

Liite 9

Afry Finland Oy

Lämpöpäästön mallinnus Inkoon merialueella

Lämpöpäästön mallinnus Inkoon merialueella

Blastr Green Steel jäähdytysvesivaihtoehtojen arviointi
virtausmallin avulla

14.11.2024, v4

Asiakas:

Projektinumero:

Sisällysluettelo

1	Johdanto	4
1.1	Tavoitteet.....	4
2	Laskentamalli	4
2.1	Mallihila	5
3	Lähtötiedot	6
3.1	Säätiedot	6
3.2	Jokivirtaamat	6
3.3	Laskentavuosien valinta	6
3.4	Vedenkorkeus	6
4	Virtauslaskenta.....	7
4.1	Malliasetukset	7
4.2	Nykytilan laskentatulosten vertailu mittauksiin	7
5	Tulokset	11
5.1	Laskentaskenaariot ja kuormitukset.....	11
5.2	Lämmön nousun riippuvuus sääolosuhteista	13
5.3	Lämmön nousu eri skenaariolla	17
5.4	Lämpötilan aikasarjat.....	24
5.5	Suolapitoisuuden muutos	28
5.6	Jäätilanne eri skenaarioilla.....	32
5.7	Ottoveden reitin ruoppaus	35
6	Tulosten tarkastelu	37
7	Lähdeluettelo	39

AFRY Finland Oy,
Ympäristötutkimus,
Elektroniikkatie 13
90590 OULU

Copyright © AFRY Finland Oy

Kaikki oikeudet pidätetään Tätä asiakirjaa tai osaa siitä ei saa kopioida tai jäljentää missään muodossa ilman AFRY Finland Oy:n antamaa kirjallista lupaa.

1 Johdanto

1.1 Tavoitteet

Tämän työn tavoitteena oli selvittää Inkoon Norrfjärdenin alueelle suunnitellun lämpöpäästön vaikutusta alueen meriveden lämpötilaan. Lämpökuormituksen sekoittuminen ja sen aiheuttama lämpötilan nousu sekä mahdolliset suolapitoisuuden muutokset arvioitiin konstruoimalla alueelle virtaus- ja vedenlaatumalli, jolla kuormituksen vaikutus laskettiin. Työn sisältö oli seuraava:

- 1) Virtausmallin laatiminen kohdealueelle.
- 2) Nykytilan (tilanne ilman kuormitusta) laskenta.
- 3) Lämpöpäästön vaikutusten laskenta eri skenaariovaihtoehdoilla.

2 Laskentamalli

Lämpöpäästön purkuvesi on nimensä mukaisesti purkualueen vettä lämpimämpää ja siten myös kevyempää. Tästä johtuen lämmin vesi pysyy tyypillisesti pintakerroksessa, missä se jäähtyy sekoittumalla purkualueen veteen ja jäähtymällä ilmaan lämmön kulkeutumisen ja haihtumisen kautta. Alueilla, joilla vesi pääsee vapaasti sekoittumaan suurempaan vesimassaan, merkittävin purkuvettä viilentävä prosessi on purkuveden sekoittuminen purkualueen vesiin. Lämpöpäästön leviämiseen ja jäähtymiseen voi vaikuttaa lämpötilan lisäksi myös purkuvesien suolapitoisuusero ympäröivään vesimassa verrattuna. Suolapitoisuudessa voi olla merialueella eroja esim. tilanteessa, jossa jäähdytysvesi otetaan syvemmästä vesikerroksesta ja merialueen pintakerroksessa on vähemmän suolaista vettä jokivesien kerrostumisen seurauksena.

Tässä raportissa on tarkasteltu lämpökuormituksen sekoittumista meriveteen Inkoon Norrfjärdenin merialueella 3d-virtausmallia käyttäen. Merialueen mallilaskennat suoritettiin YVA3d-laskentamallilla, joka perustuu hydrostaattisten 3d-virtausyhtälöiden ratkaisemiseen differenssimenetelmällä. Mallihila koostuu vaakasuunnassa suorakulmaisista ruuduista, syvyysuunnassa malli käyttää vakiosyvyystasoihin perustuvaa z-hilaa. Vaakasuunnassa on käytetty lisäksi asteittain tarkentuvaa sisäkkäistä mallihilaa, jolloin laajemman merialueen vaikutukset kohdealueelle saadaan laskettu hyvällä tarkkuudella. Laskentamalli soveltuu hyvin Suomen järvi- ja rannikkoalueiden kuvaamiseen, ja sitä on käytetty yli sataan laskentasovellukseen Suomessa ja ulkomailla (Koponen et. al 2004).

Mallilaskennassa veteen vaikuttavista voimista huomioidaan tuulen aiheuttama sekoittuminen, ilmanpaineen vaikutus, vedenkorkeusvaihtelu mallin reunalla, puro- ja jokivirtaamat sekä jääpeitteen vaikutus. Lisäksi malli laskee veden lämpötilan ja suolaisuuden, sekä samalla myös vaaka- ja syvyysuuntaiset veden lämpötilan ja suolaisuuden aiheuttamat tiheyserot, jotka vaikuttavat mm. sekoittuneen purkuveden kulkeutumiseen ja syvyysuuntaiseen sekoittumiseen. Virtaukset lasketaan dynaamisesti mittauksiin perustuvia olosuhdetietoja käyttäen, ts. säähistorian perusteella valitaan edustavan ajanjakso, jota simuloidaan mallilaskennan avulla käyttämällä alueelta saatavissa olevia sää tietoja ja reuna-arvoja (esim. jokivirtaamat). Laskennan lopputuloksena saadaan valitun simulointijakson ajalta jokaiselle mallihilan hilaruudulle

virtaus, lämpötila ja suolaisuusarvo valitulla aikatarkkuudella, esim. tunnin välein. Tarkempi kuvaus mallin laskentaperiaatteista löytyy mallin käyttöohjeesta (Koponen et al. 2004).

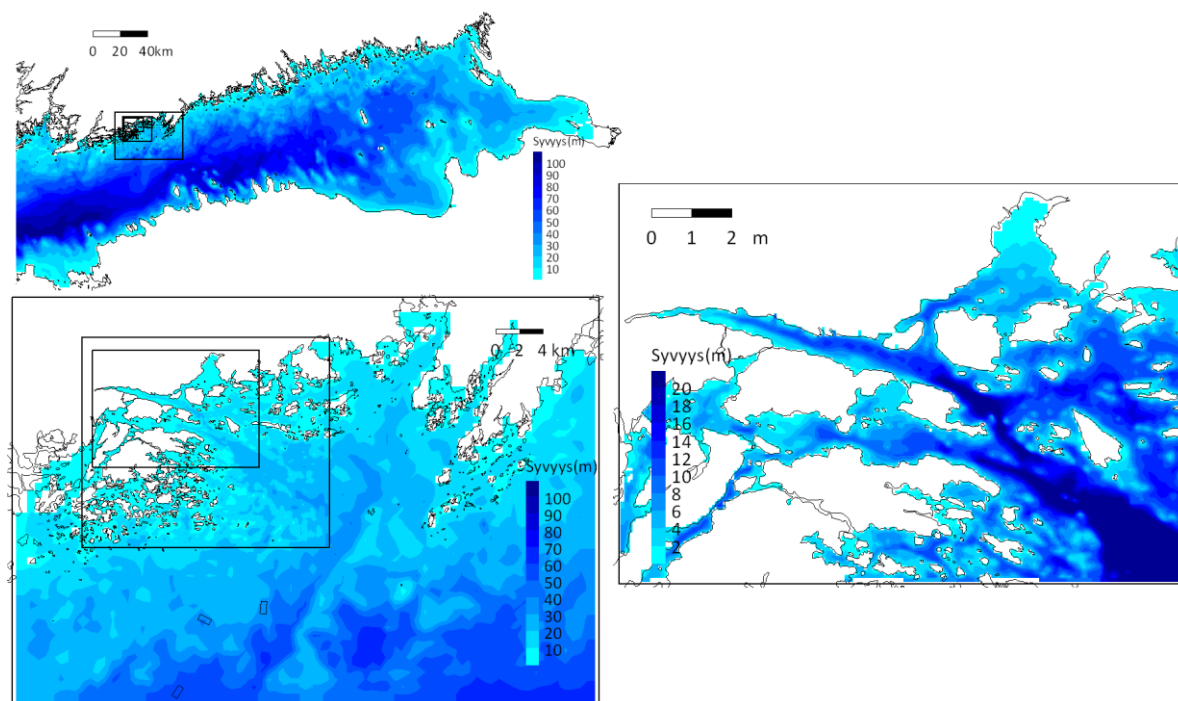
2.1 Mallihila

Mallilaskentaa varten alueelle laadittiin mallihila saatavilla olleita rantaviiva- ja syvyystietoja käyttäen. Rantaviivana käytettiin Suomen puolella MML:n 1:100 000 kartta-aineistoa ja maastotietokannan rantaviivaa (Maanmittauslaitos 2024). Muu rantaviiva on EEA-coastline aineistosta (EEA 2017). Syvyystiedot ovat Suomen puolelta Liikenneviraston ylläpitämästä rannikkoalueiden syvyysaineistosta (Liikennevirasto 2024) ja muilta alueilta BSBD-tietokannasta (BSBD 2013). Inkoon sataman alueen syvyystietoja tarkennettiin satama-alueella tehdyn syvyysluotauksen mukaisesti.

Laskennassa käytetty mallihila koostuu neljästä sisäkkäisestä hilatasosta. Uloimman hilatason resoluutio on 1890 m ja tarkimman 70 m. Hilan tarkennuksissa ulomman hilatason hilakoppi jakautuu yhdeksäksi (3 x 3) tarkemman hilatason kopiksi. Hilatasot on esitetty kuvassa 1 ja tasojen keskeiset mittatiedot taulukossa 1. Syvin kohta uloimmassa hilatasossa on 120 m. Mallin kerrospaksuus on 0–15 m syvyysvälillä 1 m. Syvemmillä kerrospaksuus kasvaa tasaisesti siten, että yli 80 m tasolla se on 15 m. Syvyystasoja mallissa on yhteensä 30 kpl.

Taulukko 1. Mallin hilatasojen tiedot.

Hilataso	x-koko (ruutua)	y-koko (ruutua)	hilaruudun koko (m)	x-koko (km)	y-koko (km)
1	230	108	1890	434.7	204.1
2	78	54	630	49.1	34
3	99	84	210	20.8	17.6
4	201	141	70	14.1	9.9



Kuva 1. Mallihila, tarkimman hilantason alue kuvassa oikealla.

3 Lähtötiedot

3.1 Säätiiedot

Mallin säätietoina käytettiin ECMW:n ERA5 reanalysis-dataa (Berrisford et al. 2011), joka on Euroopan sääkeskuksen ylläpitämä säähistoria-aineisto. Aineisto perustuu mittauksen ja ECMWF:n säämallin ns. nykyhetken ennusteen ja mittaustietojen yhdistämiseen. Tässä käytetty vaakasuuntainen säätietojen resoluutio oli 0,75 astetta.

3.2 Jokivirtaamat

Kohdealueella ei ole suuria jokia. Lähivaluma-alueiden pienten jokien virtaamat poimittiin SYKEN Vemala-järjestelmästä (SYKE 2024). Mallissa olivat mukana Inkoonjoki, Ingraskilanjoki, ja Siuntionjoki, sekä Marsjöstä ja Bruksträsketistä Norrfjärdeniin laskevat ojat.

3.3 Laskentavuosien valinta

Yleisesti jätevesi- ja lämpöpäästöjen laimenemiseen vaikuttaa rannikkoalueilla tuulen ja vedenkorkeusvaihtelun aiheuttamien virtausten aikaansaamaa vedenvaihtoa ja sekoittumista. Merialueen lahtien vedenvaihtoa vaihtelee olosuhteiden mukaisesti, mutta tiedoista ei aina voi suoraan arvioida millaiset olosuhteet heikentävät tai parantavat jonkin tietyn alueen vedenvaihtoa. Tässä mallilaskentoja tehtiin kolmelle kesäajaksolle, jolloin alueen vedenvaihdunnasta eri olosuhteissa saatiin varsin kattava kuva. Laskentajaksona käytettiin vuosien 2018, 2019 ja 2020 jaksoa kesäkuusta seuraavan vuoden huhtikuun alkuun.

3.4 Vedenkorkeus

Suomenlahdella vedenkorkeuden vaihtelu aiheutuu sääolosuhteista ja seisovasta aaltoliikkeestä johtuvasta vesipinnan heilahtelusta (seiche). Lahden suulla vedenkorkeus määräytyy Itämeren pääaltaan olosuhteiden perusteella. Suomenlahden pohjukassa vedenkorkeuteen vaikuttaa suualueen vedenkorkeuden lisäksi alueellinen säätilanne. Vedenkorkeutta mitataan Suomenlahdella useammassa paikassa, mittaukset ovat haettavissa esim. Ilmatieteenlaitoksen havaintojen lataus - sivulta (Ilmatieteenlaitos, 2024). Yleisellä tasolla Suomenlahden perukassa vedenkorkeusvaihtelu on suurempi kuin lahden suulla: Hangossa vedenkorkeuden vaihteluväli on noin -79 cm ... + 92 cm, Haminassa vaihteluväli on taas - 115 cm ... +150 cm (vuosien 2010–2017 tiedot). Vedenkorkeus on keskimäärin suurimmillaan joulukuussa, ja pienimmillään keuhattalvella huhti- ja toukokuussa. Vedenkorkeuden vaihtelu kuukausittaisen keskihajonnan perustella on puolestaan suurimmillaan joulu-tammikuussa ja pienimmillään kesä-elokuussa.

4 Virtauslaskenta

4.1 Malliasetukset

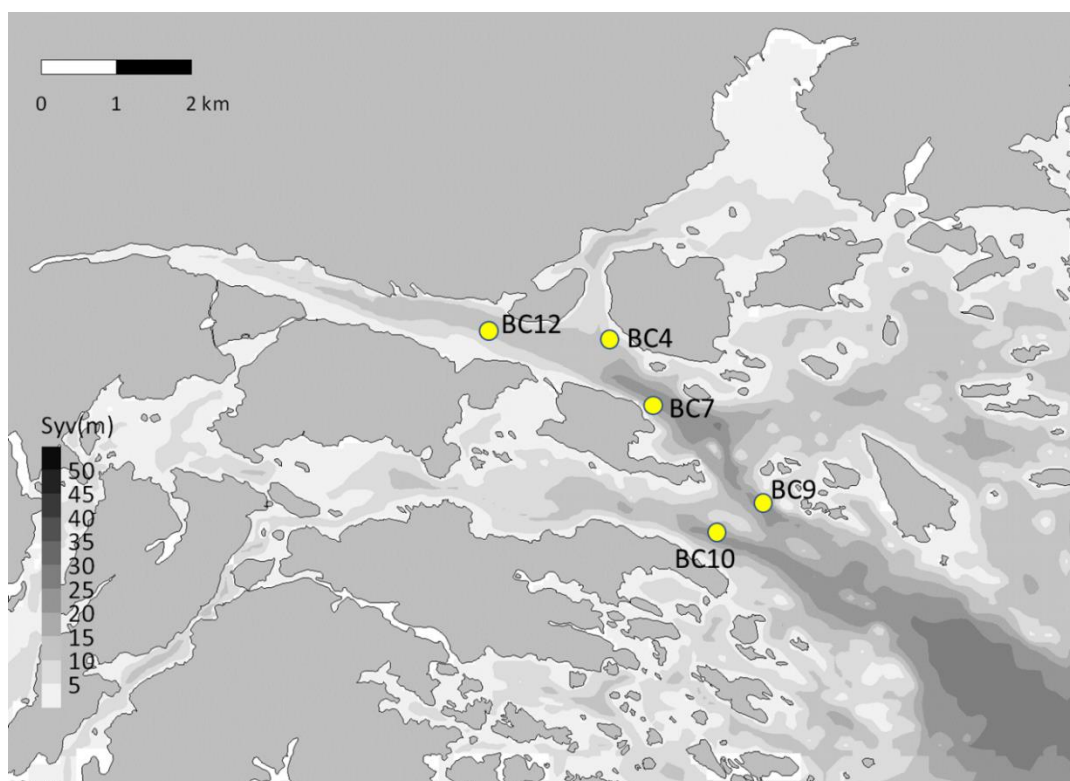
Virtauslaskennan lähtötietoina käytettiin luvussa 3 esitettyjä sää-, jokivirtaama- ja vedenkorkeustietoja. Mallin avoimella reunalla reunaehtona käytettiin ajan suhteen muuttuvaa vedenkorkeutta, syvyyden mukaan vaihtelevaa mutta ajan suhteen vakiota suolapitoisuutta, sekä syvyyden ja ajan suhteen vaihtelevaa lämpötilaa. Vedenkorkeus asetettiin Hangon vedenkorkeusmittausten ja koko Itämeren kattavan mallin tietoja yhdistämällä, lämpötila puolestaan Itämerimallin tiedoista.

Virtauslaskenta suoritettiin dynaamisena laskenta, jossa valittujen aikajaksojen virtaamat laskettiin käyttämällä toteutunutta säätilannetta ja em. tavalla määriteltyjä reunaehtoja.

Lämpöpäästön leviämistä arvioitiin lisäämällä malliin suunniteltu lämpöpäästö ja vertaamalla näin laskettua tilannetta simuloituun tilanteeseen, jossa kuormitusta ei ollut mukana. Kuormituksen osalta laskennassa huomioitiin purkuveden tiheyden vaikuttavat lämpötila- ja suolaisuusarvot.

4.2 Nykytilan laskentatulosten vertailu mittauksiin

Mallin laskennan tarkistamiseksi laskettuja vedenkorkeus, lämpötila- ja suolaisuusarvoja verrattiin alueen seurantapisteissä mitattuihin arvoihin. Vertailussa käytettyjen mittauspisteiden paikat on esitetty kuvassa 2. Alueelta ei ollut saatavilla virtausmittauksia.



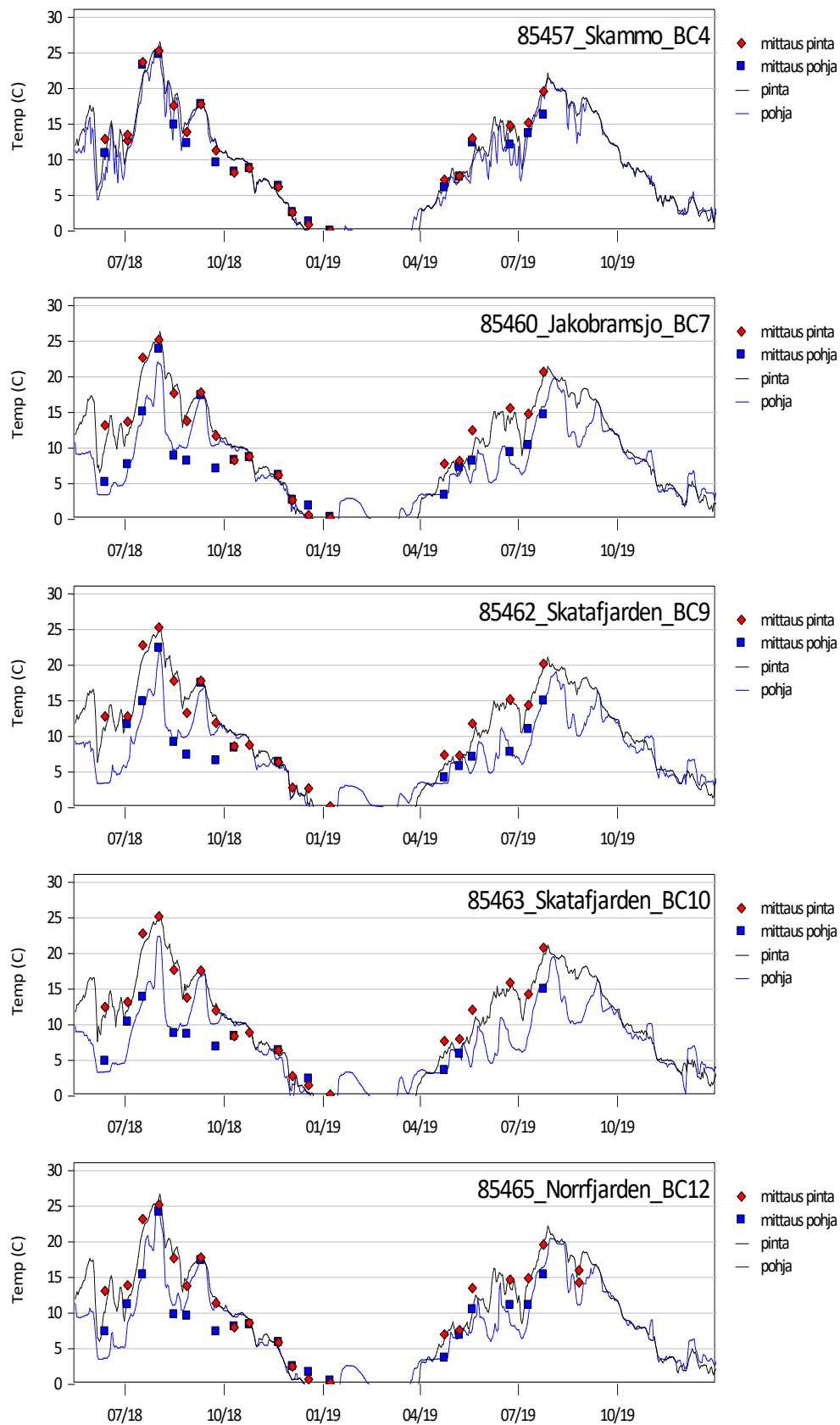
Kuva 2. Mittausvertailussa käytettyjen seurantapisteiden sijainti kohdealueella.

Kuvassa 3 on esitetty valituista seurantapistteistä lasketut ja mitatut meriveden lämpötila-arvot vuosien 2018 ja 2019 laskentajaksoilta. Näiltä vuosilta oli saatavilla poikkeuksellisen runsaasti mittauksia (BC-pisteet). Tiheän näytteenoton jakso oli alkuvuodesta 2018 vuoden 2019 heinäkuun loppuun.

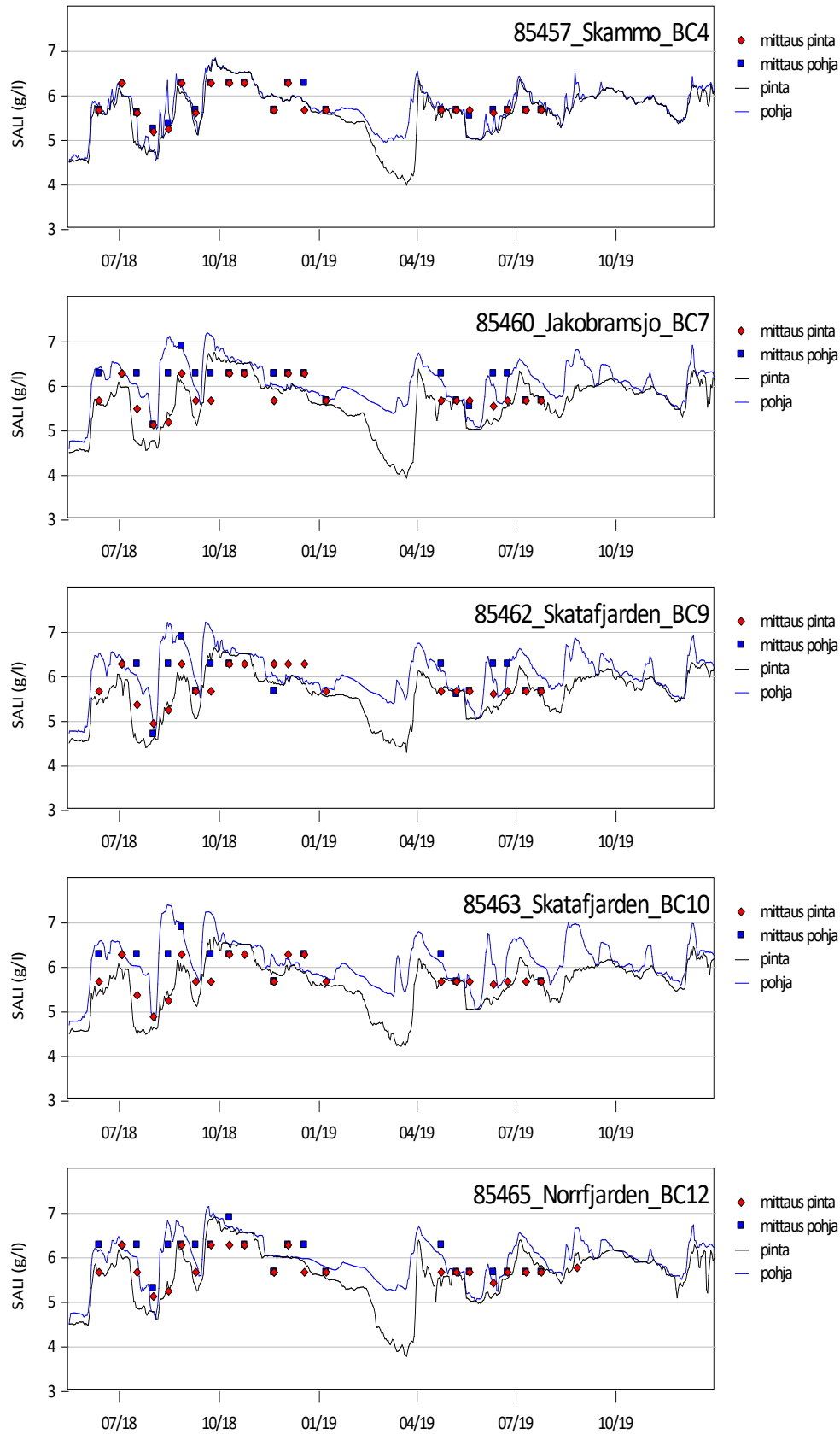
Pintalämpötila toistuu mallissa hyvin mittauksia vastaavasti. Vuoden 2018 kesällä pohjakerroksen lämpötila toistuu alkukesästä hyvin, mutta elokuusta alkaen pohjakerroksen vesi on mittauksissa jonkin verran mallia kylmempää, pois lukien syyskuun alun mittaus, jossa pohja ja pinta ovat saman lämpöisiä. Syyskuun lopun mittauksessa pohjakerroksen vesi on poikkeuksellisesti pintaa kylmempää (ja myös suolaisempaa). Kyse lienee osittaisesta pohjakerroksessa näkyvästä kumpuamisesta, mitä malli ei toista aivan todellista tilannetta vastaavasti. Vuoden 2019 laskentajaksolla mallin laskemat lämpötila sekä pinnan ja pohja lämpötilaerot vastaavat mittauksia hyvin.

Kuvassa 4 on esitetty lasketut ja mitatut meriveden suolapitoisuudet vuosien 2018 ja 2019 laskentajaksoilta vastaavista pisteistä kuin lämpötilat. Mitattu suolapitoisuus on laskettu veden sähkönjohtavuusarvojen perusteella. Johtavuusmittaukset oli osittain tallennettu tietokantaan vain 100 mS/m tarkkuudella, mikä näkyy kuvissa perättäisinä samoina mittausarvoina.

Suolapitoisuudet eivät mallissa toistu aivan vastaavalla tarkkuudella kuin lämpötilat. Pisteessä BC4 vuoden 2018 laskennassa suolapitoisuus ja pinnan ja pohjan suolapitoisuusero vastaa mittauksia hyvin, mutta muissa pisteissä laskettu suolapitoisuuden taso sekä pinnan ja pohjan ero eivät aina vastaa mitattuja arvoja. Vuonna 2018 mitatuissa suolapitoisuuksissa on paljonkin vaihtelua, kun taas 2019 kesällä suolaisuus vaihtelee selvästi vuotta 2018 vähemmän.



Kuva 3. Lasketut ja mitatut lämpötilat valituissa seurantapisteissä, 06/2018-12/2019.



Kuva 4. Lasketut ja mitatut suolapitoisuudet valituissa seurantapisteissä, 06/2018-12/2019.

5 Tulokset

5.1 Laskentaskenaariot ja kuormitukset

Kuormituslaskentaskenaarioita laskettiin neljä ja näiden lisäksi nollaskenaario, jossa kuormituksia ei ole. Kaikille skenaariolle oli käytössä sama vedenotto ja purkupaikka. Pisteiden paikat on esitetty kuvassa 5. Kaikki skenaariot laskettiin vuosille 2018, 2019 ja 2020.

Skenaarioiden nimet ja laskennassa käytetyt suola- ja lämpökuormitukset on esitetty taulukossa 2. Kuormitusmäärät perustuvat 21.2.2024 päivättyihin laitoksen suunnittelutietoihin.

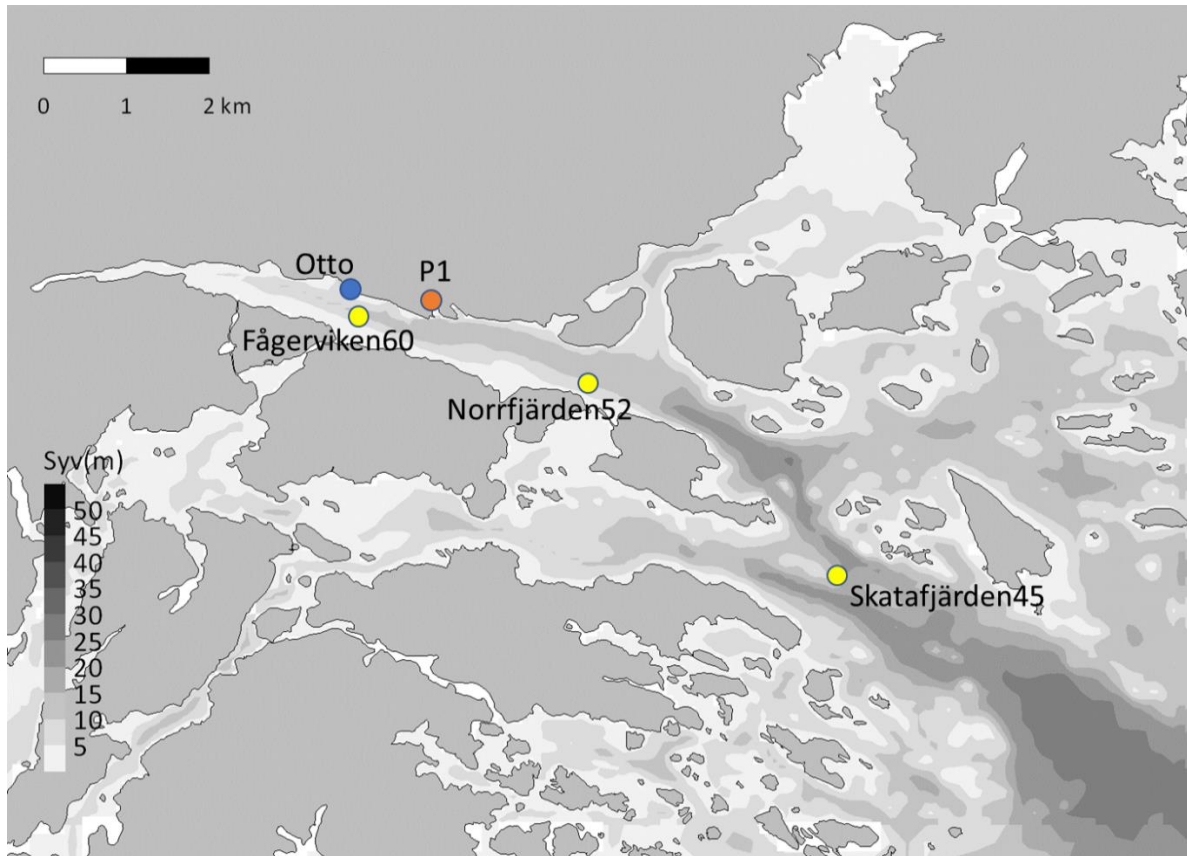
Suolakuormitus johtuu siitä, että merivedestä valmistetaan mm. ilmajäähdytykseen tarvittavaa makeaa vettä poistamalla siitä suola. Lämpökuormitus on puolestaan peräisin tehtaan eri prosesseista. Ottovedestä poistettu merisuola palautetaan jäähdytysvesien mukana mereen, ja se vastaa koostumukseltaan siten täysin merisuolaa, ts. on pääosin natriumkloridia.

Purkupiste P1 sijaitsee aikaisemman Fortumin lämpövoimalaitoksen purkupaikalle Inkoon syväsataman alueelle.

Skenaariolaskentojen tuloksena on esitetty kuormituksen aiheuttaman lämmön nousun kuukausikeskiarvot karttapohjalla ja lämpötilan aikasarjat laskentajaksojen ajalta valituista tulostuspisteistä. Suolapitoisuuksien muutoksista on esitetty suolapitoisuuden muutos nollaskenaarioon verrattuna erikseen valituilta kuukausilta. Lämmön- ja suolapitoisuuden nousut karttapohjalle on laskettu vähentämällä kuormituksen kanssa lasketusta skenaariosta skenaarion V0 lämpötila tai suolapitoisuus. Lasketut lämpötilan muutokset on esitetty 0–1 m pintakerroksesta, 2–3 m syvyydeltä. Suolapitoisuuden muutokset on esitetty pintakerroksesta ja 7–8 m kerroksesta. Aikasarjakuviissa on esitetty suoraan lasketut lämpötilat tai suolapitoisuudet, sekä lisäksi vertailukohteeksi vastaavat arvot nollaskenaariolla.

Taulukko 2. Laskentaskenaariot, skenaarioiden virtaamat, lämpökuormitukset, lämmön nousut ja suolakuormitukset.

Malli-skenaario	YVA-skenaario	T/dT °C	Q _{in} m ³ /s	Q _{out} m ³ /s	Lämpökuorma MW	Suolakuorma kg/s
V0	V0	-	0	0	0	-
V1	V1h	25	0.63	0.12	-	3.80
V2	V1g	+8	3.61	3.26	102	3.38
V3	V1b	+8	6.85	6.54	213	2.92
V4	V1a	+8	12.59	12.40	410	2.12



Kuva 5. Laskentaskenaarioissa käytettyjen kuormitus- ja seurantapisteiden sijainti kohdealueella.

5.2 Lämmönnousun riippuvuus sääolosuhteista

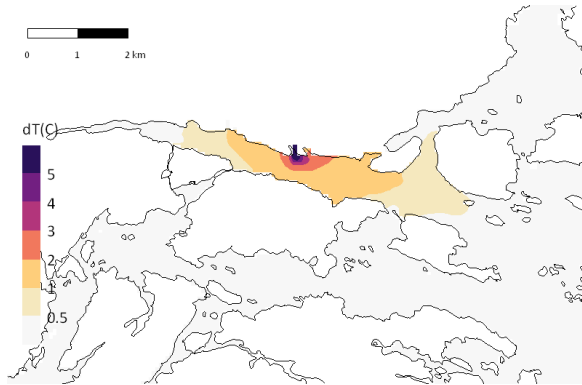
Lämpöpäästön vaikutus vaihtelee sääolosuhteiden mukaan. Kuukausikeskiarvoissa lämmönnousualueet ovat 30–31 vuorokauden mittaisen keskiarvoitusjaksosta johtuen tasoittuneet, mutta eri kuukausien välillä on tästä huolimatta varsin paljon vaihtelua. Kuukausittaisen vaihtelun suuruutta arvioitiin laskemalla eri vaihtoehtojen aiheuttaman lämmönnousun alueen suuruus, ts. sen alueen koko, joka lämpöpäästön aiheuttamana lämpenee yli 1,2,3,4 tai 5 astetta. Tulokset on esitetty taulukossa 3 suurimmalle lämpöpäästöskenaariolle (v4). Kuvissa 6–8 on esitetty vastaavat alueet karttapohjalla.

Taulukon perustella yli asteen lämpenevän alueen koko vaihtelee eri kuukausina 1,86–4,03 km² välillä keskiarvon ollessa 3,10 km². Suurin yli yhden asteen lämmennyt alue oli kesäkuussa 2020, joskin syyskuussa 2019 lämmenneen alueen koko oli lähes yhtä suuri. Pienin lämmennyt alue oli kesäkuussa 2019 ja lähes vastaava tilanne oli myös kesäkuussa 2018. Keskimääräistä tilannetta lähinnä olivat elo- ja syyskuu 2020.

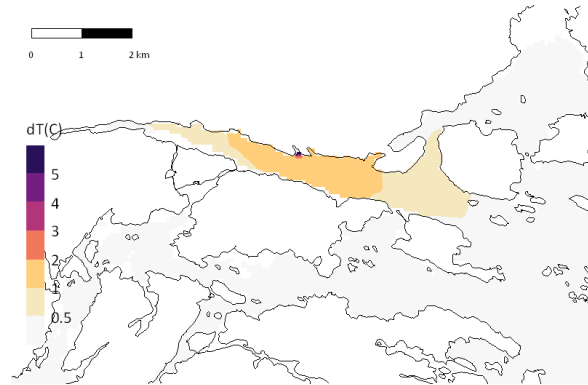
Taulukko 3. Lämmönnousun raja-arvon ylittävät pinta-alat

Vuosi& Skenaario	kk	>1 °C	>2 °C	>3 °C	>4 °C	>5 °C
2018 v4	06	2.39	0.35	0.11	0.06	0.04 km ²
2018 v4	07	3.30	2.11	1.21	0.35	0.13 km ²
2018 v4	08	2.69	0.56	0.16	0.09	0.06 km ²
2018 v4	09	3.47	1.13	0.21	0.10	0.06 km ²
2019 v4	06	1.86	0.29	0.10	0.06	0.04 km ²
2019 v4	07	3.47	1.62	0.37	0.12	0.07 km ²
2019 v4	08	3.81	0.79	0.21	0.10	0.06 km ²
2019 v4	09	3.66	1.00	0.23	0.10	0.08 km ²
2020 v4	06	4.03	2.37	1.07	0.27	0.10 km ²
2020 v4	07	2.29	0.44	0.14	0.08	0.06 km ²
2020 v4	08	3.18	0.67	0.17	0.08	0.06 km ²
2020 v4	09	3.05	0.76	0.20	0.11	0.07 km ²
	k.a.	3.10	1.01	0.35	0.13	0.07 km ²
	min	1.86	0.29	0.10	0.06	0.04 km ²
	max	4.03	2.37	1.21	0.35	0.13 km ²

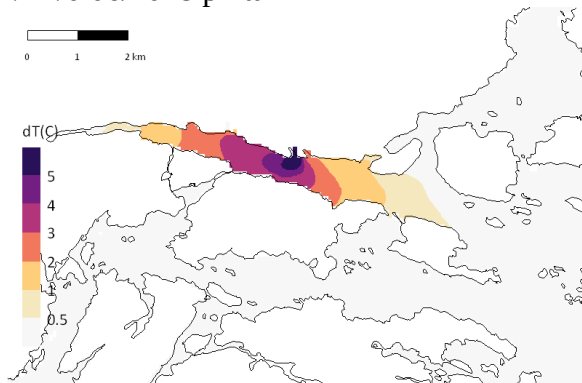
Taulukon 3 perusteella edustavia kuukausia koko laskentajaksolta ovat 06/2019, jossa lämmennyt alue oli pienin, 06/2020, jossa lämmennyt alue oli suurin ja 08/2020, jossa lämmennyt alue oli lähellä keskiarvoa.



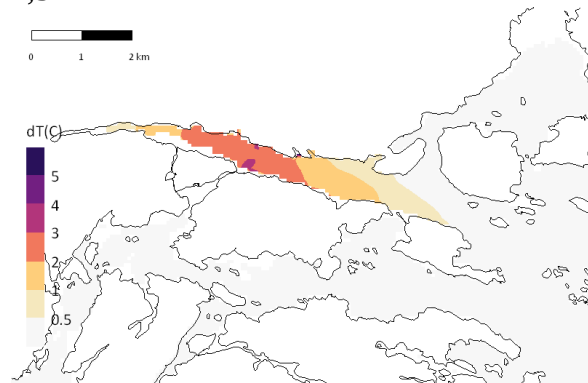
v4-v0 06/2018 pinta



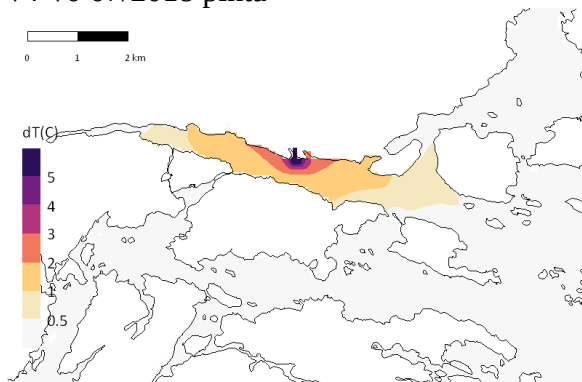
2,5m



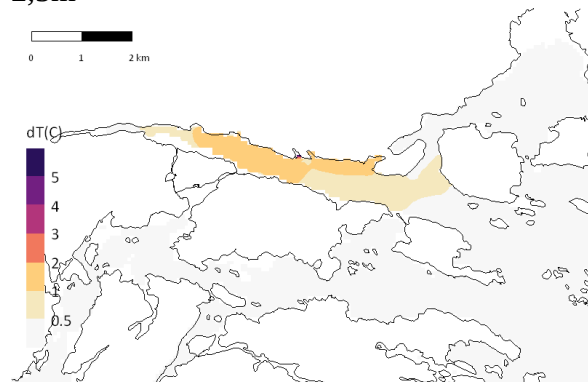
v4-v0 07/2018 pinta



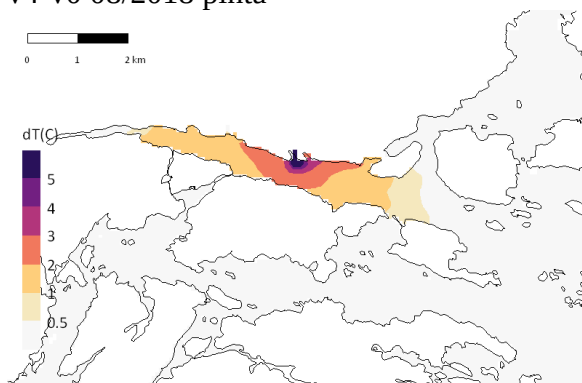
2,5m



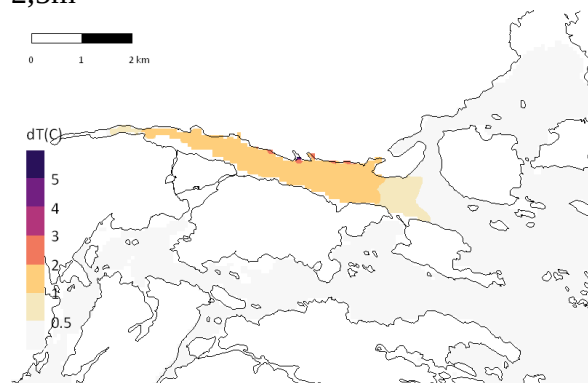
v4-v0 08/2018 pinta



2,5m

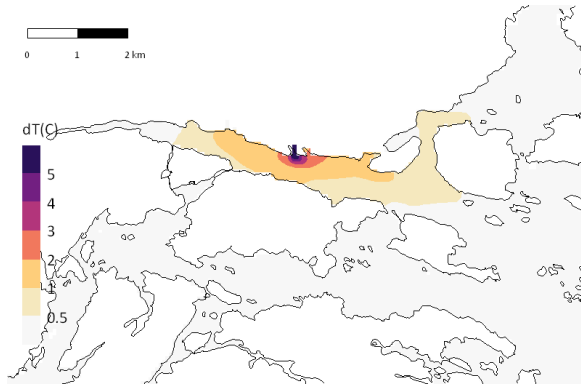


v4-v0 09/2018 pinta

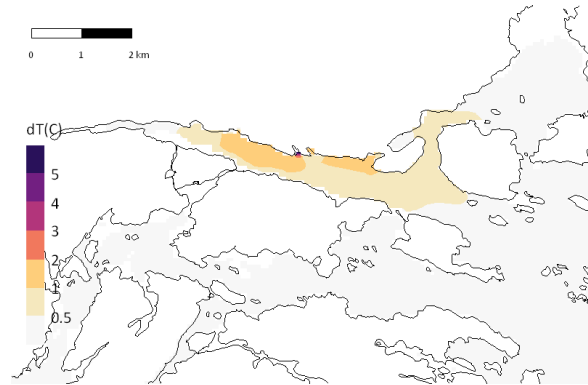


2,5m

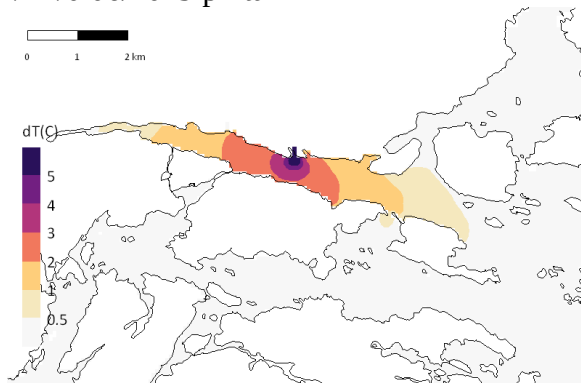
Kuva 6. Lämmön nousun kuukausikeskiarvo skenaariolla V4, vuosi 2018 kesä- syyskuu.



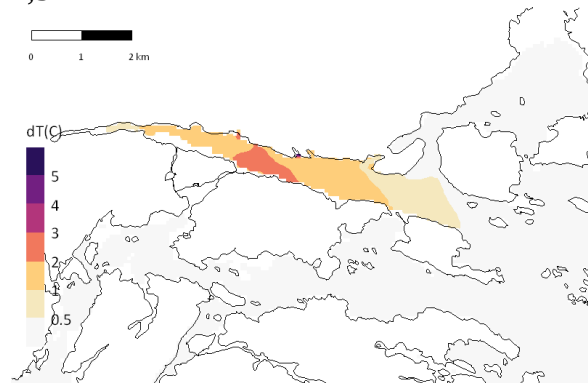
v4-v0 06/2019 pinta



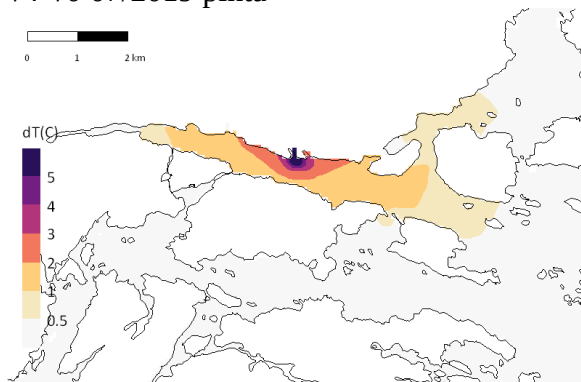
2,5m



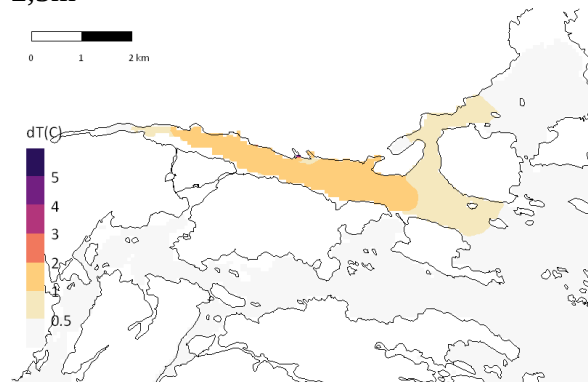
v4-v0 07/2019 pinta



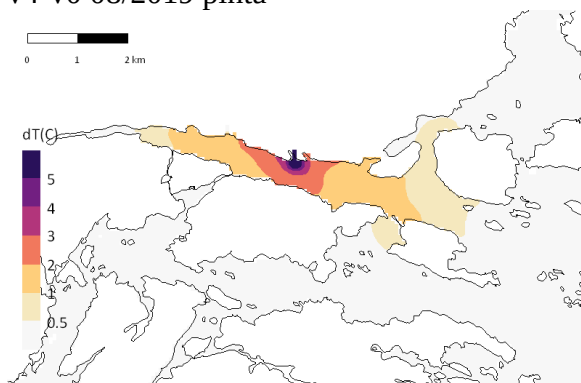
2,5m



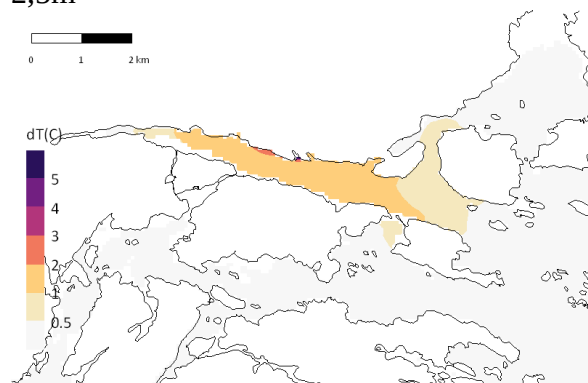
v4-v0 08/2019 pinta



2,5m

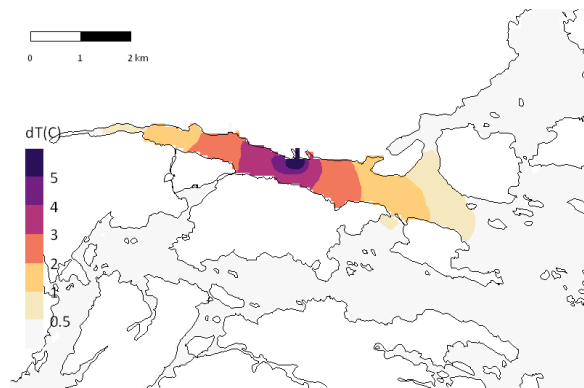


v4-v0 09/2019 pinta

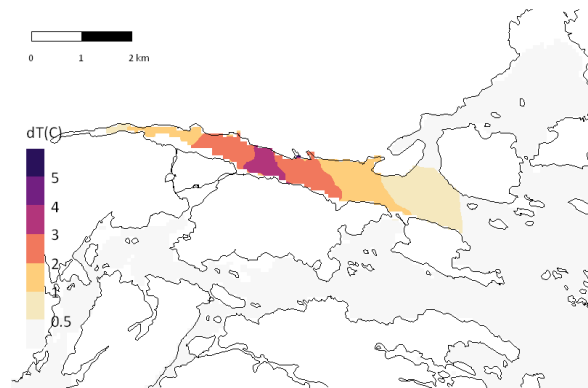


2,5m

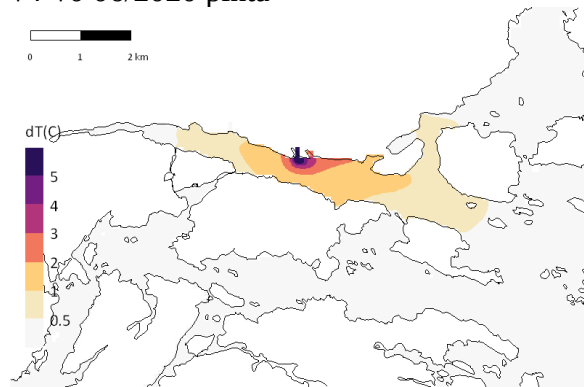
Kuva 7. Lämmön nousun kuukausikeskiarvo skenaariolla V4, vuosi 2019 kesä- syyskuu.



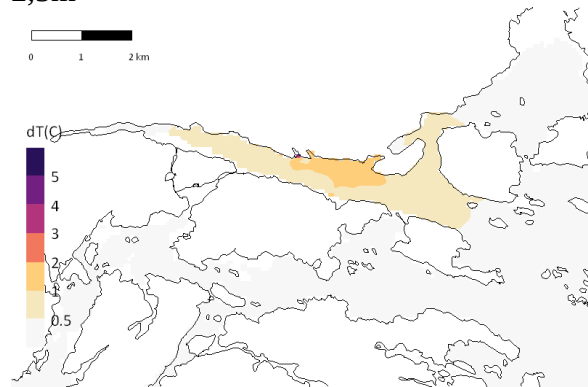
v4-v0 06/2020 pinta



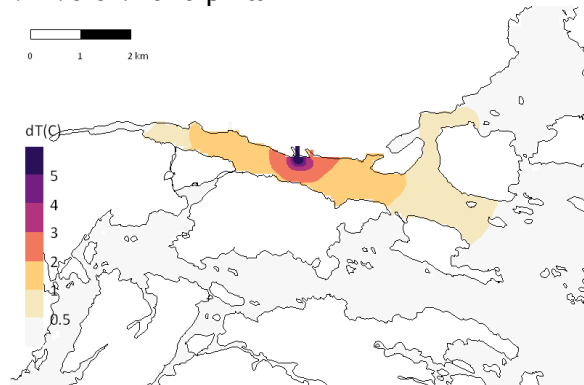
2,5m



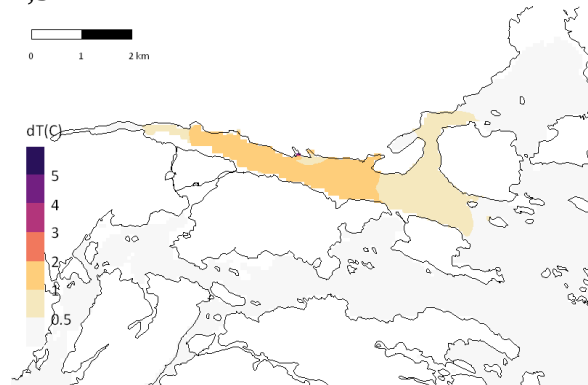
v4-v0 07/2020 pinta



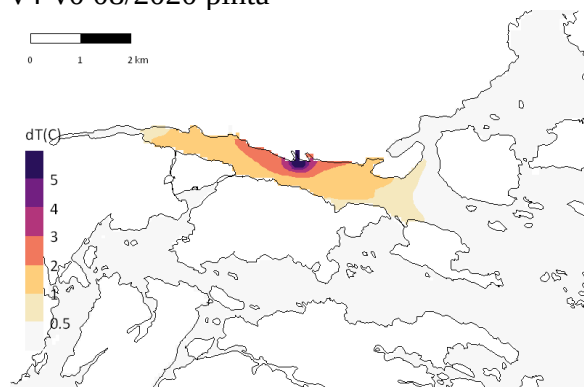
2,5m



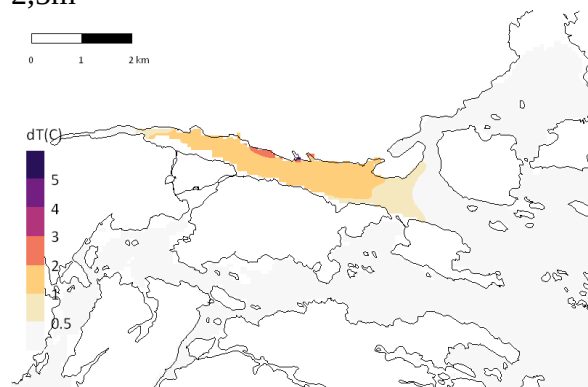
v4-v0 08/2020 pinta



2,5m



v4-v0 09/2020 pinta



2,5m

Kuva 8. Lämmön nousun kuukausikeskiarvo skenaariolla V4, vuosi 2020 kesä- syyskuu.

5.3 Lämmönnousu eri skenaariolla

Lämmönnousu purkupaikalta P1 laskettiin skenaarioille V1, V2, V3 ja V4. Lasketut lämmönnousun kuukausikeskiarvot vuosien 2018 – 2020 kesä-, heinä- ja elokuulle on esitetty taulukoissa 4, 5 ja 6. Kuvissa 9–12 on esitetty lämmönnousualueet 2018 kesäkuukausille. Lämmönnousut on esitetty sekä pintakerrokselle (0–1 m syvyytaso), että 2–3 m syvyyskerrokselle.

Taulukko 4. Lämmönnousun raja-arvon ylittävät pinta-alat, vuosi 2018

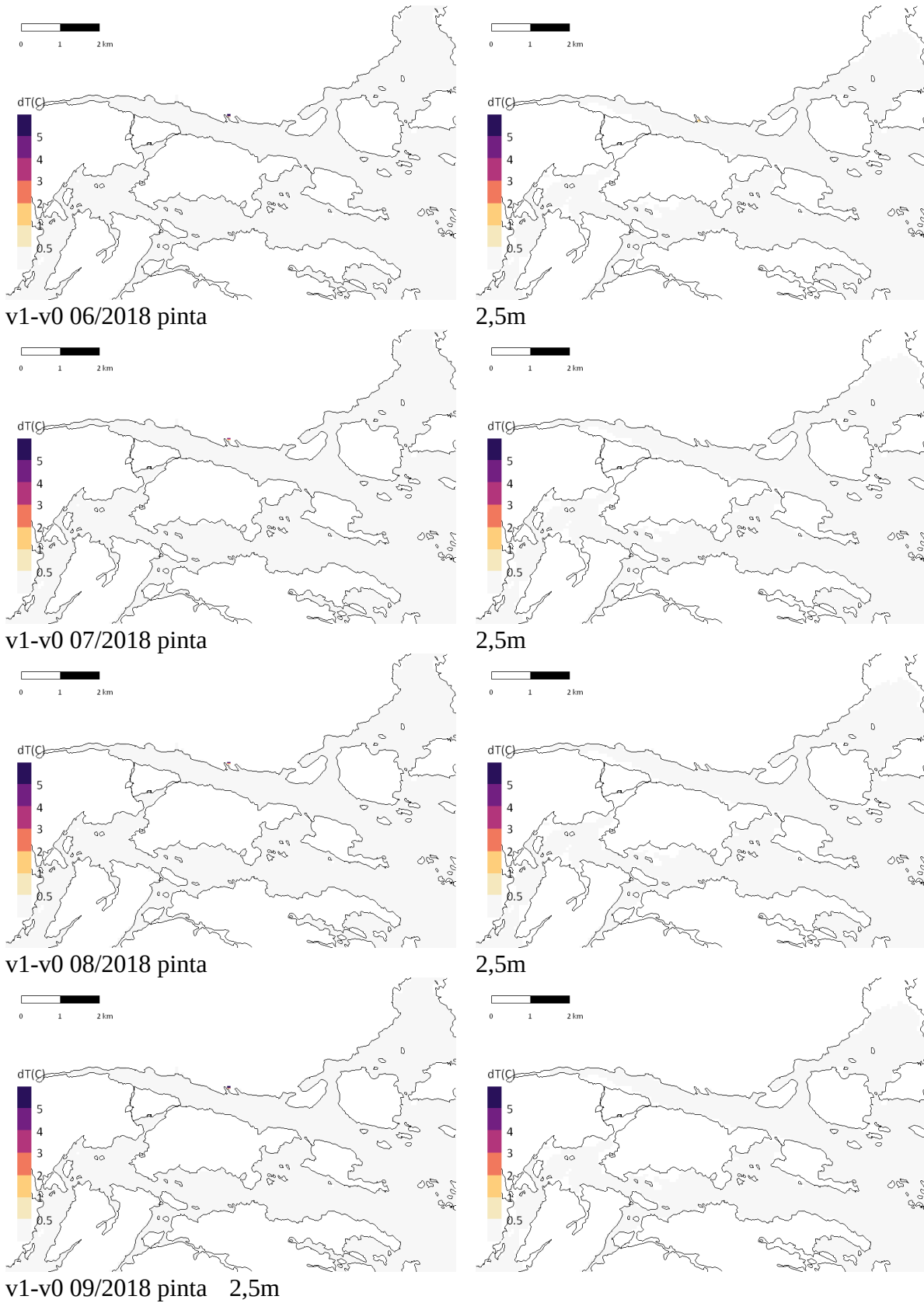
Skenaario	kk	syvyys	>1 °C	>2 °C	>3 °C	>4 °C	>5 °C
V1/2018	kesäkuu	0-1 m	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	kesäkuu	2-3 m	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
	heinäkuu	0-1 m	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
	heinäkuu	2-3 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	elokuu	0-1 m	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	elokuu	2-3 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	syyskuu	0-1 m	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	syyskuu	2-3 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
V2/2018	kesäkuu	0-1 m	0.05	0.03	0.03	0.03	0.02
	kesäkuu	2-3 m	0.06	0.02	0.01	0.01	0.01
	heinäkuu	0-1 m	0.29	0.07	0.04	0.04	0.03
	heinäkuu	2-3 m	0.13	0.01	0.00	0.00	0.00
	elokuu	0-1 m	0.18	0.06	0.04	0.03	0.03
	elokuu	2-3 m	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00
	syyskuu	0-1 m	0.18	0.05	0.04	0.04	0.03
	syyskuu	2-3 m	0.03	0.02	0.01	0.01	0.00
V3/2018	kesäkuu	0-1 m	0.56	0.10	0.06	0.04	0.03
	kesäkuu	2-3 m	0.28	0.03	0.02	0.01	0.01
	heinäkuu	0-1 m	1.61	0.37	0.10	0.06	0.04
	heinäkuu	2-3 m	1.17	0.00	0.00	0.00	0.00
	elokuu	0-1 m	0.72	0.15	0.07	0.05	0.04
	elokuu	2-3 m	0.22	0.01	0.00	0.00	0.00
	syyskuu	0-1 m	0.94	0.12	0.06	0.05	0.04
	syyskuu	2-3 m	0.41	0.01	0.01	0.00	0.00
V4/2018	kesäkuu	0-1 m	2.39	0.35	0.11	0.06	0.04
	kesäkuu	2-3 m	2.06	0.03	0.02	0.01	0.01
	heinäkuu	0-1 m	3.30	2.11	1.21	0.35	0.13
	heinäkuu	2-3 m	2.39	1.30	0.09	0.01	0.01
	elokuu	0-1 m	2.69	0.56	0.16	0.09	0.06
	elokuu	2-3 m	1.69	0.02	0.01	0.01	0.01
	syyskuu	0-1 m	3.47	1.13	0.21	0.10	0.06
	syyskuu	2-3 m	2.81	0.11	0.01	0.01	0.01

Taulukko 5. Lämmönnousun raja-arvon ylittävät pinta-alat, vuosi 2018

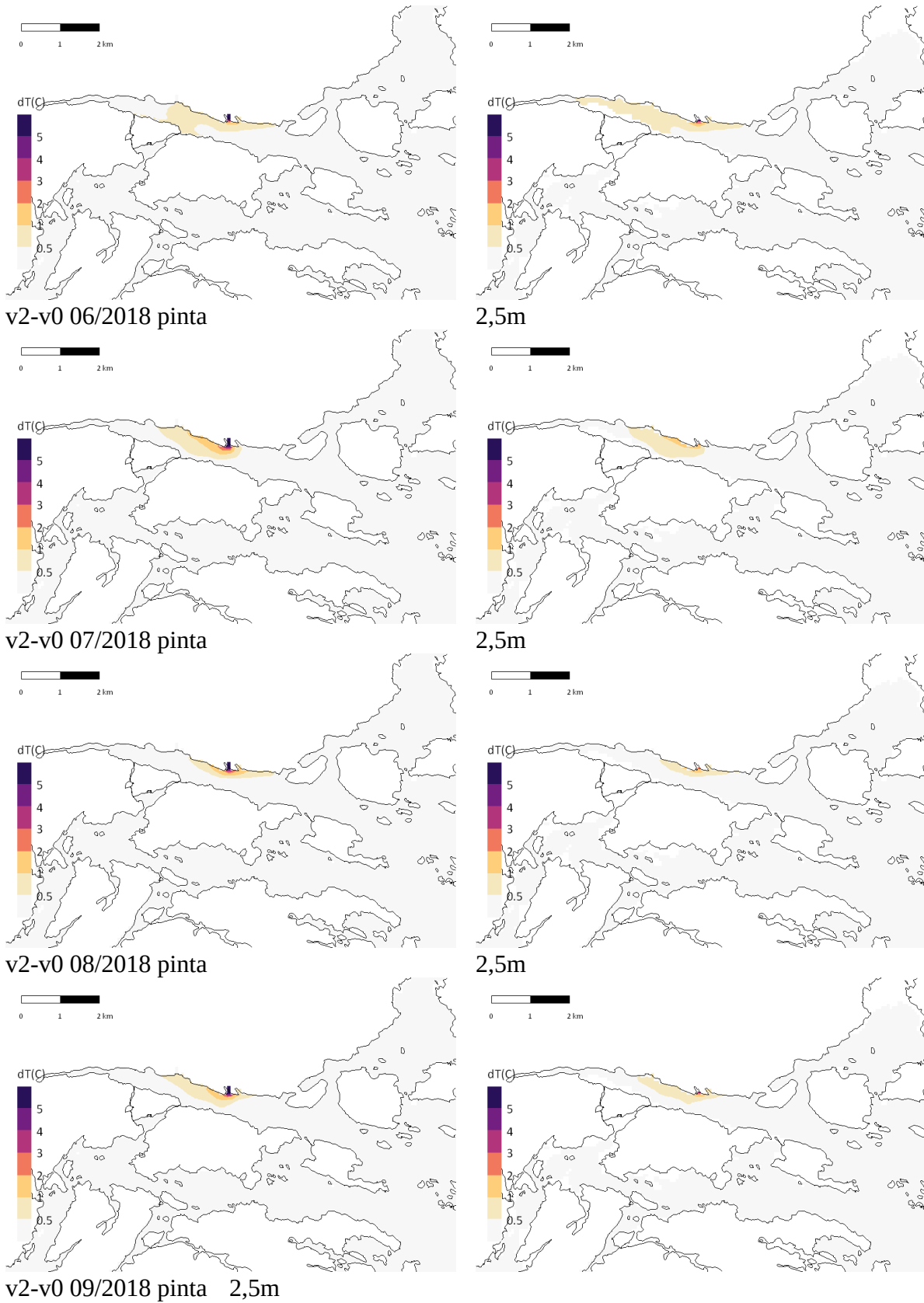
Skenaario	kk	syvyys	>1 °C	>2 °C	>3 °C	>4 °C	>5 °C
V1/2019	kesäkuu	0-1 m	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	kesäkuu	2-3 m	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
	heinäkuu	0-1 m	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	heinäkuu	2-3 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	elokuu	0-1 m	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	elokuu	2-3 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	syyskuu	0-1 m	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	syyskuu	2-3 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
V2/2019	kesäkuu	0-1 m	0.07	0.03	0.03	0.03	0.00
	kesäkuu	2-3 m	0.05	0.02	0.01	0.01	0.00
	heinäkuu	0-1 m	0.19	0.05	0.04	0.04	0.03
	heinäkuu	2-3 m	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00
	elokuu	0-1 m	0.30	0.07	0.04	0.04	0.03
	elokuu	2-3 m	0.10	0.01	0.00	0.00	0.00
	syyskuu	0-1 m	0.30	0.08	0.04	0.04	0.04
	syyskuu	2-3 m	0.23	0.01	0.01	0.00	0.00
V3/2019	kesäkuu	0-1 m	0.48	0.08	0.05	0.04	0.03
	kesäkuu	2-3 m	0.10	0.02	0.01	0.01	0.00
	heinäkuu	0-1 m	1.73	0.22	0.08	0.05	0.04
	heinäkuu	2-3 m	1.16	0.01	0.00	0.00	0.00
	elokuu	0-1 m	1.81	0.21	0.08	0.06	0.04
	elokuu	2-3 m	0.93	0.00	0.00	0.00	0.00
	syyskuu	0-1 m	2.23	0.20	0.09	0.05	0.04
	syyskuu	2-3 m	1.89	0.01	0.00	0.00	0.00
V4/2019	kesäkuu	0-1 m	1.86	0.29	0.10	0.06	0.04
	kesäkuu	2-3 m	1.08	0.02	0.01	0.01	0.01
	heinäkuu	0-1 m	3.47	1.62	0.37	0.12	0.07
	heinäkuu	2-3 m	2.68	0.52	0.01	0.01	0.01
	elokuu	0-1 m	3.81	0.79	0.21	0.10	0.06
	elokuu	2-3 m	3.10	0.02	0.01	0.01	0.01
	syyskuu	0-1 m	3.66	1.00	0.23	0.10	0.08
	syyskuu	2-3 m	3.07	0.08	0.01	0.01	0.01

Taulukko 6. Lämmönnousun raja-arvon ylittävät pinta-alat, vuosi 2020

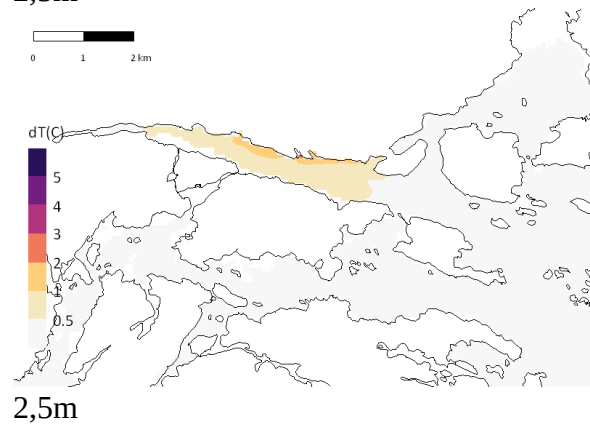
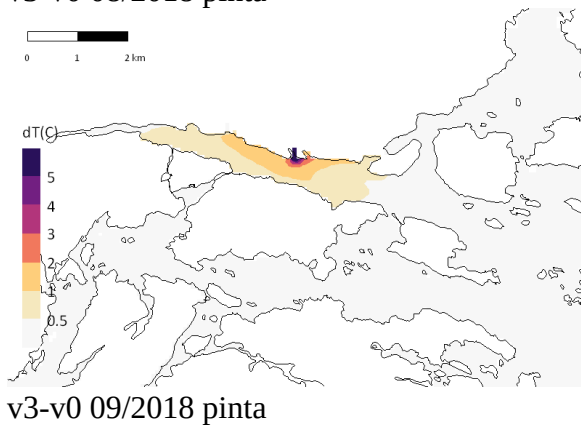
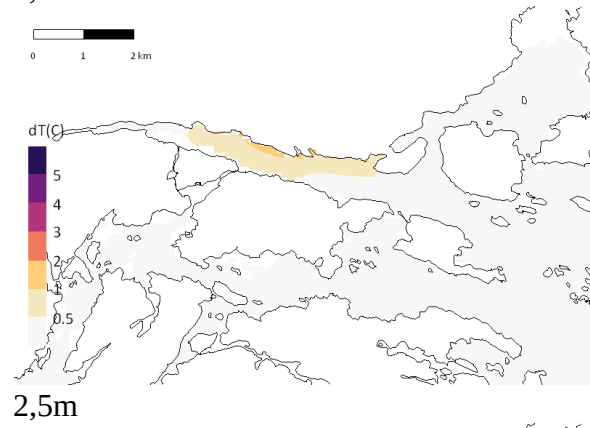
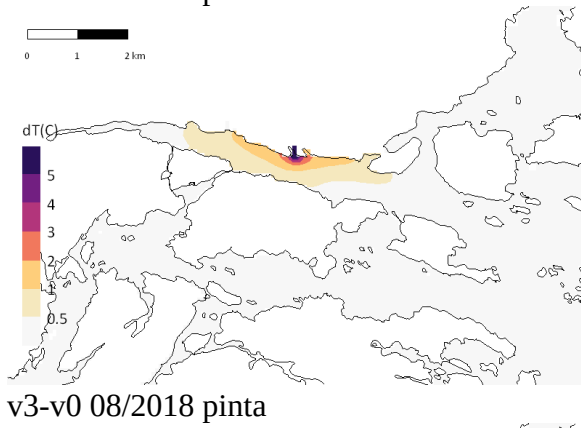
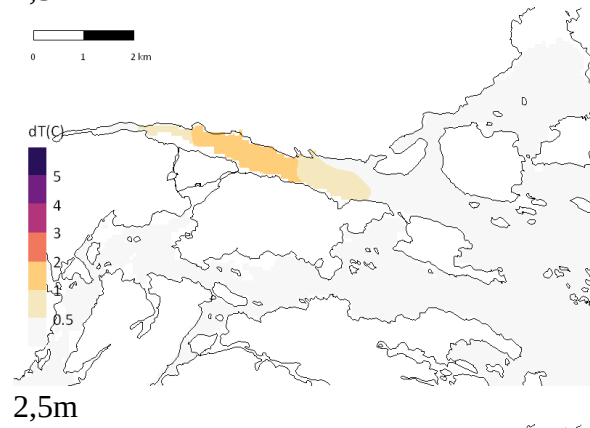
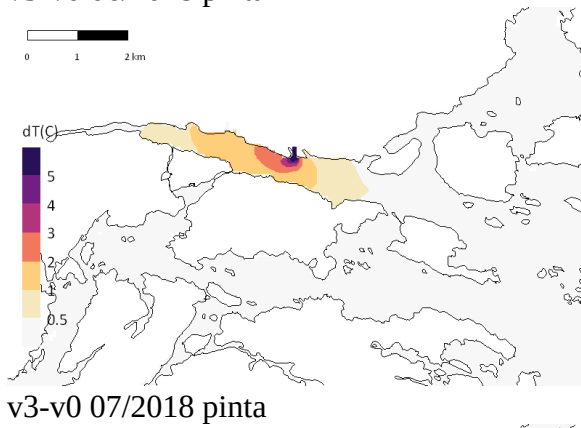
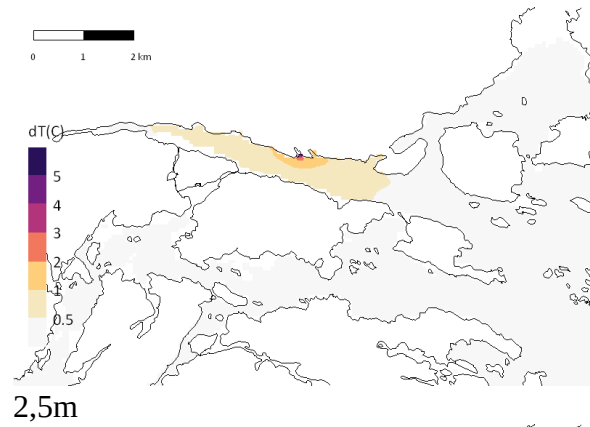
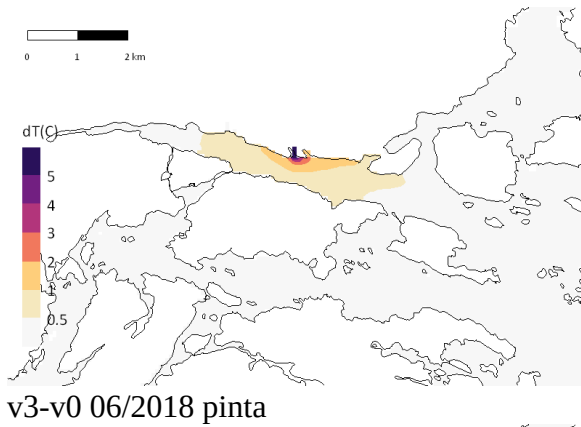
Skenaario	kk	syvyys	>1 °C	>2 °C	>3 °C	>4 °C	>5 °C
V1/2020	kesäkuu	0-1 m	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	kesäkuu	2-3 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	heinäkuu	0-1 m	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	heinäkuu	2-3 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	elokuu	0-1 m	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	elokuu	2-3 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	syyskuu	0-1 m	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	syyskuu	2-3 m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
V2/2020	kesäkuu	0-1 m	0.27	0.08	0.04	0.04	0.03
	kesäkuu	2-3 m	0.12	0.01	0.00	0.00	0.00
	heinäkuu	0-1 m	0.16	0.05	0.04	0.03	0.03
	heinäkuu	2-3 m	0.12	0.02	0.01	0.00	0.00
	elokuu	0-1 m	0.33	0.07	0.05	0.04	0.04
	elokuu	2-3 m	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00
	syyskuu	0-1 m	0.14	0.05	0.04	0.04	0.03
	syyskuu	2-3 m	0.10	0.02	0.01	0.01	0.01
V3/2020	kesäkuu	0-1 m	2.28	0.65	0.14	0.07	0.05
	kesäkuu	2-3 m	1.66	0.34	0.00	0.00	0.00
	heinäkuu	0-1 m	0.64	0.15	0.07	0.05	0.04
	heinäkuu	2-3 m	0.21	0.01	0.00	0.00	0.00
	elokuu	0-1 m	1.29	0.16	0.07	0.05	0.04
	elokuu	2-3 m	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00
	syyskuu	0-1 m	0.98	0.18	0.08	0.05	0.04
	syyskuu	2-3 m	0.66	0.01	0.01	0.00	0.00
V4/2020	kesäkuu	0-1 m	4.03	2.37	1.07	0.27	0.10
	kesäkuu	2-3 m	3.02	1.59	0.36	0.01	0.01
	heinäkuu	0-1 m	2.29	0.44	0.14	0.08	0.06
	heinäkuu	2-3 m	0.89	0.02	0.01	0.01	0.01
	elokuu	0-1 m	3.18	0.67	0.17	0.08	0.06
	elokuu	2-3 m	2.44	0.01	0.01	0.01	0.01
	syyskuu	0-1 m	3.05	0.76	0.20	0.11	0.07
	syyskuu	2-3 m	2.54	0.13	0.01	0.01	0.01



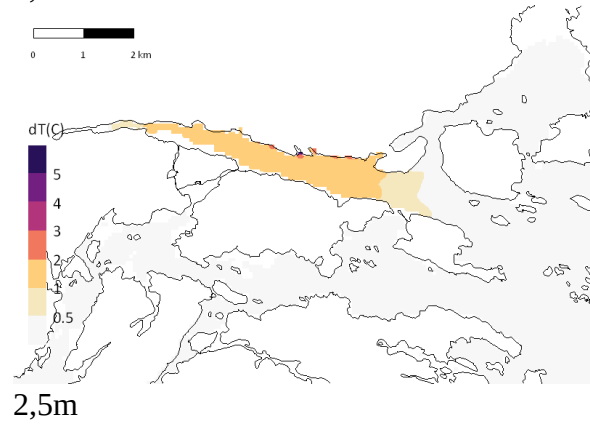
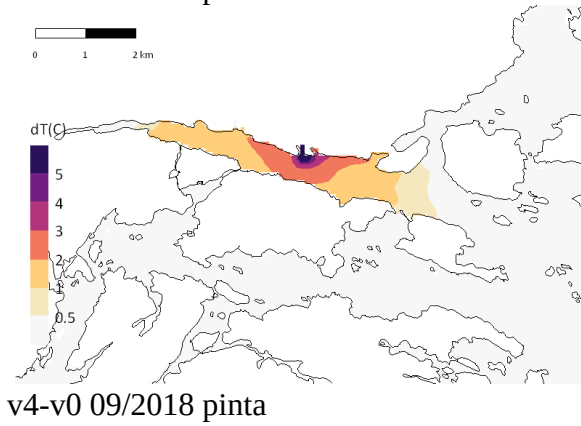
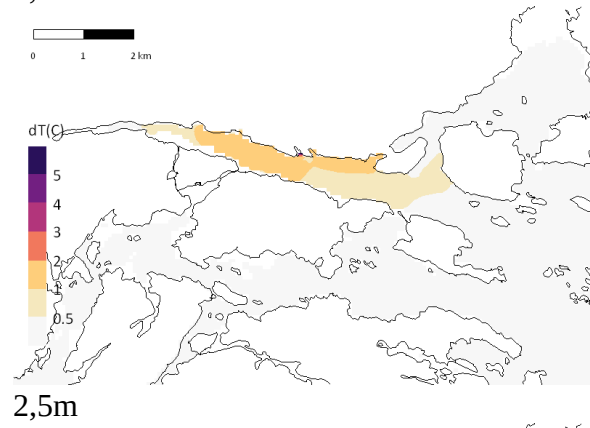
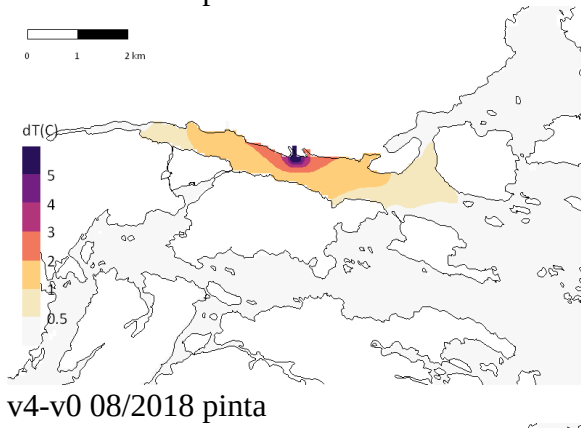
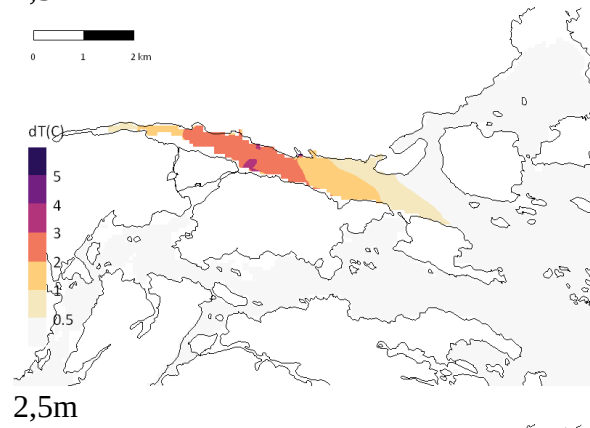
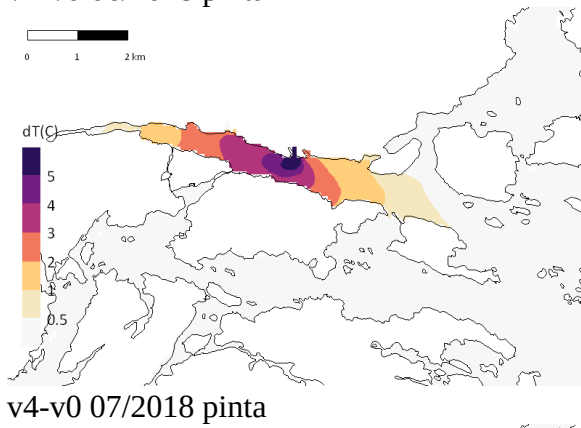
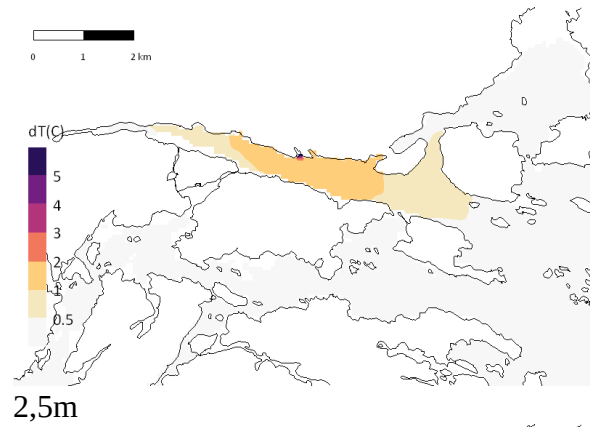
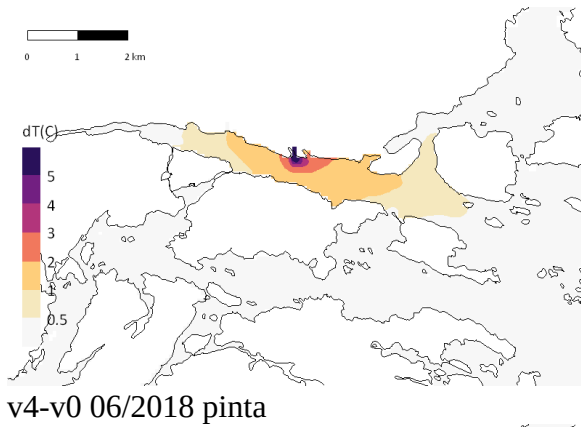
Kuva 9. Lämmönnousun kk-keskiarvo, V1-V0, 06-09/2018.



Kuva 10. Lämmönnousun kk-keskiarvo, V2-V0, 06-09/2018.



Kuva 11. Lämmönnousun kk-keskiarvo, V3-V0, 06-09/2018.



Kuva 12. Lämmönnousun kk-keskiarvo, pinta, V4-V0, 06-09/2018.

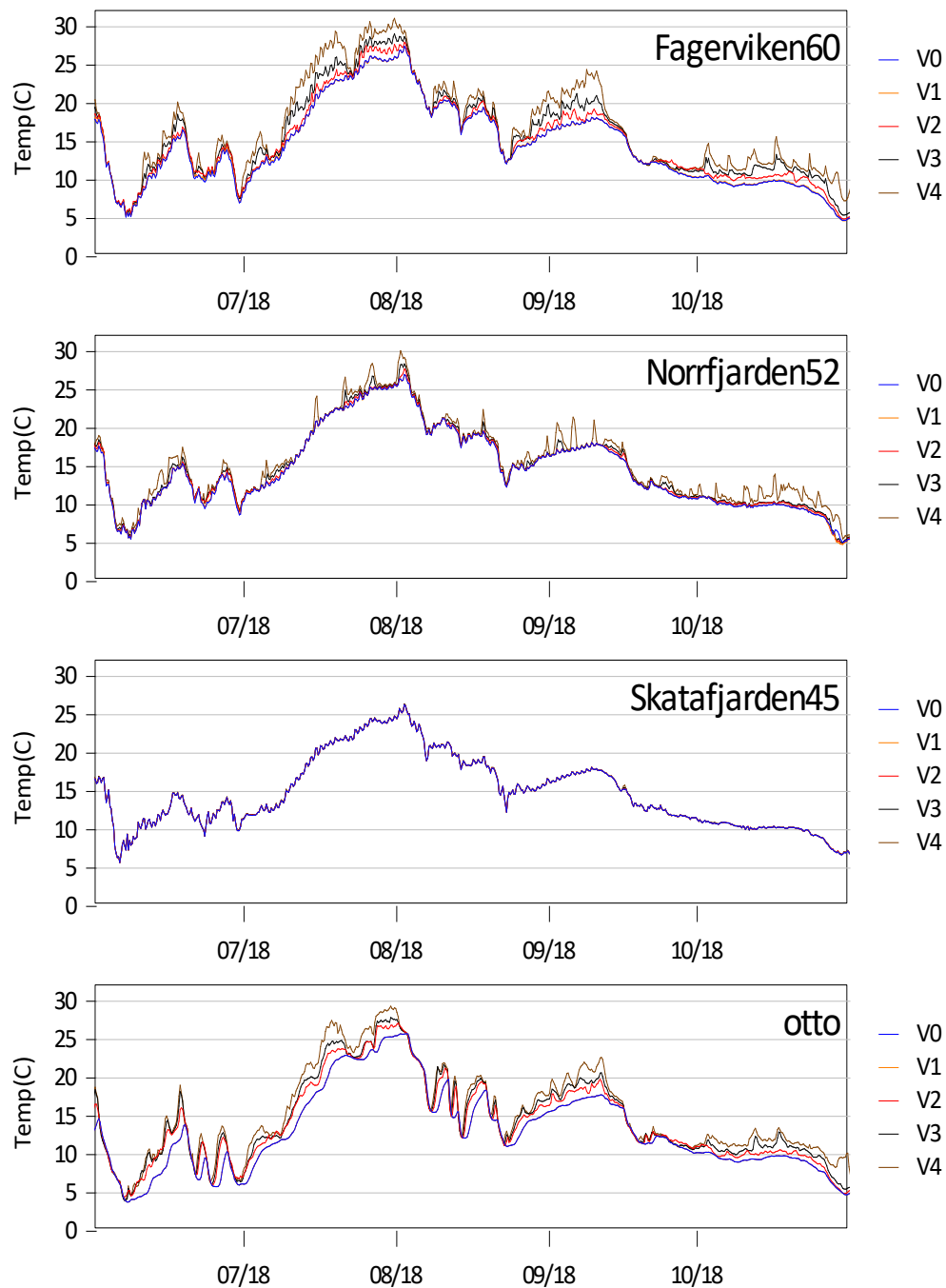
5.4 Lämpötilan aikasarjat

Kuvissa 13–15 on esitetty lasketut veden lämpötilat kolmessa pintakerroksen pisteessä ja vedenottopisteessä eri skenaarioille kesille 2018–2020. Pisteiden paikat on esitetty kuvassa 4. Vastaavat lämpötilan keski- ja maksimi-arvot ja lämmön nousut on esitetty taulukossa 7.

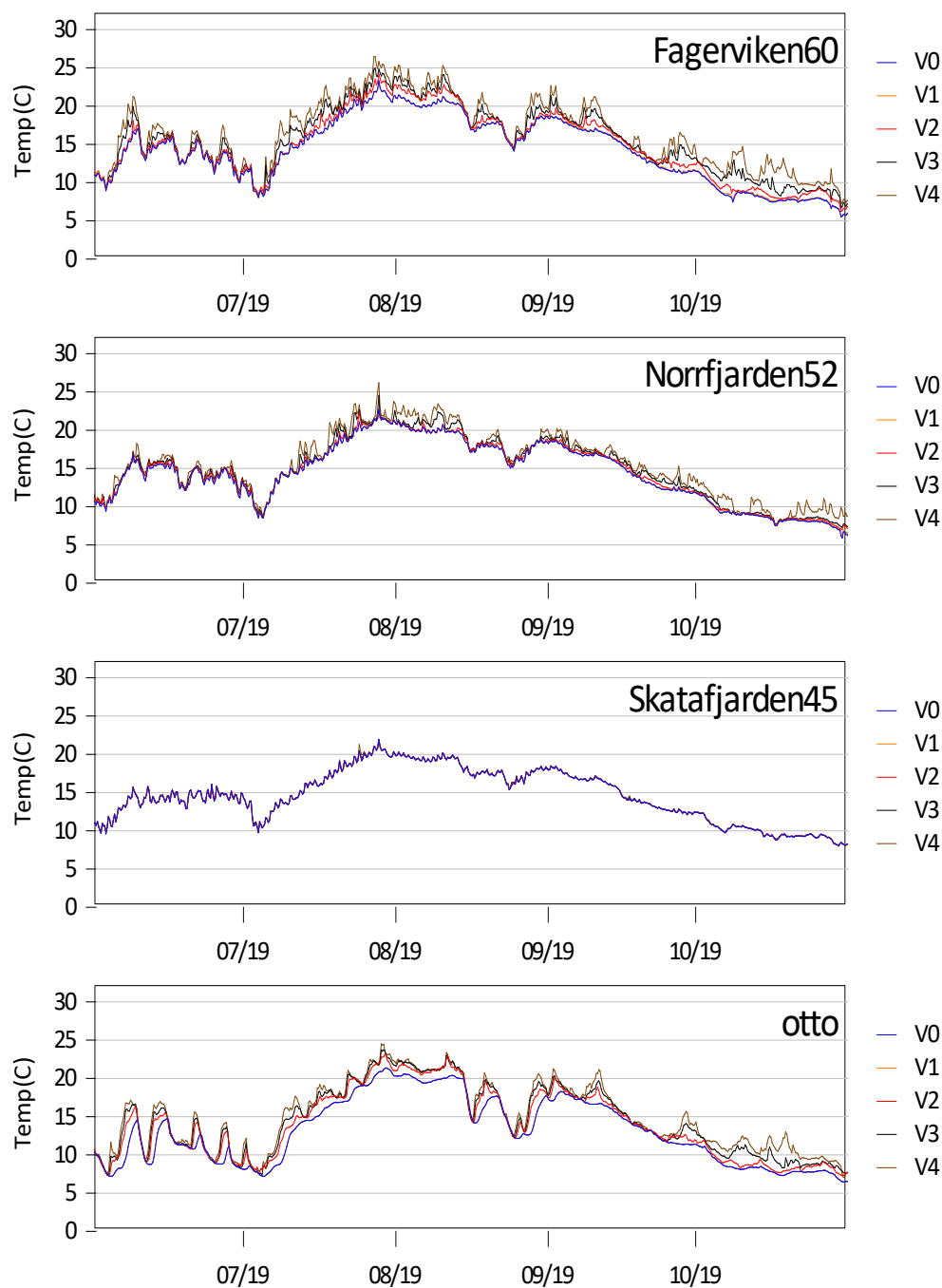
Taulukko 7. Lämpötilan keski- ja maksimi-arvot eri skenaarioille vuosille 2019 ja 2020.

Kesä (1.6–31.10), lämpötila (°C)										
	V0		V1		V2		V3		V4	
2018	k.a.	maks.	k.a.	maks.	k.a.	maks.	k.a.	maks.	k.a.	maks.
Fågerviken	14.5	27.5	14.6	27.4	15.1	28.0	15.8	29.1	16.8	31.1
Norr fjärden	14.7	27.0	14.7	27.0	14.9	27.8	15.0	28.4	15.7	30.1
Skatafjärden	14.8	26.3	14.8	26.3	14.9	26.3	14.9	26.4	14.9	26.4
otto	13.1	25.8	13.1	25.8	14.1	27.1	14.6	27.9	15.4	29.4
2019	V0		V1		V2		V3		V4	
Fågerviken	14.2	23.3	14.3	23.3	14.9	24.1	15.6	25.0	16.4	26.5
Norr fjärden	14.4	22.7	14.5	22.7	14.7	22.7	15.0	24.6	15.6	26.2
Skatafjärden	14.6	21.9	14.6	21.9	14.7	21.9	14.7	21.9	14.7	22.0
otto	13.1	21.4	13.1	21.4	14.0	23.2	14.5	23.8	15.0	24.5
2020	V0		V1		V2		V3		V4	
Fågerviken	15.1	21.6	15.2	21.6	15.8	22.2	16.5	23.7	17.4	25.5
Norr fjärden	15.2	21.7	15.2	21.7	15.4	22.2	15.6	23.1	16.2	24.3
Skatafjärden	14.9	20.9	14.9	20.9	15.0	20.9	15.0	20.9	15.0	20.9
otto	14.2	20.4	14.2	20.4	15.0	22.1	15.7	22.5	16.2	23.4
Kesä (1.6–31.10), lämpötilan nousu V0 skenaarioon (°C)										
2018			V1		V2		V3		V4	
Fågerviken,			0.1	-0.1	0.6	0.5	1.3	1.6	2.3	3.6
Norr fjärden			0	0	0.2	0.8	0.3	1.4	1	3.1
Skatafjärden			0	0	0.1	0	0.1	0.1	0.1	0.1
otto			0	0	1	1.3	1.5	2.1	2.3	3.6
2019			V1		V2		V3		V4	
Fågerviken			0.1	0	0.7	0.8	1.4	1.7	2.2	3.2
Norr fjärden			0.1	0	0.3	0	0.6	1.9	1.2	3.5
Skatafjärden			0	0	0.1	0	0.1	0	0.1	0.1
otto			0	0	0.9	1.8	1.4	2.4	1.9	3.1
2020			V1		V2		V3		V4	
Fågerviken			0.1	0	0.7	0.6	1.4	2.1	2.3	3.9
Norr fjärden			0	0	0.2	0.5	0.4	1.4	1	2.6
Skatafjärden			0	0	0.1	0	0.1	0	0.1	0
otto			0	0	0.8	1.7	1.5	2.1	2	3

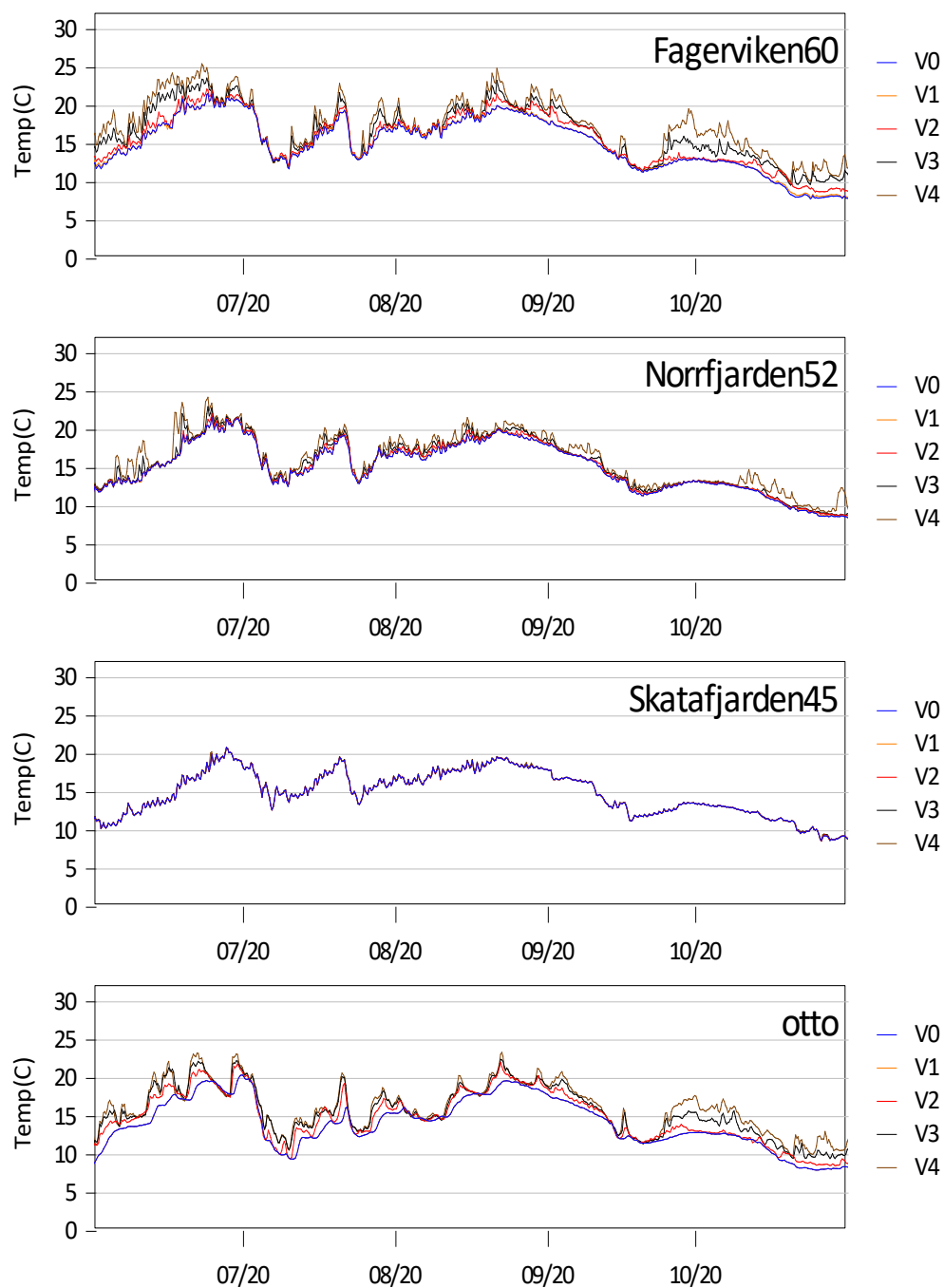
Aikasarjatulosten perusteella kesäjakson keskimääräiset lämmön nousut ovat eri vuosina lähellä toisiaan. Lämpötila ja siten myös lämmön nousu on suurin purkupaikkaa lähinnä olevassa pisteessä Fågerviken 60. Ottopisteessä näkyy kaikissa skenaariossa noin Fågervikenin pistettä vastaava lämmön nousu. Osa lämmön noususta aiheutuu siitä, että ottovesivirtaama sekoittaa vettä syvyysuunnassa ja aiheuttaa siten pohjalla olevan veden lämpenemistä verrattuna tilanteeseen, jossa ottoveden virtaamaa ei ole tai se on pieni. Myös purkuveden takaisinkierto ottoon voi aiheuttaa osan ottoveden lämmön noususta.



Kuva 13. Veden lämpötila eri aikasarjapisteiden pintakerroksessa ja jäähdytysveden ottopisteessä kesäjaksolta 2018, skenaariot V0 – V4.



Kuva 14. Veden lämpötila eri aikasarjapisteiden pintakerroksessa ja jäähdytysveden ottopisteessä kesäjaksolta 2020, skenaariot V0 -V4.



Kuva 15. Veden lämpötila eri aikasarjapisteiden pintakerroksessa ja jäähdytysveden ottopisteessä kesäjaksolta 2020, skenaariot V0-V4.

5.5 Suolapitoisuuden muutos

Tehtaan tuotantoprosessit ja lämmönhaihdutustornit käyttävät makeaa vettä, jota tuotetaan merivedestä suolanpoiston avulla. Suolanpoistossa syntyy suolakuormitusta, joka puretaan mereen jäähdytysvesien mukana. Purettava suolakuormitus on merivedestä poistettua suolaa, joten sen koostumus vastaa täysin meriveden suolakoostumusta. Suolakuormitukset eri skenaarioille on esitetty taulukossa 2.

Suolapitoisuuden nousu laskettiin lisäämällä jäähdytysveteen skenaarion mukainen suolakuormitus. Tuloksena saadut suolapitoisuuden nousun 0,1, 0,2, 0,5 ja 1 g/l raja-arvon ylittävät pinta-alat eri skenaarioille kesäkuukausina 2018 on esitetty taulukossa 8 pintakerroksessa ja 7-8 m kerroksessa (veden ottoreitin syvin taso). Taulukossa 9 on esitetty 0,1 g/l raja-arvon ylittävän alueen pinta-alat eri skenaariolle ja eri vuosille.

Taulukko 8. Suolapitoisuuden raja-arvon ylittävät pinta-alat (km²), vuosi 2018

Skenaario	kk	syvyys	>0,1 g/l	>0,2 g/l	>0,5 g/l	>1 g/l
V1/2018	kesäkuu	0-1 m	0.04	0.03	0.01	0.01
	kesäkuu	7-8 m	0.13	0.01	0.00	0.00
	heinäkuu	0-1 m	0.03	0.03	0.02	0.01
	heinäkuu	7-8 m	0.16	0.00	0.00	0.00
	elokuu	0-1 m	0.04	0.03	0.01	0.01
	elokuu	7-8 m	0.08	0.01	0.00	0.00
	syyskuu	0-1 m	0.03	0.01	0.01	0.01
	syyskuu	7-8 m	0.03	0.00	0.00	0.00
V2/2018	kesäkuu	0-1 m	0.13	0.05	0.02	0.01
	kesäkuu	7-8 m	0.12	0.01	0.00	0.00
	heinäkuu	0-1 m	1.19	0.35	0.04	0.02
	heinäkuu	7-8 m	0.44	0.00	0.00	0.00
	elokuu	0-1 m	0.61	0.19	0.03	0.02
	elokuu	7-8 m	0.01	0.00	0.00	0.00
	syyskuu	0-1 m	0.65	0.11	0.03	0.02
	syyskuu	7-8 m	0.19	0.00	0.00	0.00
V3/2018	kesäkuu	0-1 m	0.53	0.09	0.02	0.00
	kesäkuu	7-8 m	0.00	0.00	0.00	0.00
	heinäkuu	0-1 m	2.52	1.25	0.03	0.00
	heinäkuu	7-8 m	0.78	0.00	0.00	0.00
	elokuu	0-1 m	1.23	0.27	0.03	0.00
	elokuu	7-8 m	0.00	0.00	0.00	0.00
	syyskuu	0-1 m	2.17	0.11	0.03	0.00
	syyskuu	7-8 m	0.41	0.00	0.00	0.00
V4/2018	kesäkuu	0-1 m	0.60	0.06	0.00	0.00
	kesäkuu	7-8 m	0.00	0.00	0.00	0.00
	heinäkuu	0-1 m	3.74	2.63	0.02	0.00
	heinäkuu	7-8 m	0.69	0.22	0.00	0.00
	elokuu	0-1 m	2.27	0.23	0.00	0.00
	elokuu	7-8 m	0.00	0.00	0.00	0.00
	syyskuu	0-1 m	3.56	1.98	0.00	0.00
	syyskuu	7-8 m	0.50	0.01	0.00	0.00

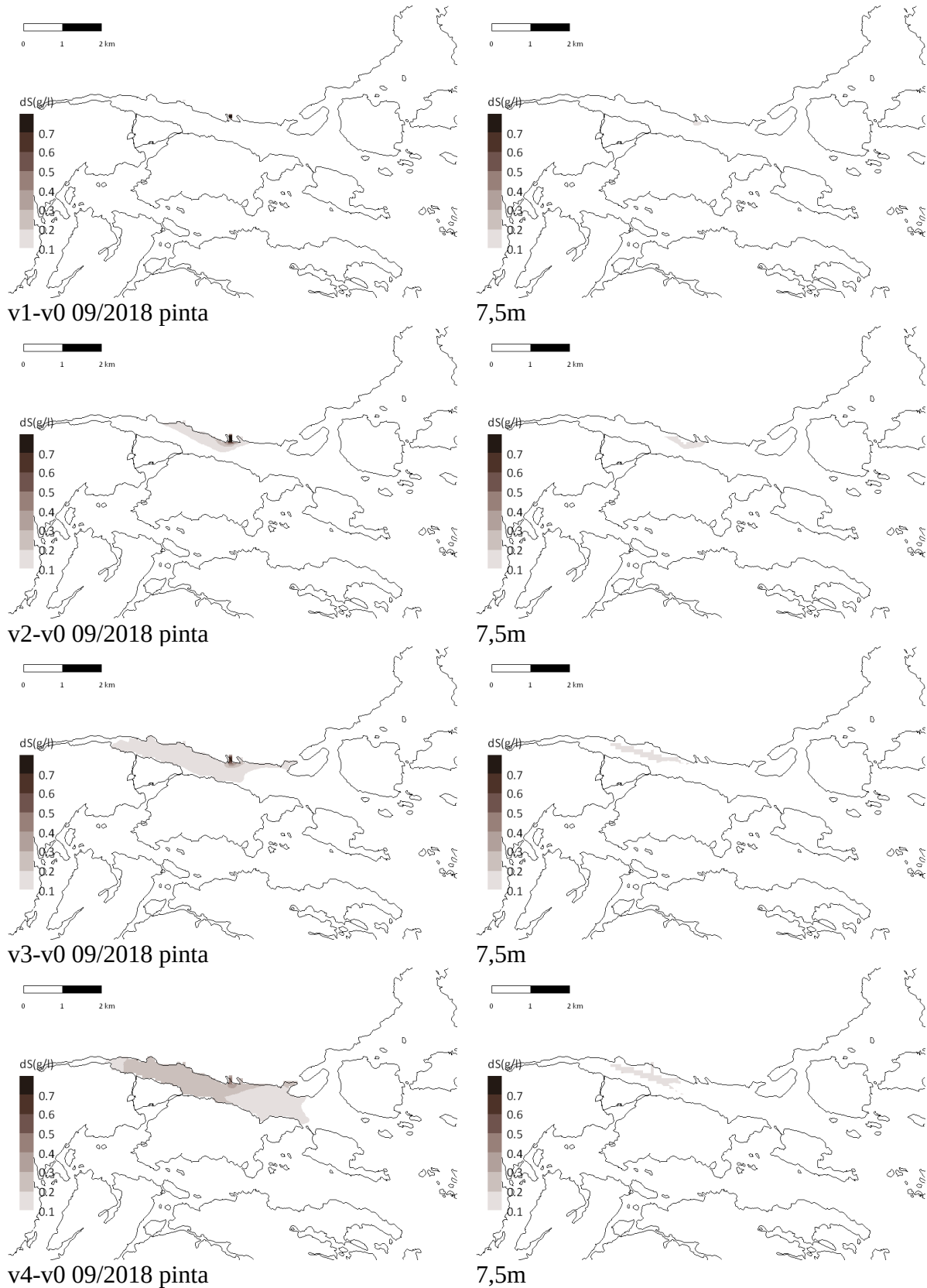
Taulukko 9. Suolapitoisuuden raja-arvon ylittävät pinta-alat (km²), 0,1 g/l ylittävä alue pintakerroksessa eri vuosina ja kuukausina.

x	Pinta					7,5 m				
Skenaario	v1	v2	v3	v4	k.a.	v1	v2	v3	v4	k.a.
06/2018	0.04	0.13	0.53	0.60	0.32	0.13	0.12	0.00	0.00	0.06
07/2018	0.03	1.19	2.52	3.74	1.87	0.16	0.44	0.78	0.69	0.52
08/2018	0.04	0.61	1.23	2.27	1.04	0.08	0.01	0.00	0.00	0.02
09/2018	0.03	0.65	2.17	3.56	1.60	0.03	0.19	0.41	0.50	0.28
06/2019	0.04	0.30	0.58	0.48	0.35	0.10	0.01	0.00	0.00	0.03
07/2019	0.02	0.84	2.58	3.29	1.68	0.10	0.20	0.25	0.00	0.14
08/2019	0.03	2.62	3.90	6.41	3.24	0.06	0.85	0.74	0.00	0.41
09/2019	2.38	3.23	3.45	2.20	2.82	0.98	1.48	0.92	0.00	0.84
06/2020	0.03	1.32	3.18	4.06	2.15	0.07	0.46	0.54	0.10	0.29
07/2020	0.07	0.70	1.09	0.82	0.67	0.34	0.02	0.00	0.00	0.09
08/2020	2.38	3.00	1.74	0.12	1.81	1.04	0.69	0.00	0.00	0.43
09/2020	0.03	1.84	1.73	1.77	1.34	0.01	0.87	0.13	0.00	0.25
k.a.					1.57					0.28

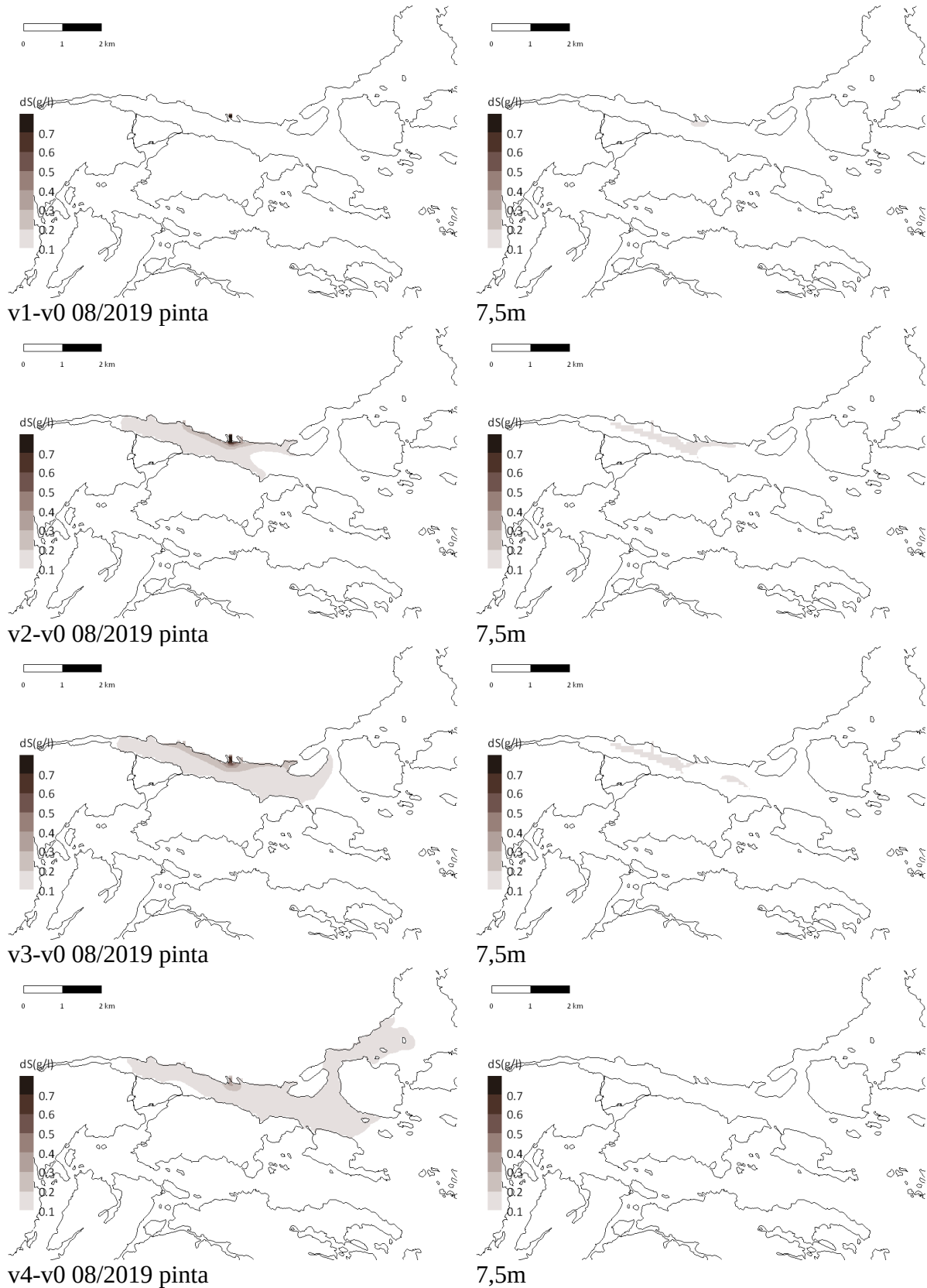
Kuvissa 16 ja 17 on esitetty suolapitoisuuden nousu kartalla vuoden 2018 syyskuulle ja vuoden 2020 kesäkuulle. 2018 syyskuu on suolaisuuden nousun osalta lähellä tarkasteltujen kuukausien keskiarvoa. Elokuussa 2019 pintakerroksen suolaisuuden nousualueiden pinta-alojen keskiarvo oli suurin (taulukon 7 kuukausista).

Suolapitoisuuden nousun alueiden koko vaihtelee olosuhteiden ja kuormituksen muuttuessa. Skenaariolla V1 purkuvesi sukeltaa ajoittain pohjalle (esim. kesä-heinäkuussa 2018), jolloin suolapitoisuuden nousun alueet 7,5 m syvyydellä ovat suurempia kuin pinnalla. Skenaariolla V2, V3 ja V4 purkuvedet pysyvät enimmäkseen pintakerroksessa.

Alueet, joilla suolapitoisuus nousee enemmän kuin 0,5 g/l jäävät alle 0,05 km² kaikilla vaihtoehdoilla. Ilman kuormituksia suolapitoisuus vaihtelee esim. vuonna 2018 mittausten mukaan 1,5–2 g/l verran paikasta riippuen (ks. kuva 4), joten suolapitoisuuden muutos jää tässä purkupaikan edustaan lukuun ottamatta selvästi alle luonnollisen vaihtelun tason.



Kuva 16. Suolapitoisuuden nousun alueet syyskuussa 2018 skenaarioon V0 verrattuna skenaarioille V1, V2 V3 ja V4.



Kuva 17. Suolapitoisuuden nousun alueet elokuussa 2019 skenaarioon V0 verrattuna skenaarioille V1, V2 V3 ja V4.

5.6 Jäätilanne eri skenaarioilla

Mallilla arvioitiin myös talviaikaisen jäätilanteen käyttäytymistä eri lämpökuormituksilla. Talvella pintaveden lämpötila on lähellä nollaa, jolloin lämpökuormitus jäähtyy nopeasti sekoittuessaan pintaveteen. Veden tiheys on suurimmillaan neljän asteen lämpötilassa, joten sopivissa olosuhteissa osittain sekoittunut lämpökuormituksen aiheuttama virtaus voi sukeltaa pohjalle ja kulkeutua siellä pitkällekin ennen sekoittumistaan ympäröivään vesimassaan.

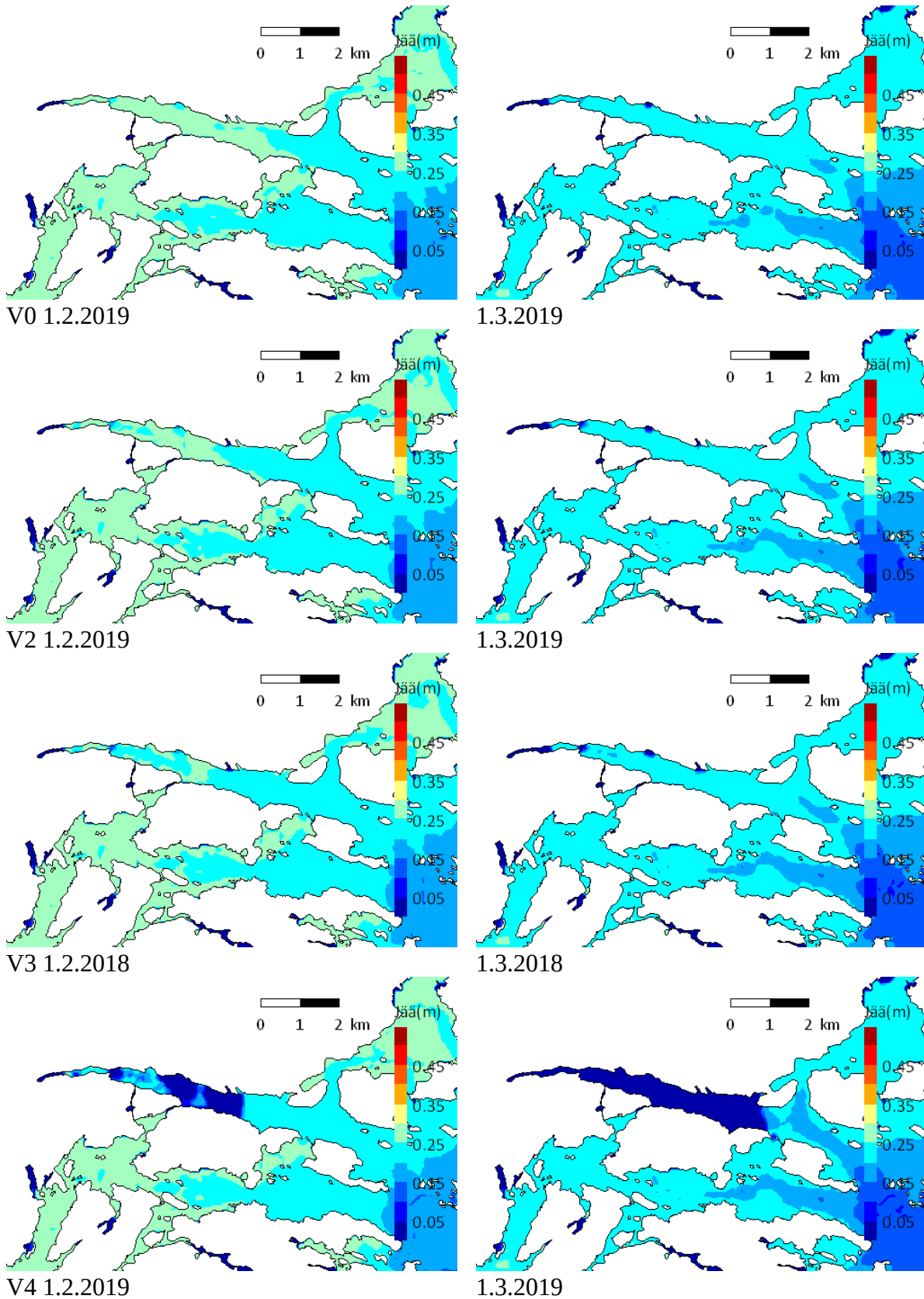
Norrfjärdenissä on satama ja syväväylä, jossa on laivaliikennettä myös talvisin. Mallissa laivaliikenteen vaikutusta ei ole huomioitu, tyypillisesti laivaliikenne sekoittaa vettä syvyyssuunnassa ja hidastaa jäätymistä varsinkin vilkkaasti liikennöidyillä väylillä.

Kuvassa 18 on esitetty jäätilanne eri skenaarioille talvella 2019 helmi- ja maaliskuun alussa. Skenaariossa V1 ero nollaskenaario on pieni, mistä johtuen tuloksia skenaarion V1 osalta ei ole erikseen esitetty. Vuoden 2020 talvi oli hyvin leuto, eikä jäätä ollut Inkoon alueella ollenkaan. Kuvassa 19 on esitetty jäätilanne eri skenaariolle talvelle 2021 helmi- ja maaliskuun alussa.

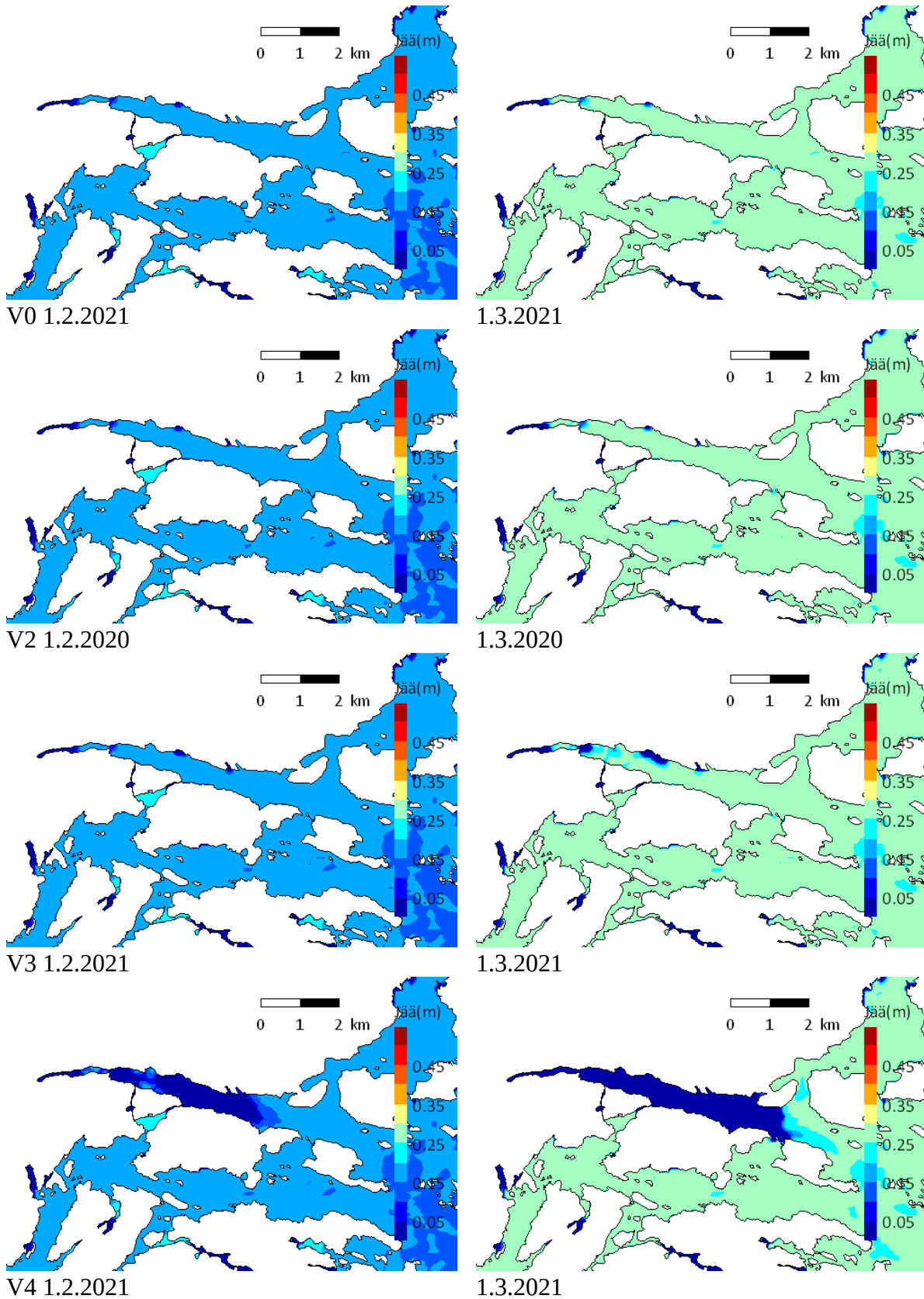
Vuoden 2019 helmikuun alussa koko Norrfjärdenin lahti oli jäässä, kun lämpöpäästöä ei ollut. Jään paksuus vaihteli 20–30 cm välillä. Skenaarioilla V2 ja V3 jääpeite on ohentunut skenaarioon V0 verrattuna. Skenaariossa V4 purku- ja ottopisteen lähialueet ovat jäättömiä. Pienemmillä lämpökuormilla lämpökuormituksen aiheuttama virtaama sukeltaa pohjalle ja kulkeutuu pohjan lähellä itäkaakkoon ulos Norrfjärdenin lahdelta. V4 skenaariossa purkuvesi pysyy pinnalla ja saa aikaan jään sulamisen.

2019 maaliskuun alussa jään paksuus on skenaariossa V0 20–25 cm välillä, eli jää on ohentunut helmikuun alkuun verrattuna. Skenaariolla V2 ja V3 jään sulaminen on skenaarioon V0 verrattuna edelleen pientä, skenaariolla V4 koko Norrfjärdenin lahti on jäätön.

Vuoden 2021 tulokset vastaavat pitkälti 2019 talven tulokset, joskin jään paksuus on maaliskuun alussa suurempi kuin helmikuun alussa, kun tilanne talvella 2019 oli päinvastainen. Skenaarioilla V2 ja V3 jään sulaminen jää vähäiseksi, skenaariolla V4 lämpökuorma sulattaa jäät koko Norrfjärdenin lahdelta aina Fjusön tasalle asti.



Kuva 18. Jäätilanne skenaarioilla V0,V2,V3 ja V4 talvella 2019, hetkellinen tilanne 1.2.2019 ja 1.3.2019.

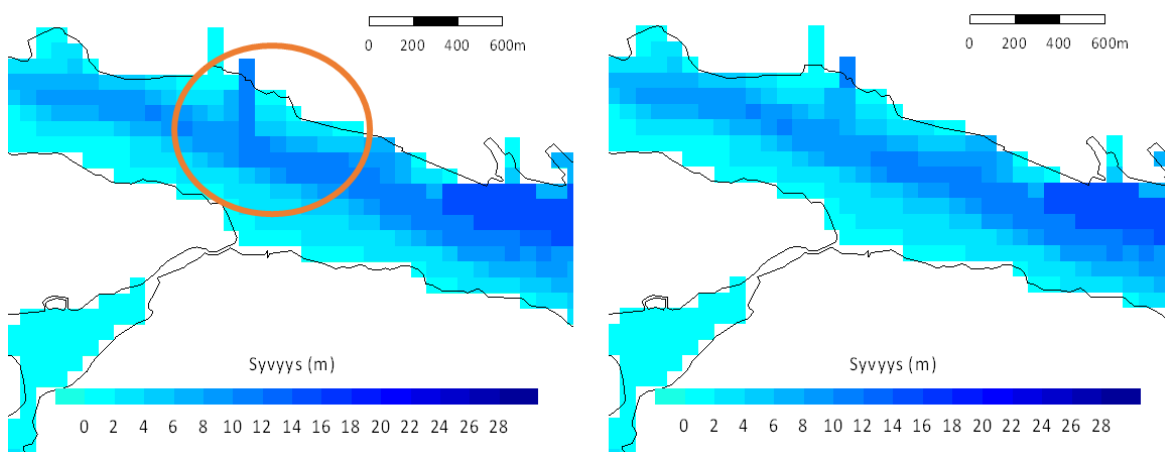


Kuva 19. Jäätilanne skenaarioilla V0, V2, V3 ja V4 talvella 2021, hetkellinen tilanne 1.2.2021 ja 1.3.2021.

5.7 Ottoveden reitin ruoppaus

Reitti, josta merivesi kulkeutuu jäähdytysveden ottoon, on paikoitellen matala. Veden-ottopisteessä syvyys on 12 m, mutta reitillä ottopisteestä kaakkoon kohti reitin syvyys on matalimmillaan noin 7–8 m tasolla. Kesällä lämpötilakerrostuneissa olosuhteissa pintavesi on pohjalla olevaa vettä lämpimämpää. Näissä olosuhteissa mitä syvemmltä vesi ottopisteeseen päätyy, sitä viileämpää se tyypillisesti on. Lämpöpäästön lähialue voi olla lämpöpäästöstä johtuen lievästi lämpötilakerrostunut myös syksyllä, jolloin syvemmästä ottoveden reitistä on etua myös muulloin kuin kesän lämpötilakerrostuneena aikana. Ottoveden reitin syventäminen voi siis viilentää ottoon menevän veden lämpötilaa avoveden aikana ja siten vähentää myös pintakerroksen lämpenevää aluetta.

Ottoveden reitin syventämisen vaikutusta ottoveden lämpötilaan testattiin mallilaskennalla siten, että reittiä syvennettiin mallissa 12 m tasolle aina satama-altaaseen asti, mistä lähtien lahden syvyys oli yli 12 m. Syvennetty alue on esitetty kuvassa 20. Kuvissa 21 ja 22 on esitetty lämpötilan muutos kuormituskenaarioilla V3 ja V4 tapauksissa, jossa ottoveden reittiä ei ole syvennetty ja lisäksi samoilla lämpökuormilla, kun ottoveden reittiä on syvennetty (skenaariot V3b ja V4b). Keskimääräiset lämpötilan muutokset eri lämpökuormituksille on esitetty taulukossa 10.

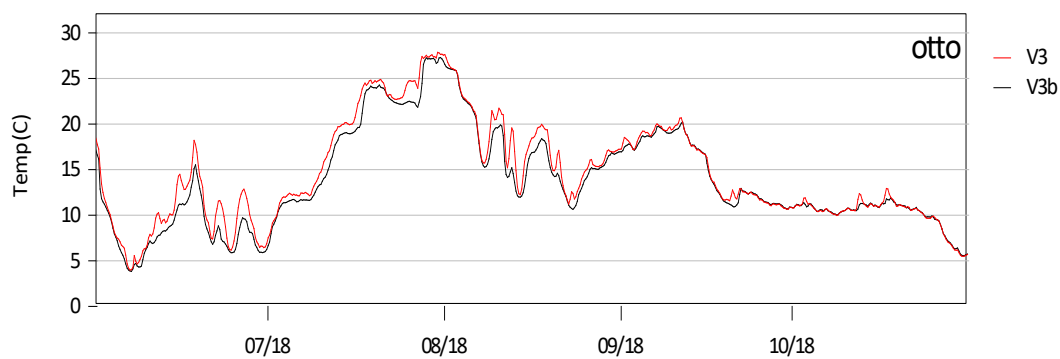


Kuva 20. Ottoveden reitin syvyysmuutos (syvennetty 12 m tasolle), muutettu tilanne vasemmalla, nykytilanne oikealla.

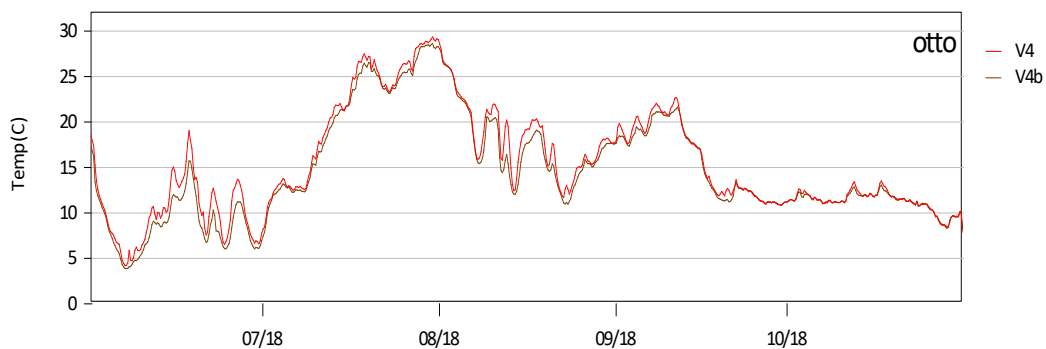
Ottoveden reitin syventäminen laskee kesäjaksolla ottoveden lämpötiloja jonkin verran. Eri lämpökuormituskenaariolla vuoden 2018 kesällä (6/2018–10/2018) keskimääräinen ruoppauksen aikaansaama ottoveden lämpötilan lasku on 0,6–0,7 °C asteen välillä. lasku on hieman suurempi pienemmillä lämpökuormilla. Muutoksia näkyy aikasarjoissa (kuvat 21 ja 22) pääasiassa aikana, jolloin vesi on lämpötilakerrostunut, ts. kesä- heinä ja elokuussa.

Taulukko 10. Ottoveden reitin syventämisen vaikutus ottoveden lämpötiloihin, 2018 kesä.

		V2		V3		V4	
		avg	max	avg	max	avg	max
Nykytila	Fagerviken60	15.12	28.01	15.78	29.10	16.82	31.12
	Norrfjarden52	14.85	27.77	15.04	28.41	15.68	30.13
	Skatafjarden45	14.85	26.32	14.86	26.35	14.88	26.43
	otto	14.13	27.14	14.58	27.87	15.38	29.36
Syvennetty	Fagerviken60	15.06	27.94	15.70	28.92	16.73	30.86
	Norrfjarden52	14.85	27.71	15.02	28.37	15.61	30.01
	Skatafjarden45	14.85	26.31	14.86	26.35	14.87	26.42
	otto	13.37	26.50	13.85	27.28	14.70	28.63
Erotus	Fagerviken60	-0.06	-0.08	-0.08	-0.18	-0.09	-0.25
	Norrfjarden52	0.00	-0.06	-0.02	-0.04	-0.07	-0.12
	Skatafjarden45	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.00	-0.01
	otto	-0.76	-0.64	-0.73	-0.59	-0.67	-0.73



Kuva 21. Syvyysmuutoksen vaikutus ottoveden lämpötilaan kesällä 2018, lämpöpäästö V3, skenaario V3b on skenaario, jossa syvennetty ottokanava.



Kuva 22. Syvyysmuutoksen vaikutus ottoveden lämpötilaan kesällä 2018, lämpöpäästö V4, skenaario V4b on skenaario, jossa syvennetty ottokanava.

6 Tulosten tarkastelu

Tässä raportissa arvioitiin suunnitellun terästehtaan lämpöpäästön vaikutusta Inkoon sataman edustan merialueen lämpötilaan ja virtauksiin hydrodynaamisen mallin avulla. Laskentamallin resoluutio kohdealueella on 70 x 70 m. Mallissa käytettiin sisäkkäistä laskentahilaa, millä saadaan huomioitua laajemman merialueen vaikutus kohdealueen virtauksiin ja vedenkorkeuksiin. Syvyysuunnassa mallissa käytettiin vakiosyvyystasoihin perustuvaa ns. z-hilaa, jonka syvyystarkkuus 0–15 m välillä oli 1 m.

Mallin varmistettiin laskemalla vuosien 2018 ja 2019 avovesijaksot, ja vertaamalla mallinnettuja veden lämpötila- ja suolaisuusarvoja mitattuihin arvoihin. Em. aikajaksoilta oli saatavilla poikkeuksellisen paljon mittauksia, johtuen Baltic Connector – kaasuputken rakentamiseen liittyvistä vesistötarkkailuista. Mallin tulokset pintalämpötilojen osalta vastasivat mittauksia kohtalaisesti. Pohjan lämpötilat ja ero pintakerroksen lämpötilaa vastasivat pääosin mittauksia, joskin syksyn 2018 osalta mallissa oli muutamia poikkeamia mittauksiin verrattuna. Suolapitoisuus ja suolapitoisuuden ero pinnan ja pohjan välillä toistuivat mallissa myös kohtuullisen hyvin mittauksiin verrattuna.

Lämpökuormituksen vaikutusta arvioitiin sijoittamalla mallissa lämpökuormitus aikaisemmin alueella sijainneen voimalaitoksen jäähdytysveden purkupisteeseen. Lämpökuormituksen määrälle oli neljä vaihtoehtoa.

Mallilla laskettiin eri lämpökuormilla noin vuoden mittaiset jaksot vuosien 2018, 2019 ja 2020 toukokuusta seuraavan vuoden huhtikuuhun. Laskennan tulosten perustella vesialueen lämpenemisen kuukausikeskiarvo oli suurin kesäkuussa 2020 johtuen poikkeuksellisista sääolosuhteista. Vuoden 2020 elokuussa lämmenneen vesialueen pinta-ala oli puolestaan lähellä kaikkien laskettujen kuukausien keskiarvoa. Vuoden 2020 kesäkuun voi arvioida edustavan suurinta lämpenemistä ja vuoden 2020 elokuun keskimääräistä lämpenemistä.

Taulukkoon 11 on poimittu lämmenneen vesialueen pinta-alan kuukausikeskiarvot keskimääräiselle kuukaudelle eri skenaariolla. Skenaariolla V1 ja V2 lämmön nousun alueet jäävät pieniksi. Myös skenaariolla V3 yli asteen lämmennyt alue on keskimäärin vain hieman yli 1 km² suuruinen ja rajoittuu sataman lähialueelle. Vaihtoehdolla V4 yli asteen lämmennyt alue ulottuu noin Fjusö'n tasalle ja kattaa jo suurimman osan lahden pinta-alasta Fjusö'stä länteen.

Taulukko 11. Pintaveden lämmön nousun alueet eri skenaarioilla (km²), vuoden 2020 elokuun keskiarvo (keskimääräinen kuukausi).

skenaario	kuukausi	>1 °C	>2 °C	>3 °C	>4 °C	>5 °C
v1	08/2020	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
v2	08/2020	0.33	0.07	0.05	0.04	0.04
v3	08/2020	1.29	0.16	0.07	0.05	0.04
v4	08/2020	3.18	0.67	0.17	0.08	0.06

Ottoveden lämpötilan nousun keskiarvo vaihteli eri skenaariolla välillä 0,0–2,3 °C. Lämpöpäästön aiheuttaman ottoveden lämmön nousun keskiarvo ei juuri vaihdellut eri vuosien välillä, ts. tarkasteltaessa pidempiä jaksoja sääolosuhteilla ei näyttänyt mallinnusten perustella olevan suurtakaan vaikutusta ottoveden lämmön nousuun.

Lyhemmillä jaksoilla ottoveden lämpötilassa oli tosin isojaakin vaihteluita sääolosuhteista riippuen. Ottoveden lämpenemiseen vaikuttaa lämpöpäästön lisäksi myös ottovirtaaman suuruus, ts. mitä suurempi virtaama, sitä enemmän ottoveteen sekoittuu lämmintä vettä ylemmistä vesikerroksista.

Purkuvesien mukana mereen tulee myös suolakuormitusta. Suolapitoisuuden nousu jäi Norrfjärdenin alueella tyypillisesti alle 0,2 g/l tason, joskin sataman alueella suolapitoisuuden muutos voi ajoittain olla suurempi. Suolapitoisuus vaihtelee rannikkoalueilla luontaisesti (esim. Norrfjärdenin mittauspisteessä 5–6,5 g/l): mereen laskee jokivesiä, jotka alentavat pintakerroksen suolapitoisuutta, ja toisaalta ajoittain kauempaa mereltä kulkeutuu rannikkoveden keskimääräistä pitoisuutta suolaisempien vesiä rannikko-alueelle.

Jäätilanne Suomenlahdella vaihtelee vuosittain, esim. 2020 talvella jättä ei ollut ollenkaan. Lämpökuormitus vaikutti jäätilanteeseen skenaariolla V1-V3 laskelmien mukaan yllättävän vähän. Tämä johtui todennäköisesti siitä, että pienemmillä jäähdytysvesivirtaamilla noin neljän asteen lämpötilaan sekoittunut purkuvesi on talvella pintavettä tiheämpään, ja kulkeutuu pintakerrosta syvemmällä, jolloin vaikutus jäähän jää suhteellisen pieneksi. Käytännössä satama-alueella on talvellakin laivaliikennettä, mikä sekoittaa purkuvesiä syvyysuunnassa, ja voi siten aiheuttaa mallin laskemaa suurempaa jään sulamista em. skenaariolla. Suurimmalla lämpökuormalla (V4) lämpökuorma riitti pitämään koko Fågervikenin lahden sulana.

7 Lähdeluettelo

Berrisford P, Dee D, Poli P, Brugge R, Fielding K, Fuentes M, Kallberg P, Kobayashi S, Uppala S and Simmons A. 2011. The ERA-Interim archive Version 2.0, ERA report series no 1, November 2011, ECMWF.

BSBD. 2013. Baltic Sea Hydrographic Commission, Baltic Sea Bathymetry Database, version 0.9.3, <http://data.bshc.pro>.

EEA. 2017. European Environmental Agency, coastline for analysis, revision 2017, <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/eea-coastline-for-analysis-2>.

Ilmatieteenlaitos, 2024, Ilmatieteen laitoksen havaintojen lataus - sivut, <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus>

Hertta. 2024. Suomen Ympäristökeskuksen HERTTA-tietokanta, tiedot haettu 03/2020.

Koponen J., Kummu M., Lauri H., Virtanen M., Inkala A., Sarkkula J., Suojanen I., Veijalainen N. 2008. EIA 3D Model Manual.

Liikennevirasto. 2024. Lataus- ja katselupalvelut, <https://julkinen.vayla.fi/oskari/>, tiedot haettu 03/2020, lisenssi: <http://www.liikennevirasto.fi/avoindata>.

Maanmittauslaitos. 2024. Avoimien aineistojen tiedostopalvelu, tiedot haettu 02/2020, lisenssi ja tietojen haku sivulta <http://www.maanmittauslaitos.fi/asioi-verkossa/avoimien-aineistojen-tiedostopalvelu>.

SYKE. 2024. Suomen Ympäristökeskuksen vesistömallijärjestelmä, 3-jakovaiheen valuma-alueiden lasketut valumat ja virtaamat, ostopalvelu. Tiedot haettu 03/2020.