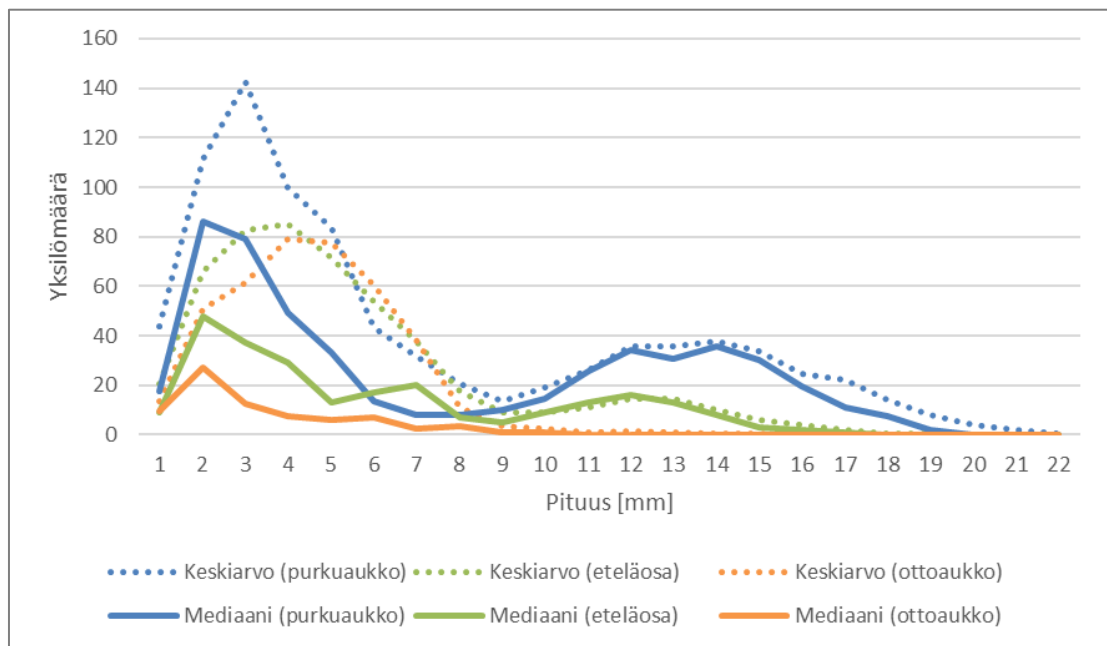
Vuosittaiset tulokset valesinisimpukoiden määrästä ja pituuskasvusta ovat olleet vaihtelevia ja vuosittainen vaihtelu näkyy parhaiten jäähdytysveden vaikutusalueen ulkopuolella. Valesinisimpukat kasvavat Loviisan voimalaitoksen lähimerialueella ensimmäisen kesän aikana yleensä 1–16 millimetrin pituisiksi kiinnittymisajankohdasta riippuen. Seurannan perusteella monivuotiset valesinisimpukat ovat olleet enimmillään 27 millimetrin pituisia.

Kuvassa 6-1 on esitetty valesinisimpukoiden maksimipituus voimalaitoksen lähimerialueella sijainneilla kiinnittymisalustoilla sekä lämpösomma laskettuna alustan ripustusajalta. Tässä lämpösommaan on summattu vuorokauden keskilämpötilojen viiden asteen ylittävät osat kiinnittymisalustan ripustusajalta. Lämpösomman noustessa simpukoiden maksimipituus kasvaa ja samalla maksimipituuden hajonta eri pisteiden välillä pienenee.





Kuva 6-1. Kiinnittymisalustoille vuosina 2008–2018 asettuneiden simpukoiden maksimipituudet ja meriveden lämpösumma alustan ripustusajalta.

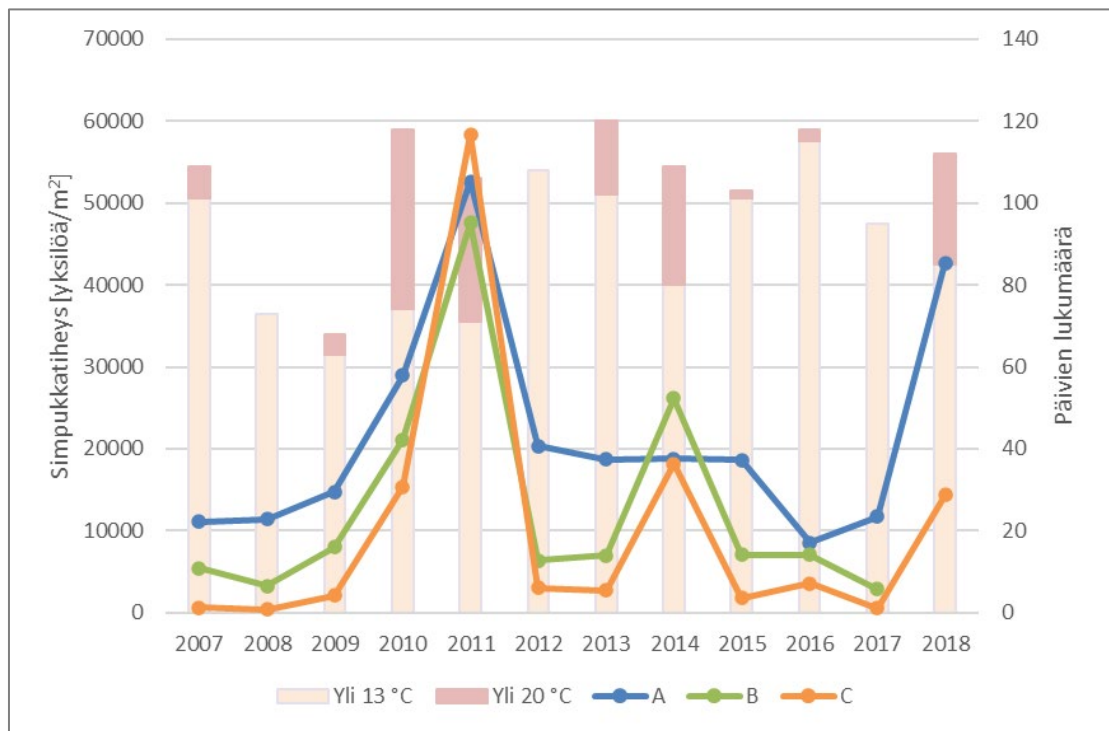


Kuva 6-2. Simpukoiden kokojakauman keskiarvo ja mediaani arviointilinjan suurimman tiheyden syvyydeltä seurantavuosien 2007–2018 ajalta.

Kuvassa 6-2 on esitetty valesinisimpukoiden kokojakauman keskiarvot ja mediaanit kolmella eri arviointilinjalla. Arviointilinjat ovat sijainneet purkuaukolla (Hästholmsfjärden), ottoaukolla (Hudöfjärden) ja Hästholmsfjärdenin eteläosassa. Populaationäyte kokojakauman määrittämiseksi on otettu arviointilinjalta suurimman tiheyden syvyydeltä. Kuvasta havaitaan, että yksilömäärien keskiarvon ja mediaanin arvojen hajonta on suurta kokojakauman ensimmäisen huipun kohdalla. Keskiarvo on huomattavasti mediaania suurempi, sillä sitä kohottavat voimakkaasti vuodet, jolloin

simpukoiden määrä on ollut poikkeuksellisen korkea. Kokojakauman keskiarvon ensimmäinen huippu on 3-4 millimetrin pituisissa yksilöissä, kun mediaanin ensimmäinen huippu on 2 millimetrin pituisten yksilöiden kohdalla. Monivuotisten simpukoiden määrien keskiarvojen ja mediaanien välillä ei ole ollut yhtä selkeää eroa kuin ensimmäisen vuoden huipun kohdalla. Talven olosuhteet hillitsevät monivuotisten simpukoiden määrää ja tasaavat mediaanin ja keskiarvon eroa.

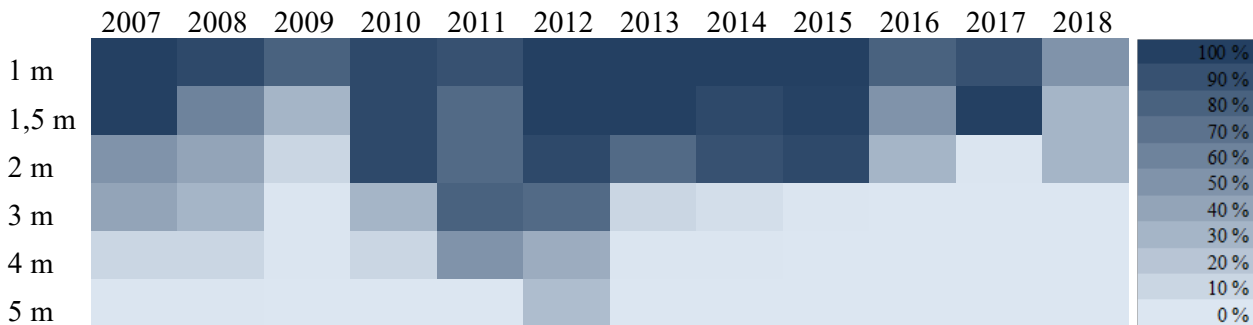
Kuvassa 6-3 on valesinisimpukoiden tiheys arviointilinjalla suurimman tiheyden syvyydeltä. Simpukkatihedden lisäksi kuvassa on esitetty päivien lukumäärät, jolloin merialueen lämpötila on ollut yli 13 °C ja 20 °C. Yli 13 °C -lukemat on otettu vertailuun mukaan, koska valesinisimpukan lisääntyminen alkaa kyseisessä lämpötilassa ja yli 20 °C lukemat on otettu kuvaamaan lämmintä kesää. Kuvasta huomataan, että vuonna 2011 simpukkatiheys oli erityisen suuri, mikä todennäköisesti johtuu kahdesta peräkkäisestä simpukoille suotuisasta kesästä.



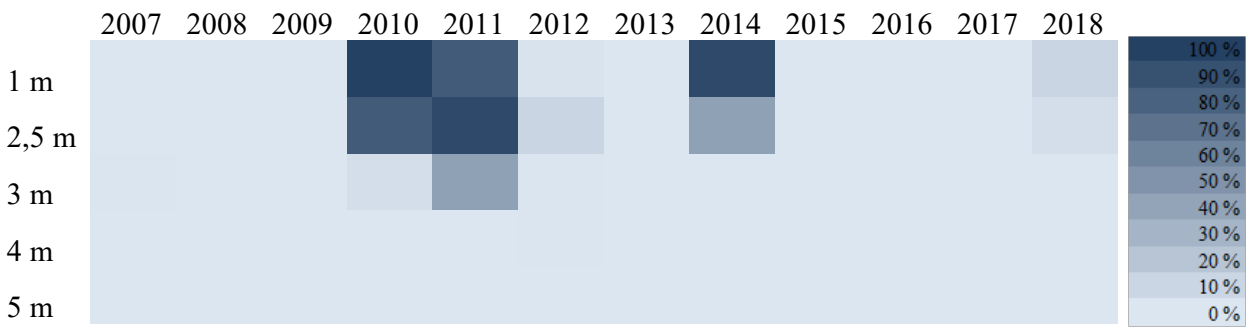
Kuva 6-3. Simpukoiden suurimmat tiheydet Hästholmsfjärdenin purkuaukolla (A), Hästholmsfjärdenin eteläosassa (B) ja Hudöfjärdenin ottoaukolla (C) sekä lämpötilojen 13 °C ja 20 °C ylitykset.

Kuvat 6-4 ja 6-5 esittävät arviointilinjoilla havaittua simpukoiden pohjan peittävyttä eri syvyyksillä purkuaukolla ja ottoaukolla. Hästholmsfjärdenillä jäähdytysveden purkuaukon läheisyydessä simpukoiden pohjan peittävyys pinnan lähetyvillä on tarkkailuvuosien aikana pysynyt suurena, vaihdellen yleensä 80 ja 100 prosentin välillä. Jäähdytysveden lämpö ja runsas virtaus luovat purkuaukolle suotuisat elinolosuhteet simpukoille. Jäähdytysveden vaikutuksesta purkuaukon lähistölle ei muodostu jääpeitettä ja lämpötila pysyy talvella simpukoiden selviytymisen kannalta tarpeeksi korkealla. Hudöfjärdenillä ottoaukon edustalla simpukoiden pohjan peittävyys on ollut yleensä 0

ja 10 prosentin välillä, mutta joukossa on myös muutama selkeästi poikkeava vuosi. Jäähdytysveden lämmittävä vaikutus ei ylety voimakkaana ottoaukolle, joten ympäristön sääolosuhteiden vaikutus on korostunut.



Kuva 6-4. Simpukoiden pohjan peittävyys eri syvyyksillä arviointilinjalla Hästholmsfjärdenin purkuaukon edustalla vuosina 2007–2018.



Kuva 6-5. Simpukoiden pohjan peittävyys eri syvyyksillä arviointilinjalla Hudöfjärdenin ottoaukon edustalla vuosina 2007–2018.

Selvitysten perusteella voidaan arvioida, että jäähdytysveden lämpö ja runsas virtaus luovat simpukoille suotuisat elinolosuhteet, minkä seurauksena purkuaukolle on muodostunut monivuotinen simpukkapopulaatio. Myös Hästholmsfjärdenin eteläosan salmen simpukkapopulaatio on monivuotinen, mutta sen yksilöt eivät kasva yhtä suuriksi kuin purkuaukolla ja yksilötiheys jää pienemmäksi. Hudöfjärdenin ottoaukolla on havaittu useimmiten vain saman vuotisia yksilöitä, mutta vuonna 2012 siellä havaittiin myös muutamia monivuotisia yksilöitä. Simpukantoukkien leviäminen ja asettuminen kauemmas Loviisan voimalaitokselta on ollut yhteydessä simpukoiden runsauden vaihteluihin voimalaitoksen lähialueella. Samana vuonna simpukoiden esiintyminen on yleensä ollut runsasta sekä arviointilinjoilla että kiinnittymisalustoilla. Kokojakauma on ollut yhtäläinen molempien seurantamuotojen välillä.

Selvitysten perusteella voidaan arvioida, että ensisijaisesti valesinisimpukoiden määrään vaikuttaa lämpötila. Lämpiminä kesinä valesinisimpukoiden määrät ovat olleet suuremmat ja viileinä kesinä selvästi alhaisemmat. Ajoittain lämpiminä kesinä simpukoita on esiintynyt ottopuolella purkupuolta enemmän tai määrät ovat olleet samaa suuruusluokkaa. Tämä voi mahdollisesti olla seurausta simpukoiden kuolemista purkuaukolla meriveden lämpötilan noustessa simpukoiden kannalta liian korkeaksi.

## 6.1.2 Vieraslajien aiheuttamat haitat ja torjuntakeinot

Loviisan voimalaitoksella merkittävin haittaa aiheuttava vieraslaji on valesinisimpukka, jonka aiheuttamat fouling-ongelmat kärjistyivät vuonna 2004. Merkittävin fouling-laji ei ole tämän jälkeen vaihtunut. Seuraavaksi merkittävimmät fouling-eliöt Loviisan voimalaitoksella lienevät kaspianpolyyyppi ja merirokko, mutta niiden todellisesta merkityksestä verrattuna valesinisimpukkaan on tällä hetkellä vaikea sanoa mitään varmaa. Rangiasta (kiilasimpukasta) on tehty ensimmäiset havainnot Loviisan voimalaitoksen järjestelmissä vuonna 2022, mutta varsinaista haittaa ne eivät ole vielä aiheuttaneet.

Loviisan voimalaitoksella fouling-lajit aiheuttavat lievää tuotannollista haittaa heikentämällä hyötysuhdetta ja lisäämällä puhdistustarvetta, mutta niillä ei ole ollut merkitystä Loviisan voimalaitoksen turvallisuuden kannalta.

Loviisan voimalaitoksella ei ole tehty mittavia järjestelmä- tai materiaalimuutoksia fouling-eliöstöstä johtuen, vaikka erilaisia materiaaleja ja torjuntakeinoja, kemialliset torjuntakeinot mukaan luettuna, onkin selvitetty. Ensisijaiseksi torjuntakeinoksi on valittu mekaaninen poistaminen ja kemikaalien käyttö on pyritty minimoimaan. Pieniä järjestelmämuutoksia on tehty ennakoivien toimenpiteiden, esimerkiksi makealla vedellä tehtävien huuhtelujen mahdollistamiseksi heti vuosihuollon alkaessa.

Loviisan voimalaitoksen vuosihuolto alkaa yleensä elokuussa ja jatkuu syys-lokuu-kuulle. Vuosihuollon ajoitus saattaa sopia varsin hyvin fouling-eliöstön aiheuttamien tuotannollisten haittojen minimointiin, sillä vuosihuollon päättyessä fouling-eliöstön lisääntymishuippu on jo ohitettu ja järjestelmät pysyvät varsin puhtaina seuraavaan kasaan saakka. Loviisan voimalaitoksen merivesijärjestelmien kasvuston määrää seurataan säännöllisesti määräaikaistarkastusten yhteydessä, ja liian suureksi paisuneita kasvustoja poistetaan muun muassa vuosihuollon aikana. Lauhduttimien ja merivesijärjestelmien huuhteluja makealla vedellä tehdään heti alasajossa järjestelmien pysäytysten yhteydessä. Huuhteluilla pyritään estämään kasvuston kiinnittyminen. Kemiallisia pesuja tehdään merivesijärjestelmissä lämmönvaihtimille tarvittaessa, likaantumisesta riippuen. Lisäksi fouling-ongelman torjumiseen lauhduttimissa voidaan käyttää käytön aikana pesupalloja, joiden käyttö perustuu paine-erojen seurantaan. Mikäli paine-ero kasvaa liian suureksi, joudutaan lämmönvaihtimet puhdistamaan.

Fouling-lajien aiheuttamat haitat on Loviisan voimalaitoksella saatu pidettyä kurissa niin hyvin, että tällä hetkellä ei nähdä erityistä tarvetta järjestelmä- tai torjuntamenetelmien muutoksille. Uusien potentiaalisesti haitallisten vieraslajien tunnistaminen ja seuranta nähdään tärkeäksi voimalaitoksen käytettävyyden ja turvallisuuden kannalta, vaikka mahdollisuudet ennakoiviin toimenpiteisiin ovatkin varsin rajalliset.

Kuvissa 6-6 – 6-8 on esitetty esimerkkejä merivesijärjestelmän putkista, joista on löydetty merirokkoa ja simpukoita. Kuvassa 6-6 putken pinnassa on valkoisia kraatterin muotoisia kuoria (merirokkoa), jotka kiinnittyvät tiukasti putken seinämään (putken halkaisija 500 mm). Kuvassa 6-7 simpukoita, mahdollisesti rangiasimpukkaa, on kerääntynyt putken pohjalle (putken halkaisija 400 mm). Kuvassa 6-7 esitetystä putkesta vesi ei virtaa jatkuvasti ja pohjalla on seisovaa vettä, joten simpukoiden on ollut mahdollista kasvaa rauhassa putken sisällä. Kuvien 6-6 ja 6-7 putkien materiaali on terästä, jossa on epoksijauhemaalattu pinta.





*Kuva 6-6. Merirokkoa Loviisan voimalaitoksen merivesijärjestelmän putkessa.*



*Kuva 6-7. Simpukoita (mahdollisesti rangiasimpukkaa) kertyneenä Loviisan voimalaitoksen merivesijärjestelmän putkessa, jossa vettä ei virtaa jatkuvasti.*

Kuvassa 6-8 on merivesijärjestelmästä vuonna 2022 ensimmäistä kertaa löytynyttä ja rangiasimpukaksi tunnistettua lajia, sekä mahdollisesti muitakin lajeja. Simpukat olivat saaneet kasvaa rauhassa putkessa, jossa ei virtaa vettä jatkuvasti. Rangiasimpukka ei



kiinnity pintoihin vaan elää sedimentissä. Laji kasvaa jopa 4–5 senttimetrin kokoiseksi ja siten pienempikin määrä simpukoita voi muodostaa suuren biomassan, kuten kuvassa 6-8.



*Kuva 6-8. Rangiasimpukkaa ja mahdollisesti muitakin lajeja Loviisan voimalaitoksen merivesijärjestelmän putkessa, jossa vettä ei virtaa jatkuvasti.*

### 6.1.3 Muita jäähdytysveden liittyviä käyttökokemuksia

#### Kala ja levä

Otettavan jäähdytysveden mukana kulkeutuu biomassaa (kalaa ja levää) voimalaitokselle noin 25–30 tonnia vuodessa, josta kalaa on noin 10-20 tonnia. Loviisan voimalaitokselle kulkeutuneesta biomassasta aiheutuneita jäähdytysveden saantiin vaikuttaneita tai saantia uhanneita tapahtumia on ollut vain muutamia, eivätkä ne liity vieraslajeihin.

Viimeisin poikkeuksellisesti jäähdytysveden saantiin vaikuttanut tapahtuma oli runsas kalantulo otettavan jäähdytysveden mukana 14.12.2020, jolloin kalaa tuli laitostyköille yhteensä 12 tonnia. Voimalaitoksen normaalit järjestelmät kykenivät poistamaan kalat hienovälpältä ja kuljettamaan ne ruuvikuljettimella pois merivesipumppaamolta. Poikkeuksellisissa olosuhteissa kaloja kuitenkin kertyi niin paljon, että normaalit keräysastiat eivät riittäneet ja lattialle kasaantuneiden kalojen poistamiseksi paikalle tilattiin imuauto. Tiettävästi voimalaitokselta on joskus historian aikana imuautolla imetty myös medusoja aaltoilutilasta hienovälppiin luota, mutta tästä tapahtumasta ei ole silloin kirjoitettu raporttia.

## Hyötysuhde, jälleenkierto ja tehonrajoitukset

Loviisan voimalaitoksen varsin syvällä sijaitseva jäähdytysveden ottoaukko imee merkittävässä määrin vettä myös pintakerroksesta, mikä heikentää voimalaitoksen hyötysuhdetta kesäisin. Toinen selkeä hyötysuhdetta heikentävä seikka on lämpimän jäähdytysveden jälleenkierto purkuaukolta ottoaukolle, mikä saattaa nostaa pintaveden lämpötilan ottoaukolla jopa +30 °C lukemiin. Purkupuolella jäähdytysveden lämpötilan maksimi on Loviisa voimalaitoksen ympäristölupaehdoissa mainittu +34 °C, mikä on joinain kesinä johtanut myös voimalaitoksen tehon rajoittamiseen.

## 6.2 Olkiluodon ydinvoimalaitos (Teollisuuden Voima Oyj)

Olkiluodon voimalaitoksella kaspianpolyyyppi on merkittävin vieraslajihaittaa aiheuttava laji aiheuttaen muun muassa pintojen likaantumista merivesijärjestelmissä. Kaspianpolyyyppikasvuston torjuntaa tehdään säännöllisesti ja ongelman laajuuden vuoksi käytössä on myös kemikaalisyöttöön perustuva menetelmä.

### 6.2.1 Vieraslajien seuranta ja havainnot

Olkiluodon ydinvoimalan lähimerialueella tehdään ympäristöluvan velvoittamaa rehevyystason, vesikasvillisuuden ja kasviplanktonin tarkkailua sekä pohjaeläinten ja kalataloudellista tarkkailua. Laitosyksikön OL3 käynnistymisen jälkeen laitokselle ajautuvien kalojen tarkkailua toteutetaan kaksi kertaa vuodessa, mukaan lukien alle yhden senttimetrin mittaiset kalanpoikaset.

Olkiluodon laitoksen lähimerialueelta on tunnistettu useita vieraslajeja (Taulukko 6-2). Vuonna 2023 valesinisimpukan esiintyvyyttä lähimerialueella on tutkittu vahvistetusti. Tutkimusten perustella vesinäytteistä on löydetty valesinisimpukoita sekä lisäksi useita kotoperäisiä simpukkalajeja (sinisimpukkaa, idänsydänsimpukkaa, liejusimpukkaa ja hietasimpukkaa).

*Taulukko 6-2. Olkiluodon lähimerialueella tavatut vieraslajit.*

Vieraslaji	Tieteellinen nimi
Kaspianpolyyyppi	<i>Cordylophora caspia</i>
Kirjoviuhkamato	<i>Laonome xeprovala</i>
Liejuputkimadot/ monisukasmadot	<i>Marenzelleria sp.</i>
Liejutaskurapu	<i>Rhithropanopeus harrisi</i>
Merirokko	<i>Amphibalanus improvisus</i>
Mustatäplätokko	<i>Neogobius melanostomus</i>
Vaeltajakotilo	<i>Potamopyrgus antipodarum</i>
Valesinisimpukka	<i>Mytilopsis leucophaeta</i>
Vaeltajasimpukka	<i>Dreissena polymorpha</i>
Villasaksirapu	<i>Eriocheir sinensis</i>

### 6.2.2 Vieraslajien aiheuttamat haitat ja torjunta

Olkiluodon voimalaitoksella kaspianpolyyyppi on merkittävin vieraslajihaittaa aiheuttava laji aiheuttaen muun muassa pintojen likaantumista merivesijärjestelmissä. Vuonna 2007 Olkiluodossa havaittiin ensimmäisen kerran kaspianpolyyyppikasvustoa vuosihuollon aikana. Tällöin laji oli levinnyt ja kasvattanut runkokuntaa molempien laitosyksiköiden (OL1 ja OL2) merivesipuolen lämmönvaihtimiin, hidastaen veden

virtausta ja vaikuttaen siten heikentävästi lämmönvaihtimien lämmönsiirtokykyyn. Runkopolyyppikasvuston torjumista on tehty Lounais-Suomen ympäristökeskuksen (nyk. Varsinais-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, ELY-keskus) puoltavan lausunnon jälkeen natriumhypokloriitin syötöllä jäähdytysveteen molemmissa laitosyksiköissä vuodesta 2007 lähtien. Tulevaisuudessa natriumhypokloriittia tullaan käyttämään myös laitossyksiköllä OL3.

Kaspianpolyyyppi kasvattaa rihmastoja lämmönsiirtimiin, pumppuihin ja putkiin estäen näin veden virtausta. Kaspianpolyyppirungot aiheuttavat vesiputkien likaantumista ja tukkeutumista muodostaen tiheää ja haaraista runkokuntaa, joka saattaa kasvaa jopa viiden senttimetrin mittaiseksi (kuvat 6-9 ja 6-10). Koska kaspianpolyyyppi leviää toukkavaiheessa mikroskooppisena vedessä, se pääsee leviämään suodattimista huolimatta ja muodostamaan laajoja yhteisöjä, jotka kasvavat nopeasti. Lajin uusiutumisen- ja toipumiskyky on nopeaa, jonka takia sen torjunnan tulee olla jatkuvaa ja käsittely toistuvia.

Fouling-lajien torjuntaan käytetään Olkiluodossa mekaanista puhdistusta, johon kuuluu painepesu ilman pesuainetta tai muita kemikaaleja sekä pesupallot. Tämän lisäksi kaspianpolyypin kasvua vesiputkissa ja lämmönsiirtimissä pyritään estämään natriumhypokloriitilla, jota syötetään yksiköiden OL1 ja OL2 merivesijärjestelmiin.



Kuva 6-9. Kaspianpolyyppikasvustoa lämmönsiirtimessä (Kuva: Teollisuuden Voima Oyj).





Kuva 6-10. Kaspiapolyypikasvustoa lämmönsiirtimessä (Kuva: Teollisuuden Voima Oyj).

### Kaspiapolyypin torjunta natriumhypokloriitilla

Vuonna 2007 TVO otti kokeiluun natriumhypokloriitin ( $\text{NaClO}$ ) kaspiapolyypin torjunnassa. Vuodesta 2009 natriumhypokloriitin käyttö on jatkunut voimassa olevan ympäristöluvan mukaisesti. Vuonna 2021 lupamääräystä päivitettiin pienin muutoksin. Natriumhypokloriittia syötetään ympäristöluvan mukaisesti kaspiapolyypin kasvukautena 1.7.-31.10. vain yhteen järjestelmään kerrallaan. Natriumhypokloriittia annostellaan järjestelmiin kemikaaliannostelupumpulla allastetussa täyttösäiliöstä, joka täytetään tynnyripumpulla konteista. Natriumhypokloriitin ominaisuuksien vuoksi sen päästöjä ja pitoisuuksia Olkiluodon lähivesille valvotaan valvontaviranomaisen edellyttämän tarkkailusuunnitelman mukaisesti. Laitoksella käytettävän natriumhypokloriitin sisältämä aktiivikloorin pitoisuus on 15 prosenttia.

Natriumhypokloriittia on kaupallisesti saatavilla ja sitä myydään vesiliuoksena. Natriumhypokloriitti liukenee veteen ja on erittäin myrkyllistä vesieliöille. Reaktiossa orgaanisten aineiden kanssa voi muodostua ympäristölle haitallisia orgaanisia klooriyhdisteitä, joista jotkut ovat huonosti hajoavia ja kertyviä. Natriumhypokloriitin ei ole todettu kertyvän ravintoverkkoon. /TTL 2023/

Natriumhypokloriitin syöttö järjestelmään on optimoitu ajoituksen ja määrän suhteen niin, että ylimääräiset ja vahingolliset päästöt ympäristöön minimoidaan. Syöttökauden ensimmäisen kuukauden aikana natriumhypokloriittia syötetään järjestelmiin kahden tunnin jaksoissa, jonka jälkeen siirrytään yhden tunnin syöttöjaksoihin. Tavoitteellinen

kokonaisklooripitoisuus järjestelmässä syötön aikana on 2 mg/l. Vuodesta 2021 lähtien tarkkailusuunnitelmaan kuuluvat näytteet on otettu aaltoilualtaasta. Vuonna 2022 näytteitä otettiin yksiköiden OL1 ja OL2 aaltoilualtaista yhteensä 62 kpl. Näytteiden kokonaisklooripitoisuuksien keskiarvot olivat molemmissa mittauspisteissä alle 0,07 mg/l. Tämä on alle määritysrajan (0,07 mg/l), jolloin kaikkien tulosten mittausravoksi ilmoitetaan 0,07 mg/l. Tällä pitoisuudella ei ole todettuja vaikutuksia tai haittoja eliöstölle. Meressä ja jäähdytysveden purkuaukolla natriumhypokloriitin pitoisuudet ovat niin matalat, ettei pitoisuuksia pystytä havaitsemaan olemassa olevilla mittausmenetelmillä.

Natriumhypokloriitin tehokkuutta kaspianpolyyppiä vastaan seurataan syöttökauden yhteydessä kahdella biofouling-monitorintiyksiköllä. Biofouling-monitori toimii jatkuvalla läpivirtauksella ja se koostuu neljästä putkeen sijoitetusta levyistä, joiden pintaan kehittyvää likaantumista voidaan seurata. Monitorintiyksiköt liitetään osaksi laitoksen OL2 merivesipumppaamolla kloorattuun ja klooraamattomaan osaan kuukautta ennen natriumhypokloriitin pumppaamisen aloittamista. Monitorien levyt kuvataan syöttökauden aikana yhteensä neljä kertaa ja niiden likaantuminen arvioidaan fouling-eliöstön peittävyysnä ja kerroksen paksuutena. Likaantumista tarkastellaan kahdella eri menetelmällä; jatkuvana seurantana, jolloin tarkastellaan koko seurannan aikana kertynyttä likaa seurannan päätyttyä sekä lyhyemmissä noin kuukauden kestävässä jaksossa seurannan aikana. Lyhytaikaisessa tarkastelussa seurantayksikön levyt puhdistetaan jaksojen välissä aina seuraavaa jaksoa varten.

### 6.2.3 Muita jäähdytysveden liittyviä käyttökokemuksia

Olkiluodon voimalaitokselle ajautuu jäähdytysveden mukana kaloja ja muuta välpettä (kiintoainetta). Välpät ja ketjukorisuodattimet erottelevat kalat ja muun välpeen (kuten simpukat ja vesikasvit) ja ohjaavat välpeen huuhtelukanaavaan, jota kautta välpe saadaan poistettua laitokselta.

Voimalaitoksella on parhaillaan menossa selvitys liittyen voimalaitokselle jäähdytysveden mukana ajautuviin kaloihin liittyen. Selvityksessä tarkastellaan muun muassa kalojen määrää, massaa ja lajeja. Selvityksessä kerätään myös poikasnäytteitä. Myös simpukoiden osuutta tulevan välpeen mukana tarkastellaan. Alkukeväästä 2023 suoritettujen välpeidenkeruiden perusteella kalaa ajautui voimalaitoksen eri yksiköille (OL1, OL2, OL3) yhteensä noin 140 kg vuorokaudessa. Esimerkiksi yksiköllä OL2 ylivoimaisesti runsaslukuisin kala välpeessä oli kolmipiikki. Kaikkiaan välpettä kertyi laitokselle yhteensä noin 250 kg vuorokaudessa. Välpeen määrä vaihtelee kuitenkin merkittävästi eri vuodenaikoina.

## 6.3 Vuosaaren voimalaitokset (Helen Oy)

Vuosaaren voimalaitoksilla merirokko on merkittävin fouling-haitan aiheuttaja merivettä käyttävissä jäähdytysjärjestelmissä. Haitan laajuus ei ole suurta.

### 6.3.1 Vieraslajien seuranta ja havainnot

Helen osallistuu pääkaupunkiseudun merialueen yhteistarkkailuun omilla jäähdytysvedenotto- ja -purkualueillaan voimalaitostensa läheisyydessä. Yhteistarkkailussa tutkitaan veden fysikaalista, kemiallista ja hygieenistä laatua, kasvi- ja eläinplanktoneja, pohjan laatua ja pohjaeliöstön, sedimentin ja pohjan eliöstön haitta-aineita sekä makroleviä ja vesikasvillisuutta. Tarkkailuohjelmassa ei ole mukana erikseen

vieraslajitarkkailua, mutta pohjaeläinten kartoituksessa niitä on havaittu. Lähin Vuosaaren voimalaitosta oleva tarkkailupiste sijaitsee Skattanselällä, noin kahden kilometrin päässä jäähdytysvesien purkupaikasta, jossa kerätään pohjaeläin- ja vesinäytteet. Skattanselän näytestä vieraslajeista on tunnistettu liejuputkimatoja ja vaeltajakotiloita. Syksyllä 2019 Skattanselän näytteestä löytyi myös uusi laji, saksisiira, mutta sitä ei ole enää sen syksyn jälkeen havaittu.

*Taulukko 6-3. Vuosaaren voimalaitoksien lähimerialueella Skattanselällä havaitut vieraslajit.*

Vieraslaji	Tieteellinen nimi
Liejuputkimadot	<i>Marenzelleria spp.</i>
Vaeltajakotilo	<i>Potamopyrgus antipodarum</i>
Saksisiira	<i>Sinelobus vanharenii</i>

Vuosaaren voimalaitoksissa merirokko on ainoa laji, jota on löytynyt kiinnittyneenä merivesikanavissa ja lämmönvaihtimissa. Muita lajeja ei laitoksilla ole tunnistettu.

### 6.3.2 Vieraslajien aiheuttamat haitat ja torjunta

Vuosaaren voimalaitoksilla merirokko on merkittävin fouling-haitan aiheuttaja merivettä käyttävissä jäähdytysjärjestelmissä, mutta sen aiheuttaman haitan laajuus on pientä, pääasiassa vedenottolaitteiston likaantumista, joista on kirjattu havaintoja kunnonhallintaraportteihin kunnossapitotoimien yhteydessä. Merirokko ei ole aiheuttanut tuotantohäiriöitä tai -katkoksia voimalaitoksilla. Likaantumishaitat esiintyvät tunnelissa, kanavissa sekä lämmönvaihtimissa.

Kunnossapidossa on puhdistustapana käytetty mekaanista puhdistusta harjaamalla. Mitä useammin puhdistus suoritetaan, sitä vähempitoinen likaantumishaitta on ollut. Vuosaaren merivesitunnelin imuaukko puhdistetaan vuosittain ja merivesilämmönsiirtimet pestään kerran vuodessa. Likaantumishaittoja ei ole ollut nähtävissä merkittäviä muutoksia viimeisen kymmenen vuoden aikana, joten pesutapaan ei ole tarvinnut tehdä muutoksia.

Vuosaaren laitoksilla ei olla tunnistettu uhaksi voimalaitoksen toiminnalle mitään tiettyä uutta vieraslajia. Voimalaitosten keskeisen satamasijainnin vuoksi voimalaitosten tiedostetaan kuitenkin olevan potentiaalinen kohde vieraslajien esiintymiselle ja niiden saapumiselle laitosten vedenottoalueelle.

## 6.4 Inkoon purettu voimalaitos (Fortum Power and Heat Oy)

Inkoon voimalaitoksen toiminnan aikana fouling-haittaa aiheuttivat simpukat. Koska voimalaitoksen toiminta ajettiin käytännössä alas 2013, on tietoja havaitusta fouling-ilmioistä saatavilla vain rajoitetusti. Tarkkoja lajitietoja voimalaitoksella tavatuista eliölajeista ei ollut saatavilla, joten vieras- ja kotoperäisten lajien osuuksia ja niiden aiheuttamia haittoja ei voida erotella luotettavasti.

### 6.4.1 Vieraslajien seuranta ja havainnot

Voimalaitoksen edustalla sijaitsevalla Fagervikenillä toteutettiin voimalaitoksen toiminnan aikana pohjaeläinkartoitus neljän vuoden välein. Viimeinen laaja kartoitus tehtiin 2014. Fagervikenillä lähes kaikkien pohjaeläinten esiintyminen on vaihdellut melko

voimakkaasti eri vuosien välillä. Vieraslajeista Fagervikenillä tavattiin muun muassa merirokkoa, vaeltajakotiloa, pikkuliejumatoa ja liejuputkimatoa. Kotoperäisistä simpukkalajeista tavattiin liejusimpukkaa ja idänsydänsimpukkaa.

#### 6.4.2 Fouling-lajien aiheuttamat haitat ja torjunta

Inkoon voimalaitoksen toiminnan aikana fouling-haittaa aiheuttivat simpukat, jotka pääsivät läpi ketjukorisuodattimista ja jäivät pesimään merivesikanaaleihin. Kun laitos käynnistettiin, simpukat lähtivät liikenteeseen ja tukkivat lauhduttimen putkia, tai vaihtoehtoisesti kasaantuivat lauhdutinta ennen sijainneille läpille, jolloin lauhduttimen (tai jonkin apuprosessin) erottamiseksi muusta prosessista läppiä ei ollut mahdollista sulkea täysin.

Voimalaitoksella haittaa aiheutti myös jokin tunnistamatta jäänyt eliölaji, joka kertyi pinnoille (esim. lauhdutinkamariin) ja pahensi korroosio-ongelmaa kasvustokohdissa. Haasteita esiintyi etenkin pienemmissä jäähdytysvesiputkistoissa, joissa kasvustoa ei paljoakaan tarvinnut tulla pintaan, kun kasvusto jo jarrutti virtausta, ja perässä seurasi korroosio. Varsinkin valurauta ja muut vähäseosteiset materiaalit todettiin kasvustolle alttiiksi.

#### 6.4.3 Muita jäähdytysveden liittyviä käyttökokemuksia

Kaloja pääsi jäähdytysveden mukana voimalaitokselle välillä niin paljon, että ketjukorisuodatinta oli tyhjennettävä jatkuvasti ettei se tukkeutunut. Vaikka suuret kalamassat eivät päässeet lauhduttimeen asti, jokin yksittäinen kala välillä pääsi ja tukki virtauksen lauhduttimen putkessa, jolloin korroosiolle oli otolliset olosuhteet. Kalalajeja ei tarkemmin tunnistettu, mutta oletettavasti kalat olivat kuoreita (*Osmerus eperlanus*).

Merilevää tuli jäähdytysveden mukana voimalaitokselle tasaisesti koko ajan, mutta levä ei aiheuttanut isompia ongelmia lauhduttimessa käytössä olleen pesupallojärjestelmän ansiosta (kumikuulat kiersivät lauhduttimen putkien läpi). Suurempaa ongelmaa merilevä aiheutti sivuprosessien jäähdyttimissä, missä pesupallojärjestelmää ei ollut käytössä. Leväongelman vuoksi levylämmönsiirrin, joka pysyy luonnostaan paremmin puhtaana, olisi nähty voimalaitoksella parempana vaihtoehtona putkilämmönsiirtimien sijaan.

### 6.5 Oskarshamnin voimalaitos (Oskarshamns Kraftgrupp)

Oskarshamnin voimalaitoksella fouling-haittaa aiheuttavat muun muassa sinisimpukat, kaspianpolyyyppi ja sammaleläimet. Lisäksi suuret levämäärät ja meduusat ovat haitanneet ajoittain merivedenottoa.

#### 6.5.1 Vieraslajien seuranta ja havainnot

Oskarshamnin ydinvoimalan lähimerialueella tehdään muun muassa biologista tarkkailua. Lähimerialueella ja voimalaitoksella havaittuja vieraslajeja on listattu taulukossa 6-4.



Taulukko 6-4. Oskarshamnin voimalaitoksella ja lähimerialueella havaitut vieraslajit.

Vieraslajit	Latinalainen nimi	1. havaintoajankohta
Liejuputkimato	<i>Marenzelleria sp</i>	1995
Vaeltajakotilo	<i>Potamopyrgus antipodarum</i>	1976
Kaspianpolyyyppi	<i>Cordylophora caspia</i>	2010-luvun alkupuoli
Mustatäplätokko	<i>Neogobius melanostomus</i>	2016

### 6.5.2 Vieraslajien aiheuttamat haitat ja torjunta

Vieraslajeista ongelmia merivedenotossa voi aiheuttaa ainakin kaspianpolyyyppi. Voimalaitoksen lämmönvaihtimiin on yleensä kertynyt pinnoille kaspianpolyyyppiä ja lisäksi sammaleläimiä (tarkka laji ei tiedossa). Kaspianpolyyyppiä on löydetty myös simpukkasuodattimista ja jäähdytysvesikanavista. Kaspianpolyyyppi ei kuitenkaan ole viimeisen kymmenen vuoden aikana muodostunut suureksi ongelmaksi.

Suurin likaantumisongelma voimalaitoksella esiintyy jäähdytysveden ottorakennuksen ketjukorisuodattimissa. Normaalisti ketjukorisuodattimet huuhdellaan automaattisesti säännöllisin väliajoin. Tilanteissa, joissa likaantuminen on normaalia suurempaa, automaattinen pesu ei riitä ja sitä on täydennettävä manuaalisella huuhtelulla.

Voimalaitoksen lämmönvaihtimiin kertyneen kasvun poistamiseksi voimalaitoksella käytetään niin kutsuttua ZIP-pesua, jossa kemikaalien (fosforihapon ja natriumhydroksidin (lipeän)) avulla kasvusto ja kalkki pestään pois. Pesu perustuu suljettuun järjestelmään, joten kemikaaleja ei vapauteta ympäristöön. Turbiinilauhduttimen putket puhdistetaan säännöllisesti kumipalloilla likaantumisen estämiseksi.

### 6.5.3 Muita jäähdytysveden liittyviä käyttökokemuksia

Vieraslajien lisäksi ongelmia jäähdytysvedenottoon liittyen voivat aiheuttaa luulevät (*Polysiphonia*), sinisimpukat (*Mytilus trossulus*) ja meduusat. Sinisimpukoiden lisäksi laitoksella ei arvioida esiintyvän muita simpukkalajeja. Suurin haaste jäähdytysveden mukana tulevien sinisimpukoiden kanssa on, että ne jäävät kiinni pesupallojärjestelmän suodattimiin, joten suodattimia joudutaan pesemään säännöllisin väliajoin.

Vuosihuoltojen ja erityisesti pidempien seisokkijaksojen jälkeen jäähdytysveden ottoaltaassa ja kanavissa kasvaa eliöitä ja lämmönvaihtimet tukkeutuvat. Seisokin jälkeen laitoksen merivesijärjestelmiä puhdistetaan muun muassa huuhtelemalla, lämmönvaihtimet puhdistetaan ns. ZIP-pesulla ja jäähdytysveden ottoaltaasta imetään simpukoita. Jos seisokki on kestänyt pitkään, on tärkeää, että laitoksen merivesipumput ovat käynnissä ennen simpukoiden imua. Muutoin kuolleista organismeista koostuva kelluva orgaaninen massa aiheuttaa ongelmia merivesijärjestelmässä.

Luulevän keskeisin kasvukausi sijoittuu kesään, ja usein syksyllä luulevää vapautuu ja huuhtoutuu vesistöissä virtauksien mukana. Tuulista ja merivirtauksista riippuen luulevä voi ajautuessaan voimalaitokselle aiheuttaa merkittäviä ongelmia. Koillistuuli myötävaikuttaa mahdollisesti ongelmien syntyyn. Kuvassa 6-11 luulevää on kertynyt hienovälipälle, josta se valuu poistettavaksi lattiakouruun.

Kesäisin ja syksyisin Oskarshamnissa esiintyy meduusojen kanssa toisinaan haasteita. Yleensä noin kuuden tai seitsemän vuoden välein elo-syyskuussa, meduusat aiheuttavat

isoja ongelmia. Ongelman suuruuteen vaikuttavat samat tekijät kuin levien tapauksessa eli tuulensuunta ja merivirrat.

Meduusaongelmat alkoivat vuonna 2009, jolloin laitoksella otettiin käyttöön ketjukori-suodattimet. Esimerkiksi vuonna 2013 meduusojen tulo aiheutti laitoksella useita viikkoja kestäneen toimintahäiriön. Kolme kuudesta päämerivesipumpusta jouduttiin pysäyttämään, jotta meduusat saatiin huuhdeltua pois. Tämän vuoksi myös laitoksen tehoa jouduttiin rajaamaan 1 300 megawatista 360 megawattiin. /SVT 2023/

Syys-lokakuussa 2022 jäähdytysveden ottoaukkoon ajautui kolme kertaa suuria määriä meduusoja. Jokaisella kerralla yksi laitoksen päämerivesipumpuista jouduttiin pysäyttämään, mikä johti tuotannon menetyksiin (Taulukko 6-5). Kuvassa 6-11 on nähtävissä voimalaitokselle ajautuneita meduusoita hienovälpän haravassa.

*Taulukko 6-5. Tuotannon menetykset jäähdytysvedenoton mukana tulleiden meduusojen vuoksi Oskarshamnin laitoksella vuonna 2022.*

Päivämäärä	Tuotannon menetys
19.9.2022	222 MWh
20.9-21.9.2022	1 032 MWh
6.10-7.10.2022	1 028 MWh



*Kuva 6-11. Luulevää Oskarshamnin laitoksen hienovälpällä valumassa lattiakouruun (vasen kuva) ja meduusoita hienovälpän haravassa (Kuva: Oskarshamns Kraftgrupp AB).*

## 6.6 Forsmarkin voimalaitos (Forsmarks Kraftgrupp AB)

Viime vuosina meressä elävät kotoperäiset ja/tai vieraslajit, kuten simpukat ja kalat, ovat aiheuttaneet jäähdytysvedenottoon liittyen tuotannon menetyksiä Forsmarkin voimalaitoksella, vuoden 2019 jälkeen ainakin kolmesti. Fouling-lajit tai kalojen massaesiintymät ovat aiheuttaneet esimerkiksi tukkeutumia suodattimiin ja lämmönvaihtimiin. Eri lajien ilmaantuvuus vaihtelee vuosittain, joten yhtä merkittävintä haittaa aiheuttavaa lajia ei ole mahdollista nimetä.

### 6.6.1 Vieraslajien seuranta ja havainnot

Forsmarkin voimalaitosta ympäröivän ympäristön ekosysteemien ja lajien kehittymistä on seurattu tarkasti erilaisilla seurannoilla ja tutkimuksilla toiminnan aloittamisesta eli vuodesta 1980 lähtien. Tutkimukset alueella alkoivat kuitenkin jo huomattavasti aikaisemmin, vuonna 1969, jotta ekosysteemin rakenteesta ja toiminnasta saatiin kattava kuva ennen voimalaitoksen toiminnasta aiheutuvien vaikutuksien alkamista. Osana voimalaitoksen ympäristön seurantaan tarkkaillaan tulokas- ja vieraslajeja. Forsmarkin alueella on vuosien aikana havaittu ja tunnistettu useita vieraslajeja lähellä voimalaitosta (Taulukko 6-6).

Taulukko 6-6. Forsmarkin voimalaitoksen lähimerialueella havaitut vieraslajit.

Vieraslaji	Latinalainen nimi	1. havaintovuosi
Liejuputkimadot	<i>Marezzelleria</i>	1997
Vaeltajakotilo	<i>Potamopyrgus antipodarum</i>	1980
Vaeltajasimpukka	<i>Dreissena polymorpha</i>	2005
Valesinisimpukka	<i>Mytilopsis leucophaeata</i>	2011
Rangiasimpukka	<i>Rangia cuneata</i>	2022
Kaspianmassiainen	<i>Hemimysis anomala</i>	2016
Mustatäplätokko	<i>Neogobius melanostomus</i>	2018

### 6.6.2 Vieras- ja muiden fouling-lajien aiheuttamat haitat ja torjunta

Forsmarkin voimalaitoksella erilaiset meressä elävät lajit ovat aiheuttaneet merkittäväkin likaantumista tai tukkeutumista. Haittaa aiheuttavat sekä vieraslajit että kotoperäiset lajit. Järjestelmissä on havaittu vieraslajeja, kuten valesinisimpukkaa, mutta sen aiheuttaman haitan laajuutta on toistaiseksi ollut vaikea arvioida. Kaiken kaikkiaan fouling-lajeista arvioidaan aiheutuneen jäähdytysvesiprosesseissa tai lämmönvaihtimissa pientä haittaa ja niistä aiheutuneet seuraamukset ovat myös olleet pieniä.

Pääasiallinen haitta fouling-lajeista aiheutuu kasvavana tarpeena niiden kasvua ehkäisevälle puhdistamiselle merivesipiirin laitteissa ja putkissa sekä jäähdytysvesikanavissa. Jos eliömassat (kalat tai fouling-lajit) ovat päässeet liian suuriksi, ne ovat aiheuttaneet tukkeutumisia, jotka ovat keskeyttäneet ja estäneet tuotannon.

Jäähdytysvesitunnelit ja -kanavat sekä merivesipiirin lämmönvaihtimet ovat haavoittuvia, sillä tukkeumat siellä aiheuttavat todennäköisemmin tuotannon keskeytymisriskin. Tukkeutumien ehkäisemiseksi laitteiden puhdistustoimia toteutetaan useammin, jotta biomassaa ei ehdi kerääntyä laitteisiin liiallisia ja toiminnalle vaarallisia määriä. Tämä puolestaan tarkoittaa useampia puhdistuskatkoksia tuotannossa.



Fouling-lajien ja muiden eliöiden aiheuttamien haittojen torjuntaan käytetään Forsmarkin voimalaitoksella vain mekaanista puhdistusta, kuten painepesua ja eri kokoisia pesupalloja merivesiä sisältävissä järjestelmissä ja paikoissa, joissa riski fouling-lajien kasvulle on suurta tai tukoksia saattaa helpoiten syntyä.

### 6.6.3 Muita jäähdytysveteen liittyviä käyttökokemuksia

Vieraslajien lisäksi voimalaitoksella ongelmia ja haittoja aiheuttavat myös kotoperäiset lajit, kuten piikkikalat ja sinisimpukat. Vuonna 2019 piikkikaloja (*Gasterosteidae*), joiden pituus on tyypillisesti noin 6–7 senttimetriä, ajautui runsaasti merivesijärjestelmän seulaan tuntemattomasta syystä (kuva 6-12). Piikkikalat tukkivat seulaa. Kuvassa 6-13 on esitetty merivesipumppu, jota ei oltu puhdistettu noin 5–6 vuoteen. Pumppuun oli tarttunut paksu kerros sinisimpukoita sekä merilevää. Kasvuston vuoksi merivesipumput puhdistetaan nykyään tiheimmällä syklillä.

Myös levä on aiheuttanut voimalaitoksella ongelmia. Pääasiallisesti ongelmia aiheuttavat lajit vaihtelevat kausittain. Esimerkiksi vuonna 2013 Forsmarkin voimalaitoksella huomattiin laitosyksikön F3 tuotannon keskeyttämisen yhteydessä, että merivesijärjestelmien virtaus ei ollut normaali. Tuolloin jäähdytysvesikanavaa ei tällöin oltu puhdistettu vuotta aikaisemmin. Kun tuotanto kytkettiin uudestaan päälle, aalto ja paineliike sekoittivat apujäähdytysvesikanavassa lietettä sekä merilevää, joka oli kerääntynyt sinne vuodesta 2012. Irronneet epäpuhtaudet irtosivat käynnistyksen yhteydessä virtauksen mukana ja tukkivat suodattimia.



Kuva 6-12. Piikkikaloja kerääntyneenä merivesijärjestelmän seulaan (Kuva: Forsmarks Kraftgrupp AB).





Kuva 6-13. Sinisimpukoita ja merilevää kiinnittyneenä jäähdytysvesipumppuun (Kuva: Forsmarks Kraftgrupp AB).

## 6.7 Yhteenvedo fouling-haittaa aiheuttavista lajeista voimalaitoksilla

Alla on esitetty yhteenvedotaulukko fouling-haittaa tai mahdollista fouling-haittaa aiheuttavista vieras- ja kotoperäisistä lajeista, joita on havaittu joko selvitykseen osallistuneilla voimalaitoksilla tai niiden lähimerialueilla (Taulukko 6-7). Taulukossa on esitetty myös kunkin lajin ensimmäinen tiedossa oleva havaitsemisvuosi selvitykseen osallistuneilla laitoksilla.

Taulukko 6-7. Voimalaitoksilla ja niiden lähimerialueilla havaitut fouling-haittaa tai mahdollista fouling-haittaa aiheuttavat vieraslajit ja kotoperäiset lajit sekä 1. tiedossa oleva havaitsemisvuosi ja laitos, jossa laji havaittu.

Havaittu laji				1. havaitsemisvuosi- ja laitos
Suomeksi	På Svenska	In English	Tieteellinen nimi	
Kaspianpolyyyppi	Klubbpolyp	Freshwater hydroid	<i>Cordylophora caspia</i>	2006 Olkiluoto
Merirokko	Slät havstulpan	Bay barnacle	<i>Amphibalanus improvisus</i>	Vuosaari ja Loviisa (vuosi ei tiedossa)
Valesinisimpukka	Trekantig brackvattenmussla	Conrad's false mussel (dark false mussel)	<i>Mytilopsis leucophaeata</i>	2003 Loviisa
Rangiasimpukka (kiilasimpukka)	Amerikanska trågmussla	Atlantic rangia (wedge clam, common rangia)	<i>Rangia cuneata</i>	2022 Forsmark ja Loviisa
Vaeltajasimpukka	Vandrarmussla	Zebra mussel	<i>Dreissena polymorpha</i>	2005 Forsmark
Sinisimpukka	Blåmussla	Bay mussel	<i>Mytilus edulis</i>	Kotoperäinen laji

## 7 POHDINTOJA

### 7.1 Ongelmien luonne ja vaikutusmahdollisuudet

Itämerelle levittäytyneet fouling-ilmiötä aiheuttavat vieraslajit saattavat aiheuttaa suoran uhan voimalaitosten jäähdytysvedenottojärjestelmille tukkimalla veden virtauskanavia tai kuluttamalla rakenteita. Fouling-lajit eivät kuitenkaan ole ainoita mahdollisia riskejä aiheuttavia lajeja, sillä myös muista vieraslajeista saattaa aiheutua epäsuoria uhkia laitoksille, vaikkeivat eliöt itse pääsisi rakenteisiin. Usein alueelle levittäytyneet ja sinne vakiintuvat uudet vieraslajit muuttavat jo alueella elävien lajien välistä dynamiikkaa, joka saattaa aiheuttaa häiriöitä ravintoverkoissa. Olisi esimerkiksi mahdollista, että alueelle levittäytynyt uusi laji aiheuttaisi kilpailua samassa ekologisessa lokerossa elävän lajin kanssa, joka käyttää ravintonaan laitoksille haitallista eliötä ja normaalitilanteessa hillitsisi tämän kannan kasvua liian suureksi. Petojen vähentyessä, laitoksille vahinkoja aiheuttava laji pääsisi lisääntymään ja näin lisäisi voimalaitoksille aiheutuvan riskin suuruutta. Siksi vieraslajien mahdolliset epäsuorat uhat voimalaitoksille olisikin syytä ottaa huomioon suorien uhkien lisäksi.

Selvityksen yhteydessä ilmeni, että voimalaitoksilla on havaittu myös dynaamisia tilanteita eli aina ei ole mahdollista sanoa, että ongelmia tai eniten ongelmia aiheuttaisi jatkuvasti vain yksi laji. Vaihtelevaan tilanteeseen mukautuminen ei kuitenkaan ole ylivoimaista, mikäli järjestelmien kapasiteetti on mitoitettu riittävän isoksi ja poikkeavat tilanteet muutenkin huomioitu suunnitteluvaiheessa.

Paljon merivettä käyttävien laitosten meriveden käytettävyyteen liittyvät ongelmat voidaan käytännössä jakaa kahteen erilaiseen tapahtumakategoriaan tapahtuman nopeuden, hidas tai nopea, mukaan riippumatta siitä ovatko ongelmia aiheuttavat lajit kotoperäisiä vai vieraslajeja.

Ensimmäisessä kategoriassa tilanne kehittyi laitoksen näkökulmasta hitaasti, järjestelmien puhdistukseen on aikaa, eikä laitoksen käyttö esty tai edes häiriinny. Tämän tapahtumaketjun syynä ovat järjestelmien pinnoille kiinnittyneet eliöt, jotka myös kasvavat järjestelmissä suotuisissa olosuhteissa ja lopulta aiheuttavat haittaa laitoksen toiminnalle. Tämän selvityksen puitteissa haitallisimmiksi hitaasti haittoja aiheuttaviksi lajeiksi osoittautuivat normaalisti kovalle pohjalle kiinnittyvät vieraslajit merirokko, valesinisimpukka ja kaspianpolyyyppi kotoperäisen sinisimpukan ohella. Tätä taustaa vasten tarkasteltuna jo tänne asettuneiden ja erityisesti uusien kovan pohjan vieraslajien tunnistamiselle ja leviämisen seuraamiselle on tarvetta.

Toisessa kategoriassa tilanne kehittyi laitoksen näkökulmasta yllättäen ja nopeasti, laitoksen vedenoton käsittelyjärjestelmien puhdistuskapasiteetti ylittyy ja lopulta laitoksen käyttöä joudutaan rajoittamaan tai pahimmillaan käyttö estyy kokonaan. Tämän tapahtumaketjun syynä ovat eliöt tai niiden jäänteet, jotka ajautuvat laitokselle niin suurina määrinä (massaesiintymänä), että ne estävät vedenoton tai veden puhdistuksen normaalin toiminnan. Tämän selvityksen puitteissa mahdollisiksi ongelmiksi on tunnistettu muun muassa muutama kalalaji, meduusat ja vesikasvit. Massaesiintymien kaltaisia ongelmia eivät aiheuta ainoastaan vieraslajit, sillä ympäristön muuttuminen jollekin lajille suotuisammaksi, ensisijaisesti meriveden lämpötilan kohotessa ilmastonmuutoksen vaikutuksesta, voi olla paikallisesti hyvinkin merkittävä tekijä myös kotoperäisille lajeille.

Selvityksen aikana huomio kiinnittyi useaan kertaan siihen, kuinka erilaisia kokemuksia ja eri lajeista aiheutuvia haittoja voimalaitoksilla on. Kysymykseen *mistä johtuvat erot laitosten järjestelmien fouling-eliöstössä (lajikirjo) tai haittojen määrässä* ei ole suoraa vastausta annettavaksi, mutta varsin ilmeiseltä näyttää, että paikallisilla olosuhteilla, meriveden oton suunnittelulla ja järjestelmien suunnittelulla on merkitystä. Paikallisista olosuhteista esimerkiksi ottoaukon etäisyys rantaviivasta, merialueen suojaisuus/avoimuus ottoaukon ympärillä ja rannan syvyysprofiili ottoaukon lähistöllä vaikuttavat esimerkiksi eri kalalajien viihtymiseen alueella ja kulkeutumiseen veden mukana. Meriveden oton suunnitteluun liittyvät asiat, kuten veden ottosyvyys ja lämmenneen jäähdytysveden jälleekierron esiintyminen, puolestaan voivat vaikuttaa esimerkiksi simpukoiden esiintymiseen järjestelmissä, sillä simpukat leviävät toukkavaiheen aikana. Järjestelmien suunnittelulla voidaan vaikuttaa siihen, että virtausnopeudet hyllyttävät fouling-eliöiden kiinnittymistä, järjestelmien osia voidaan erottaa fouling-eliöiden tuhoamiseksi, huuhtelut ja puhdistukset ovat helppoja suorittaa tai pesupallojen käyttö ulotetaan mahdollisimman isoon osaan järjestelmää.

Voimalaitosten kannalta haitallisimpien fouling-lajien levinneisyys Itämerellä poikkeaa lähinnä Perämeren alueella muuhun alueeseen verrattuna. Haitallisimmiksi tunnistetuista lajeista vain kaspianpolyyyppi esiintyy tällä hetkellä Perämeri mukaan luettuna koko Itämerellä. Merirokon levinneisyyttä Perämerellä rajoittaa ilmeisestikin matala suolapitoisuus, joten levinneisyyden rajat lienee jo saavutettu. Valesinisimpukan leviäminen pohjoiseen Perämerelle puolestaan saattaa mahdollistaa ilmastonmuutoksen aiheuttaman meriveden lämpenemisen myötä. Jos matala suolapitoisuus ei lainkaan rajoita valesinisimpukan leviämistä, niin on vain ajan kysymys milloin Perämereltäkin löytyy valesinisimpukkapopulaatio jonkun paljon merivettä käyttävän laitoksen luota.

Hieman yllättäen vaeltajasimpukka ei tiettävästi ole aiheuttanut selvitykseen osallistuneissa voimalaitoksissa haittaa, vaikka laji elää makeiden vesien lisäksi murtovesissä ja aiheuttaa ainakin Pohjois-Amerikassa suuria taloudellisia tappioita esimerkiksi tukkimalla vedenottoputkistoja. Lajin levinneisyyttä vaikuttaisi Itämerellä rajoittavan alhainen lämpötila ja murtoveden suolapitoisuus. Kun Itämeri lämpenee ja sen suolapitoisuus mahdollisesti pienenee ilmastonmuutoksen seurauksena, voivat olosuhteet vaeltajasimpukalle muuttua suotuisammiksi ja lajin aiheuttamat fouling-haitat voimalaitoksilla lisääntyä.

Nykytekniikka tarjoaa aivan uusia mahdollisuuksia fouling-lajien tunnistamiseen, sillä ympäristönäytteistä voidaan varsin kohtuullisin kustannuksin analysoida eliöiden DNA:ta ja tehdä lajitunnistus sen perusteella. Selvityksen yhteydessä kartoitettiin voimalaitostoimijoiden halukkuutta osallistua näytteiden keruuseen kunkin toimijan merivesijärjestelmistä ja DNA-analyysien tekemiseen. Selvityksessä mukana olleiden toimijoiden joukko on selvästi tietoinen fouling-lajien aiheuttamista haitoista ja motivoitunut selvittämään asioita, joten myös halukkuutta uudenlaisen lähestymistavan kokeilemiseen löytyi.

## 7.2 Mahdolliset jatkoselvitysaiheet

Selvityksen aikana heräsi useita kysymyksiä, joihin ei ole vastauksia ainakaan välittömästi tarjolla. Kysymysten merkittävydestä ei myöskään ole varmuutta, mutta kysymykset liittyvät epäsuorasti haittojen torjuntaan, joten myös nämä tällä kertaa avoimiksi jäävät asiat päätettiin esittää mahdollisina tutkimusaiheina:

- 1) Millainen on jäähdytysvesijärjestelmään kiinnittyneiden fouling-lajien lisääntymissykli? Poikkeako lisääntyminen luontaisesta, alkaako se aikaisemmin ja jatkuuko se pidempään? Mitkä tekijät ovat määrääviä lisääntymisen ajoittumisen kannalta, kun olosuhteet jäähdytysvesijärjestelmässä poikkeavat kovasti laitosten lähiympäristön merialueen luontaisista olosuhteista, niin lämpötilan kuin valoisuudenkin suhteen?
- 2) Voiko huoltoseisokin ajankohta vaikuttaa fouling-lajiston koostumukseen? Onko huoltoseisokin ajankohdalle olemassa joku optimi likaantumisen haittoja ajatellen? Polyyppien ja simpukoiden kiinnittymisen ajankohdissa on Loviisassa tehtyjen selvitysten perusteella havaittavissa oleva ero, joten esimerkiksi Loviisan voimalaitoksen huoltoseisokin ajoittumisella elo-syyskuulle voisi olla vaikutusta laitoksen fouling-lajistoon.
- 3) Onko mahdollista välttää polyyppien ja simpukoiden toukkavaiheiden kulkeutumista järjestelmiin? Onko veden ottaminen syvältä parempi vaihtoehto fouling-tilannetta tai kokonaisuutta ajatellen, tai onko sillä lainkaan merkitystä? Oskarshamn 3:n jäähdytysvesi otetaan syvältä, mutta ongelmat vaikuttavat samankaltaisilta kuin muilla laitoksilla, paitsi että lisänä ovat meduusat.
- 4) Kuinka suuri on virtausnopeuden kynnsarvo, jonka jälkeen fouling-eliöstön kiinnittyminen järjestelmien pintoihin ei enää onnistu tai vähenee merkittävästi? Onko kynnsarvo merkittävästi erilainen eri materiaaleilla tai pintakäsittelyillä?
- 5) Rakenteiden materiaalin ja pinnoitteiden vaikutus fouling-eliöstön kiinnittymisen ja haittojen kannalta on havaintojen perusteella merkittävä. Tietävästi erilaisten materiaalien ja pinnoitteiden soveltuvuutta ei ole kattavasti selvitetty Itämeren rannalla sijaitsevien voimalaitosten näkökulmasta.
- 6) Mikä on putkikoon merkitys fouling-eliöstön kiinnittymisen tai lajijakauman kannalta? Mikä on pienin toimiva putkikoko tukkeutumista ajatellen esimerkiksi vuoden huoltovälillä, mikäli ei käytetä pesupalloja tai kemikaaleja?
- 7) Onko ketjukorisuotimien silmäkoolla mitään merkitystä nykyisiltä tai mahdollisilta uusilta fouling-lajeilta suojautumisen kannalta? Nyt eri laitoksilla on käytössä suodattimissa silmäkokoja 1–4 mm, mistä pienimmästäkin kaikki fouling-lajit ilmeisesti pääsevät läpi toukkavaiheessa. Millä perusteella ketjukorisuotimien silmäkoko ylipäätään pitäisi valita nykytilanteessa tai tulevaisuudessa?
- 8) Oletettavasti simpukoille suotuisten kesien määrä tulee kasvamaan, joten myös kahden peräkkäisen simpukoille suotuisan kesän todennäköisyys tulee kasvamaan, eli simpukoiden tiheys/määrä voi välillä olla todella suuri. Voiko tämän Loviisan havaintoihin perustuvan johtopäätöksen yleistää laajemmalti?



## 8

**YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET**

Vieraslajit, kuten myös niiden aiheuttamat muutokset ekosysteemeihin, ovat tulleet Itämerelle jäädäkseen. Tämän selvityksen tietojen valossa eriasteista haittaa voimalaitoksille aiheutuu vieraslajien ohella kuitenkin myös kotoperäisistä lajeista. Luontaisesti leviävistä tulokaslajeista puolestaan ei todettu aiheutuneen haittaa.

Useiden vieraslajien leviäminen jatkuu Itämerellä edelleen ja uusia lajeja havaitaan jatkuvasti. Havaintojen valossa haitat eri voimalaitoksilla ovat varsin erilaisia, johtuen todennäköisesti sekä merialueen suolapitoisuudesta että meriveden oton ja muiden järjestelmien suunnittelun eroista. Tulosten tulkinnasta tekee haastavaa se, että vaikutukset ilmenevät varsin erilaisina, vaikka potentiaalisesti haittoja aiheuttavien lajien kirjo eri sijaintipaikoilla olisi lajien levinneisyyden perusteella täysin sama. Lisäksi joidenkin lajien tunnistamisen vaikeus tuo omat haasteensa tulosten tulkintaan, eikä virheellisten tunnistusten mahdollisuutta voida täysin poissulkea. Tulevaisuudessa DNA-menetelmiin perustuva lajien tunnistaminen yleistyy erityisesti ongelmatilanteissa ja uusien lajien osalta, joten myös virheellisten tunnistusten mahdollisuuden pitäisi pienentyä olennaisesti.

Nykytilanteessa vieraslajeista haittaa voimalaitoksilla aiheuttavat lähinnä ne lajit, jotka kykenevät kiinnittymään järjestelmien kovalle pinnolle ja muodostamaan isoja yhdyskuntia. Ongelmia saattaa aiheuttaa myös vuosihuollon jälkeisen käynnistyksen yhteydessä joistain järjestelmien osista liikkeelle lähtevä kuollut bioperäinen massa.

Merkittävimmät fouling-haittaa aiheuttavat vieraslajit ovat kaspianpolyyyppi, merirokko ja valesinisimpukka, jotka ovat jo vakiintuneet likimain koko Itämeren alueelle. Itämeren kotoperäisistä lajeista haittaa aiheuttaa lähinnä sinisimpukka, jonka aiheuttamia haittoja esiintyy kahdella voimalaitoksella. Lajikirjon muuttuminen käyttöhistorian aikana on selkeästi havaittavissa ainakin kahden voimalaitoksen kokemuksista, sillä fouling-haittojen määrä on jossain vaiheessa kasvanut nopeasti ja selvästi joko uuden vieraslajin ilmestyessä alueelle tai alueella jo olevan vieraslajin runsastuessa laitoksen järjestelmissä.

Vieraslajien aiheuttamia haittoja torjutaan ensisijaisesti ilman kemikaaleja, käytön aikana hyödynnetään mekaaniseen vaikutukseen perustuvia pesupalloja ja vuosihuollon aikana järjestelmiä pestään. Kemikaaleja käytetään mahdollisesti pesujen yhteydessä tai ennakoivaan torjuntaan lupahtojen puitteissa.

Itämeren odotetaan lämpenevän ja jäätälvien lyhentyvän ilmastonmuutoksen vaikutuksesta. Samalla olosuhteet muuttuvat aiempaa suosiollisemmaksi joidenkin alueella jo esiintyvien vieraslajien esiintymisen kannalta. Meriveden lämpeneminen mahdollistaa myös aivan uusien vieraslajien menestymisen Itämeren alueella. Itämeren suolapitoisuuden puolestaan oletetaan alenevan hieman, mikä saattaa heikentää joidenkin vieraslajien menestymisen mahdollisuuksia Itämerellä. Monia uusia lajeja ilmestyy Itämerelle lähitulevaisuudessa, vaikka lajien levittämistä tai kulkeutumista uusille alueille, esimerkiksi laivojen mukana, pyritäänkin estämään. Näin ollen uusien vieraslajien vaikutusten ennakoinnille onkin nähtävissä jonkinlainen tarve.

Nykyisin käytössä olevilla voimalaitoksilla vieraslajien aiheuttamat haitat ovat osin samankaltaisia, mutta osin myös varsin erilaisia, joten suunnitteilla olevien järjestelmämuutosten yhteydessä on mahdollista pohdiskella vähintäänkin yleisellä tasolla

muutoksen vaikutusta vieraslajien menestymiseen voimalaitoksen järjestelmissä. Tämän selvityksen tulosten perusteella on mahdollista tehdä joitain karkeita johtopäätöksiä erilaisten ratkaisujen alttiudesta erityyppisille fouling-haitoille ja kohdentaa sen perusteella mahdollisia jatkoselvityksiä. Käytössä olevilla laitoksilla ei kuitenkaan kevein perustein lähdetä muuttamaan perustavaa laatua olevaa suunnittelua, kuten siirtämään ottopaikkaa, rakentamaan uusia tunneleita jäähdytysvedelle tai kokonaan uutta jäähdytysveden purkupaikkaa, sillä voimalaitokset ovat jo sopeuttaneet toimintansa vallitsevassa tilanteessa odotettavissa oleviin haittoihin.

Selvityksen tulosten perusteella on ilmeistä, että uusien laitosten suunnittelussa on syytä panostaa sekä kotoperäisten lajien että vieraslajien elinolosuhteiden ymmärtämiseen. Olemassa olevaa tietoa on sovellettava paikallisiin olosuhteisiin ja edelleen suunnitteluun. Merialueella tehtävät tutkimukset ovat tärkeitä, mutta on syytä huomata, että perusteellinenkaan jonain yksittäisenä vuonna tehty tutkimus ei varmuudella paljasta jonkun eliön massaesiintymiseen johtavaa ilmiötä, joka toistuu parhaimmillaan ehkä kerran tai kaksi vuosikymmenessä. Lisäksi veden ottaminen tai mereen johdettava lämpökuorma voi muuttaa paikallisia olosuhteita siten, että lajikirjo muuttuu tehtyihin selviytyksiin verrattuna. Uusien laitosten suunnittelussa onkin syytä pitää mielessä nykyisten haittoja aiheuttavien vieraslajien lisäksi myös uudet haitalliset vieraslajit, joiden saapuminen Itämerelle tässä muuttuvassa maailmassa on vain ajan kysymys.

## VIITTEET

/Bolle et al. (toim.) 2015/ Bolle, H.-J., Menenti, M. & Rasool, S. I., toimittaneet (2015), Second Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin, Springer, ISSN 1862-0248, <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-16006-1>

/BSAG 2022/ Baltic Sea Action Group 2022, Tutki Itämeren elämää, viitattu 8.9.2023, <https://www.bsag.fi/meriluonnon-suojelu/tutki-itameren-elamaa/>

/CC BY 4.0 DEED 2023/ Creative Commons Nimeä 4.0 Kansainvälinen -lisenssi, viitattu 2.10.2023, <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.fi>

/Dagens Nyheter 2019/, Dagens Nyheter 6.7.2019, Inifrån Oskarshamns kärnkraftverk: ”Säkerheten är det som driver oss”, viitattu 6.9.2023, <https://www.dn.se/ekonomi/inifrån-oskarshamns-karnkraftverk-sakerheten-ar-det-som-driver-oss/> (vaatii kirjautumisen)

/Fortum 2021/ Fortum Power and Heat Oy, Loviisan ydinvoimalaitos, Ympäristövaikutusten arviointiselostus, syyskuu 2021

/Forsström et al. 2016/ Forsström, T., Fowler, A. E., Lindqvist, M., & Vesakoski, O. (2016), The introduced dark false mussel, *Mytilopsis leucophaeata* (Conrad, 1831) has spread in the northern Baltic Sea, *BioInvasions Records*, 5(2), 81–84, [https://www.reabic.net/journals/bir/2016/2/BIR\\_2016\\_Forsstrom\\_etal.pdf](https://www.reabic.net/journals/bir/2016/2/BIR_2016_Forsstrom_etal.pdf)

/GBIF 2023/ The Global Biodiversity Information Facility, Datasets, viitattu 19.7.2023, <https://www.gbif.org/dataset/search?q=>

/Global Invasive Species database 2023a/ *Dreissena polymorpha*, viitattu 26.10.2023, <http://www.iucngisd.org/gisd/species.php?sc=50>

/Global Invasive Species database 2023b/ 100 of the World's Worst Invasive Alien Species, viitattu 11.9.2023, [http://www.iucngisd.org/gisd/100\\_worst.php](http://www.iucngisd.org/gisd/100_worst.php)

/HE 122/2015/, Hallituksen esitys eduskunnalle alusten painolastivesien käsittelyä koskevan kansainvälisen yleissopimuksen hyväksymisestä ja laeiksi sen lainsäädännön alaan kuuluvien määräysten voimaansaattamisesta, merenkulun ympäristönsuojelulain sekä alusturvallisuuslain muuttamisesta, <https://www.finlex.fi/fi/esitykset/he/2015/20150122>

/Havs- och vatten-myndigheten 2023/ Sök främmande arter, Viitattu 19.9.2023, <https://www.havochvatten.se/arter-och-livsmiljoer/invasiva-frammande-arter/sok-frammande-arter.html>

/HELCOM 2023/ Helsinki Commission (Baltic Marine Environment Protection Commission) 2023, Non-indigenous species, Viitattu 2.10.2023, <http://stateofthebalticsea.helcom.fi/pressures-and-their-status/non-indigenous-species/>

/Holopainen et al. 2016/ Holopainen, R., Lehtiniemi, M., Meier, H.E.M., Albertsson, J., Gorokhova, E., Kotta, J. & Viitasalo M. 2016, Impacts of changing climate on the non-indigenous invertebrates in the northern Baltic Sea by end of the twenty-first century, *Biol Invasions* 18, 3015–3032, <https://doi.org/10.1007/s10530-016-1197-z>

/Itämeri.fi 2023/ Meri elää vuodenaikojen rytmissä, viitattu 8.9.2023, [https://www.osstersjon.fi/fi-FI/Opi\\_ja\\_tutki/Itameren\\_ominaispiirteet/Elioiden\\_sopeutuminen](https://www.osstersjon.fi/fi-FI/Opi_ja_tutki/Itameren_ominaispiirteet/Elioiden_sopeutuminen)

/Kube et al. 2007/ Kube, S., Postel, L., Honnef, C. & Augustin, C. (2007) Mnemiopsis leidy in the Baltic Sea - Distribution and overwintering between autumn 2006 and spring 2007, Aquatic Invasions, 2, 137–145, 10.3391/ai.2007.2.2.9, [https://www.researchgate.net/publication/252659109\\_Mnemiopsis\\_leidy\\_in\\_the\\_Baltic\\_Sea\\_-\\_Distribution\\_and\\_overwintering\\_between\\_autumn\\_2006\\_and\\_spring\\_2007](https://www.researchgate.net/publication/252659109_Mnemiopsis_leidy_in_the_Baltic_Sea_-_Distribution_and_overwintering_between_autumn_2006_and_spring_2007)

/Lehtiniemi et al. 2016/ Lehtiniemi M., Nummi P. & Leppäkoski E., (2016) Jättiläputkesta citykaniin - Suomen vieraslajit, Docendo 2016

/Lehtiniemi 2018/ Lehtiniemi M., Suomen ympäristökeskus, Merikeskus, Vieraslajit valtaavat Saaristomerta (esitys), <https://www.kansalaishavainnot.fi/download/number/%7BBDDCEED59-4551-40EF-AA34-B3B1BEB3001C%7D/135723>

/MMM 2012/ Maa- ja metsätalousministeriö, Kansallinen vieraslajistrategia 2012, viitattu 2.2.2023, [https://vieras-cms.laji.fi/wp-content/uploads/2020/08/Vieraslajistrategia\\_web\\_pieni.pdf](https://vieras-cms.laji.fi/wp-content/uploads/2020/08/Vieraslajistrategia_web_pieni.pdf)

/MMM 2021/ Maa- ja metsätalousministeriö, Hallintasuunnitelma haitallisten vieraslajien torjumiseksi 13.3.2018, 23.5.2019 ja 27.10.2020, Hyväksytyjen hallintasuunnitelmien täydennys, [https://mmm.fi/documents/1410837/1894125/Yhdistetty+Hallintasuunnitelma\\_Erillisjulkaisu.pdf/109169fd-8bec-1a68-d726-b12c7ee061d0/Yhdistetty+Hallintasuunnitelma\\_Erillisjulkaisu.pdf?t=1629716002810](https://mmm.fi/documents/1410837/1894125/Yhdistetty+Hallintasuunnitelma_Erillisjulkaisu.pdf/109169fd-8bec-1a68-d726-b12c7ee061d0/Yhdistetty+Hallintasuunnitelma_Erillisjulkaisu.pdf?t=1629716002810)

/MMM 2023/ Maa- ja metsätalousministeriö, Vieraslajit, viitattu 6.9.2023, <https://mmm.fi/vieraslajit>

/Myrberg et al. 2006/ Myrberg, K., Kuosa, H. & Leppäranta, M. (2006), Itämeren fyysikka, tila ja tulevaisuus, Yliopistopaino, ISSN 1795-8598. <https://helda.helsinki.fi/items/b4b34b2b-b1f9-4835-ba26-d8c1426974b2>

/Möller & Kotta 2017/ Möller, T., & Kotta, J. (2017). Rangia cuneata (GB Sowerby I, 1831) continues its invasion in the Baltic Sea: the first record in Pärnu Bay, Estonia. BioInvasions Record, 6(2), 167–172 [https://www.reabic.net/journals/bir/2017/2/BIR\\_2017\\_Moller\\_Kotta.pdf](https://www.reabic.net/journals/bir/2017/2/BIR_2017_Moller_Kotta.pdf)

/Paavola et al. 2005/ Paavola, M., Olenin, S. & Leppäkoski, E. (2005) Are invasive species most successful in habitats of low native species richness across European brackish water seas?, Estuarine, Coastal and Shelf Science, 64(4), 738–750, ISSN 0272-7714, <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2005.03.021>

/Paulomäki et al. 2023/ Paulomäki, H., Boström, C., Häyrynen, S., Jokimäki, J., Kallio, K. P., Kulmala, L., Laine, I., Oksanen, E., Silfverberg, O., Sinkkonen, A., Sääksjärvi, I. & Kotiaho, J. S., Haitalliset vieraslajit ja niiden torjuminen Suomessa - Hallitustenvälisen luontopaneelin (IPBES) raportin mukautus Suomen olosuhteisiin. Suomen Luontopaneelin julkaisuja 2/2023, <https://luontopaneeli.fi/wp-content/uploads/2023/09/luontopaneelin-julkaisuja-2-2023-haitalliset-vieraslajit.pdf>

/Pellikka 2023/, Pellikka, K., Länsi-Uudenmaan vesi ja ympäristö ry (LUVY), Katsaus Inkoon kunnan vesiin, [https://www.luvy.fi/wp-content/uploads/2019/10/Inkoon\\_vedet\\_191024\\_KatjaPellikka.pdf](https://www.luvy.fi/wp-content/uploads/2019/10/Inkoon_vedet_191024_KatjaPellikka.pdf)

/Raita 2006/ Raita, A., Tilannekatsaus fouling-eliöstöstä Suomen lämpövoimalaitosten jäähdytysvesijärjestelmissä, ENVI-285, ÅF-Enprima Oy, 2006



SVT 2023, Sveriges Television, Nyheter, Maneter invaderade kärnkraftsreaktor, viitattu 25.9.2023, <https://www.svt.se/nyheter/lokalt/smaland/maneter-invaderade-karnkraftsreaktor>

/TTL 2023/ Työterveyslaitos, Natriumhypokloriitti, viitattu 25.9.2023, <https://ova.ttl.fi/natriumhypokloriitti>

/Valtioneuvosto 2022/ Valtioneuvosto, Maa- ja metsätalousministeriön tiedote 20.5.2022, viitattu 5.9.2023, <https://valtioneuvosto.fi/-/1410837/eu-n-vieraslajiluetteloon-lisattiin-uusia-lajeja>

/Vesimuodostumat-tietojärjestelmä 2023/ Vesimuodostumat-tietojärjestelmä, Pintavedet, 3. Suunnittelukausi, viitattu 12.9.2023 <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoieYzdkY-WRjZTQ0ODE3Yy00NjhLTK0YWEtY2NhMGI2ZmFhYjM3IiwidCI6IjY2MTA-zOGQ5LTEyMTEtNGE4NS1hZGI5LUWU3YjQ0OGVmNGUxMiIsImMiOiJh9> (käyttö vaatii kirjautumisen)

/Vieraslajit.fi, 2023a/ Vieraslajit.fi, Usein kysyttyä, viitattu 5.9.2023, <https://vieraslajit.fi/info/i-92>

/Vieraslajit.fi 2023b/ Vieraslajit.fi, Lajit, viitattu 8.9.2023, <https://vieraslajit.fi/lajit?invasiveSpeciesMainGroups=HBE.MG4>

/Vieraslajit.fi, 2023c/ Vieraslajit.fi, Kaspijanpolyoppi, viitattu 6.6.2023, <https://vieraslajit.fi/lajit/MX.52871>

/Vieraslajit.fi, 2023d/ Vieraslajit.fi, Merirokko, viitattu 7.6.2023, <https://vieraslajit.fi/lajit/MX.53030>

/Vieraslajit.fi, 2023e/ Vieraslajit.fi, Valesinisimpukka, viitattu 7.6.2023, <https://vieraslajit.fi/lajit/MX.52876>

/Vieraslajit.fi, 2023f/ Vieraslajit.fi, Rangiasimpukka, viitattu 6.6.2023, <https://vieraslajit.fi/lajit/MX.5079887>

/Vieraslajit.fi, 2023g/ Vieraslajit.fi, Vaeltajasimpukka, viitattu 7.6.2023, <https://vieraslajit.fi/lajit/MX.52879>

/Vieraslajit.fi, 2023h/ Vieraslajit.fi, Amerikankampamaneetti, viitattu 7.6.2023, <https://vieraslajit.fi/lajit/MX.52879>

/VISS 2023/ Vatteninformationssystem Sverige, Simpevarpsområdet, viitattu 6.10.2023, <https://viss.lansstyrelsen.se/Waters.aspx?waterMSCD=WA58194721>