

Kokkolan edustan rantaviivan muutosten vaikutukset vedenlaatuun

Virtaus- ja vedenlaatumallinnus 2021-2022 tiedoilla

Luonnos 14.3.2024, v4

Tilaaaja: KIP Service Oy KIP-alueen toimijoiden yhteisestä
toimeksiannosta

Sisältö

1	Johdanto.....	3
2	Laskentamallin parametrit ja lähtötiedot	3
2.1	Laskentamalli	3
2.2	Kuormituspisteen lähialueen käyttäytyminen mallilaskennassa	6
2.3	Lähtötiedot	7
2.4	Jokivirtaamat	8
3	Virtauslaskennan varmistus.....	9
3.1	Lämpötila ja suolaisuus	10
3.2	Jääpeite.....	15
4	Vedenlaatulaskennan varmistus	18
4.1	Kuormitukset	18
4.2	Fosfori (PTOT)	19
4.3	Typpi	22
4.4	Sinkki (Zn)	22
4.5	Nikkeli (Ni)	22
4.6	Koboltti (Co)	29
4.7	Kadmium (Cd).....	29
5	Skenaariolaskennat	34
5.1	Skenaarioiden kuormitukset.....	35
6	Rantaviivan muutoksen vaikutus nykytilan kuormituksilla	36
6.1	Vaikutus suolapitoisuuteen aikasarjapisteissä	38
6.2	Vaikutus veden lämpötilaan aikasarjapisteissä.....	41
6.3	Vaikutus kokonaisfosforin pitoisuuksiin aikasarjapisteissä	44
6.4	Vaikutus kokonaistypen pitoisuuksiin aikasarjapisteissä	49
6.5	Vaikutus kokonaistypen keskipitoisuuksiin karttapohjalla	54
6.6	Vaikutus kokonaisfosforin keskipitoisuuteen karttapohjalla	58
6.7	Rantaviivan muutoksen vaikutus vedenvaihtoon	62
7	Laskennan epävarmuuksista.....	65
7.1	Purkupaikan lähialueen käyttäytyminen	65
7.2	Mallin sopivuus mittauksiin	65
7.3	Olosuhteiden vaikutus	66
8	Yhteenvedo.....	67
9	Lähdeluettelo	69

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

Tässä raportissa on esitetty Kokkolan edustalle laadittu virtaus- ja vedenlaatumalli, ja mallilla tehtyjen skenaariolaskentojen tuloksia. Työn tavoitteena oli arvioida suunniteltujen rantaviivan ja kuormitusmuutosten vaikutusta alueen vedenlaatuun. Rantaviivan muutokset aiheutuvat Kokkolan Sataman laajennuksista täyttömailla. Täyttöjen lisäksi satama-alueella tehdään myös ruoppauksia. Kuormituksen muutokset aiheutuvat alueelle suunnitelluista uusista teollisuuslaitoksista tai aikaisempien laitosten muutoksista. Nykytilassa mereen lasketaan purkuvesiä pääasiassa kahdesta purkupisteestä, KIPP ja KIPE. Lasketuissa skenaarioissa sekä purkupisteen KIPP että pisteen KIPE paikat muuttuvat rantaviivan siirtojen johdosta.

Malli pohjautuu aikaisemmin Kokkolan edustalle laadittuun laskentamallin (AFRY, 2020), joskin malliin laadittiin uusi hila aikaisempaa tarkemmalla vaakaresoluutiolla. Mallin toiminnan varmistamiseksi mallilla laskettiin alueen nykytila käyttäen vuosien 2021 ja 2022 olosuhdetietoja ja rantaviivaa. Laskennan asetukset ja nykytilan tulosten vertailu mittauksiin on esitetty luvussa 2, 3 ja 4. Nykytilan lisäksi laskettiin skenaarioita, joissa alueen rantaviivaa sekä kuormitusten paikka ja määrä muuttuivat nykytilanteeseen verrattuna. Laskentaskenaarioiden lähtötiedot on esitetty luvussa 5, ja tulokset luvussa 6 ja 7. Mallin tulosten tulkinnan avuksi luvussa 8 on arvioitu mallin epävarmuuksien vaikutusta tuloksiin.

2 Laskentamallin parametrit ja lähtötiedot

2.1 Laskentamalli

Laskentamallina käytettiin EIA3d-mallia, jota on sovellettu alueelle aikaisemminkin (YVA Oy 2015, Pöyry 2019, AFRY 2020). Käytetty EIA3d-malli virtaus- ja vedenlaatumalli perustuu hydrostaattisten 3d-virtausyhtälöiden ratkaisemiseen numeerisesti asteittain tarkentuvassa suorakulmaisessa neliöhilassa. Vaakasuunnassa mallihila koostuu suorakulmaisista ruuduista, syvyyssuunnassa malli käyttää vakiosyvyystasoihin perustuvaa kerrosjakoa. Käytetty malli soveltuu hyvin Suomen järvi- ja rannikkoalueiden kuvaamiseen, ja sitä on käytetty yli sataan laskentasovellukseen Suomessa ja ulkomailla (Koponen et. al 2004).

Tässä mallisovelluksessa on käytetty sisäkkäistä mallihilaa. Sisäkkäisten hilojen kytkentä on kaksisuuntainen. Mallin uloin taso sisältää koko Perämeren siten, että eteläreuna on Merenkurkussa. Tarkin hilataso kattaa Kokkolan edustan, 70 x 70 m hilatarkkuudella. Tarkennetun alueen koko on 16,4 x 13,7 km. Seuraavien hilatasojen vaakatarkkuudet ovat 210 m, 630 m ja 1890 m. Hilatasojen tiedot keskeiset parametrit on esitetty taulukossa 2-1. Syvyyssuunnassa mallissa on 30 hilatasoa, jotka on asetettu siten, että 0-15 m syvyydellä syvyysresoluutio on 1 m, 15 m tason jälkeen syvyysresoluutio harvenee tasaisesti siten, että mallihilan pohja on 120 m tasolla. Mallin hilan vaakatarkennusten rajat on esitetty kuvassa 2-1.

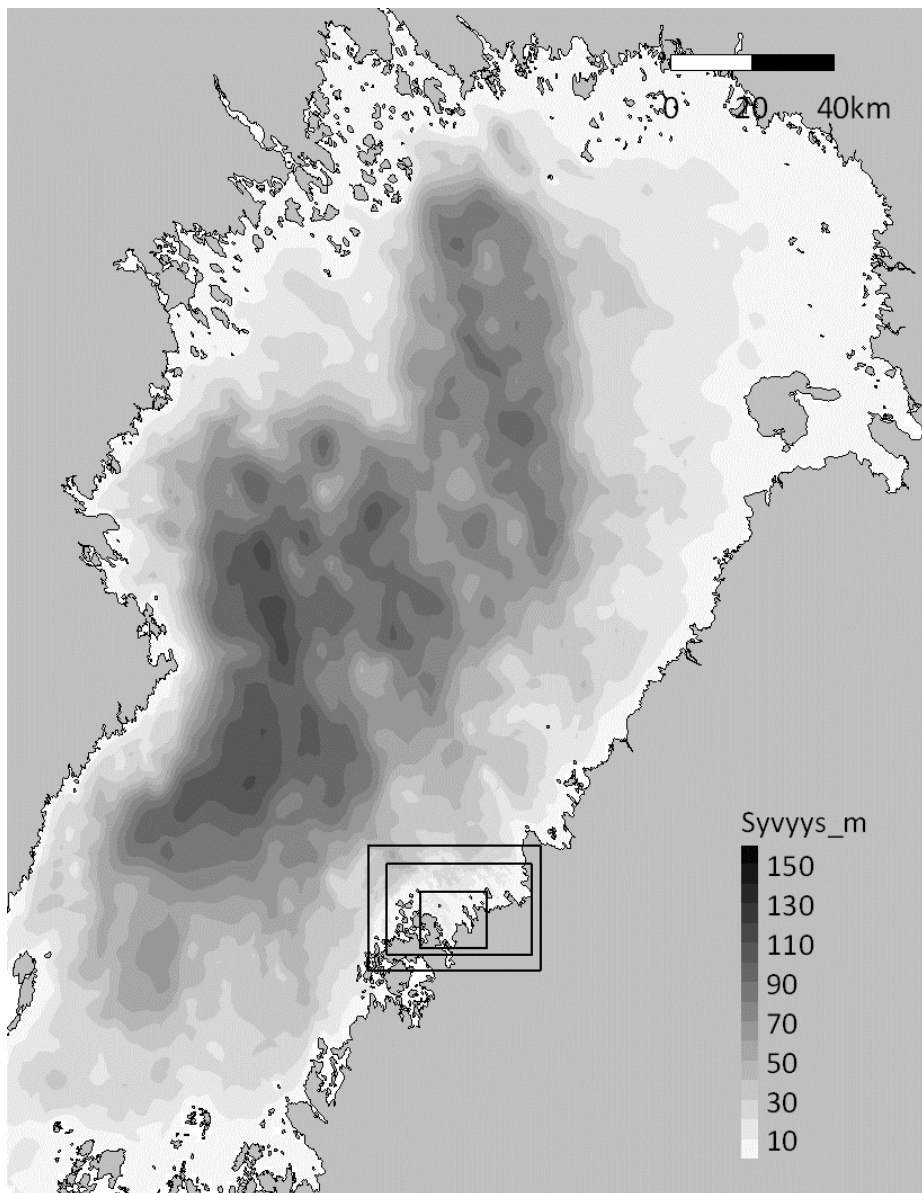
Taulukko 2-1: Hilatasojen keskeiset parametrit

Tason nro	Soluja x-suunta	Soluja y-suunta	Resoluutio (m)	Koko x (km)	Koko y (km)	Ala (km ²)	Tilavuus (Mm ³)	Suurin syvyys (m)
1	130	159	1890	245.7	300.5	34392.2	1305247	117.8
2	66	48	630	41.6	30.2	703.3	11727	58.2
3	168	105	210	35.3	22.1	434.8	4979	46.3
4	234	195	70	16.4	13.7	122.5	860	19

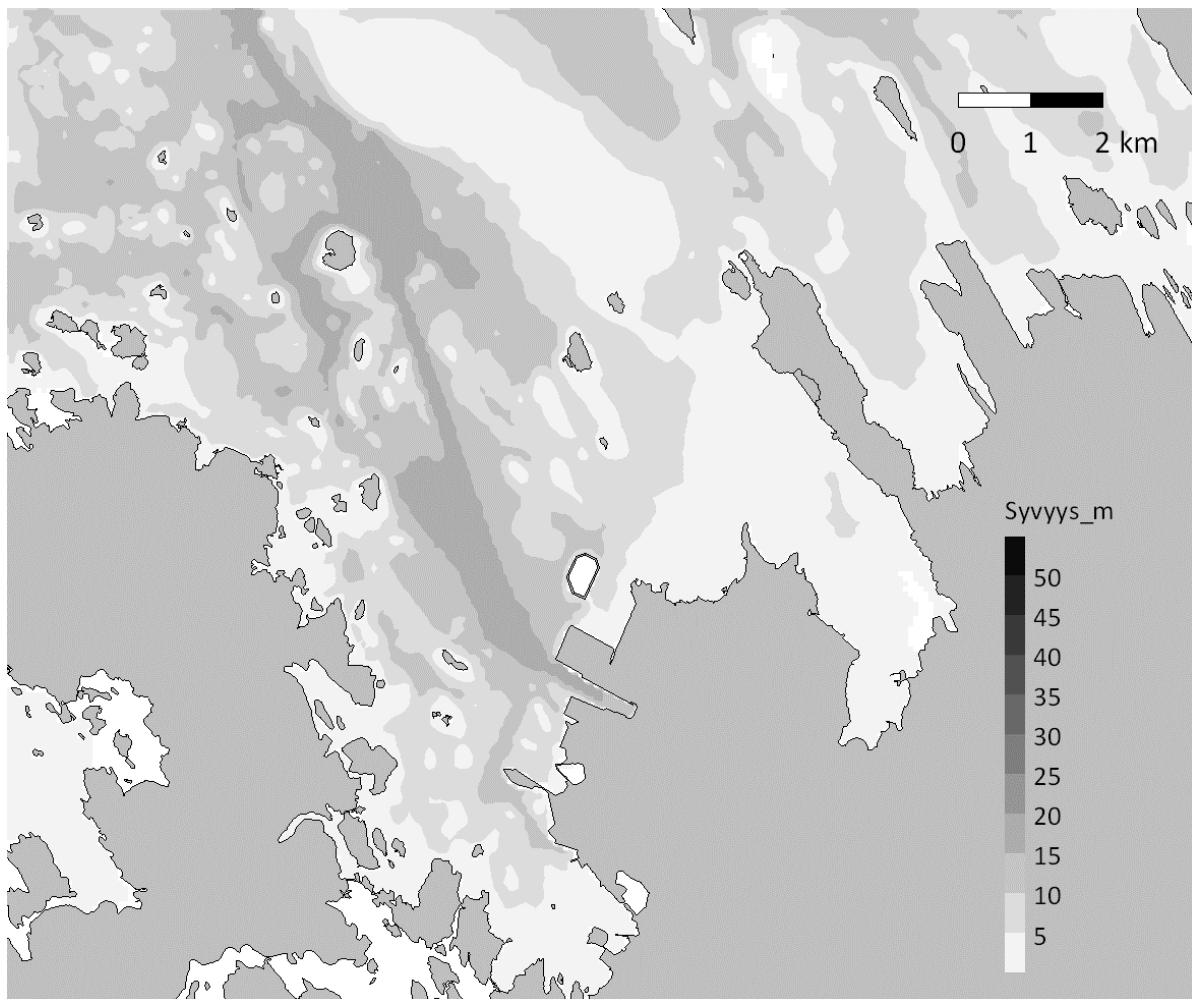
Kokkolan edustalle on suunnitteilla maatäyttöjä ja ruoppauksia, mistä aiheutuu muutoksia rantaviivaan ja sataman alueen syvyyksiin. Tästä johtuen mallissa käytettiin eri skenaariossa eri syvyystietoja ja rantaviivatietoja. Nykytilan laskennassa 2021–2022 mallissa käytettiin 09/2023 saatavilla olleita syvyystietoja ja rantaviivaa. Kokkolan väylän viimeisin ruoppaus saatiin pääosin valmiiksi 09/2020 mennessä, skenaariolaskennat on tehty 09/2020 rantaviivan ja päätyneiden väyläruoppausten tavoitesyvyyksien mukaisesti. Tulevaisuusskenaariossa on nykyisen rantaviivan lisäksi kolme muuta rantaviiva vaihtoehtoa, joka esitetty kuvassa 2-3.

Yhteenvedona rantaviivoja on siis käytössä neljä (Kuvat 2-2 ja 2-3):

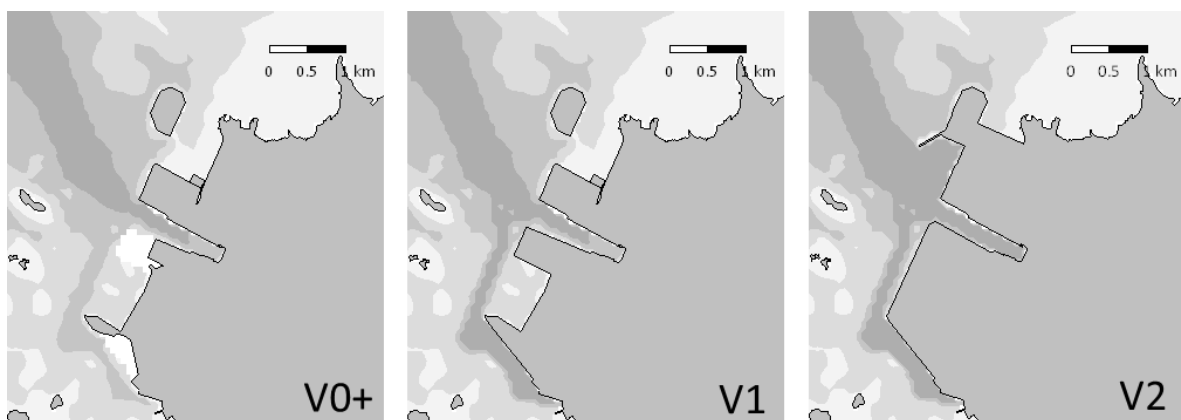
V0	Rantaviiva & syvyydet	2021	Nykytila
V0p	Rantaviiva & syvyydet	2030	Skenaariolaskennat
V1	Rantaviiva & syvyydet	2040	Tulevaisuusskenaario
V2	Rantaviiva & syvyydet	2050	Tulevaisuusskenaario



Kuva 2-1: Mallin kattama alue, alueen syvyydet ja hilatarkennusten rajat



Kuva 2-2: 70 m hilatarkkuuden alue syvyyksineen, skenaario V0



Kuva 2-3: Rantaviivat V0+: 2030-skenaario, V1: 2040-skenaario, V2:2050-skenaario

2.2 Kuormituspisteen lähialueen käyttäytyminen mallilaskennassa

Merimallin (tai rannikkomallin) toimintaperiaatteesta johtuen malli ei pysty kuvaamaan ilmiöitä, joissa on merkittävää vaihtelua mallin hilakopin resoluutiota pienemmässä mittakaavassa. Esim. virtaamien laskennassa yhden hilakopin sisältämä veden lämpötilaa kuvataan yhdellä lämpötila-arvolla. Vastaavasti myös yksittäisen hilakopin virtaussuuntaa, virtausnopeutta ja lämpötilaa kuvataan mallissa yhdellä numeroarvolla.

Kuormitusten purkupaikkojen osalta tämä tarkoittaa sitä, että kun kuormitus sijoitetaan laskennassa rannikkomallin johonkin hilakoppiin, sekoittuu se purkupisteessä mallin hilakopin tilavuutta vastaavan vesimäärään.

Merialueella sekoittuminen riippuu purkuveden ominaisuuksista. Meriveteen verrattuna vähemmän tiheä purkuvesi, esim. lämpöpäästö, sekoittuu tyypillisesti pintakerroksessa nopeasti meriveteen. Kun sekoittuminen purkupaikalla on tehokasta, vastaa karkeampaakin resoluutiota käyttävä malli tällaisissa tapauksissa sekoittumisen osalta hyvin todellista tilannetta.

Jos purkuvesi on selvästi merivettä tiheämpää ja sekoittuminen purkupaikan lähialueella jää vähäiseksi, voi rannikkomallin purkupaikan käyttäytymiseen verrattuna harva mallin resoluutio aiheuttaa purkupaikalla ylimääristä sekoittumista. Tällaisessa tapauksessa mallissa tapahtuvaa ylimääristä sekoittumista voidaan vähentää sijoittamalla purkupiste mallissa suoraan pohjakerrokseen, jolloin purkuvesi ei laimene mallin hilaresoluution takia kulkeutuessaan pinnalla olevalta purkupisteeltä syvempiin kerroksiin.

Purkuveden käyttäytymistä purkupisteen lähialueella voidaan tarkastella erikseen ns. lähialuemalleilla, joista mainittakoon CORMIX malli (Doneker & Jirka, 2007). Purkupisteen käyttäytymistä voi mallintaa myös virtausdynaamisella mallilla, kunhan mallihila resoluutio on riittävän tarkka. Lähialueen malleilla voidaan myös suunnitella purkupaikalle diffuusori, jolla purkuvesi saadaan jaettua laajemmalle alueelle ja sekoittumaan paremmin ympäröivään meriveteen kuin ilman diffusoria olisi mahdollista.

Kokkolan edustalla nykytilanteessa KIPP purkupisteen vesi on merivettä tiheämpää. KIPE purkupisteen vesi on puolestaan pääasiassa jäähdytysvettä, ts. merivettä kevyempää tai lähellä meriveden tiheyttä. KIPP purkupisteellä purkuvesi sekoittuu mittaustietojen perusteella käytännössä meriveteen käytännössä hyvin, sillä purkupaikkaa lähellä olevan seurantapisteen pohjakerroksen mittauksissa ei näy korkeita suola- tai ainepitoisuuksia (ks. luvuissa 3 ja 4 esitetyt mittausvertailut, piste H).

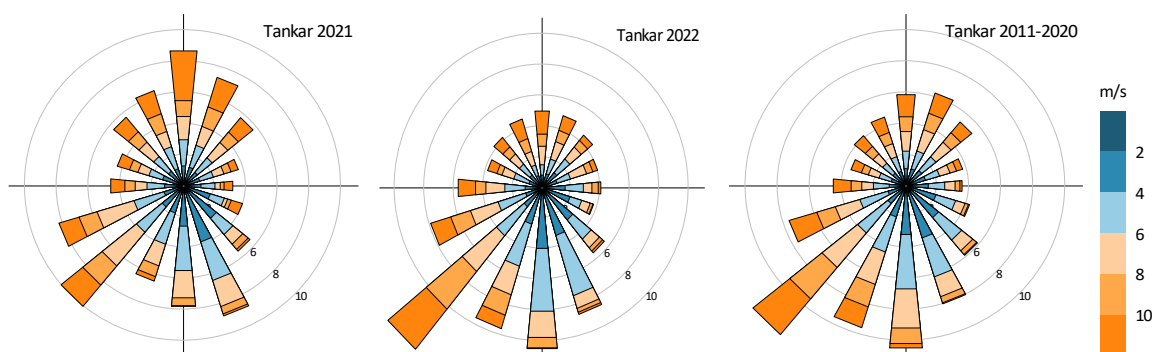
Uusien kuormitusten osalta purkupisteiden KIPP ja KIPI purkuvedet ovat selvästi merivettä tiheämpiä. Näissä tapauksissa mallilaskennassa voi olla mukana ylimääristä sekoittumista. Asiaa on tarkastelu erikseen luvussa 8.

2.3 Lähtötiedot

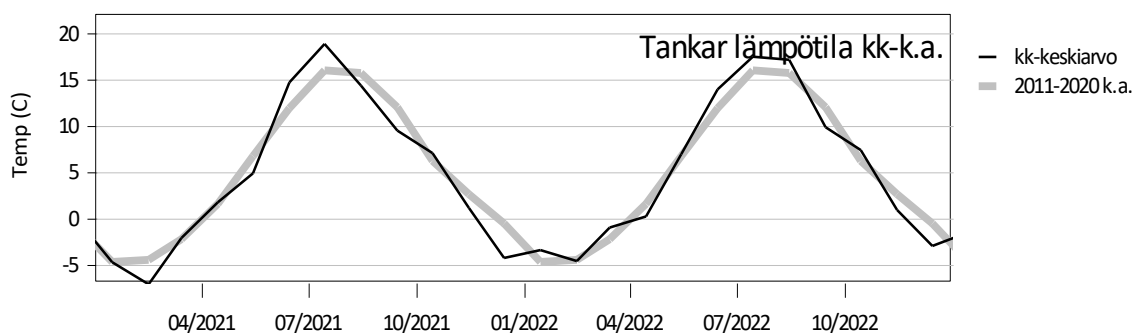
Laskentamallin olosuhdetietoina on käytetty vuosien 2021 ja 2022 mitattua olosuhdetietoja. Molemmat vuodet olivat sääolojen puolesta (lämpötila, tuulen keskinopeus avovesiaikana) lähellä keskiarvoa, eli kumpikaan vuosi ei ollut erityksen poikkeuksellinen. Laskenta haluttiin kuitenkin tehdä jaksolle, jolloin Kokkolan väyläalueella tehdyt ruoppaukset olivat valmiita, mistä johtuen aikaisin mahdollinen laskentavuosi oli 2021 (ruoppaukset päättyivät syksyllä 2020).

Malliin haettiin vuosien 2021–2022 laskentaan tarvittavat olosuhdetiedot eri lähteistä (Hertta 2023, SMHI 2023, Copernicus Climate Change Service, 2017). Sää tietoina käytettiin ECMWF:n ERA5 reanalysis säädataa 0,75 x 0,75 asteen vaakaresoluutiolla.

Tuuliruuusut Tankarin sääaseman mittaustiedoista (FMI 2023a) vuosille 2021, 2022 ja jaksolle 2011–2020 on esitetty kuvassa 2-4. Keskituulennopeus vuonna 2018 oli 6,07 m/s, ja vuonna 2019 6,49 m/s. Jakson 2011–2020 keskiarvo oli 6,32 m/s. Useimmin tuuli molempina vuosina lounaasta, vuonna 2021 pohjoisen puoleisia tuulia oli selvästi useammin kuin vuonna 2022. Vuonna 2022 puolestaan lounais- ja etelätuulia oli useammin kuin vuonna 2021.

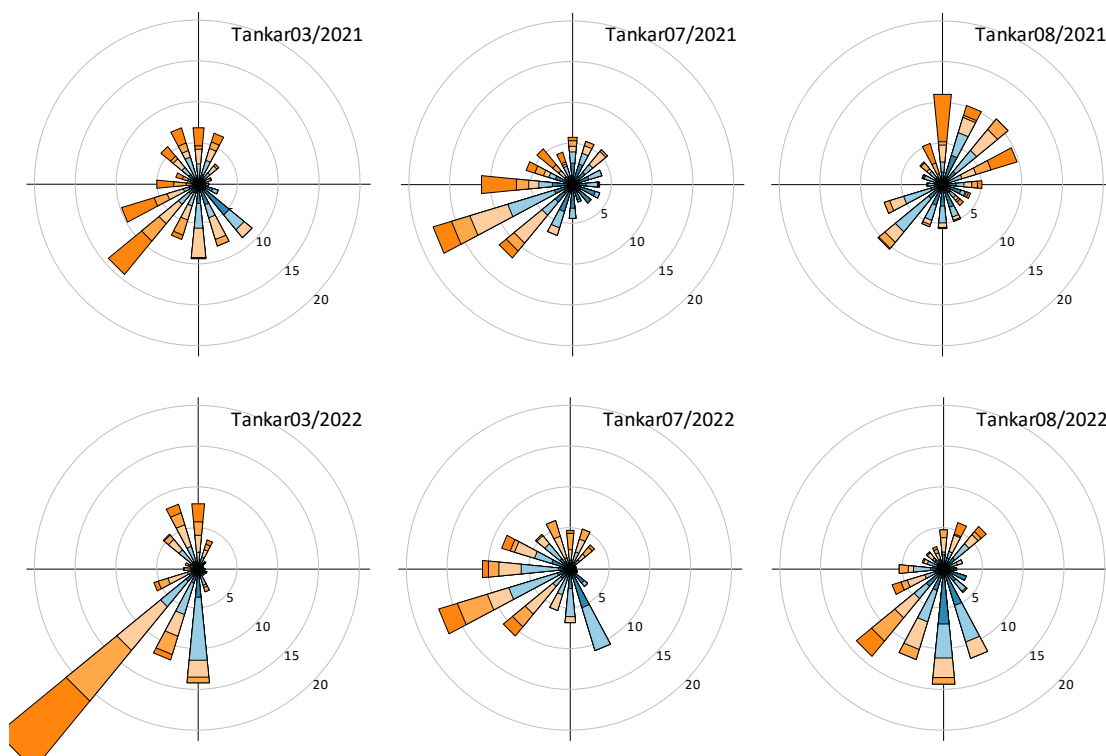


Kuva 2-4: Tuulen suunta- ja nopeusjakaumat Tankarin sääasemalta vuosille 2021 ja 2022, sekä jaksolle 2011–2020.



Kuva 2-5: Ilman lämpötilan kuukausikeskiarvot 2021–2022 ja 2011–2020 jakson kuukausikeskiarvo, Tankarin sääasema (FMI 2023).

Ilman lämpötilan kuukausikeskiarvot Tankarin sääasemalta verrattuna jakson 2011–2020 keskiarvoon on esitetty kuvassa 2-5. Helmikuu 2021 oli keskiarvoa viileämpi, mutta kesä- ja heinäkuut keskiarvoa lämpimämpiä. Joulukuu 2021 oli kylmä. Vuonna 2022 toukokuusta heinäkuuhun oli myös keskimääräistä lämpimämpää.



Kuva 2-6: Tuuliruusut Tankarin sääasemalta vuosien 2021 ja 2022 valituille kuukausille.

Taulukko 2-2: Tuulen keskinopeudet ja lämpötilan keskiarvot eri kuukausille ja vuosille Tankarin sääaseman mittaustiedoista (FMI 2023)

	Tuulen nopeus				Ilman lämpötila			
	k.a.	std	min	max	k.a.	std	min	max
vuosi	m/s	m/s	m/s	m/s	°C	°C	°C	°C
03/2021	6.82	3.67	0.6	20.5	-2.26	4.84	-22	7.2
07/2021	5.68	3.32	0	15.2	18.89	2.56	12.8	26.7
08/2021	6.05	3.19	0	14.8	14.30	2.74	8.3	21.4
03/2022	7.04	3.18	0.5	20.2	-0.93	3.13	-8.8	6.2
07/2022	5.76	2.45	0.5	12.7	17.31	2.58	11.6	28.9
08/2022	5.36	2.62	0	13.5	17.18	2.65	9.1	27.6
2021	6.43	3.43	0	20.5	4.56	8.91	-22	26.7
2022	6.19	3.17	0	20.2	4.74	8.30	-17.2	28.9

Kuvassa 2-6 on esitetty kuukausittaiset tuuliruusut, ja taulukossa 2-2 kuukausittaiset tuulen nopeuden ja lämpötilan keskiarvot maaliskuusta, heinäkuusta ja elokuulta vuosilta 2021 ja 2022. Vuoden 2021 heinä- ja elokuut poikkeavat tuulen suunnan osalta selvästi toisistaan, elokuun tuulet ovat pääosin pohjoisen – idän suunnalta, kun taas heinäkuun jakauma lounaanpuoleisiin tuuliin painottuvalla suuntajakaumalla muistuttaa enemmän keskimääräistä tuulen suuntien jakaumaa. Vuonna 2022 tuulet ovat sekä heinä- että elokuussa pääosin etelän ja lännen suunnalta.

2.4 Jokivirtaamat

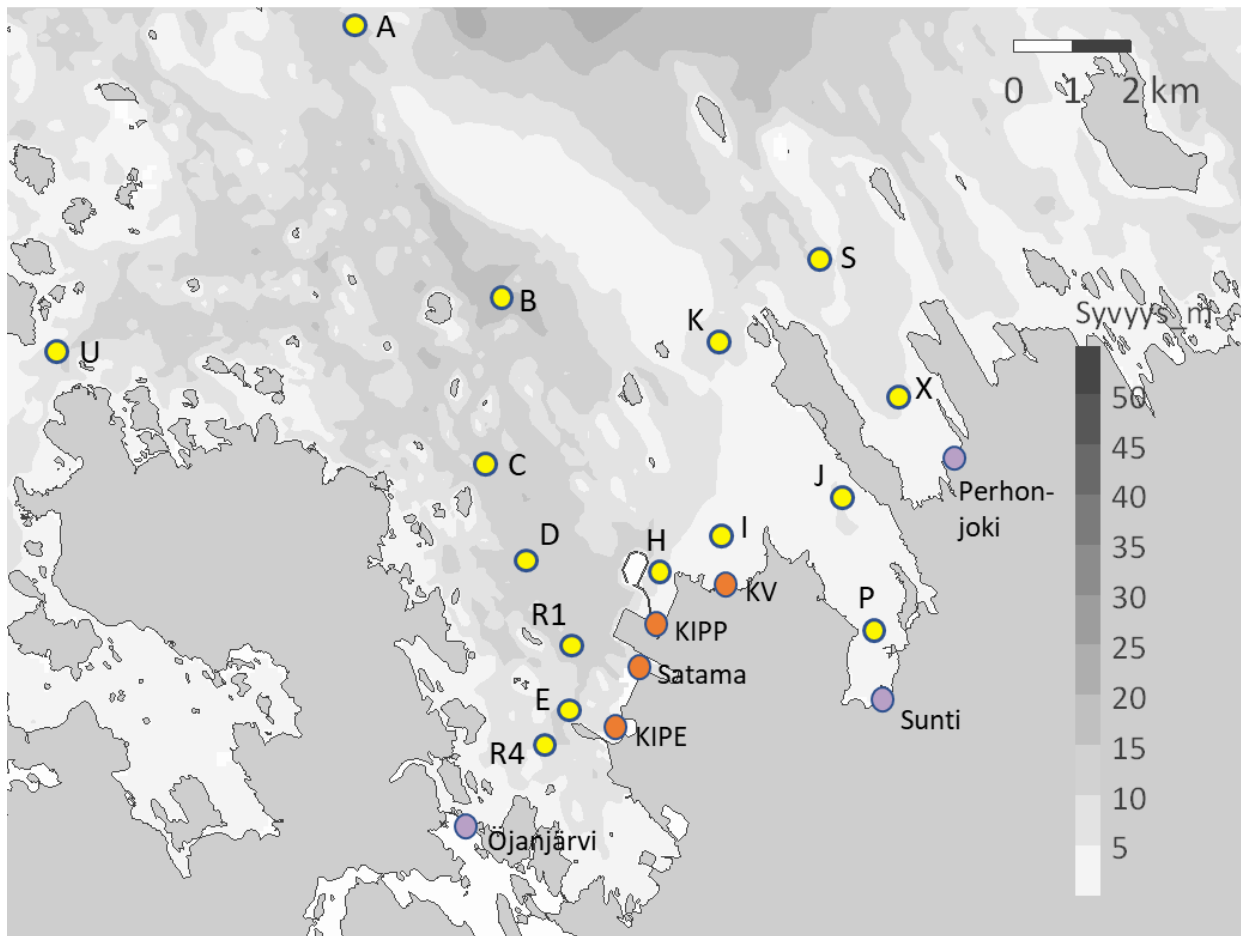
Kokkolan edustan suurimmat valuma-alueilta tulevat virtaamat ovat Perhonjoki, Sunti ja Luodonjärven kalaporras. Lisäksi alueelle laskee muutamia oja, joiden valuma-alueet ovat suhteellisen pieniä. Perhonjoen virtaamaa säätelee Kaitforsin voimalaitos. Perhonjoen valuma-alueesta 2237 km² on Kaitforsin yläpuolella ja 286 km² Kaitforsin alapuolella. Perhonjoen

virtaama on mallissa korjattu kertoimella 1,13, millä on pyritty ottamaan huomioon mittauksesta puuttuva alue. Suntain virtaama on haettu SYKE:n Vemala-järjestelmästä. Valuma-alueen kooksi oli Vemalassa arvioitu 28 km², kun Value-rajaukset antavat valuma-alueen kooksi 33 km². Suntain lisäksi Vanhansatamanlahdelle laskee muutama oja, joiden yhteisvaluma-alueen kooksi on tässä arvioitu 9 km². Puuttuvien valuma-alueiden vesimäärien huomioimiseksi Vemala-järjestelmän arvioima Suntain virtaama on kerrottu arvolla 1,5. Perhonjoen ja Lohtajan välillä mereen laskee Korpilahdenoja (valuma-alueen koko 86 km²), Kälviänjoki (valuma-alueen ala 320 km²) ja Koskenkylänjoki (valuma-alueen koko 81 km²), sekä pienempiä oja (valuma-alue yhteensä noin 40 km²). Mallissa näistä huomioitu Kälviänjoki.

Kauempana olevista joista mallissa on huomioitu suurimmat. Näiden jokien virtaamat on poimittu SYKE:n Hertta-tietokannasta ja SMHI:n VattenWebb-järjestelmästä.

3 Virtauslaskennan varmistus

Alueelta ei ollut käytettävissä suoria virtausmittauksia, joten virtauslaskennan tuloksia verrattiin alueen seurantapistteistä mitattuihin lämpötila- ja suolaisuustietoihin. Nämä tiedot kertovat etenkin mallin syvyyssuuntaisen sekoittumisen ja lämpötilalaskennan toiminnasta. Seurantapistteiden sijainnit on esitetty kuvassa 3-1.



Kuva 3-1: Vedenlaadun yhteistarkkailun seurantapistteiden (keltaiset pisteet) ja kuormitusten (oranssit pisteet) paikat kalibrointilaskennassa. Pistekuormitukset KIPP = KIP pohjoinen, KIPE = KIP etelä, KV = Kokkolan Vesi, Satama = Sataman kuormituksen paikka. Alueelle tulevat joet violeteilla pisteillä.

3.1 Lämpötila ja suolaisuus

Lasketut pintakerroksen, 10 m tasoin ja pohjan lämpötilat verrattuna mitattuihin lämpötila-arvoihin pisteistä A-P on esitetty kuvassa 3-2. Pisteiden paikan löytyvät kuvasta 3-1.

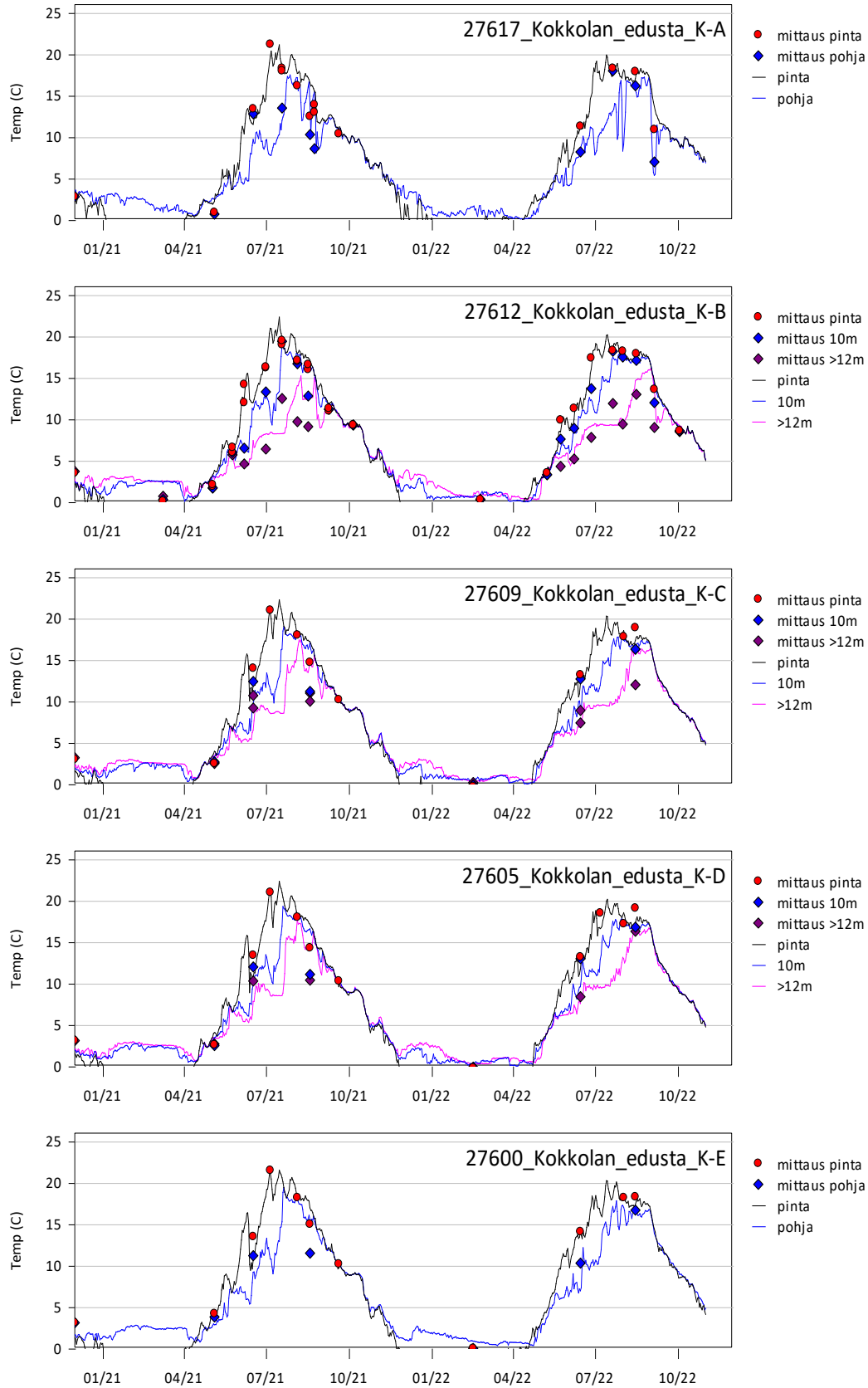
Pisteissä laskettu pintalämpötila seuraa varsin hyvin mittauksia. Elokuun 2021 puolivälissä oli mittausten perusteella kumpuamista, mikä viilensi vettä pohjakerroksessa. Ilmiö näkyy pohjan mittauksissa ja mallissa selvästi pisteessä A, mutta mallissa vain vähän sisemmissä pisteissä B-D. Kumpuamista lukuun ottamatta lämpötilat pohjakerroksessa ja lämpötilakerrostumisen esiintyminen toistuvat mallissa kohtuullisesti mittauksia vastaavasti.

Kuvassa 3-3 on esitetty lasketut ja mitatut pintakerroksen lämpötilat pisteissä H-P. Laskettu pintalämpötila vastaa näissäkin pisteissä hyvin mitattuja arvoja. Vesi on pääosin syvyysuunnassa sekoittunut, ja kerrostuminen on vähäistä, pois lukien kumpuamistapahtuma 2021 elokuun puolivälissä. Pisteessä H vesi on sekoittunut syvyysuunnassa lämpötilan suhteen yllättävän hyvin, vaikka syvyys seurantapisteessä on selvästi yli 10 m. Pisteissä I ja J syvyys on noin 5 m tai sen alle ja vesimassa on avovesiaikana sekoittunut pohjaan asti. Piste K on syvyydeltään noin 8 m, pisteessä näkyy mallituloksissa ajoittaista lämpötilakerrostumista.

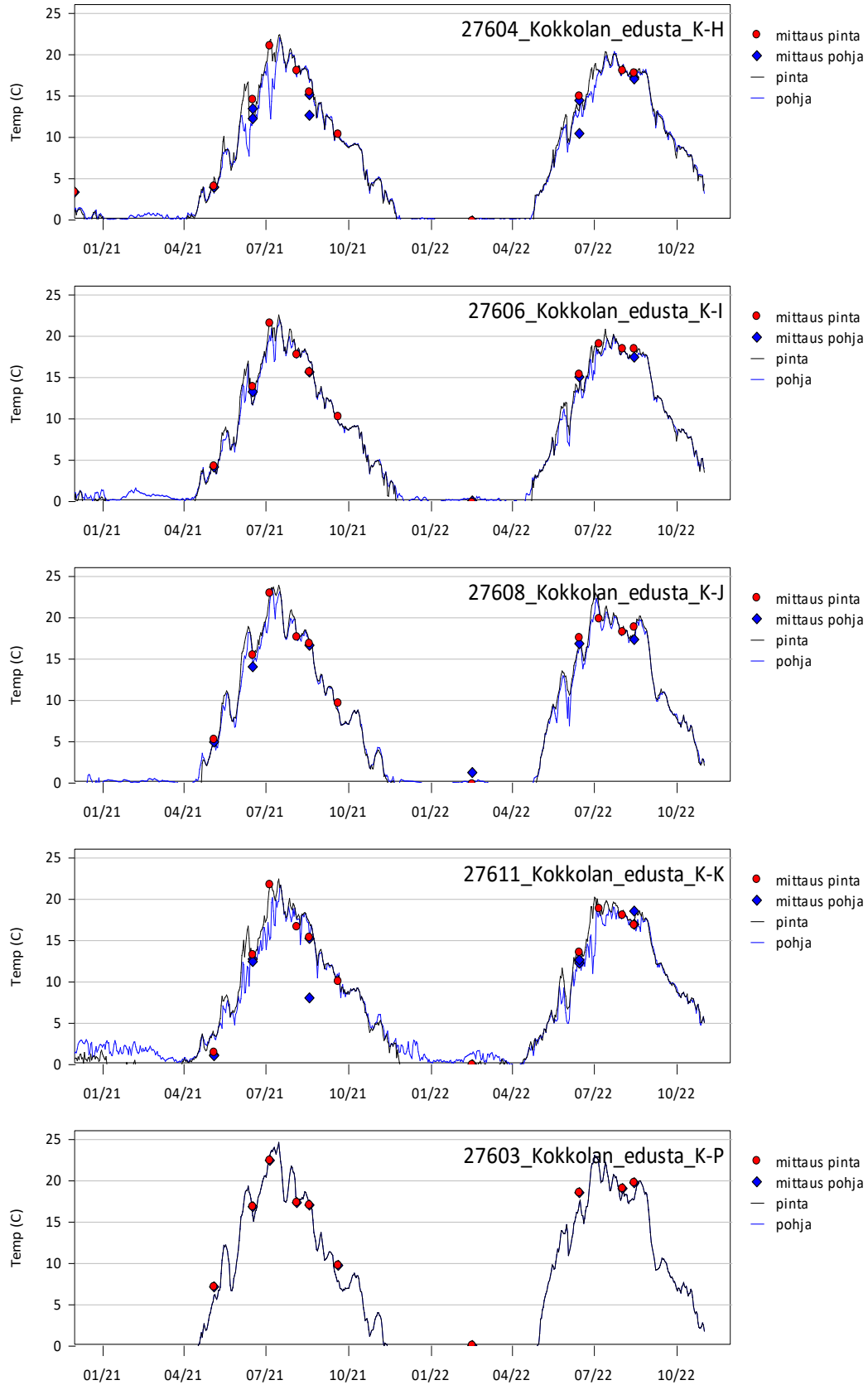
Suolapitoisuuden mitatut ja lasketut arvot pisteissä A-E ja H-P on esitetty kuvissa 3-4 ja 3-5. Mittauksissa suolapitoisuus vaihtelee 2–3,5 g/l välillä, vähiten suolaa on pintakerroksessa talvella ja eniten pisteen B pohjakerroksessa. Mallissa suolapitoisuus vaihtelee vähemmän kuin mittauksissa, ja etenkin talvella suolapitoisuus ei laske mittauksia vastaavasti. Pisteen B suolapitoisuus nousee kesällä molempina laskettuina vuosina, mitä ei näy mallituloksissa. Pisteen H pohjakerroksessa mallissa on enemmän suolaa kuin mitä mittauksista näkyy.

Mallissa ei ole mukana kaikkia rannikkoalueen jokia, mikä voi talviolosuhteissa aiheuttaa sen, että mallissa pintakerroksen suolapitoisuus on liian suuri. Pisteessä B suolapitoisuuden nousu pohjalla ei selity mallin tuloksilla, joskin on mahdollista, että KIPP kuormitus kulkeutuu pisteeseen B enemmän kuin malli arvioi. Vaihtoehtoisesti suolainen vesi voi olla peräisen avomereltä syvemmistä kerroksista kumpuamisen seurauksena, mutta tällöin suolapitoisuuden nousun pitäisi näkyä myös pisteen A mittauksissa (joskin pisteen A pohjakerroksen mittaus on 14 m syvyydeltä, ja pisteen B pohjakerroksen mittaus on 17,5 m syvyydeltä).

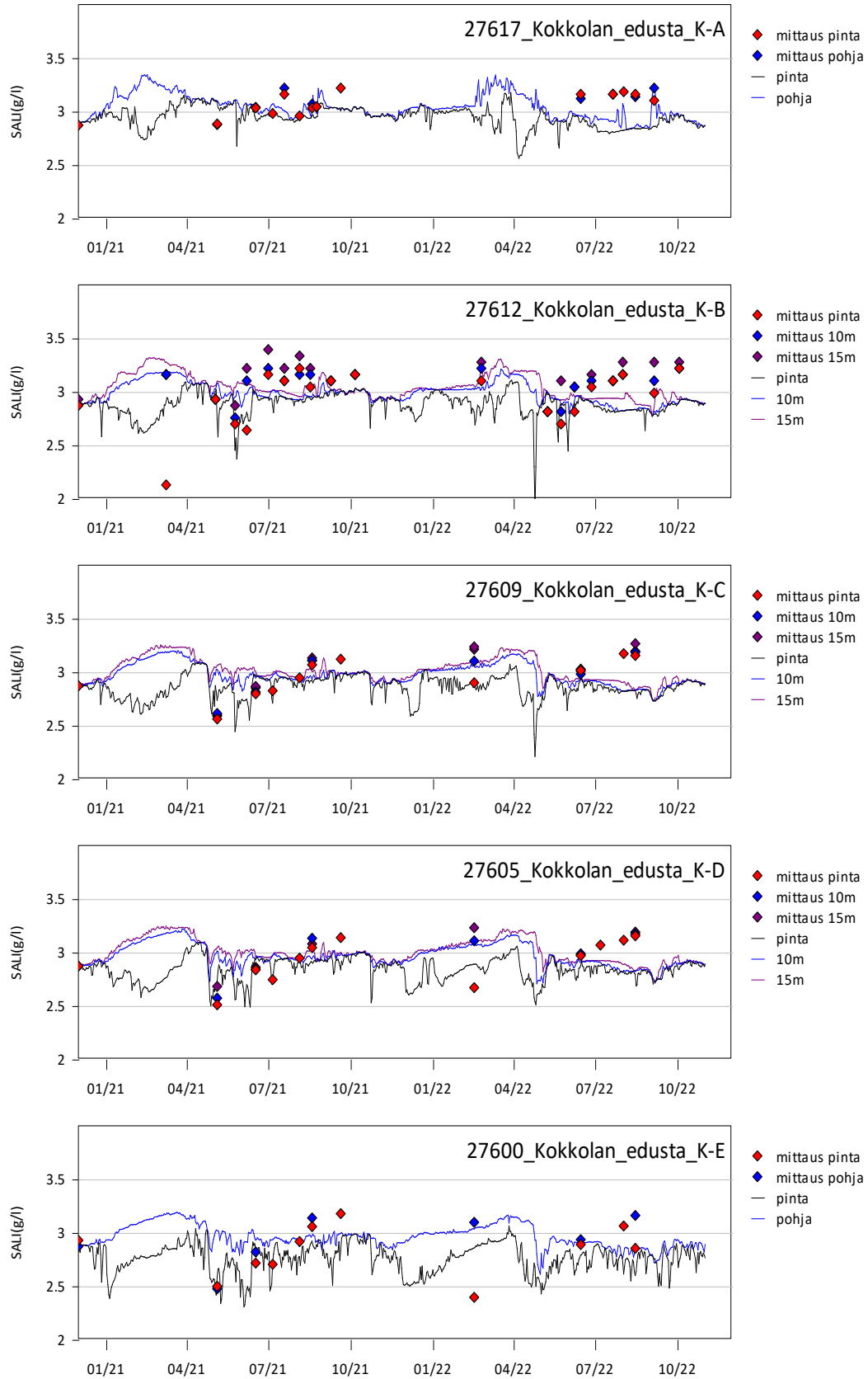
Kesällä 2022 kesällä mallin suolapitoisuus jää mittauksia pienemmäksi lähes kaikissa pisteissä. Vuoden 2022 kesän laskettujen ja mitattujen suolapitoisuuksien ero johtunee mallin Merenkurkussa käytettyjen reunaehtojen epätarkkuudesta tai mallissa tapahtuvasta suolapitoisuuden liiallisesta syvyysuuntaisesta sekoittumisesta avomerialueella. Reunaehtojen merkitys korostuu pidemmällä laskentajaksoilla, ja malli laskemaa suolapitoisuutta olisikin hyvä korjata esim. mitatuilla suolapitoisuusprofiileilla laskennan kuluessa, jolloin suolapitoisuus saataisiin sopimaan paremmin mittausarvoihin. Käytetyssä malliohjelmistossa ei tällä hetkellä ole kuitenkaan mahdollisuutta tämän tyyppisiin korjauksiin.



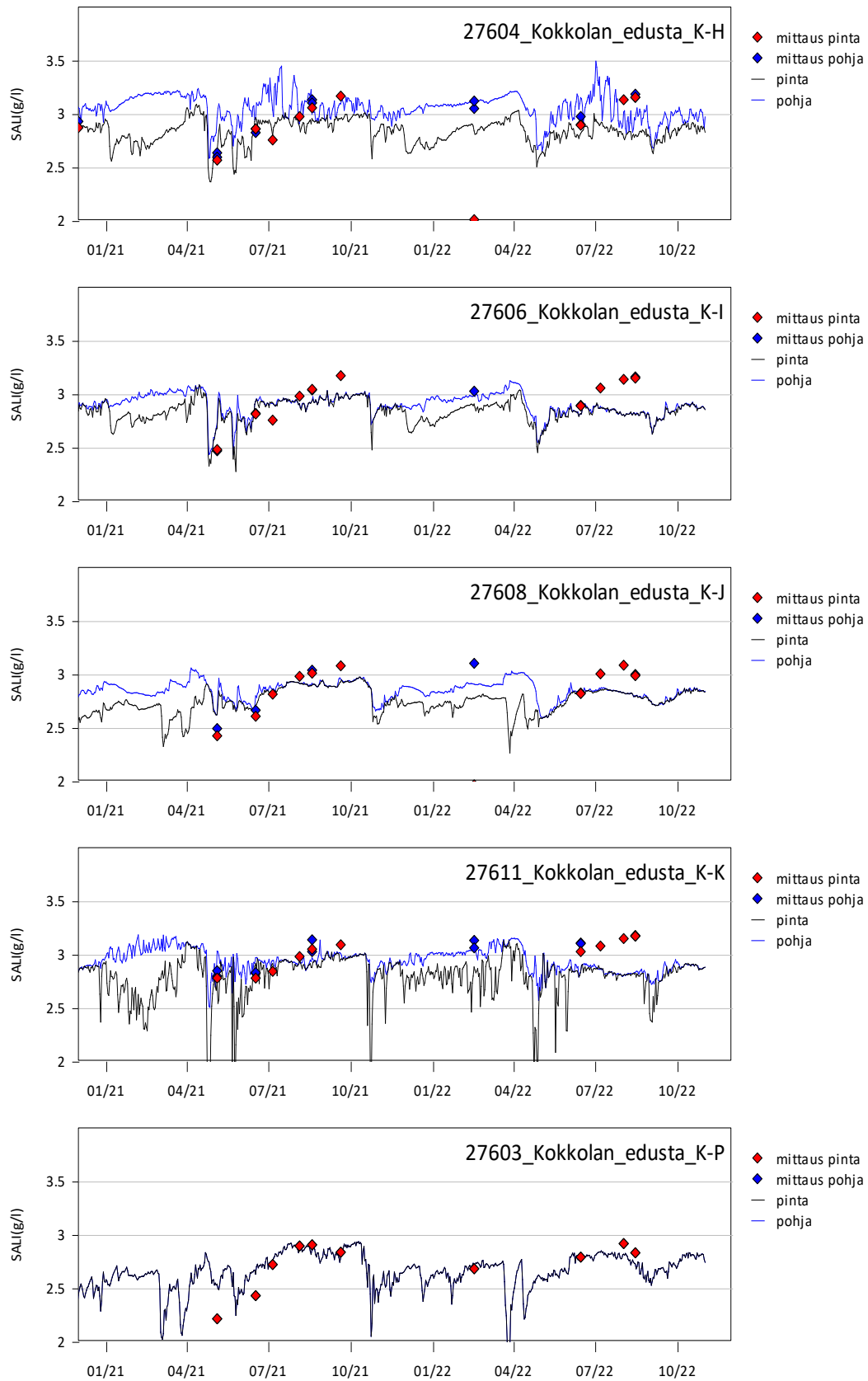
Kuva 3-2: Lasketut ja mitatut veden lämpötilan arvot seurantapisteissä A-E.



Kuva 3-3: Lasketut ja mitatut veden lämpötilan arvot seurantapisteissä H-P.



Kuva 3-4: Lasketut ja mitatut veden suolapitoisuudet arvot seurantapisteissä A-E.



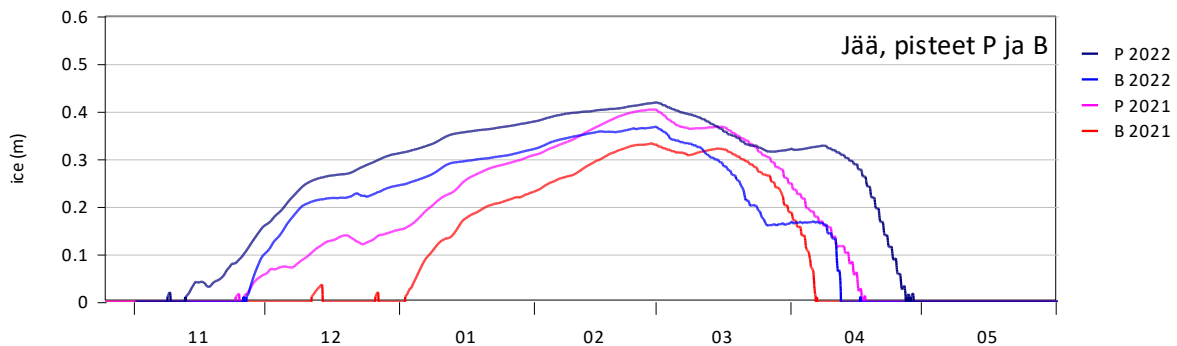
Kuva 3-5: Lasketut ja mitatut veden suolapitoisuudet arvot seurantapisteissä H-P.

3.2 Jääpeite

Mallissa jääpeite lasketaan dynaamisesti perustuen veden pinnan energiatasapainoon. Malli ei kuitenkaan huomioi jään liikkumista ja pakkautumista, tai aaltojen ja tuulen vaikutusta jääpeitteeseen, joten mallissa jää ei vastaa täysin todellista jäätilannetta. Jään vaikutus vedenlaatuun näkyy välillisesti, sillä jääpeite estää tuulen ja aallokon vaikutuksen, jolloin sekoittuminen ja virtaukset vähenevät merkittävät avovesiaikaan verrattuna. Jääpeite vähentää myös veteen pääsevää auringon säteilyä, jolloin biologinen toiminta vähenee.

Vedenlaadun laskennan kannalta keskeistä on jääpeitteen alku ja loppuajat, ts. jääpeitteen kesto. Myös jääpeitteen alueellisella kattavuudella on vaikutusta.

Ilmatieteenlaitoksen jäätalvi-tiedotteiden mukaan (FMI 2023b) jäätalvi 2020–2021 oli keskimääräinen ja talvi 2021–2022 pitkä ja leuto. Mallin laskema jään paksuus molempina talvina kahdessa Kokkolan edustan seurantapisteessä on esitetty kuvassa 3-6. Kuvasta näkyy myös jääpeitteen keston alueellinen vaihtelu, piste B on avoimella vesialueella, ja piste P Kaustarinlahdella suojaisella vesialueella.

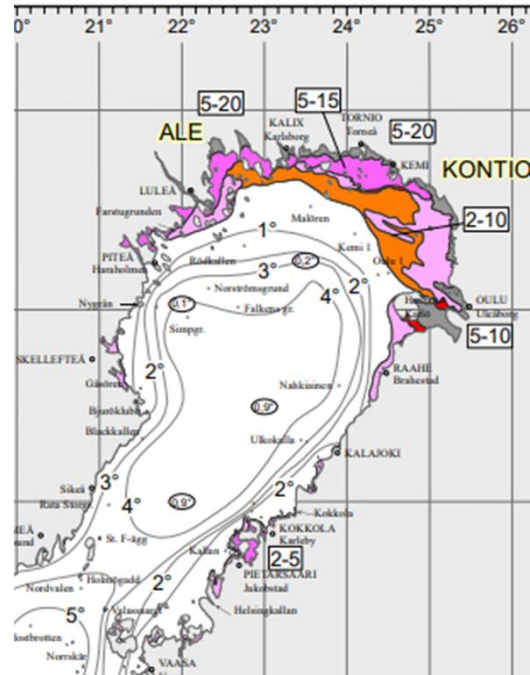
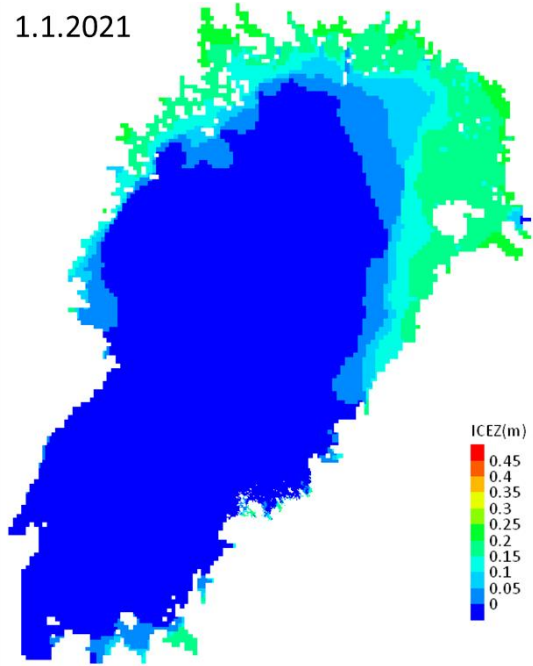


Kuva 3-6: Laskettu jään paksuus seurantapisteissä B ja P talville 2021 ja 2022.

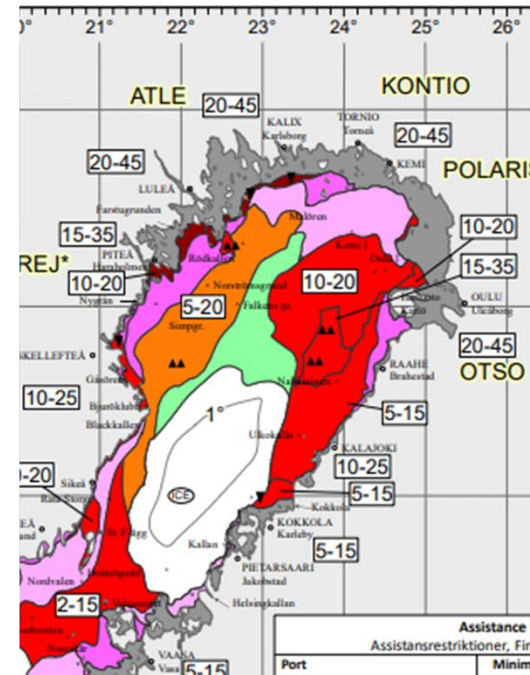
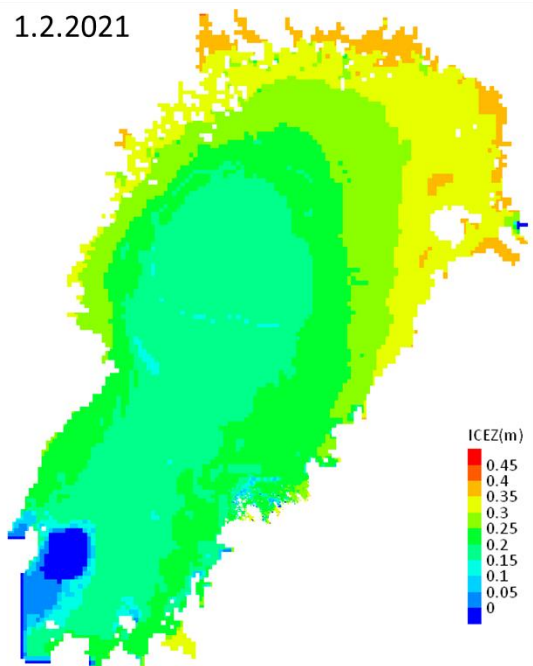
Kuvissa 3-7 ja 3-8 on vertailtu muutamaa mallin laskemaa jäätilannetta jääkarttaan / satelliittikuvaan talven 2021 ajalta koko Perämeren alueen osalta. Jääkartat ovat SMHI:n jääkartta-arkistosta (SMHI 2024), ja satelliittikuvat SYKEN Tarkka-palvelusta (Syke Tarkka 2024). Tammikuun alussa jäätyminen on alkanut Perämeren pohjoisosasta ja rannikon lahdistä. Mallissa jäätä on jääkarttaa enemmän. Helmikuun alussa jäätilannekartan mukaan Perämeren keskiosa on avoinna ja rannikot ovat suurelta osin kiintojässä. Mallissa vastaavana aikana koko merialue on jäässä eteläreunan pientä sulaa aluetta lukuun ottamatta. Maaliskuun puolivälissä Perämeri on jään kattama sekä mallissa että satelliittikuvassa. Satelliittikuvassa jääpeite on kuitenkin jo osittain hajoamassa Perämeren keskellä, mallissa jää on sen sijaan paikallaan, eikä railojen muodostumista ja jääpeitteen hajoamista esiinny. Huhtikuun puolivälissä satelliittikuvassa jää on sulanut rannikolta Pyhäjoen tasalle ja avomeri on jäätön linjan Pyhäjoki – Kalix lounaispuolella. Mallissa jäätä on vastavana aikana enemmän, Kokkolan kohdalla rannikolla jää on kuitenkin sulanut suunnilleen satelliittikuvaan vastaavasti.

Kuvien perusteella mallissa oli vuonna 2021 jäätä avomerellä todellisuutta enemmän, mikä johtunee pääosin mallin jäälaskennan puutteista. Rannikon lahdisissa jäätilanne vastaa paremmin toteutunutta tilannetta, sillä jään liikkumisella on tämän tyyppisillä alueilla vähemmän merkitystä.

1.1.2021

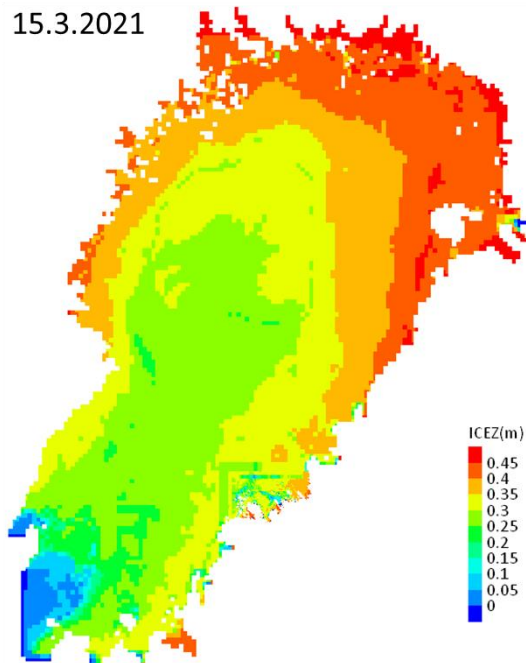


1.2.2021

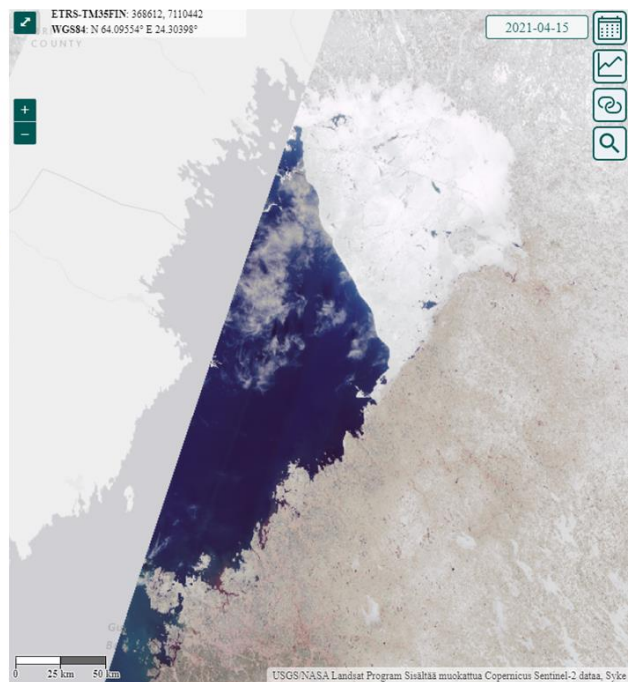
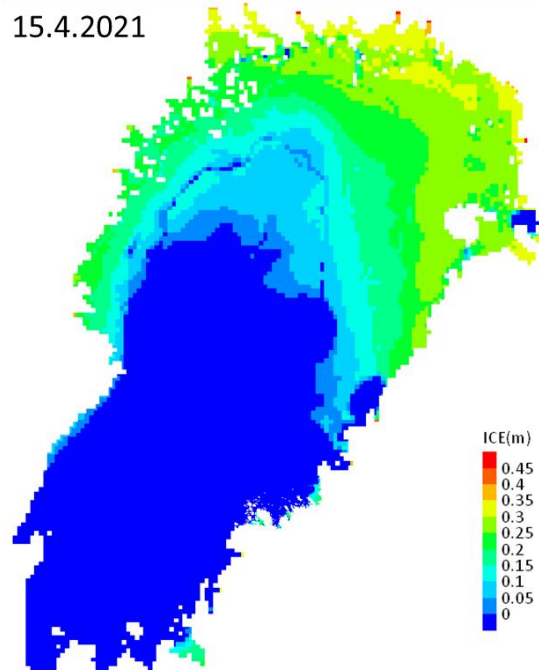


Kuva 3-7: Laskettu jään paksuus ja jääkartta jäätilanteesta Perämeren alueelta 1.1.2021 ja 1.2.2021.

15.3.2021



15.4.2021



Kuva 3-8: Laskettu jään paksuus ja satelliittikuva jäätilanteesta Perämeren alueelta 15.3.2021 ja 15.4.2021.

4 Vedenlaatulaskennan varmistus

4.1 Kuormitukset

Vedenlaatulaskenta tehdään laskemalla aineiden kulkeutuminen virtausmallin tuottamia virtauskenttiä käyttäen. Purkuvesien suolaisuus- ja lämpötila-arvot vaikuttavat tällä laskentatavalla vedenlaatumallin laskemaan kulkeutumiseen virtauskenttien välityksellä.

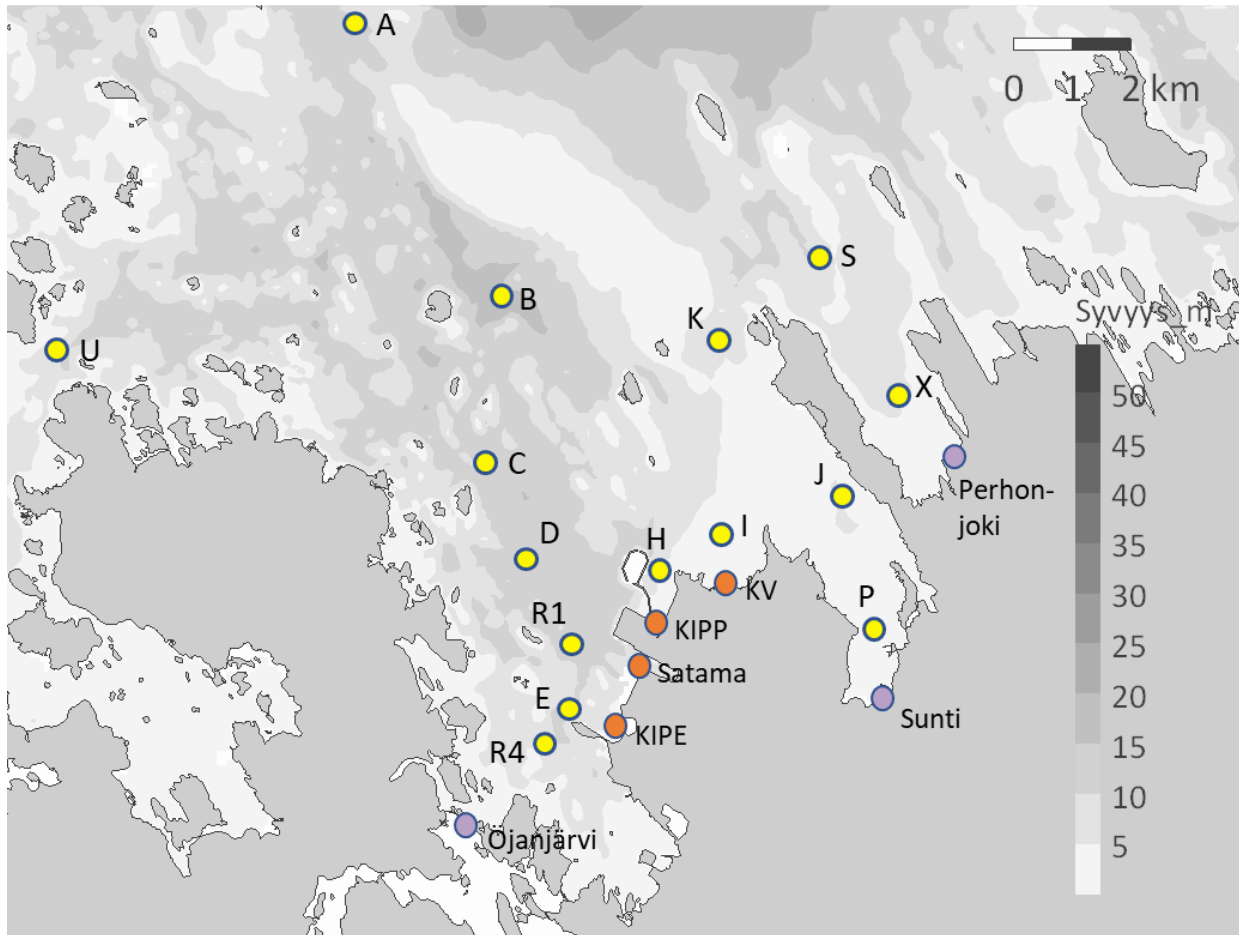
Mallin vedenlaatulaskenta varmistettiin vertaamalla mallilla laskettuja pitoisuusarvoja mitattuihin arvoihin. Lasketut muuttujat olivat kokonaisravinteet (PTOT ja NTOT), sinkki, nikkeli, koboltti ja kadmium. Sulfaattipitoisuuksia on mitattu muutamissa pisteissä vuosina 2018–2020, mutta mittauksia ei vuosilta 2021–2022 ollut saatavilla, joten sulfaattia ei tässä ole vertailtu mittauksiin.

Malli laskettiin jaksolle 11/2020–10/2022. Vedenlaatulaskennan alue rajattiin asettamalla keskimmäisen tarkennushilan kaikille ulkoreunoille (noin 20–25 km päähän kohdealueelta) laajemman merialueen taustapitoisuutta kuvaava reuna-arvo, jonka pitoisuudet asetettiin pisteen A mittauksen perusteella. Vedenlaatulaskennassa kuormittajina olivat mukana alueen suurimmat pistekuormitukset ja alueelle hajakuormitusta tuovat joet. Kaupunkialueelta laskee Ykspihlajanlahteen joitakin oja, mutta näiden tuomien kuormitusten suuruuksista ei ollut tarkempaa tietoa, joten ne jätettiin mallista pois. Vastaavasti laiva- ja vesiliikenteen vaikutuksia, esim. pohjasedimentin resuspension aiheuttamaa kuormitusta ei tässä otettu huomioon. Ilmalaskeumaa ei erikseen huomioitu kuormituksena, mutta laskeuman aiheuttama kuormitus on epäsuorasti mukana reunapitoisuuksien kautta.

Keskimääräiset kuormitukset on esitetty taulukossa 4-1 ja kuormituspaikat kuvassa 4-1. Samassa kuvassa on esitetty myös vedenlaadun seurantapisteen sijainti. Pistekuormitusten arvot on saatu asiakkaalta. Osassa kuormituksia on käytetty seurantaraporteista poimittuja vuosiarvoja (Pohjanmaan vesi- ja ympäristö, 2021, 2022). Perhonjoen, Suntin ja Kälviänjoen kuormituksina käytettiin SYKEN Vemala-järjestelmästä haettuja arvoja ja mittauksista interpoloituja pitoisuuksia. Öjanjärven pitoisuudet saatiin Hertta-järjestelmästä (Hertta 2023) poimittuja mittauksia interpoloimalla. Reunan pitoisuutena käytettiin seurantapisteessä A jaksolla 2021–2022 mitattujen pitoisuuksien kuukausikeskiarvoja. Reunapitoisuus fosforille vaihteli välillä 6–23 µg/l, ja typelle välillä 190–350 µg/l.

Taulukko 4-1: Keskimääräiset pistekuormitukset sekä jokivesien ja reunan pitoisuudet nykytilanteen laskentajaksolle (2021-2022). Kokkolan veden kuormitukset ovat seurantaraporteista, muut KIPP ja KIPE kuormat on saatu asiakkaalta kuukausikuormituksina.

	Q	NTOT	PTOT	Zn	Ni	SO ₄	Co	Cd
Pistekuormat	m ³ /s	kg/d	kg/d	kg/d	kg/d	tn/d	kg/d	kg/d
KIPP	0.15	604.0	0.0	1.60	2.72	158.4	1.60	0.028
KIPE	1.07	85.6	7.34	7.3	0.0	0.0	0.0	0.0
Kokkolan Vesi	0.09	595.0	1.40	0.23	0.13	0.0	0.0	0.001
Joet	m ³ /s	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	µg/l	µg/l
Perhonjoki	19.2	1100	64.9	11.5	2.2	8.9	1.02	0.028
Suntti	0.2	1220	101.9	40.0	13.6	8.9	4.44	0.103
Öjanjärvi	2.2	817	47.1	10.0	2.0	5.9	0.90	0.030
Reuna-arvot		µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Kaikki reunat	-	237	7.8	1.0	0.7	0.0	0.1	0.015



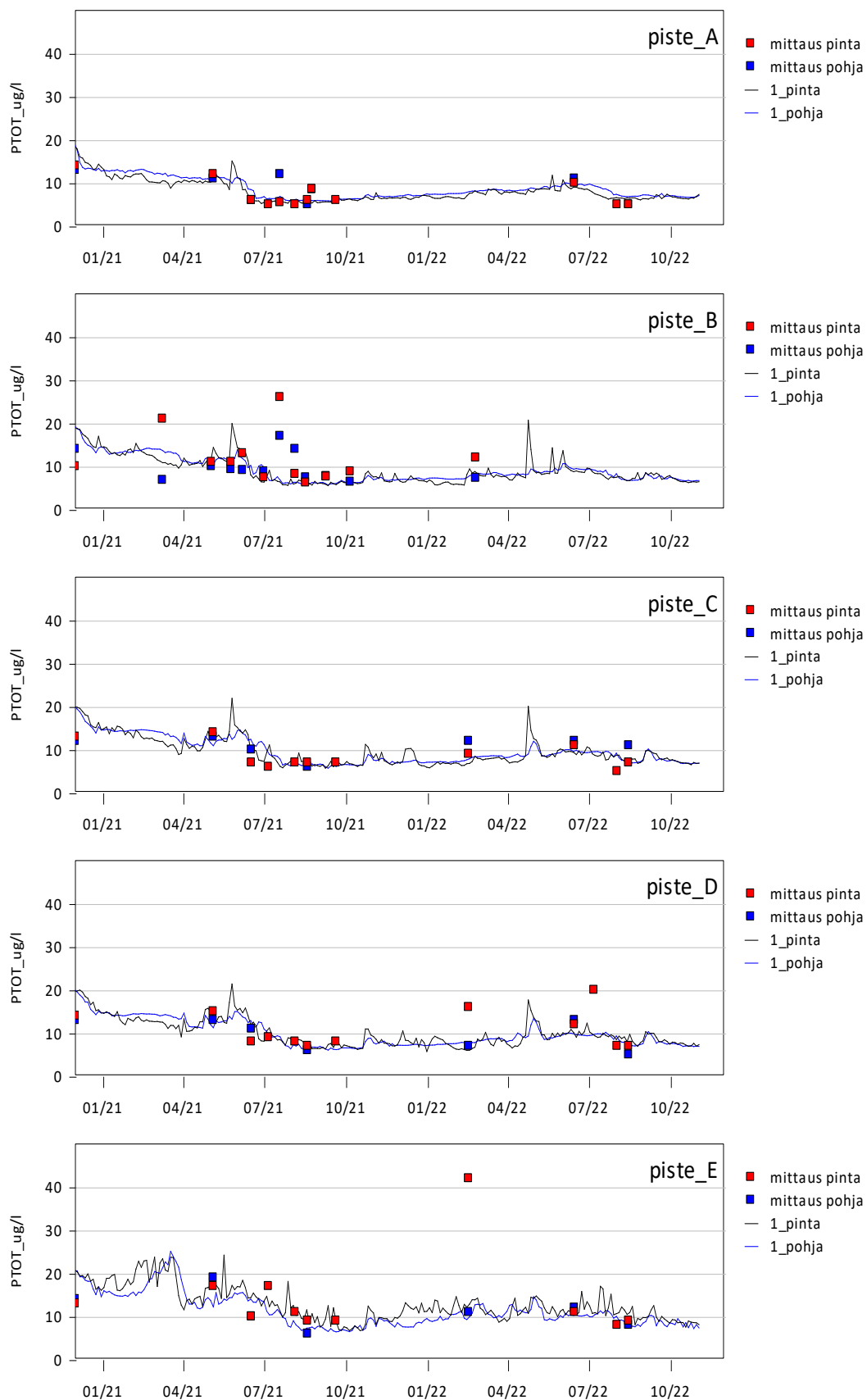
Kuva 4-1: Vedenlaadun yhteistarkkailun seurantapisteidä (keltaiset pisteet) ja kuormitusten (oranssit pisteet) paikat kalibrointilaskennassa. Pistekuormitukset KIPP = KIP pohjoinen, KIPE = KIP etelä, KV = Kokkolan Vesi, Satama = Sataman kuormituksen paikka. Alueelle tulevat joet violetteilla pisteillä.

4.2 Fosfori (PTOT)

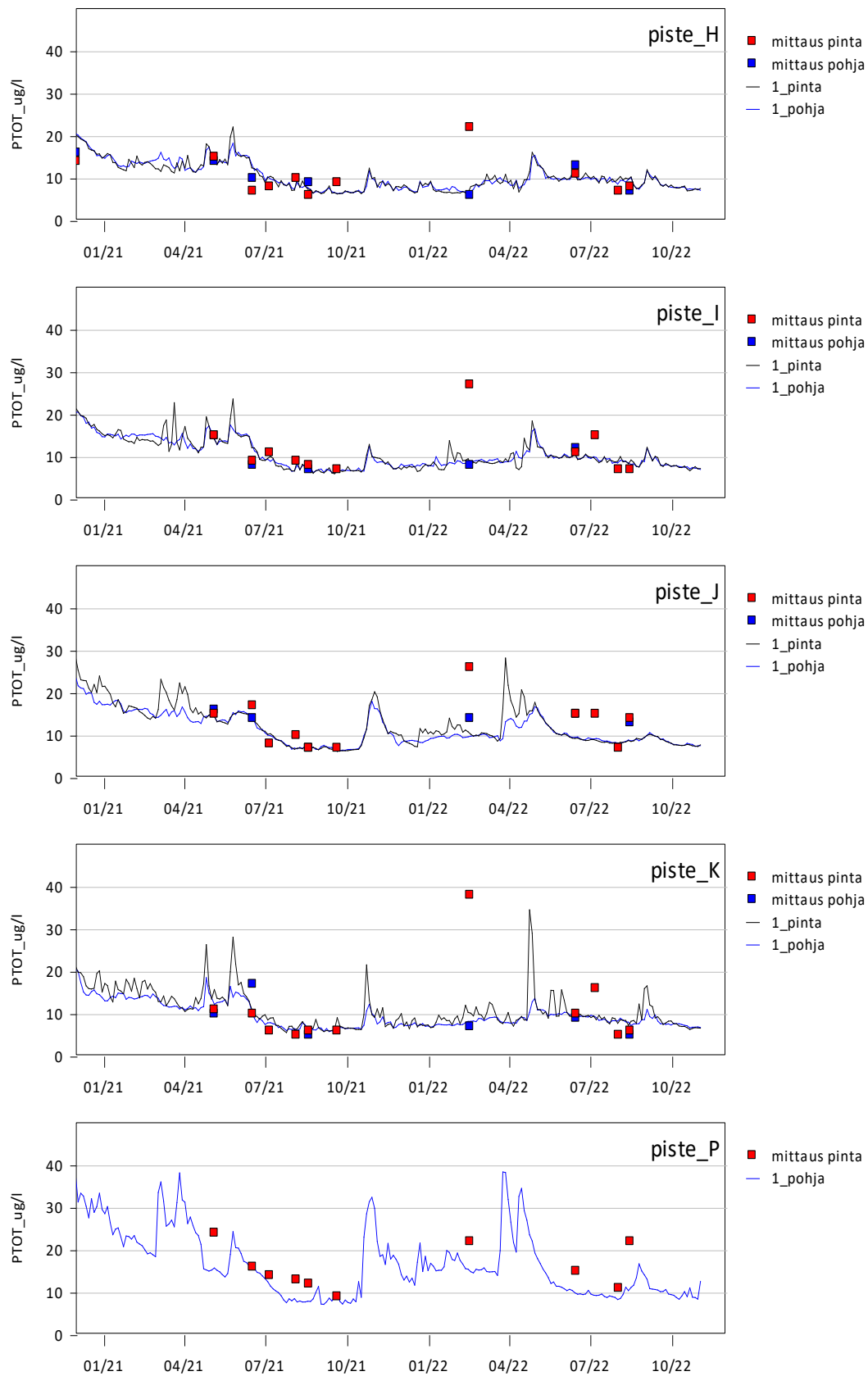
Kokonaisfosforin laskennassa fosforin oletettiin laskeutuvan vedessä nopeudella 5 cm/d, ja sedimentoituvan pohjaan nopeudella 3 cm/d. Muita mahdollisia fosforia kuluttavia prosesseja ei tässä otettu huomioon. Laskeutumisenopeutta hitaampi sedimentoitumisenopeus kuvaa pohjan läheistä resuspensiota. Parametrit on saatu käyttämällä lähtökohtana tyypillisiä laskeutumisenopeuksia ja tarkentamalla niitä siten että laskennan tulokset sopivat mittauksiin riittävällä tarkkuudella.

Vedenlaadun seurantapisteille lasketut kokonaisfosforipitoisuudet pinta- ja pohjakerroksesta on esitetty kuvissa 4-2 ja 4-3. Mitatut ja lasketut fosforipitoisuudet ovat enimmäkseen 5–15 µg/l välillä. Talvella pintakerroksen pitoisuudet nousevat muutamissa pisteissä em. tasoa suuremmaksi, mikä aiheutuu todennäköisesti ravinnepitoisen vähäsuolaisen jokiveden kerrostumisesta jään alle. Kesäjaksolla näkyvät muutama korkeammat pitoisuudet (piste B ja D) eivät johtavuuden perustella aiheudu jokivesistä. Fosforipitoisuudet ovat pitkälti lähellä toisiaan pinta- ja pohjakerroksissa, pois lukien talvitilanteet ja piste B.

Kokonaisfosforin lasketut pitoisuudet vastaavat tasoltaan pintakerroksessa varsin hyvin mitattuja pitoisuuksia. Laskettua suurempia arvoja esiintyy pisteessä B ja Suntiin suulla pisteessä P. Pinta- ja pohjakerroksen ero on mallissa pieni, mikä vastaa mittauksia.



Kuva 4-2: Lasketut ja mitatut kokonaisfosforin (PTOT) pitoisuudet, pisteet A-E



Kuva 4-3: Lasketut ja mitatut kokonaisfosforin (PTOT) pitoisuudet, pisteet H-P

4.3 Typpi

Kokonaistypen laskennassa typen oletettiin laskeutuvan vedessä nopeudella 4,5 cm/d, ja sedimentoituvan pohjaan samalla nopeudella. Muita typen prosesseja, kuten esim. hajoamista typpikaasuksi ei tässä otettu huomioon. Parametrit on saatu käyttämällä lähtökohtana tyypillisiä kokonaistypen laskeutumisenopeuksia ja tarkentamalla niitä siten että laskennan tulokset sopivat mittauksiin riittävällä tarkkuudella.

Vedenlaadun seurantapisteille lasketut kokonaistyyppipitoisuudet on esitetty kuvissa 4-4 ja 4-5. Mittauksissa tyyppipitoisuus pysyy enimmäkseen 200 – 400 µg/l välillä, joskin pisteissä H ja I kuormitusten lähellä pitoisuustaso on korkeampi. Myös pisteessä B pitoisuudet nousevat ajoittain yli 400 µg/l tason. Ero pinta- ja pohjakerroksen välillä on avovesiaikana pieni, talvella pintakerroksen pitoisuudet voivat ajoittain nousta korkeiksi jokiveden kerrostumisen johdosta.

Kokonaistypen lasketut pitoisuustasot sopivat mittauksiin kohtalaisen hyvin muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta. Pisteessä B mittaukset poikkeavat ajoittain selvästi mallituloksista. Pisteessä H malli arvioi pohjakerroksen tyyppipitoisuuden mittauksia suuremmaksi. Talven pintakerroksen suuret pitoisuudet eivät mallissa toistu riittävän korkeina.

4.4 Sinkki (Zn)

Sinkki laskettiin tässä täysin liukoisenä, ts. sen laskeutumis- ja sedimentoitumisnopeuksiksi asetettiin nolla.

Vedenlaadun seurantapisteille lasketut sinkkipitoisuudet on esitetty kuvissa 4-6 ja 4-7. Mittauksissa sinkkipitoisuus laimenee selvästi rannikolta avomeren suuntaan siirryttäessä. Ulommissa pisteissä A-D sinkkipitoisuudet ovat pääosin alle 10 µg/l tason, mutta sisemmissä pisteissä mitattu pitoisuus on ajoittain 20 µg/l tasolla. Pitoisuustaso on osassa pisteitä talvella pintakerroksessa kesää korkeampi (K ja D), mitä viittaa siihen, että sinkkiä tulee alueelle jokivesien mukana. Osassa pisteitä pohjan pitoisuus on avovesiaikana pintakerrosta suurempi, mikä viittaa resuspensioon pohjasta. Useammassa pisteessä pinnan pitoisuus on pohjaa suurempi, ja välillä taas toisinpäin. Sinkkipitoisuuden käyttäytymiseen vaikuttanee tässä useampia tekijöitä, joiden keskinäinen suuruus vaihtelee ajan suhteen.

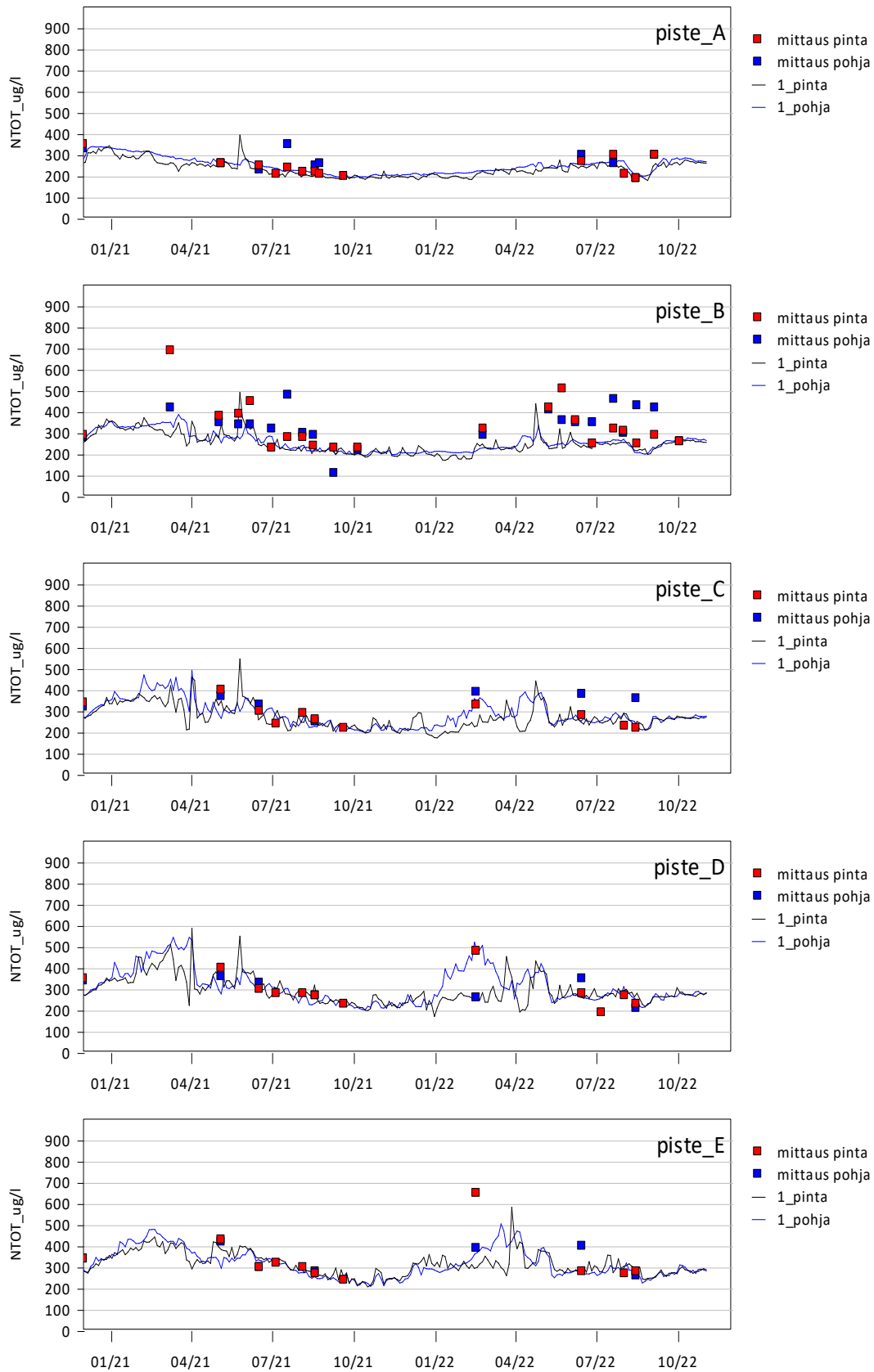
Laskettu sinkkipitoisuus jää useimmissa pisteissä mittauksia pienemmäksi. Sinkin laskeutumisnopeus mallissa on nolla, joten mittauksia pienempien pitoisuuksien syynä voi olla jokin puuttuva tai liian pieni kuormitus, esim. pohjasta tapahtuva resuspensio.

4.5 Nikkeli (Ni)

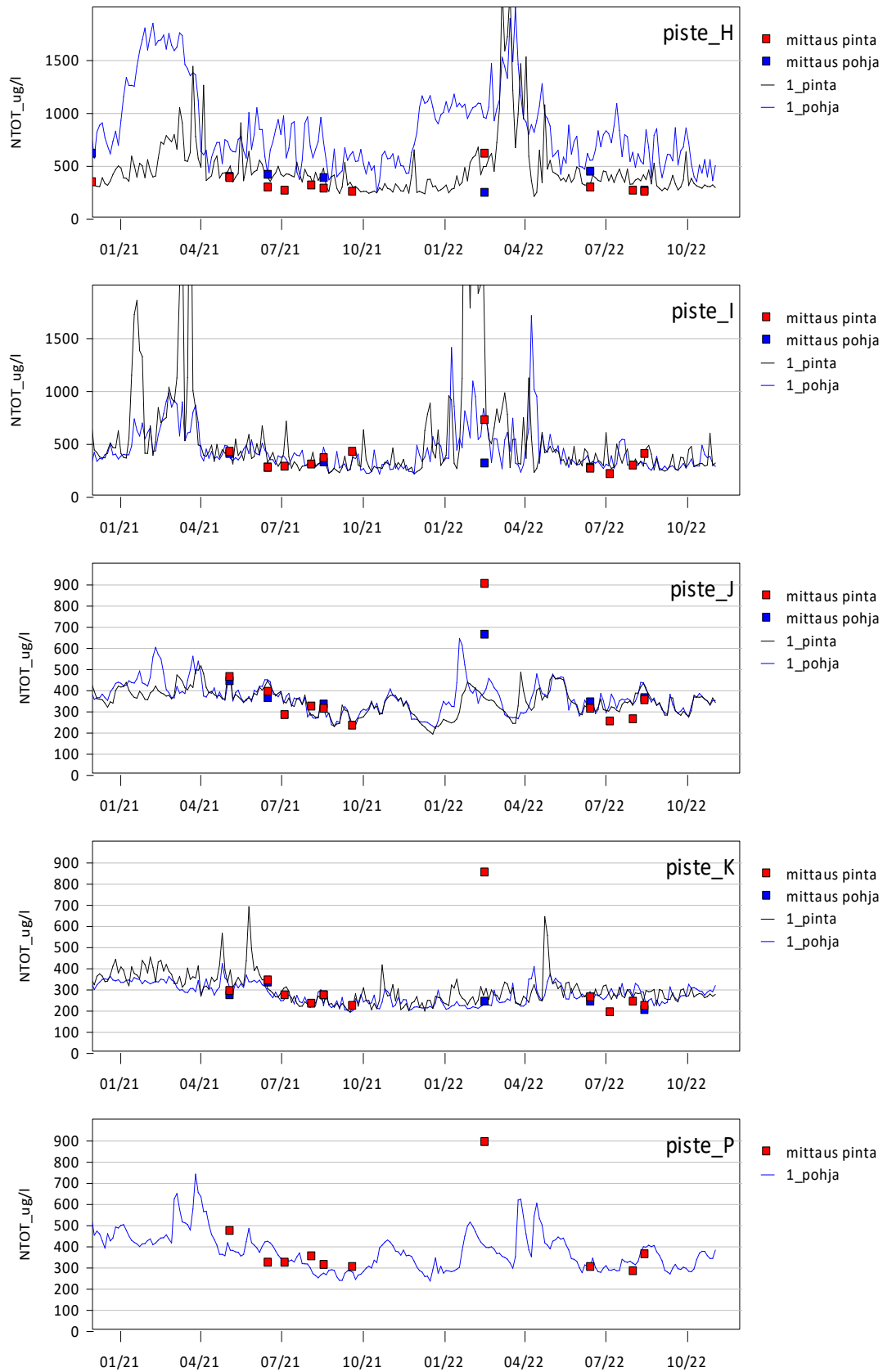
Nikkeli laskettiin tässä täysin liukoisenä, ts. sen laskeutumis- ja sedimentoitumisnopeuksiksi asetettiin nolla.

Vedenlaadun seurantapisteille lasketut nikkelpitoisuudet on esitetty kuvissa 4-8 ja 4-9. Mittauksissa nikkelpitoisuus laimenee sinkin tavoin selvästi rannikolta avomeren suuntaan siirryttäessä. Ulommissa pisteissä A-D nikkelpitoisuudet ovat pääosin noin 1,0 µg/l tasolla, mutta sisemmissä pisteissä mitattu pitoisuus ylittää ajoittain 2 µg/l tason, joskin suurin osa mitatuista pitoisuuksista on 1–2 µg/l välillä.

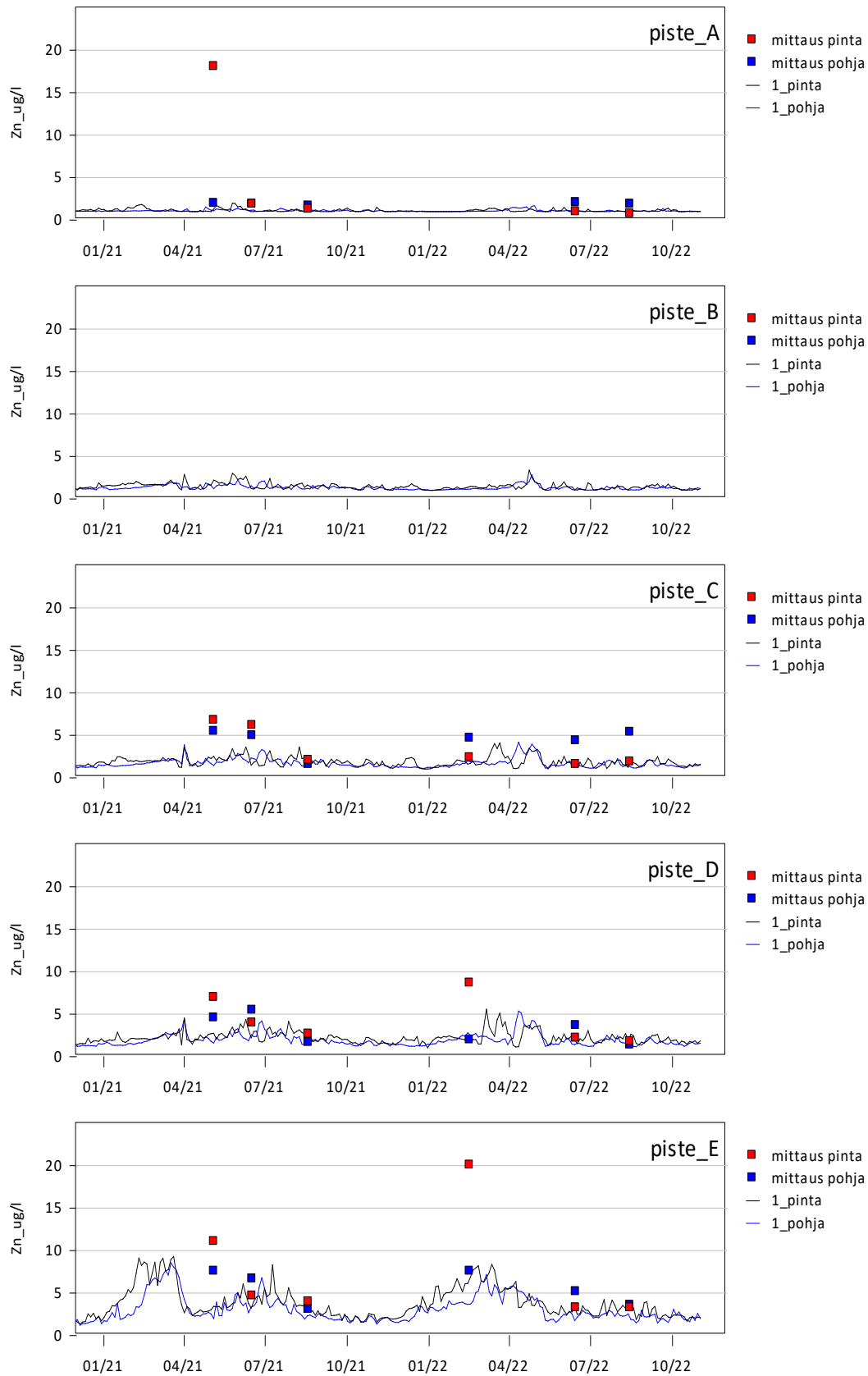
Laskettu nikkelpitoisuus vastaa tasoltaan pääosin mittauksia, joskin jää keskimäärin hieman mittauksia pienemmäksi esim. pisteessä E. Pisteessä H pohjakerrokselle laskettu nikkelpitoisuus on puolestaan liian suuri. Nikkelin laskeutumisnopeus oli nolla, joten mittauksia pienempien pitoisuuksien syynä voi olla jokin puuttuva tai liian pieni kuormitus.



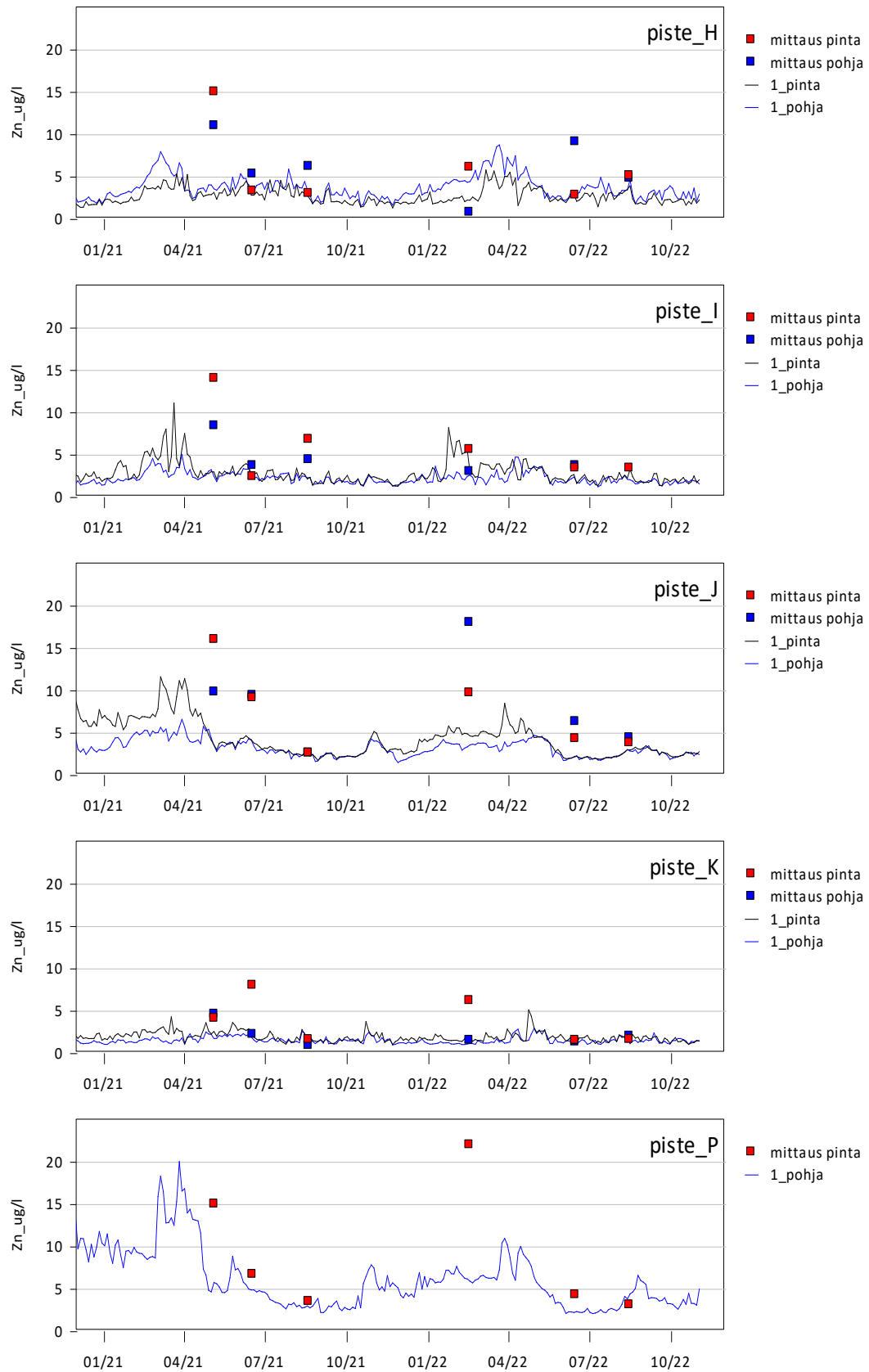
Kuva 4-4: Lasketut ja mitatut kokonaistypen (NTOT) pitoisuudet, pisteet A-E



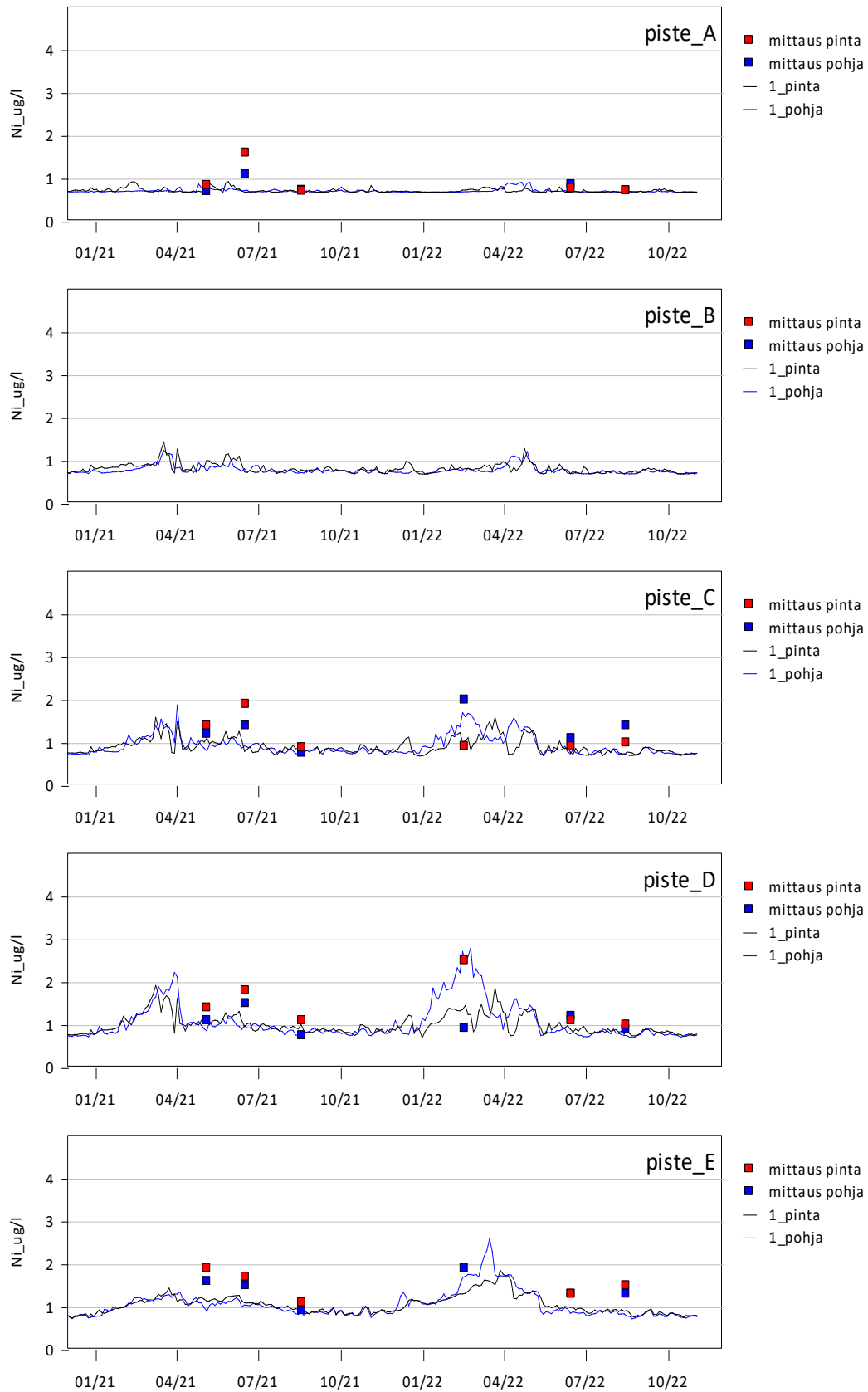
Kuva 4-5: Lasketut ja mitatut kokonaistypen (NTOT) pitoisuudet, pisteet H-P



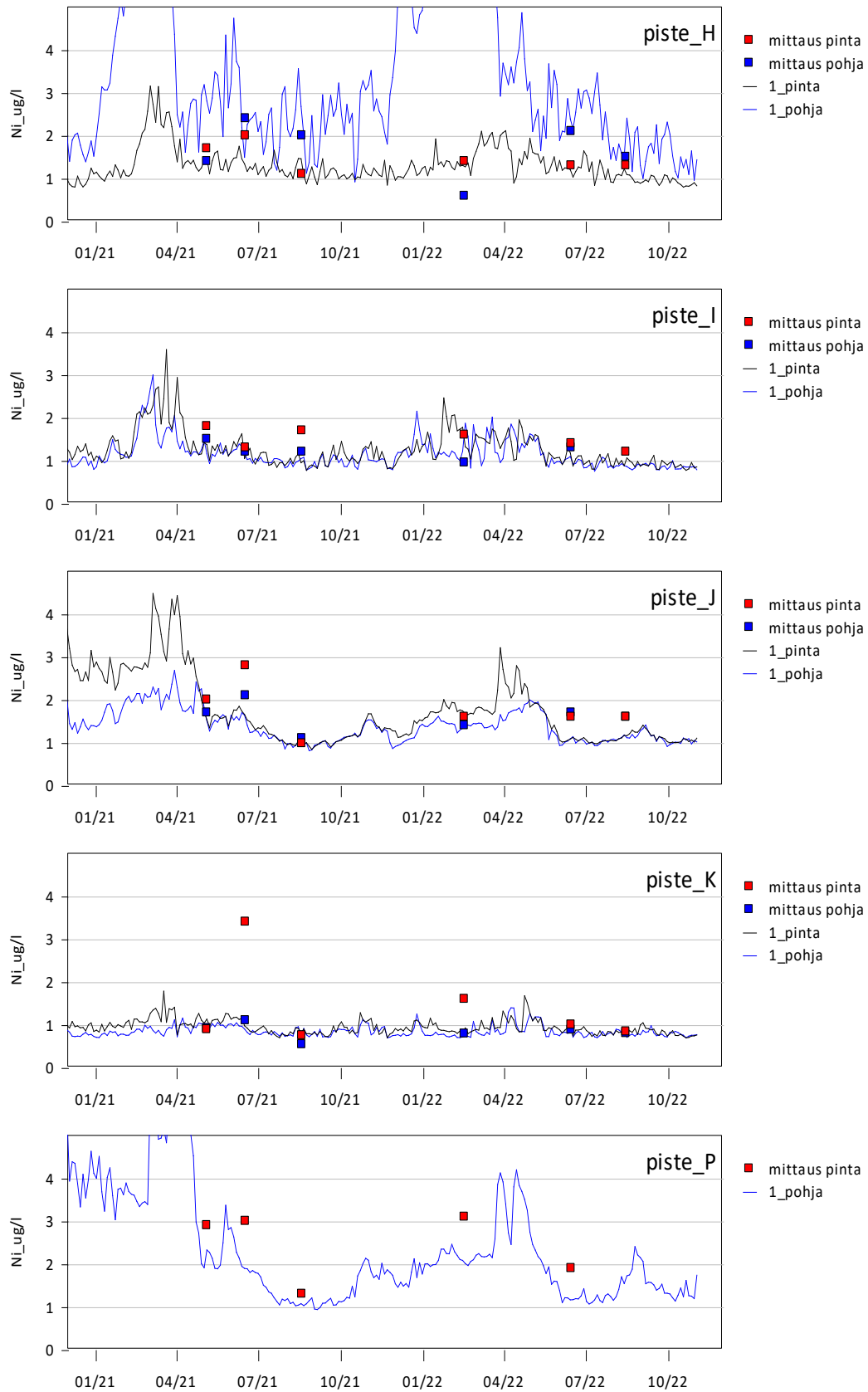
Kuva 4-6: Lasketut ja mitatut sinkin (Zn) pitoisuuDET, pisteet A-E



Kuva 4-7: Lasketut ja mitatut sinkin (Zn) pitoisuuDET, pisteet H-P



Kuva 4-8: Lasketut ja mitatut nikkelin (Ni) pitoisuudet, pisteet A-E



Kuva 4-9: Lasketut ja mitatut nikkelin (Ni) pitoisuudet, pisteet H-P

4.6 Koboltti (Co)

Koboltti laskettiin täysin liukoisena, ts. sen laskeutumis- ja sedimentoitumisnopeuksiksi asetettiin nolla. Mittausvertailussa on käytetty suodattamattomia pitoisuuksia.

Vedenlaadun seurantapisteille lasketut kobolttipitoisuudet on esitetty kuvissa 4-10 ja 4-11. Mittauksissa kobolttipitoisuus laimenee selvästi rannikolta avomeren suuntaan siirryttäessä. Ulommissa pisteissä A-D pitoisuudet ovat pääosin alle 0,2 µg/l tason, mutta sisemmissä pisteissä mitattu pitoisuus on ylittää toisinaan 1 µg/l tason. Suurimmat pitoisuudet ovat pisteiden E ja P pintakerroksissa, ja pisteen H pohjakerroksessa.

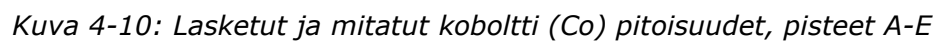
Laskettu kobolttipitoisuus jää lähes kaikissa pisteissä mittauksia pienemmäksi. Mallin toistaa pitoisuuden pienentymisen rannikon lähellä olevista pisteistä kauemmille pisteille. Mittauksiin verrattuna pienemmät lasketut pitoisuudet viittaavat usein johonkin puuttuvaan kuormituslähteeseen.

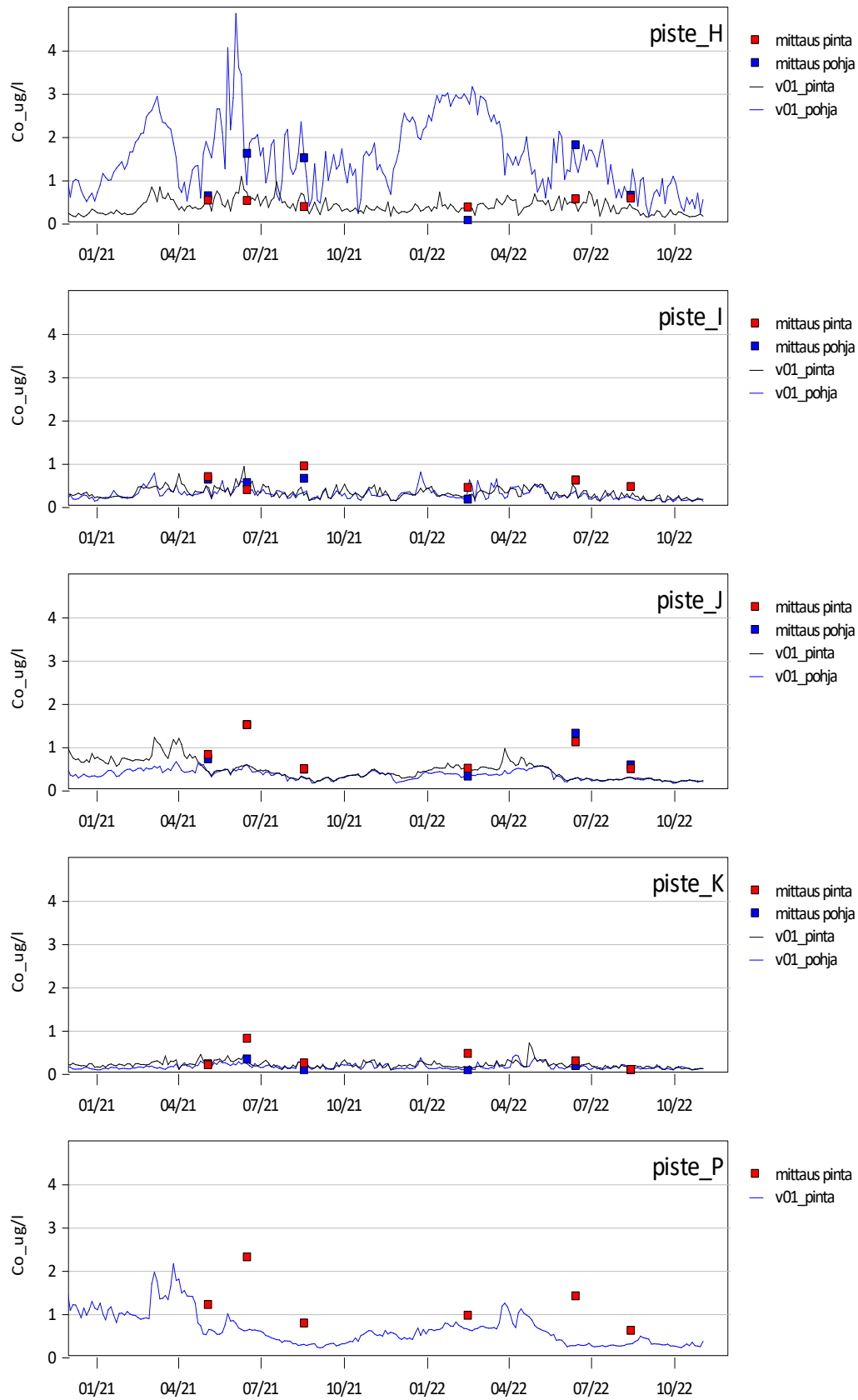
4.7 Kadmium (Cd)

Myös kadmium laskettiin täysin liukoisena, ts. sen laskeutumis- ja sedimentoitumisnopeuksiksi asetettiin nolla. Mittausvertailussa on käytetty suodattamattomia pitoisuuksia.

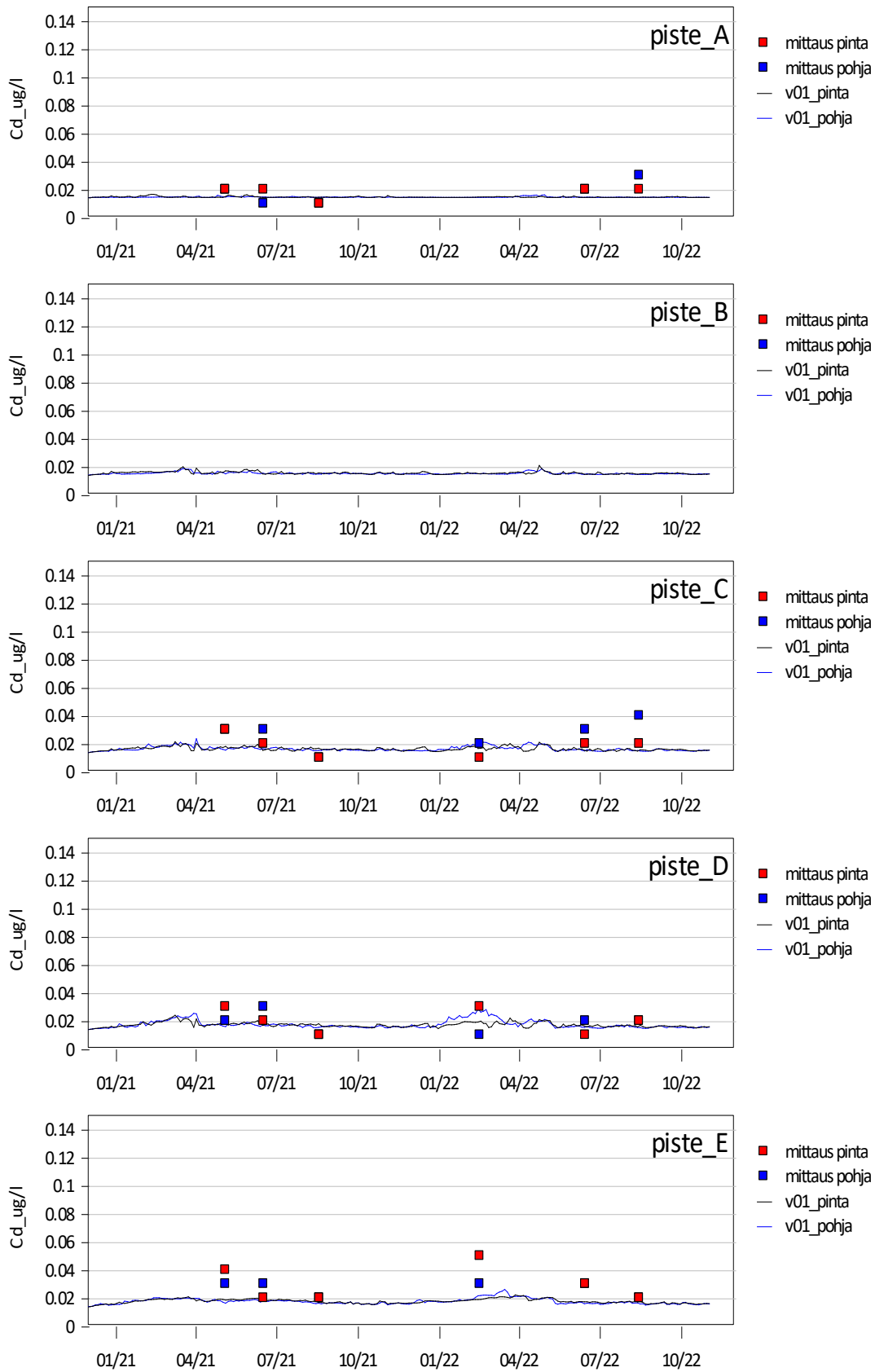
Vedenlaadun seurantapisteille lasketut kadmiumpitoisuudet on esitetty kuvissa 4-12 ja 4-13 mittausten kanssa. Mittauksissa kadmiumpitoisuus pysyy pisteessä A 0,01–0,02 µg/l tasolla, lähempänä rannikkoa vaihtelu on välillä 0,01–0,05 µg/l. Pisteissä C ja H pohjan pitoisuustaso on pintaa suurempi, muissa pisteissä korkeammat pitoisuustasot löytyvät enimmäkseen pintakerroksesta.

Laskettu kadmiumpitoisuus on ajoittain mittauksia pienempi, mutta keskimääräinen taso vastaa jotakuinkin mittausten tasoa. Mallissa pitoisuustasot pysyvät pisteen H pohjakerrosta lukuun ottamatta enimmäkseen lähellä taustapitoisuutta.

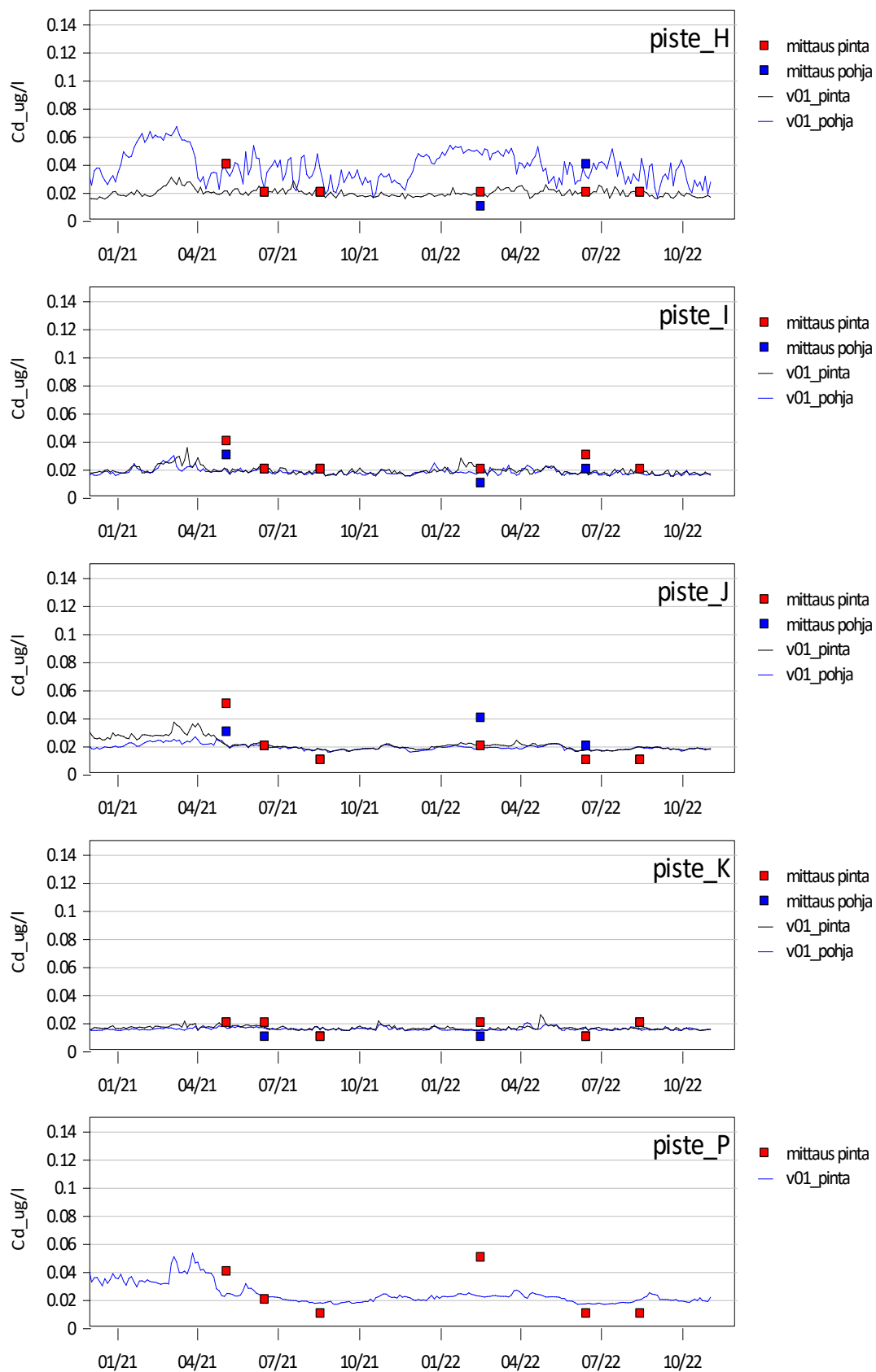




Kuva 4-11: Lasketut ja mitatut koboltti (Co) pitoisuudet, pisteet H-P



Kuva 4-12: Lasketut ja mitatut kadmium (Cd) pitoisuuudet, pisteet A-E



Kuva 4-13: Lasketut ja mitatut kadmium (Cd) pitoisuuDET, pisteet H-P

5 Skenaariolaskennat

Skenaariot ovat kombinaatioita eri kuormitus- ja rantaviivavaihtoehtoista. Tässä skenaarion nimi alkaa kirjaimella V, toinen kirjain identifioi käytetyn rantaviivavaihtoehdon, ja kolmas kirjain kuormitusvaihtoehdon, esim. V01 on nykytilan rantaviivalla (0) ja nykytilan kuormituksilla (1) laskettu skenaario. Rantaviivavaihtoehtoa oli tässä neljä, 0-3 (ks. luku 2), ja kuormitusvaihtoehtoja yksi, eli nykytilan kuormitus.

Eri skenaariot, ja niissä mukana olevat kuormittajat on lueteltu taulukossa 5-1. Skenaariot voi jaotella neljään ryhmään. Nykytilan skenaariota V01 on käytetty mallin varmistamiseen ja muiden skenaarioiden tuloksia on verrattu tähän. Skenaarioiden V11, V21 ja V31 avulla on tarkasteltu rantaviivan muutoksen vaikutuksia nykytilanteen kuormituksella.

Taulukko 5-1: Skenaariot, niihin liittyvät kuormitukset ja käytetty rantaviiva.

Skenaa- rio	Purku- paikka	Nyky- tila	Keliber Boliden	Jervois	Ranta- viiva
V01	KIPP KIPE KIPI	X X			2020
V11	KIPP KIPE KIPI	X X			V0+
V21	KIPP KIPE KIPI	X X			V1
V31	KIPP KIPE KIPI	X X			V2

5.1 Skenaarioiden kuormitukset

Skenaarioissa käytettiin taulukossa 5-2 ja 5-3 esitettyjä kuormituksia. Eri skenaariot, ja niissä mukana olevat kuormittajat on lueteltu taulukossa 5-1.

Taulukko 5-2: Purkuvesimäärät, lämpö-, sulfaatti- ja ravinnekuormitukset, nykytila 2021-2022 keskiarvo, tulevat kuormat vuosikeskiarvoja. KIIPE lämpötila on nousu ottoveden lämpötilasta, KIPP lämpötila on laskettu lisäämällä Perhonjoen lämpötilaan +10 °C.

	Qout	dT	T	SO4	PTOT	NTOT
Nykytila	m ³ /h		C	C	tn/d	kg/d
KIPP	544		10	-	158.40	0.00
KIPE	3852		6.5	-	0.00	7.34
KIPI	-		-	-	-	-
K.Vesi	-		-	30	0.00	1.40

Taulukko 5-3: Metallikuormitukset, nykytila 2021-2022 keskiarvo, tulevat kuormat vuosikeskiarvoja. KIIPE:n sinkkikuormitus tulee pääasiassa ottovedestä, johon se päättyy todennäköisesti sataman täyttömaista.

	Ni	Zn	Co	Cd
Nykytila	kg/d	kg/d	kg/d	kg/d
KIPP	2.72	1.60	1.60	0.027
KIPE	0.00	7.30	0.00	0.013
KIPI	0.00	0.00	0.00	0.000
Täyttö	0.00	(7.00)	0.00	0.000
K.Vesi	0.13	0.23	0.00	0.001

6 Rantaviivan muutoksen vaikutus nykytilan kuormituksilla

Rantaviivan muuttumisen vaikutusta arvioitiin vertaamalla skenaarioille V01, V11, V21 ja V31 laskettuja pitoisuusarvoja eri muuttujille aikasarjapisteissä.

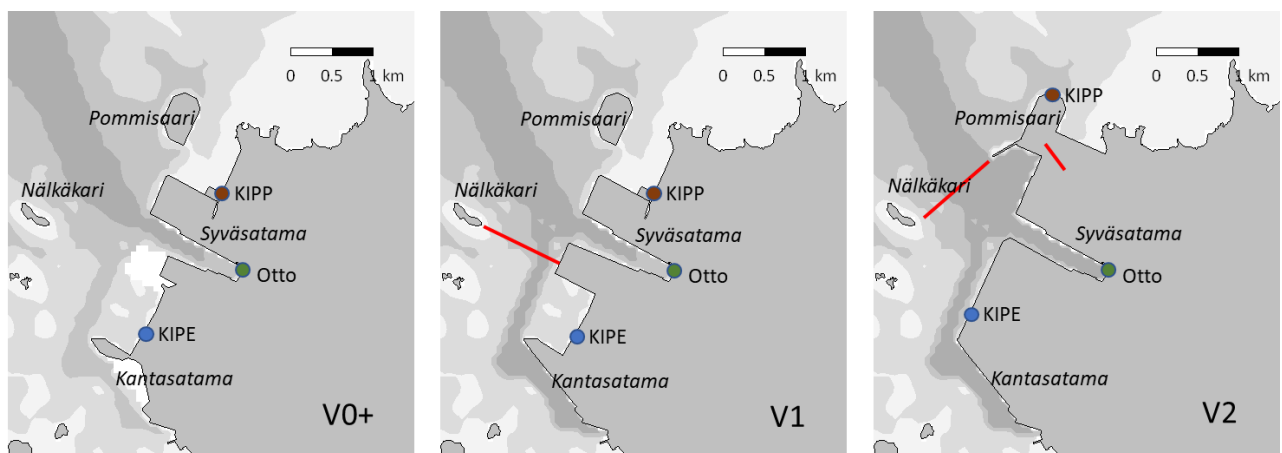
Pienialaisella rantaviivan muutoksella, joka ei kohdistu millekään alueelle vettä johtavaan vesireittiin, on usein vain vähäinen vaikutus virtauksiin ja vedenvaihtumiseen. Tässä rantaviivavaihtoehto V0+ voidaan katsoa tällaiseksi muutokseksi. KIPP purkupisteen siirtyminen voi näkyä pieninä muutoksina purkupisteen lähialueella.

Suurempia vaikutuksia veden vaihtumiseen on tyypillisesti rantaviivan muutoksilla, jotka kaventavat jollekin alueelle johtavan vesireitin poikkileikkausta. Rantaviivavaihtoehdolla V1 Yksipihlajanlahden leveys kaventuu Nälkäkarin ja syväsataman välillä. Samalla Kantasataman väylää syvennetään, mikä voi vaikuttaa veden vaihduntaan Kantasataman alueella.

Rantaviivavaihtoehdolla V2 poikkileikkaus kapenee Nälkäkarin ja Pommisaaren välillä. Pommisaaren ja mantereen välinen vesiyhteys suljetaan, ja lisäksi sekä KIPP että KIPE purkupaikat siirtyvät uusiin paikkoihin. Pommisaaren lähialueen vesireittien kaventaminen ja sulkeminen vaikuttaa vedenvaihtumiseen Yksipihlajanlahdella. Vaikutus voi näkyä esim. lahden pohjukassa suolapitoisuuden laskuna, veden lämpötilan kesäaikaisena nousuna ja ravinne-pitoisuuksien nousuna (mikäli alueelle tulee kuormitusta lähialueelta).

Rantaviiva-vaihtoehdossa V2 KIPP kuormituspaikka siirtyy Pommisaaren pohjoisrannalle, mikä vaikuttaa purkupisteestä tulevan kuormituksen leviämiseen ja sekoittumiseen. Kuormitus sekoittunee aikaisempaa pistettä paremmin ohi virtaavaan veteen, sillä purkupaikka sijaitsee avoimemmalla paikalla nykyiseen verrattuna. KIPP kuormituksen kulkeutuminen Yksipihlajanlahdelle voi vähentyä.

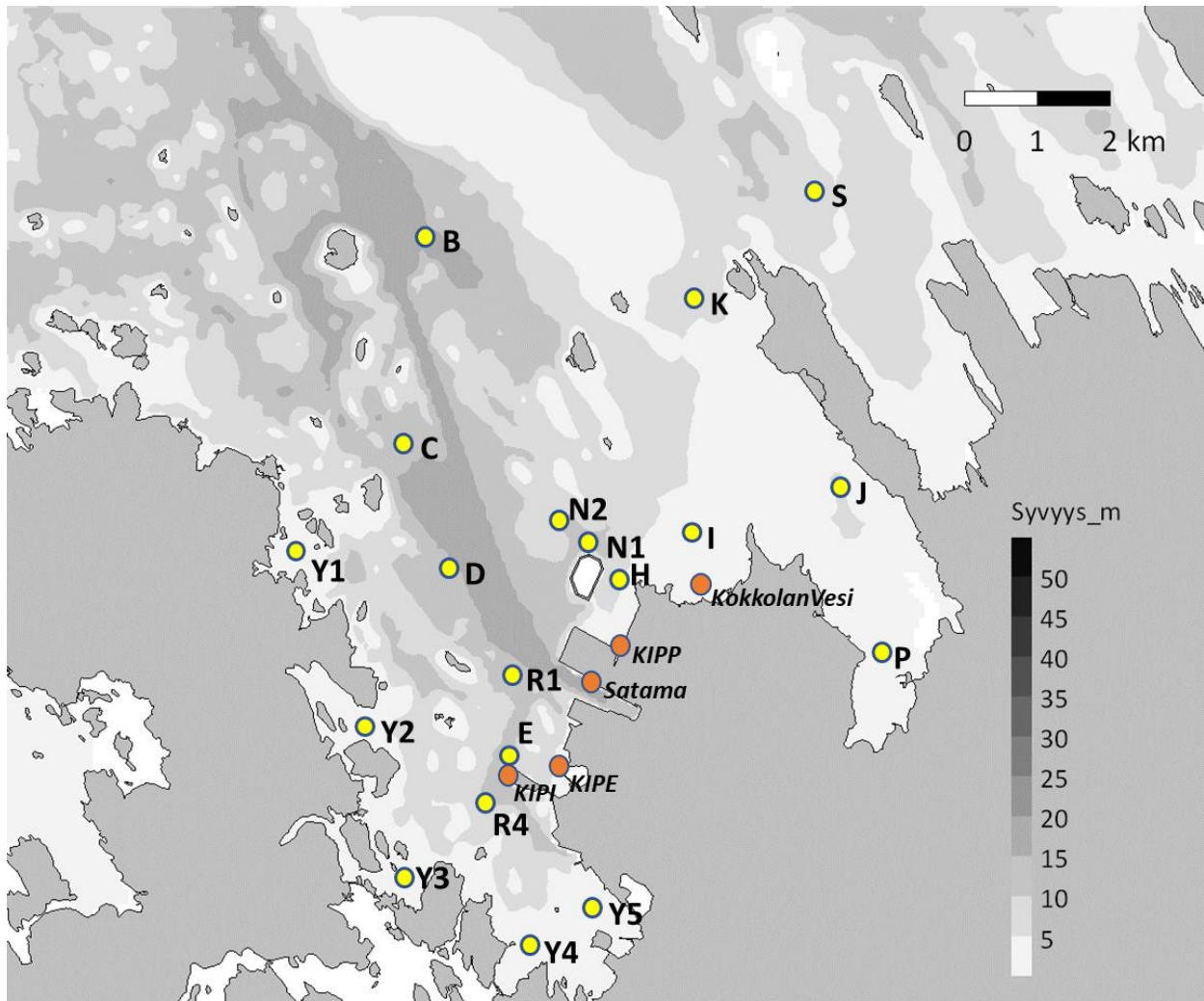
V2 rantaviivalla KIPE purkupaikka siirtyy länteen, ja jäähdytysveden ottopaikan (Syväsataman altaan pohjukassa) ja purun välillä on suoraviivaisempi reitti, ja lämpöpäästön viilenemiseen käytettävissä olevan vesialueen pinta-ala pienenee. Oton ja purun välinen lyhin etäisyys kasvaa kuitenkin noin 400 m verran. Rantaviivan vaikutus voi näkyä KIPE purkuveden aikaisempaa suurempana kulkeutumisena ottopisteeseen ja KIPE jäähdytysveden aiheuttaman pintaveden lämmön nousun alueen muuttumisena.



Kuva 6-1: Vesialueen keskeiset muutokset ja kuormituspaikkojen paikkojen muutokset eri rantaviivavaihtoehtojilla V0+, V1 ja V2.

Rantaviivan muutoksen vaikutuksia on tarkastelu aluksi vertaamalla eri skenaarioilla laskettuja suolapitoisuuksia ja lämpötiloja. Suolapitoisuuksista ja lämpötiloista näkyy hyvin veden vaihtumisen muutos, jos suolaisuudessa ja lämpötiloissa on skenaarioiden välillä selviä eroja, on myös veden vaihtumisessa täytynyt tapahtua merkittäviä muutoksia.

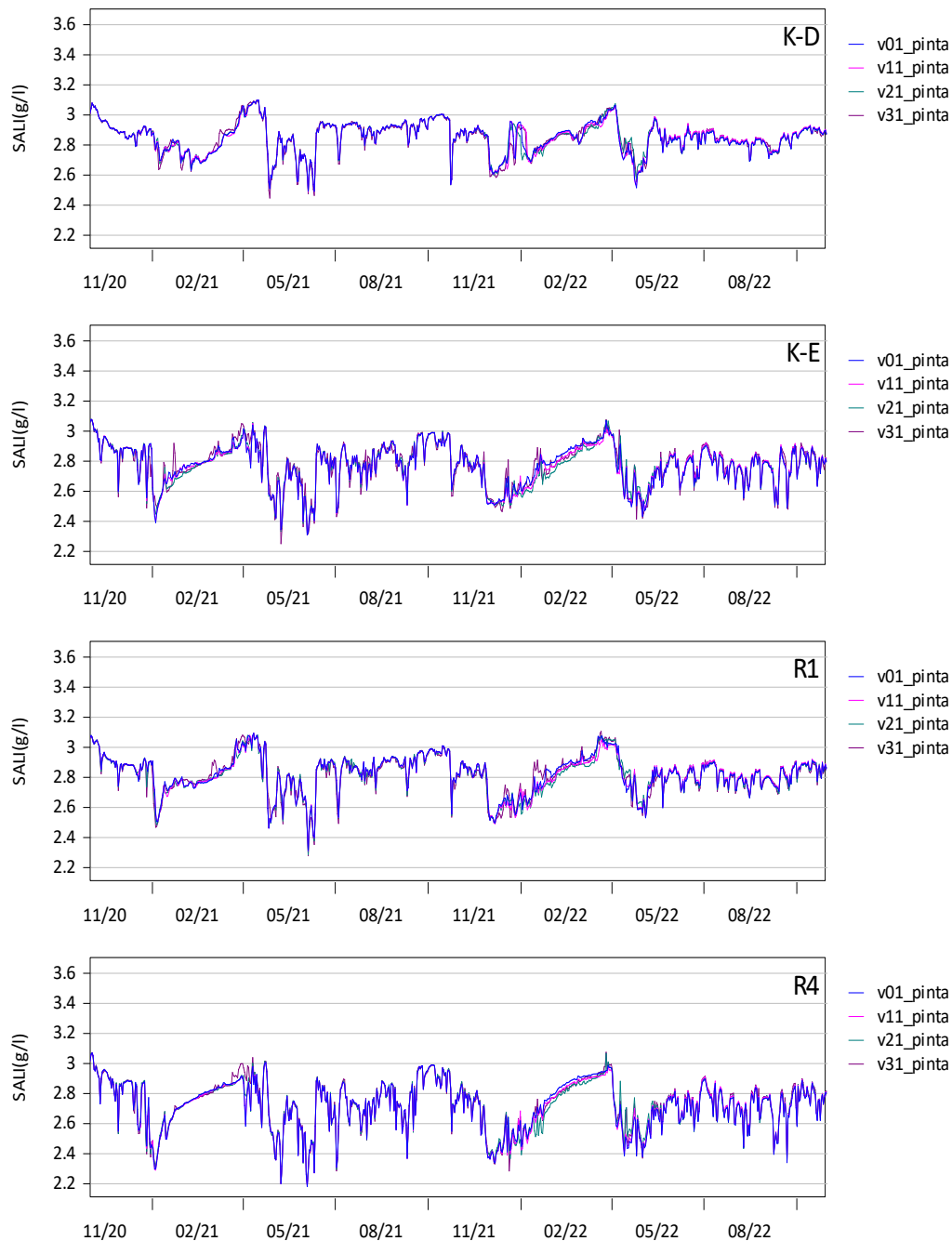
Rantaviivan muutoksen vaikutuksia vedenlaatuun on tarkasteltu myös kokonaistypen ja kokonaisfosforin pitoisuuksien muutoksien kautta. Pitoisuusmuutoksia on tarkasteltu pitoisuusajasarjojen avulla kuvassa 6-2 esitetyistä pisteistä. Aikasarjatulosten lisäksi kokonaisravinteille on esitetty pitoisuuskuukausikeskiarvot maaliskuu-, heinä- ja elokuulta 2021.



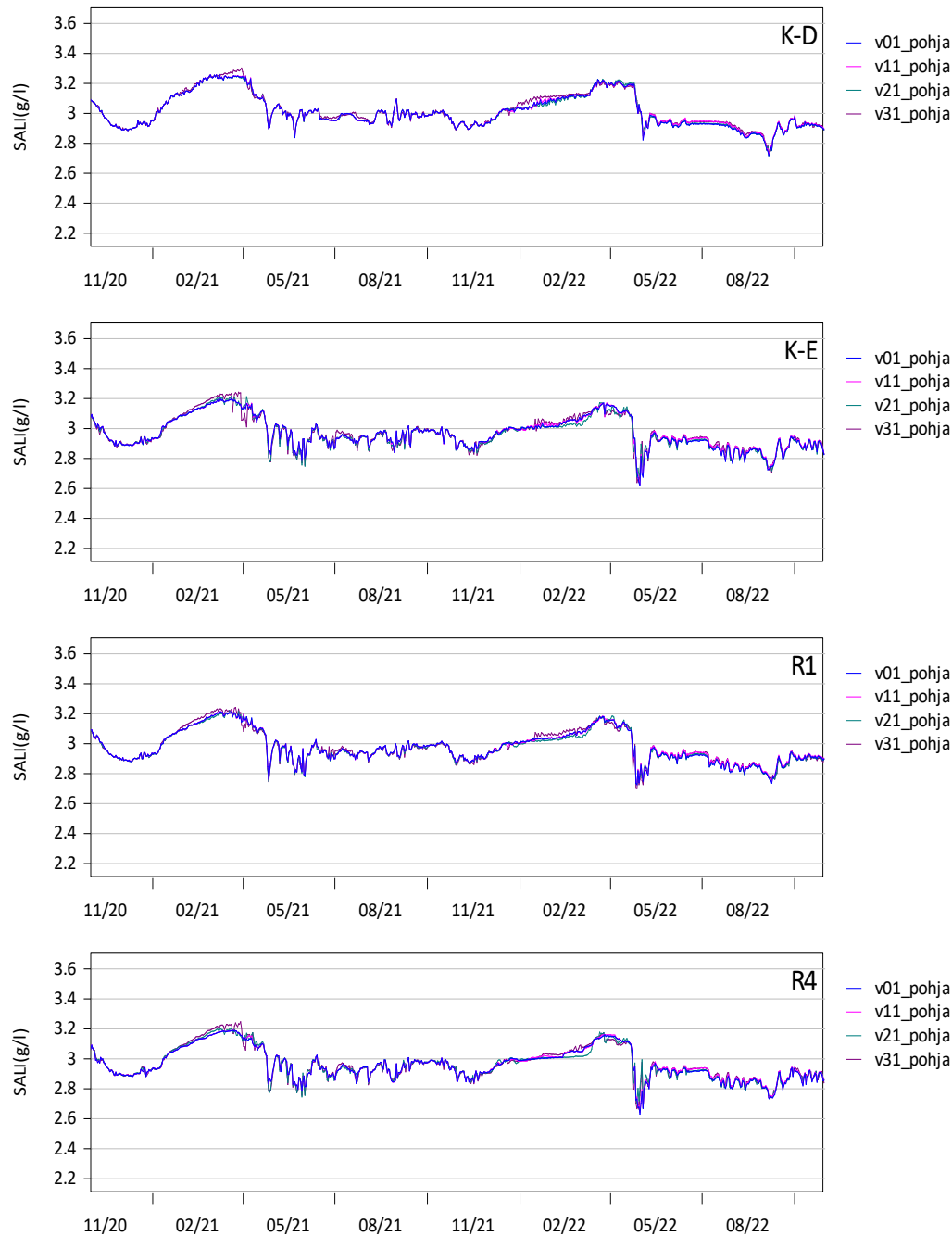
Kuva 6-2: Aikasarjatuloksissa käytettyjen aikasarjapisteiden ja pistekuormitusten paikat.

6.1 Vaikutus suolapitoisuuteen aikasarjapisteissä

Suolapitoisuuden muutokset eri skenaarioiden välillä olivat eri seurantapisteissä enimmäkseen pieniä. Selvimät muutokset pitoisuustasoissa olivat pisteissä D, E, H, I ja R4 ja R1. Kuvissa 6-3 ja 6-4 on esitetty Ykspihlajanlahden puolella olevien pisteiden pisteet D, E, R1 ja R4 pinta- ja pohjakerroksen pitoisuudet eri skenaarioille, ja kuvassa 6-5 nykyisen purkupisteen KIPP lähellä olevien pisteiden H ja I pitoisuudet pinta- ja pohjakerroksessa.



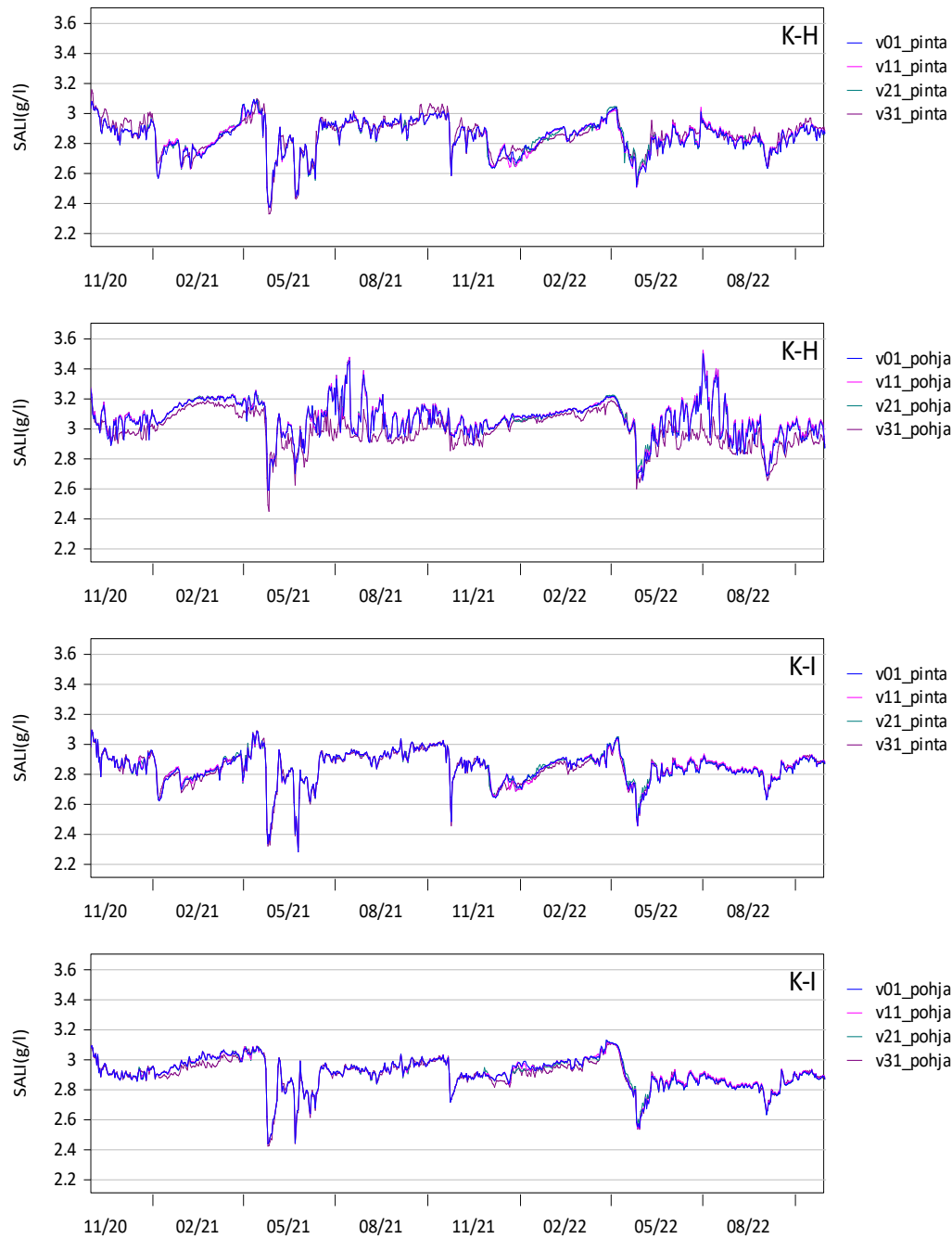
Kuva 6-3: Lasketut suolapitoisuuden muutokset eri skenaarioille seurantapisteiden D, E, R1 ja R4 pintakerroksessa.



Kuva 6-4: Lasketut suolapitoisuuden muutokset eri skenaarioille seurantapisteen D, E, R1 ja R4 pohjakerroksessa.

Ykspihlajanlahdella rantaviivan muutoksen vaikutus suolapitoisuuteen jää pieneksi. Talvella suolapitoisuus nousee ajoittain hieman skenaariossa V31 sekä pinta- että pohjakerroksessa. Osa muutoksista johtunee purkupaikan siirtymisestä.

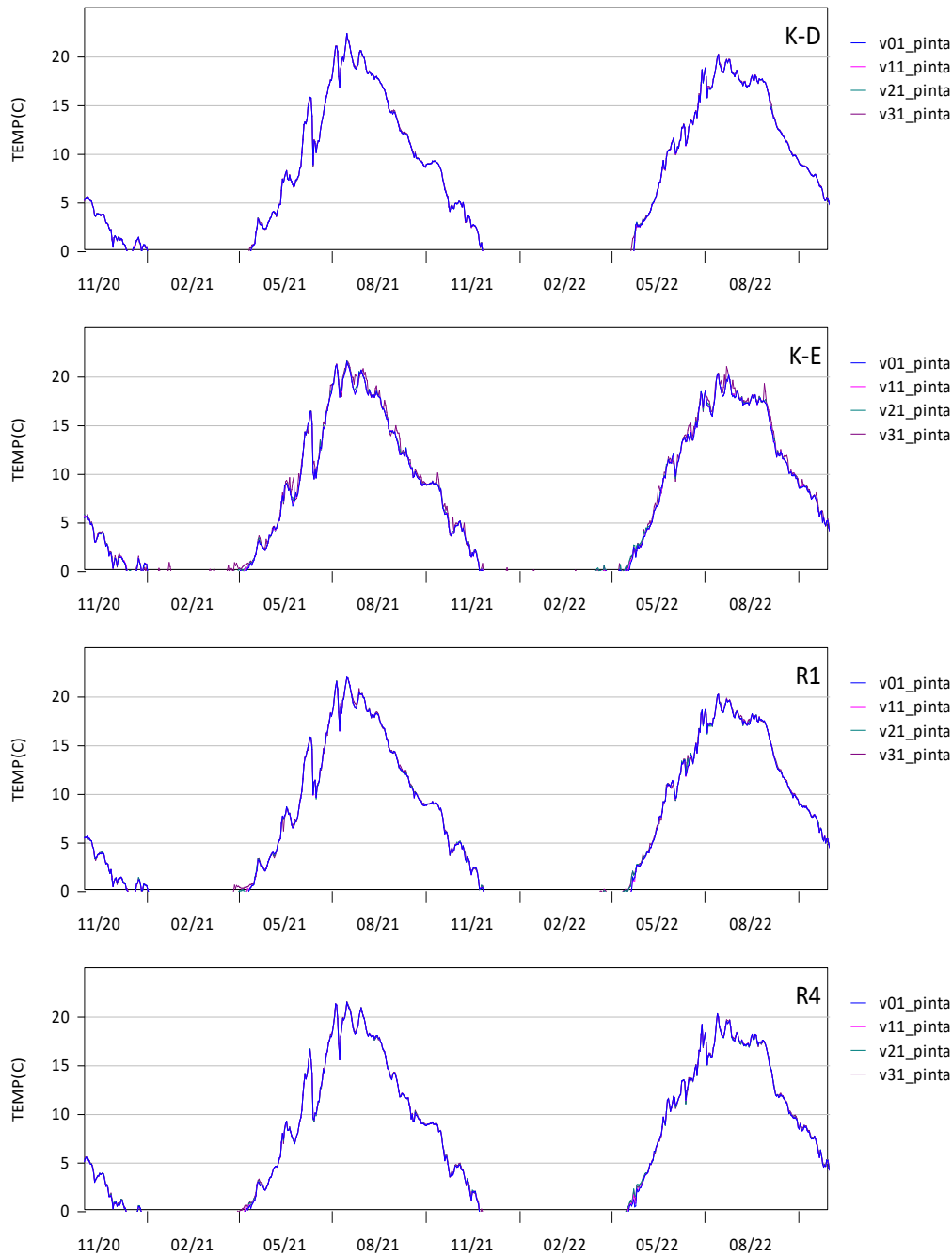
Pommisaaren ympäristössä pintakerroksen suolapitoisuudessa on skenaariolla V31 ajoittain nousua muihin skenaarioihin verrattuna. Kuormituspisteen KIPP edustalla olevassa pisteessä H pohjakerroksen suolapitoisuus vähenee selvästi skenaariolla V31, kun kuormitus siirtyy Pommisaaren pohjoiskärkeen. Pisteessä I muutokset jäävät pieniksi.



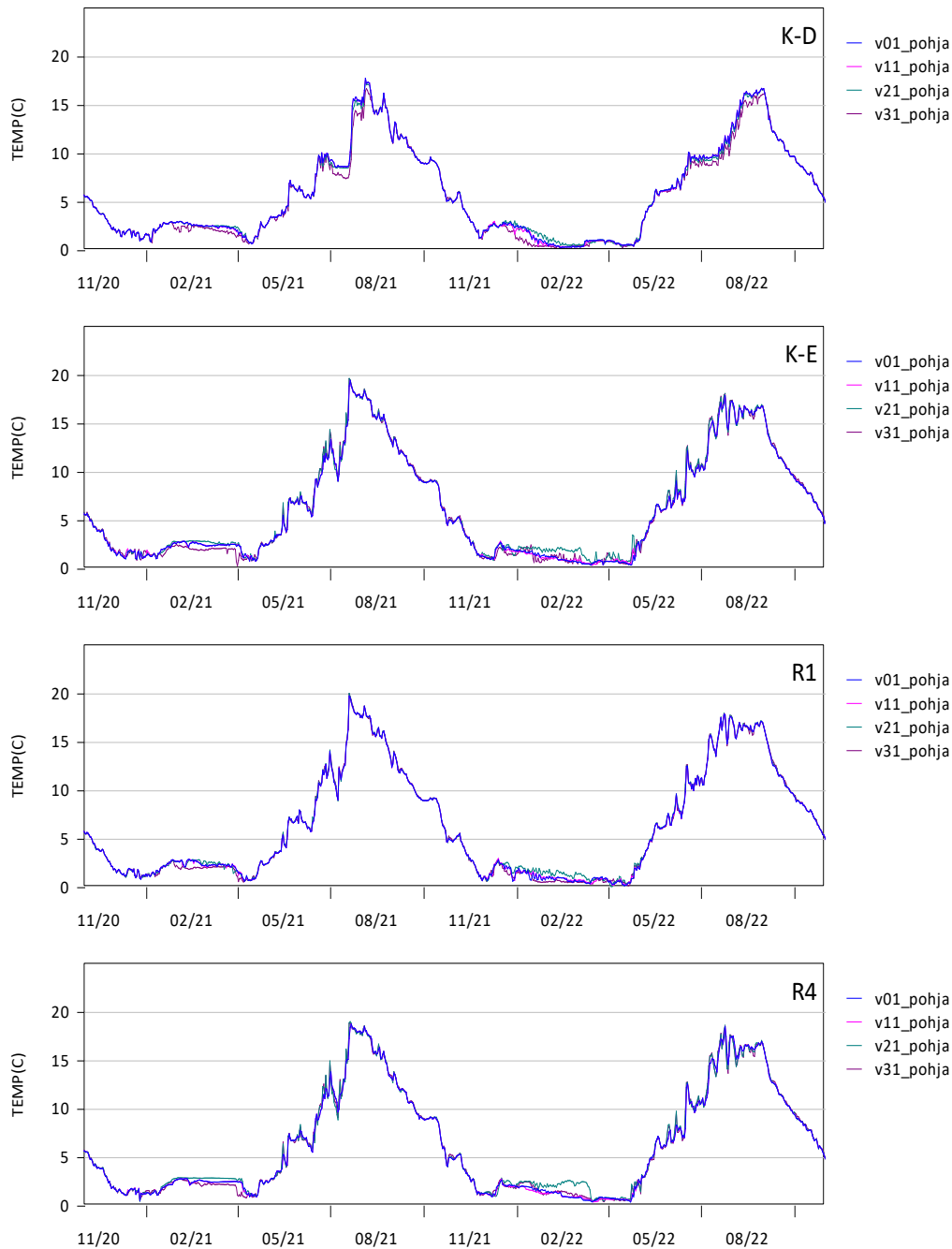
Kuva 6-5: Lasketut suolapitoisuuden muutokset eri skenaarioille seurantapisteen H ja I pinta- ja pohjakerroksissa.

6.2 Vaikutus veden lämpötilaan aikasarjapisteissä

Lämpötilan muutokset eri skenaarioiden välillä olivat eri seurantapisteissä enimmäkseen pieniä. Selvimät muutokset olivat pisteissä D, E, H, I ja R4 ja R1. Kuvissa 6-6 ja 6-7 on esitetty Ykspihlajanlahden puolella olevien pisteiden pisteet D, E, R1 ja R4 pinta- ja pohjakerroksen lämpötilat eri skenaarioille, ja kuvassa 6-8 nykyisen purkupisteen KIPP lähellä olevien pisteiden H ja I lämpötilat pinta- ja pohjakerroksessa.

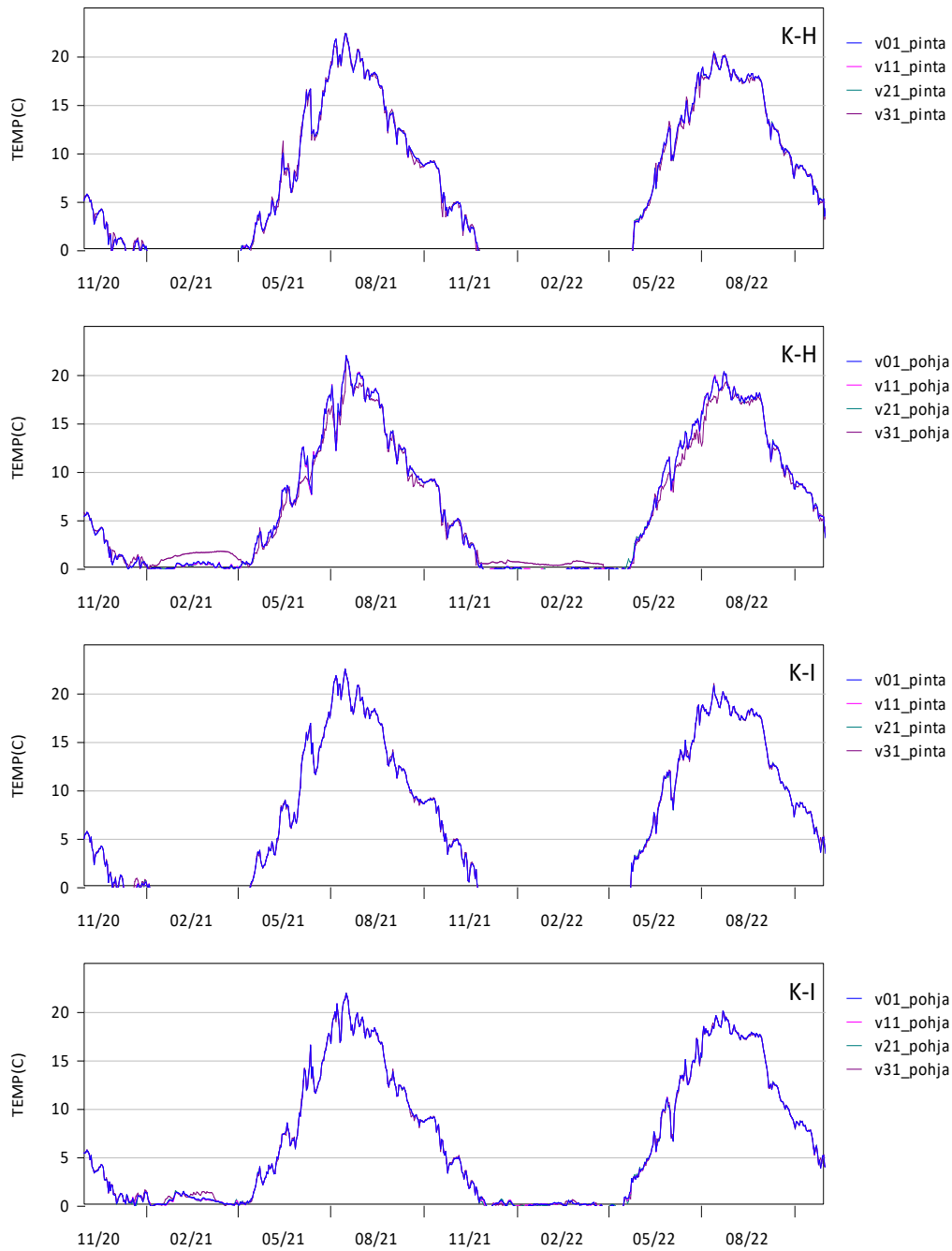


Kuva 6-6: Lasketut lämpötilan muutokset valituissa seurantapisteissä pintakerroksessa rantaviivan muuttuessa.



Kuva 6-7: Lasketut lämpötilan muutokset valituissa seurantapisteissä pohjakerroksessa rantaviivan muuttuessa.

Rantaviivan muutoksen vaikutukset lämpötilaa jäävät vähäiseksi. Muutoksia näkyy lämpötilan aikasarjoissa lähinnä seurantapisteissä H ja E, jotka sijaitsevat lähellä siirtyviä purkupisteitä. Suurin muutos avovesiaikana on pisteen H pohjakerroksessa, jossa lämpötila laskee, kun KIPP kuormitus siirtyy Pommisaaren pohjoiskärkeen. Talvella pisteiden pohjakerroksissa näkyy talvella pientä nousua.

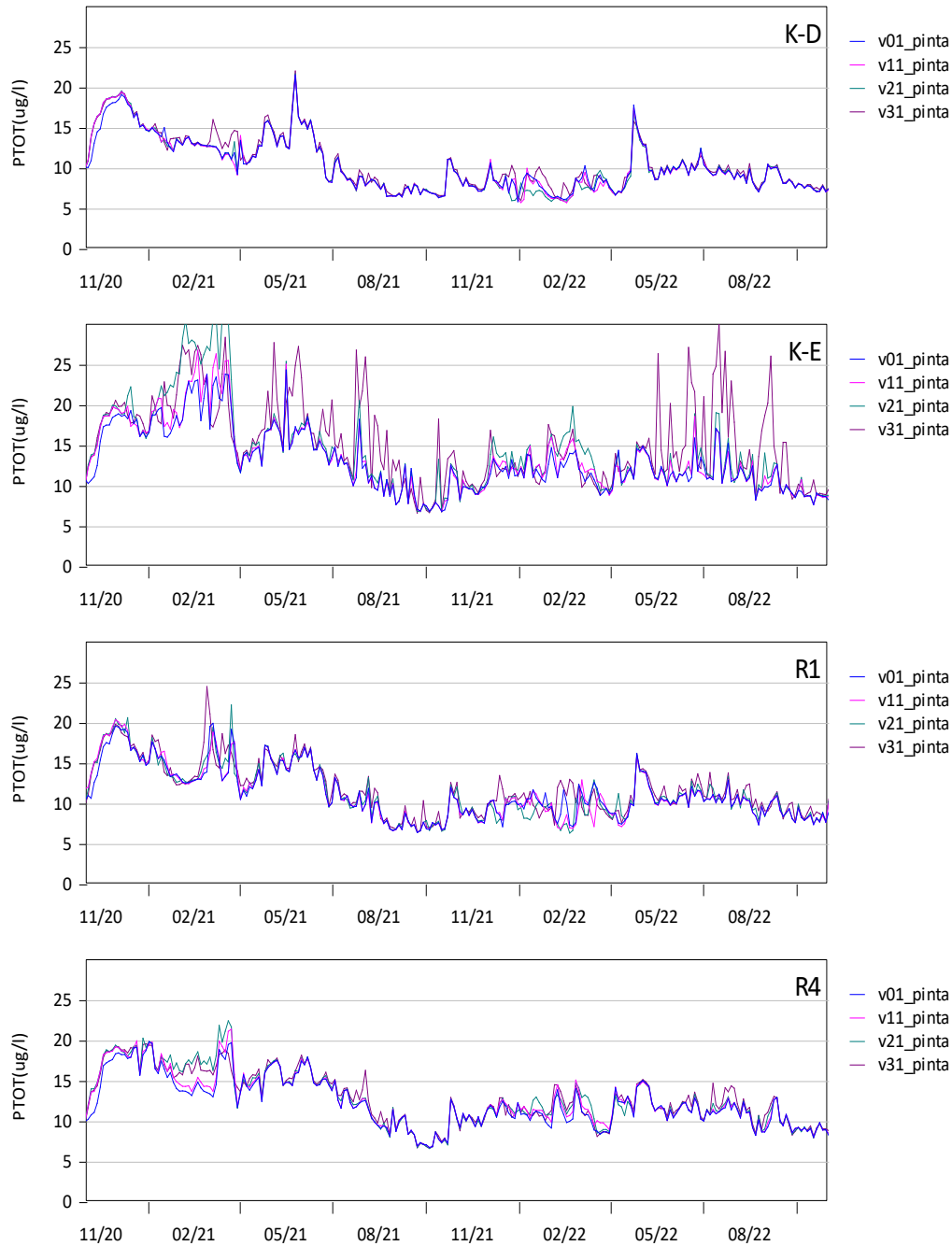


Kuva 6-8: Lasketut lämpötilan muutokset valituissa seurantapisteissä pinta- ja pohjakerroksessa rantaviivan muuttuessa.

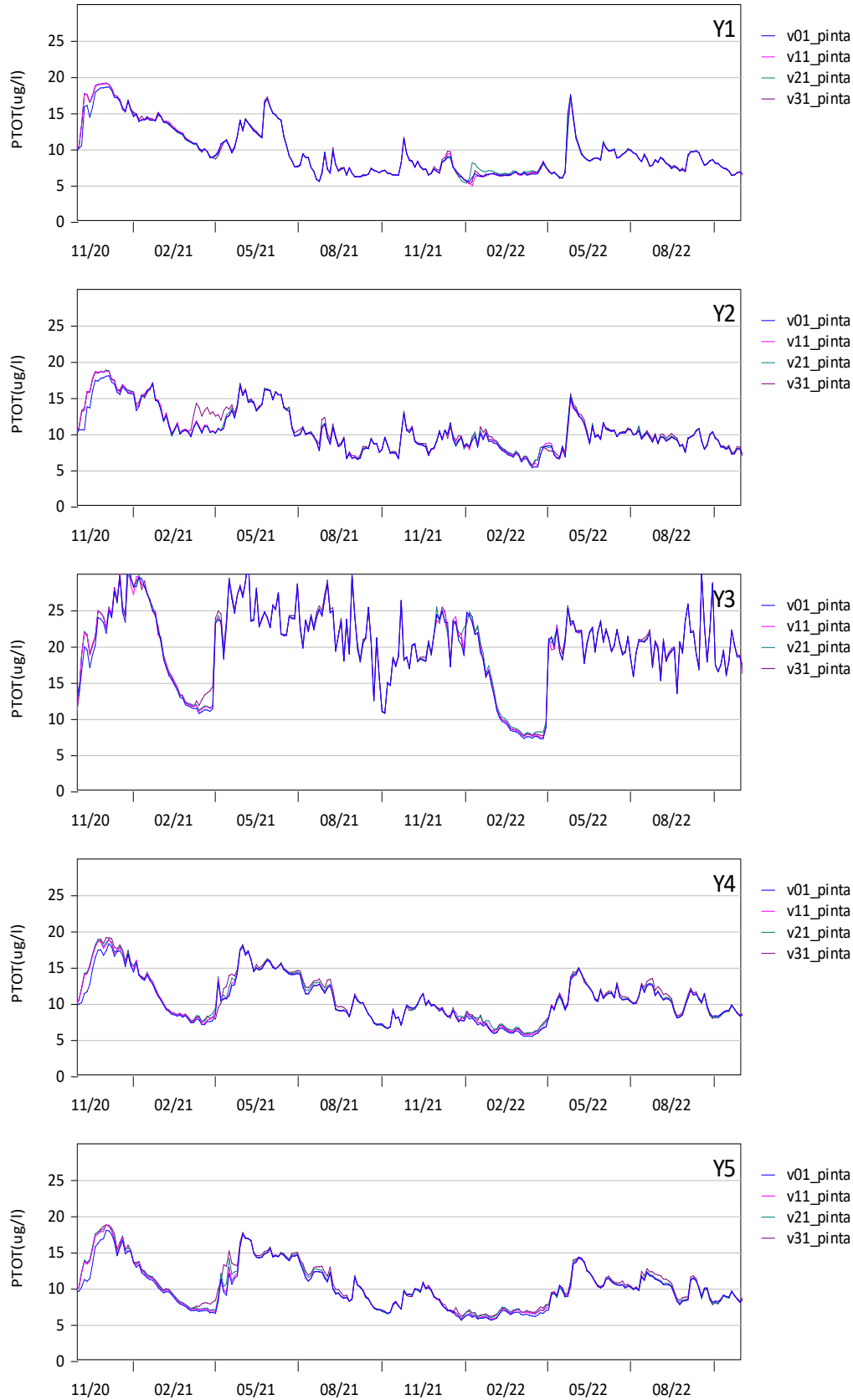
6.3 Vaikutus kokonaisfosforin pitoisuuksiin aikasarjapisteissä

Fosforia Kokkolan edustalle kulkeutuu pääasiassa jokivirtaamista, pistekuormitusten osuus kokonaiskuormituksesta on alle 10 % (PVY 2022).

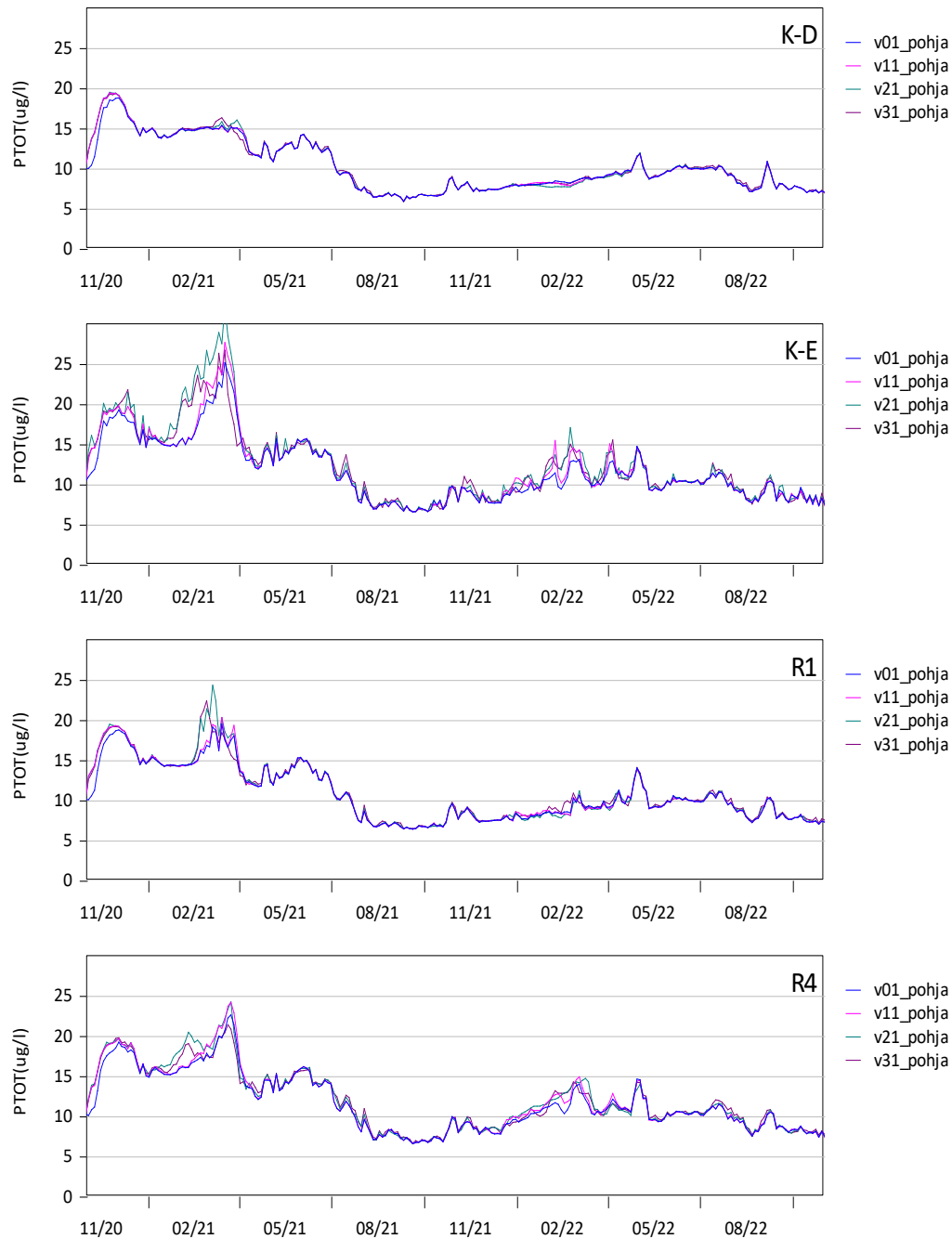
Ykspihlajanlahden alueelle fosforia tulee Öjanjärvestä, KIPP pistekuormituksesta ja kulkeutumalla lahden ulkopuoliselta alueelta. Lahden lähivaluma-alueilta tulevia kuormituksia ei tässä ole otettu huomioon. Lasketut kokonaisfosforipitoisuudet lahden alueelle eri rantaviiva-vaihtoehtoilla on esitetty kuvissa 6-9, 6-10 ja 6-11. Vastaavat keskipitoisuudet eri skenaarioille koko laskentajaksolta ja kesäjaksolta 7.7 – 8.9 on esitetty taulukossa 6-1.



Kuva 6-9: Lasketut kokonaisfosforipitoisuuden (PTOT) muutokset Ykspihlajanlahden pisteissä D,E,R1 ja R4 pintakerroksessa.

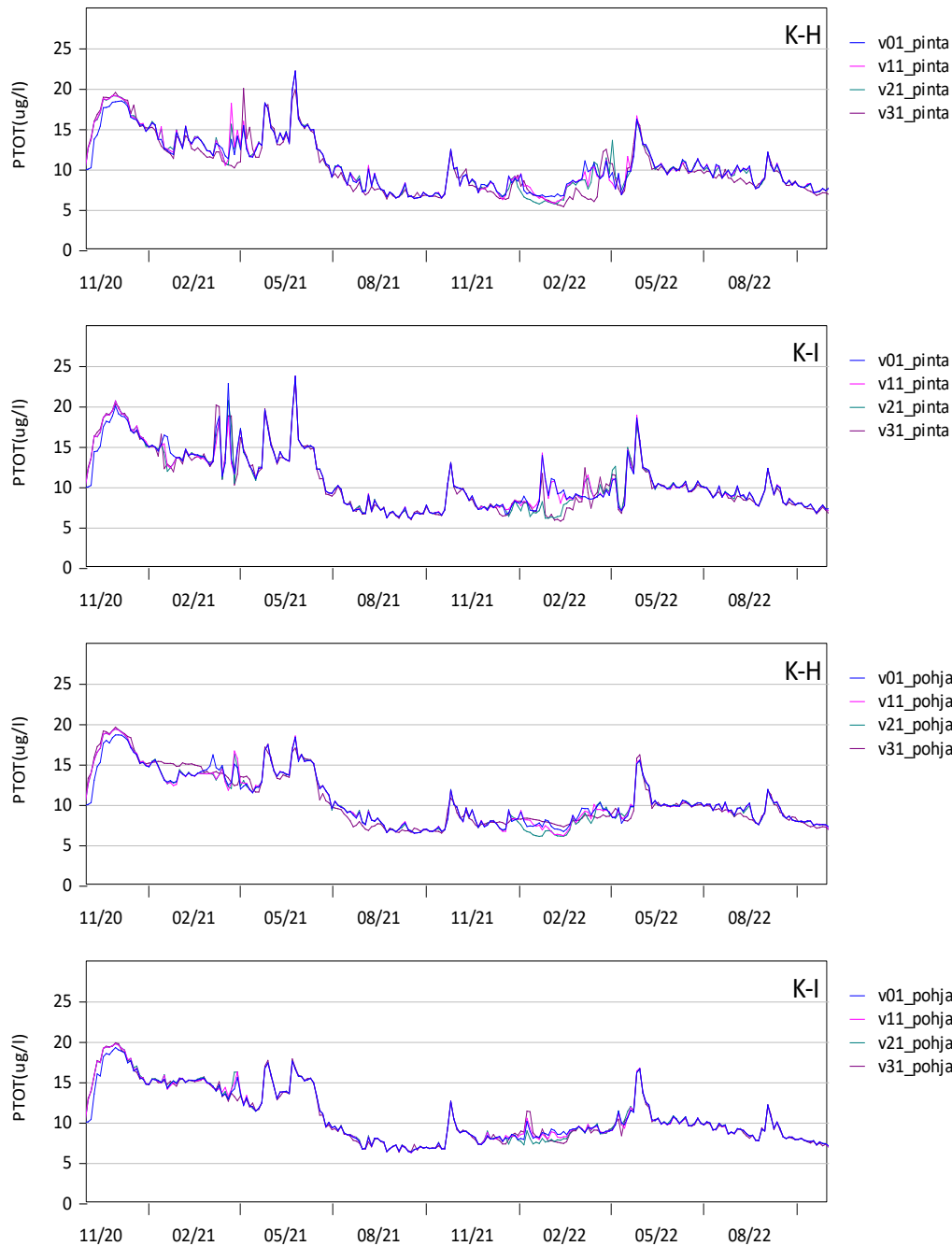


Kuva 6-10: Lasketut kokonaisfosforipitoisuuden (PTOT) muutokset Ykspihlajanlahden pisteissä rantapisteissä Y1-Y5 pintakerroksessa.



Kuva 6-11: Lasketut kokonaisfosforipitoisuuden (PTOT) muutokset Ykspihlajanlahden pisteissä D,E,R1 ja R4 pohjakerroksessa.

Ykspihlajanlahden kokonaisfosforin pitoisuuksiin rantaviivan muutoksella on vain vähän vaikutusta. Pisteessä E näkyvä muutos aiheutuu pääasiassa kuormituksen siirtymisestä lähemmäs mittauspistettä. Rantapisteillä Y1-Y5 fosforipitoisuus nousee, mutta vain vähän. Selkein nousu on pisteessä R4 lopputalvesta.



Kuva 6-12: Lasketut kokonaisfosforipitoisuuden (PTOT) muutokset Kokkolan edustan pisteissä H ja I pinta- ja pohjakerroksessa.

Lasketut kokonaisfosforipitoisuudet Pommisaaren lähipisteissä H ja I eri rantaviivavaihtoehtoilla on esitetty kuvassa 6-12. Vastaavat keskipitoisuudet eri skenaarioille koko laskentajaksolta ja kesäjaksolta 7.7 – 8.9 on esitetty taulukossa 6-1.

Pommisaaren pohjoispuolella rantaviivan muutosten vaikutus kokonaisfosforipitoisuuksiin esitetyissä pisteissä jää pieneksi. Pisteestä KIPP ei tule fosforikuormitusta, joten kuormituspuheen siirtyminen ei juuri vaikuta fosforipitoisuuksiin Pommisaaren pohjoispuolella. Skenaariolla V31 vesialueiden täyttö Pommisaaren ja mantereiden välillä vaikuttaa virtauksiin Kokkolan veden purkupisteen alueella, mikä aiheuttaa pisteessä H fosforin osalta talviaikaista pitoisuusnousua ja avovesiajalle pitoisuuden laskua.

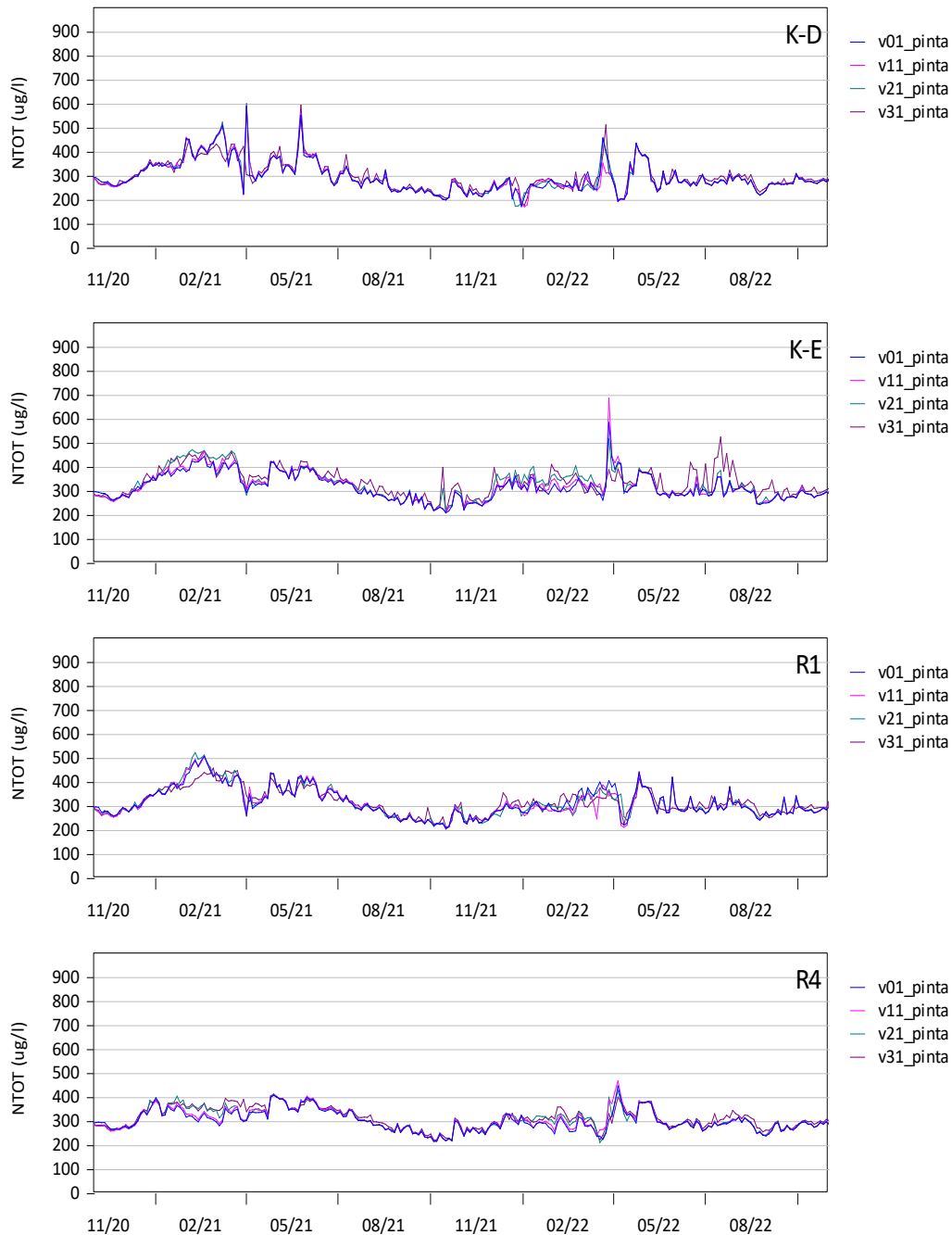
Taulukko 6-1: Kokonaisfosforin (PTOT) keskipitoisuudet seurantapisteissä vuosien 2021 laskentajaksolta ja 2021 kesäjaksolta eri skenaarioilla.

PTOT		11/2020-10/2022				7.7.2021-8.9.2021			
		v01	v11	v21	v31	v01	v11	v21	v31
Piste	Syvyys	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
K-A	pinta	8.7	8.8	8.7	8.8	5.7	5.7	5.7	5.7
K-B	pinta	9.5	9.5	9.5	9.6	6.4	6.4	6.4	6.4
K-C	pinta	10.0	10.0	10.1	10.1	7.1	7.1	7.1	7.1
K-D	pinta	10.4	10.4	10.4	10.7	7.9	7.9	7.9	8.2
K-E	pinta	13.2	13.5	14.5	15.5	11.1	11.1	11.8	15.6
K-H	pinta	11.4	11.4	11.5	12.0	9.1	9.0	9.3	9.8
K-I	pinta	12.4	12.7	13.0	13.0	11.0	11.1	11.2	11.9
K-J	pinta	10.7	10.8	10.7	10.4	8.1	8.2	8.2	7.6
K-K	pinta	10.9	11.0	10.9	10.8	7.5	7.5	7.5	7.4
K-P	pinta	12.5	12.6	12.6	12.5	7.7	7.7	7.7	7.5
K-U	pinta	11.3	11.3	11.3	11.4	7.1	7.1	7.1	7.1
R1	pinta	17.1	17.2	17.2	17.1	8.8	8.8	8.8	8.6
R4	pinta	8.2	8.2	8.2	8.3	5.7	5.7	5.7	5.8
Y1	pinta	9.7	9.7	9.8	9.8	7.3	7.3	7.4	7.4
Y2	pinta	10.6	10.7	10.8	11.0	8.8	8.8	8.9	9.2
Y3	pinta	20.1	20.2	20.3	20.4	23.3	23.3	23.3	23.6
Y4	pinta	10.7	10.8	11.0	11.1	10.9	10.9	11.0	11.4
Y5	pinta	10.2	10.4	10.5	10.7	10.6	10.6	10.8	11.2
N1	pinta	10.4	10.4	10.4	10.5	7.4	7.4	7.4	7.7
N2	pinta	10.3	10.3	10.3	10.5	7.4	7.4	7.4	7.6
K-A	pohja	9.3	9.4	9.4	9.4	6.3	6.3	6.3	6.3
K-B	pohja	9.6	9.6	9.6	9.6	6.5	6.5	6.5	6.5
K-C	pohja	10.0	10.1	10.1	10.1	7.1	7.1	7.0	7.0
K-D	pohja	10.3	10.4	10.4	10.4	7.5	7.5	7.6	7.7
K-E	pohja	11.7	12.0	12.6	12.3	8.6	8.6	8.8	9.1
K-H	pohja	10.8	10.9	11.0	11.0	8.1	8.1	8.1	8.2
K-I	pohja	11.7	12.0	12.2	12.1	8.9	8.9	9.1	9.3
K-J	pohja	10.7	10.8	10.7	10.7	8.1	8.2	8.2	7.5
K-K	pohja	10.9	11.0	10.9	10.9	7.7	7.7	7.8	7.6
K-P	pohja	11.7	11.7	11.8	11.7	7.7	7.8	7.8	7.6
K-U	pohja	10.1	10.1	10.1	10.1	6.9	6.9	6.9	6.8
R1	pohja	9.5	9.5	9.5	9.5	6.5	6.5	6.5	6.5
R4	pohja	10.6	10.7	10.6	10.5	7.6	7.6	7.7	7.5
N1	pohja	10.6	10.6	10.6	10.5	7.4	7.4	7.4	7.4
N2	pohja	11.7	11.9	11.9	11.9	7.3	7.3	7.3	7.3

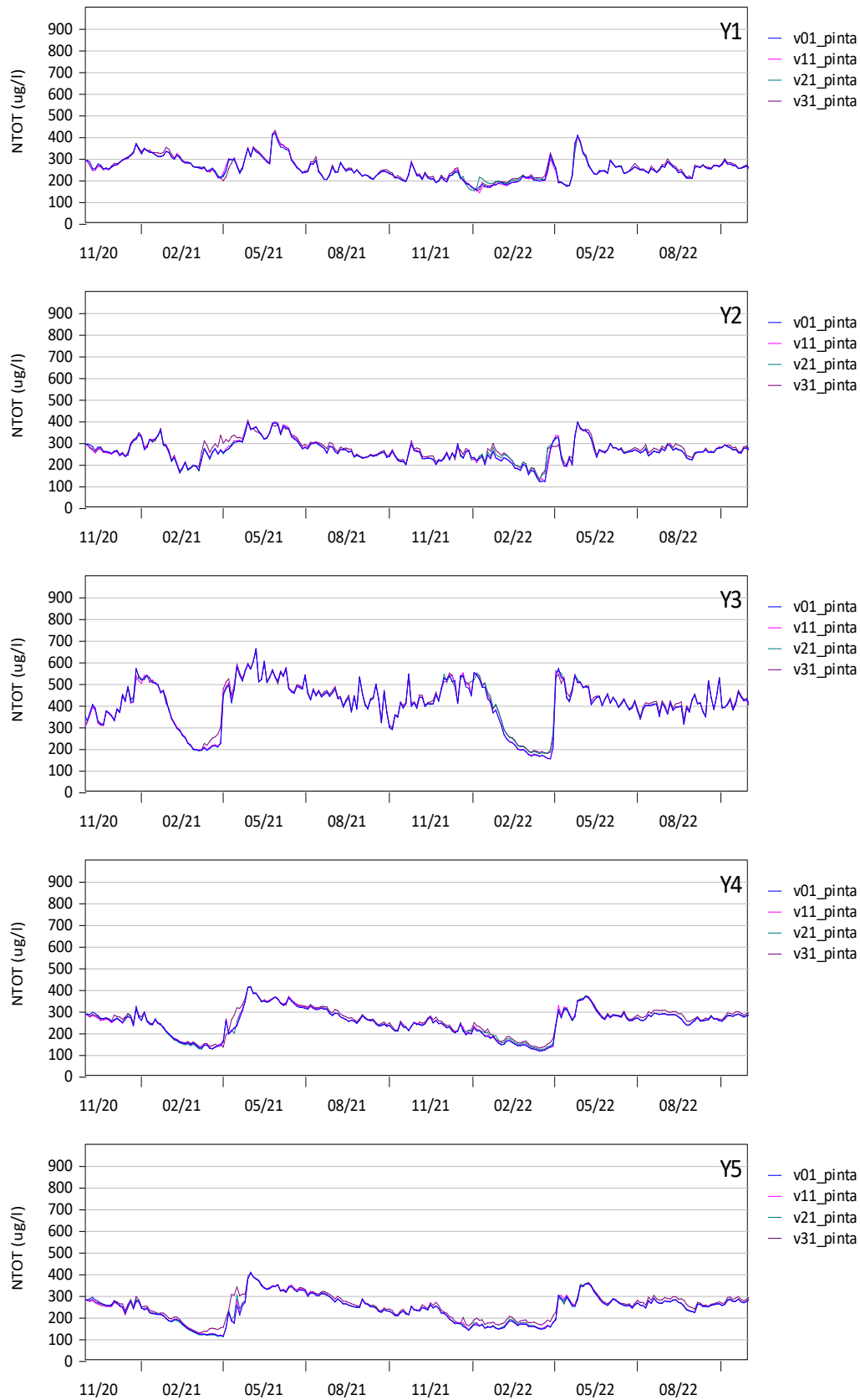
6.4 Vaikutus kokonaistypen pitoisuuksiin aikasarjapisteissä

Typpeä Kokkolan edustalle kertyy pääasiassa jokivesistä, joskin pistekuormitusten osuus kokonaiskuormituksesta on noin neljäsosa (PVY 2022).

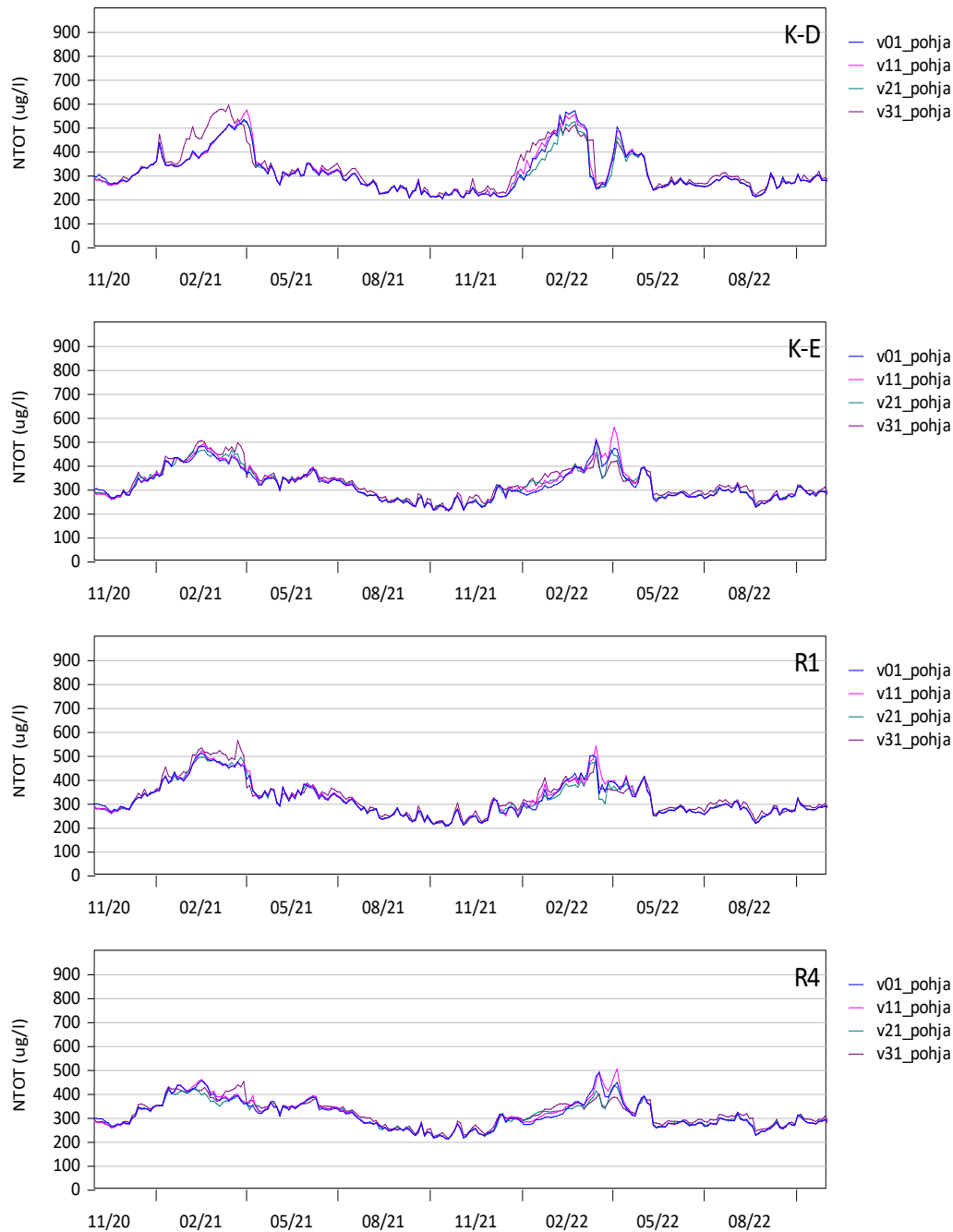
Ykspihlajanlahdelle kuormitusta päätyy Öjanjärvestä, KIPP pistekuormituksesta, ja kulkeutumalla lahden ulkopuoliselta alueelta. Lasketut kokonaistyyppipitoisuudet lahden alueelle eri rantaviivavaihtoehdoilla on esitetty kuvissa 6-13 - 6-16. Vastaavat keskipitoisuudet eri skenaarioille koko laskentajaksolta ja kesäjaksolta 7.7 – 8.9 on esitetty taulukossa 6-2.



Kuva 6-13: Lasketut kokonaistyyppipitoisuuden (NTOT) muutokset Ykspihlajanlahden pisteissä D,E,R1 ja R4 pintakerroksessa.



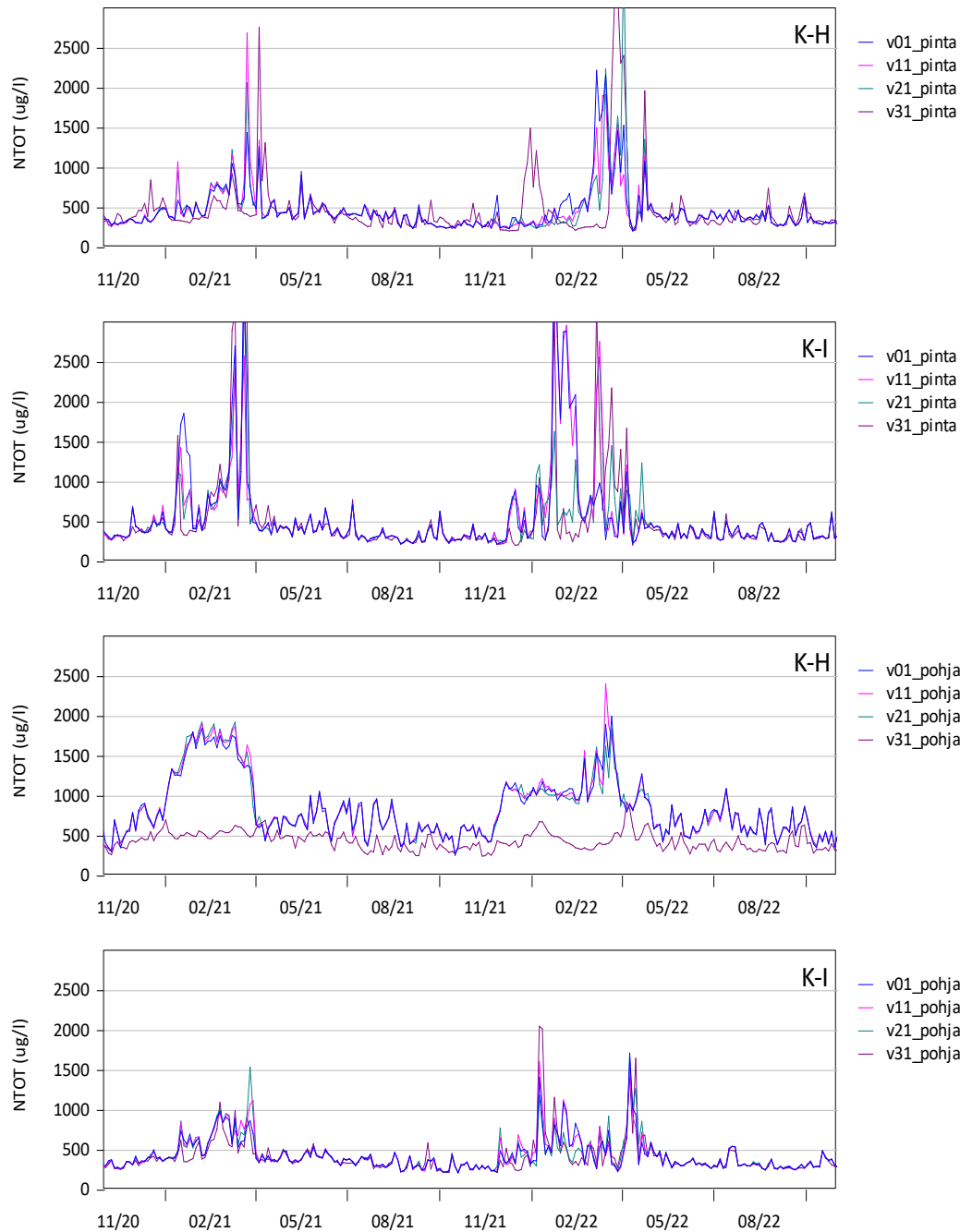
Kuva 6-14: Lasketut kokonaistyyppipitoisuuden (NTOT) muutokset Ykspihlajanlahden pisteissä rantapisteissä Y1-Y5 pintakerroksessa.



Kuva 6-15: Lasketut kokonaistyyppipitoisuuden (NTOT) muutokset Ykspihlajanlahden pisteissä D,E,R1 ja R4 pohjakerroksessa.

Ykspihlajanlahden kokonaistyyppipitoisuuksiin rantaviivan muutoksella on paikoitellen jonkin verran vaikutusta. Pisteessä E näkyvä muutos aiheutuu lähinnä kuormituksen siirtymisestä lähemmäs mittauspistettä. Rantapisteillä Y1-Y5 tyyppipitoisuus nousee hieman skenaariolla V31, mutta muuten muutokset ovat vähäisiä ja muutoksen suunta vaihtelee eri vuodenaikoina.

Lasketut kokonaistyyppipitoisuudet Pommisaaren lähipisteissä H ja I eri rantaviivavaihtoehtojalla on esitetty kuvassa 6-16. Vastaavat keskipitoisuudet eri skenaarioille koko laskentajaksolta ja kesäajaksolta 7.7 – 8.9 on esitetty taulukossa 6-2.



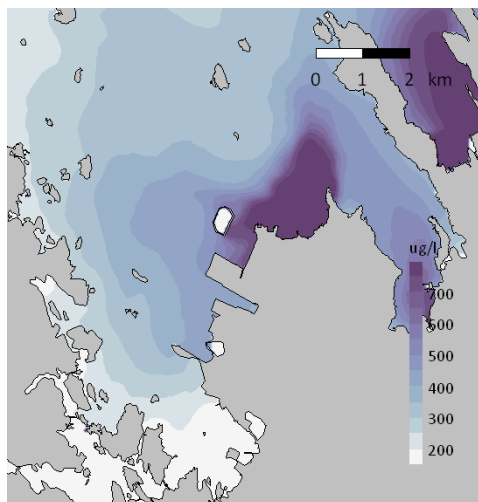
Kuva 6-16: Lasketut kokonaistyyppipitoisuuden (NTOT) muutokset Kokkolan edustan pisteissä H ja I pinta- ja pohjakerroksessa.

Pisteestä KIPP tulevan typpikuormituksen paikan siirtyminen skenaariossa V31 näkyy selvästi laskentatuloksissa, muiden vaihtoehtojen vaikutus sen sijaan jää pieneksi. Pisteiden H ja I pintakerroksissa typpipitoisuus nousee, ja laskee pisteen H pohjakerroksessa. Pieni lasku näkyy myös pisteen I talviajan pohjan pitoisuuksissa. Keskeinen syy muutokseen on kuormituspisteen KIPP paikan vaihtuminen Pommisaaren pohjoiskärkeen. Muutos aiheuttaa mallissa sen, että purkuvesi sekoittuu aikaisempaa paremmin pintaveteen, jolloin pintaveden typpipitoisuus nousee, ja pohjan pitoisuustaso laskee. Mallilaskennassa on tässä epävarmuutta ja lopputulos voi riippua purkupisteen järjestelystä. Malli kuvaa tilannetta, jossa purkuvesi sekoittuu tehokkaasti pintakerroksen veteen (0–3 m syvyyteen) - tämän arvion voi katsoa olevan optimistinen.

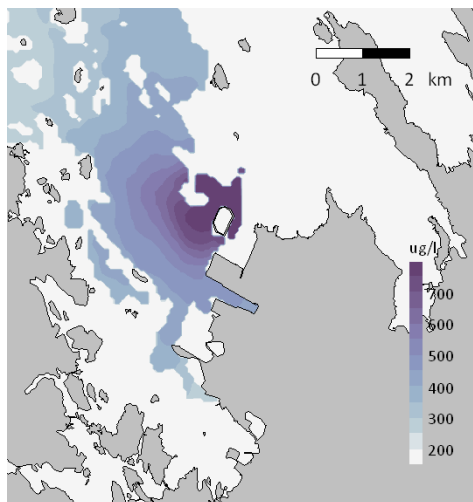
Taulukko 6-2: Kokonaistypen (NTOT) keskipitoisuudet seurantapisteissä vuosien 2021 laskentajaksolta ja 2021 kesäjaksolta eri skenaarioilla.

NTOT		11/2020-10/2022				7.7.2021-8.9.2021			
		v01	v11	v21	v31	v01	v11	v21	v31
Piste	Syvyys	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
K-A	pinta	240	240	240	240	208	208	208	209
K-B	pinta	256	255	256	257	225	226	226	227
K-C	pinta	275	276	277	279	246	247	246	249
K-D	pinta	297	296	297	303	273	274	274	284
R1	pinta	318	316	319	318	283	283	282	288
K-E	pinta	319	322	331	340	287	289	291	313
R4	pinta	304	307	311	318	292	294	294	303
K-H	pinta	468	463	465	474	387	389	391	335
K-I	pinta	557	560	516	508	299	300	301	287
K-J	pinta	351	351	360	356	308	310	311	290
K-K	pinta	304	304	306	307	242	243	243	242
K-P	pinta	382	382	391	386	295	298	299	280
K-U	pinta	217	217	216	218	205	205	205	205
Y1	pinta	257	256	257	261	244	245	245	248
Y2	pinta	265	266	267	274	266	266	267	274
Y3	pinta	411	412	414	419	441	442	442	448
Y4	pinta	254	255	255	263	285	286	287	295
Y5	pinta	244	245	245	256	281	282	282	290
N1	pinta	318	318	318	322	272	273	274	281
N2	pinta	295	294	294	301	268	268	269	270
K-A	pohja	254	254	254	254	223	224	224	224
K-B	pohja	261	261	260	264	230	231	231	234
K-C	pohja	290	291	289	301	249	250	249	251
K-D	pohja	316	319	312	330	261	262	263	270
K-E	pohja	320	324	323	331	276	277	279	287
K-H	pohja	844	852	843	438	638	634	634	355
K-I	pohja	435	443	438	420	339	340	342	335
K-J	pohja	367	366	377	377	305	307	308	289
K-K	pohja	281	280	281	280	249	249	250	249
K-U	pohja	240	240	241	241	218	218	218	219
R1	pohja	321	323	319	330	272	273	273	280
R4	pohja	314	317	312	321	277	278	279	288
N1	pohja	653	660	656	679	383	390	389	443
N2	pohja	504	505	502	588	318	323	322	381

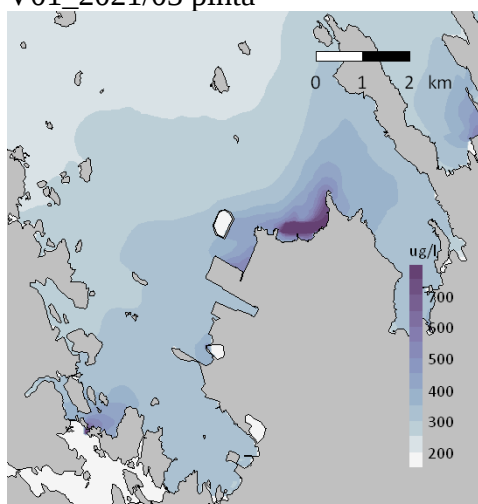
6.5 Vaikutus kokonaistypen keskipitoisuuksiin karttapohjalla



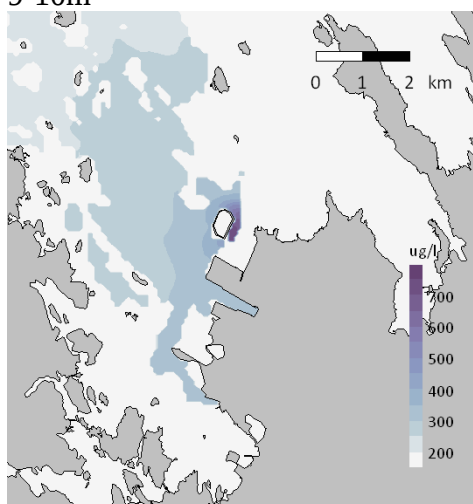
V01_2021/03 pinta



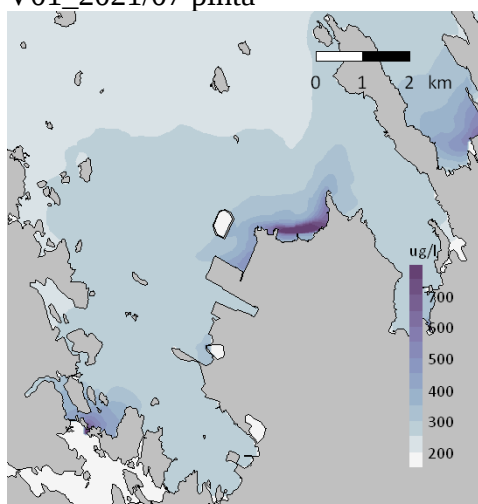
9-10m



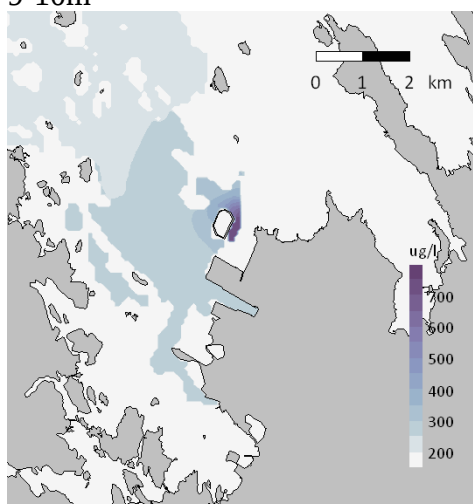
V01_2021/07 pinta



9-10m

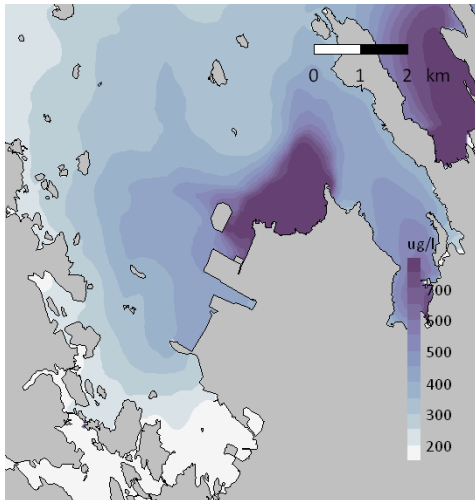


V01_2021/08 pinta

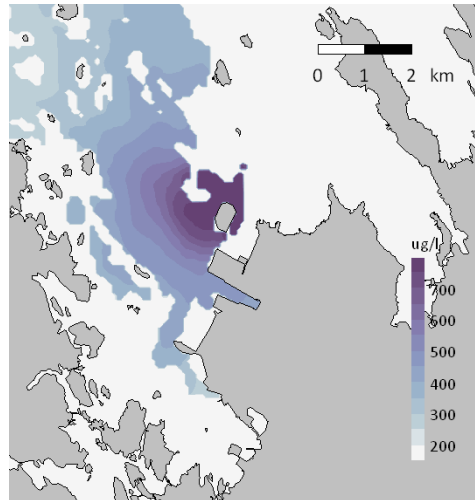


9-10m

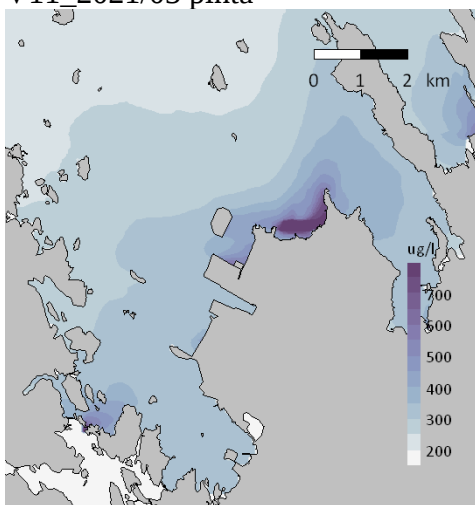
Kuva 6-17: NTOT keskiarvokentät 03/2021, 07/2021 ja 08/2021, laskentaskenaario V01.



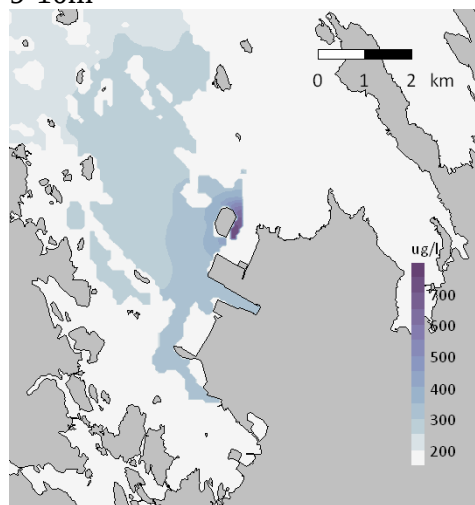
V11_2021/03 pinta



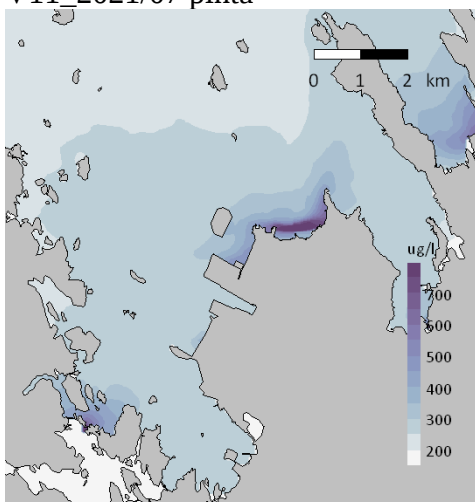
9-10m



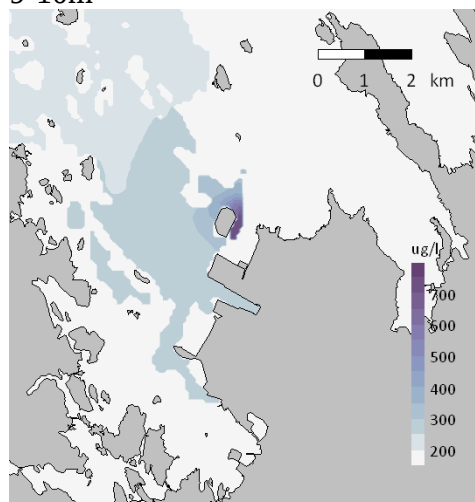
V11_2021/07 pinta



9-10m

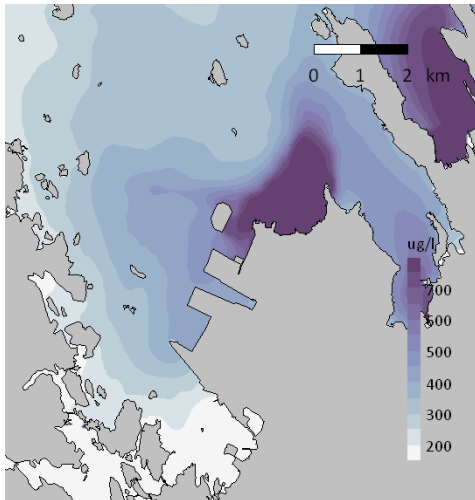


V11_2021/08 pinta

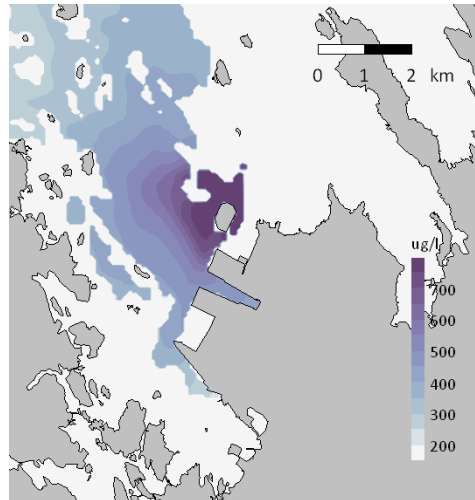


9-10m

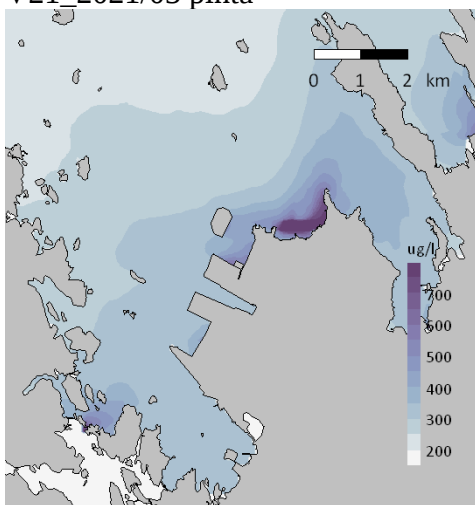
Kuva 6-18: NTOT keskiarvokentät 03/2021, 07/2021 ja 08/2021, laskentaskenaario V11.



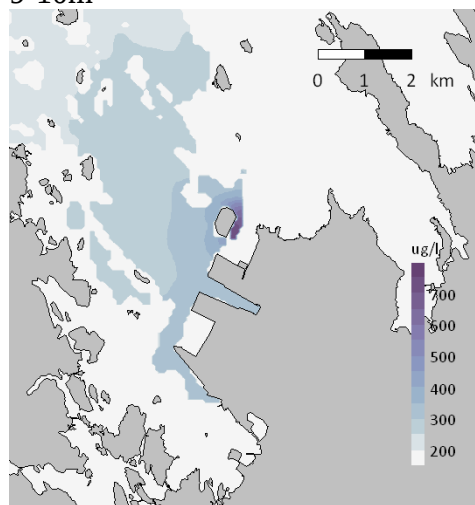
V21_2021/03 pinta



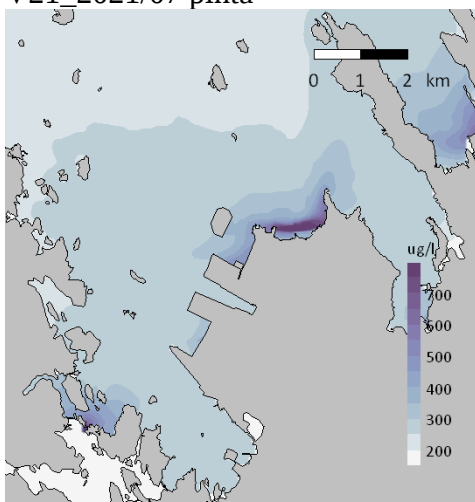
9-10m



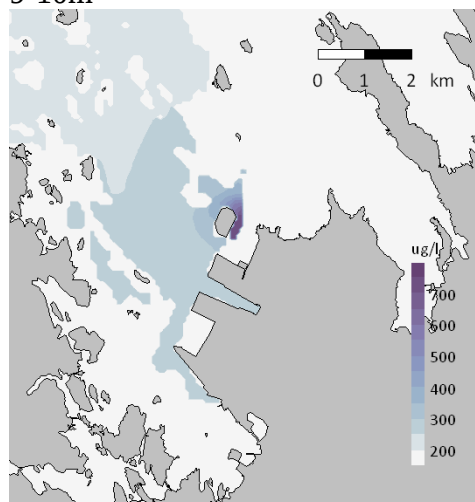
V21_2021/07 pinta



9-10m

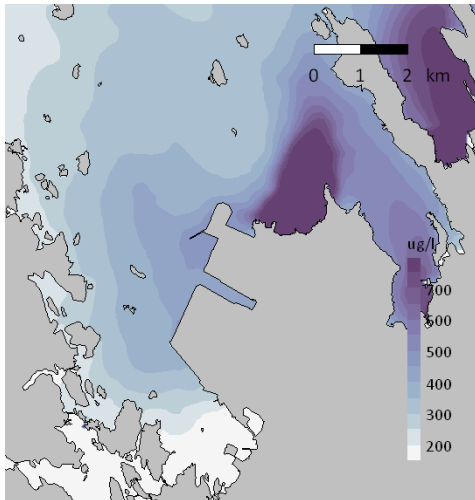


V21_2021/08 pinta

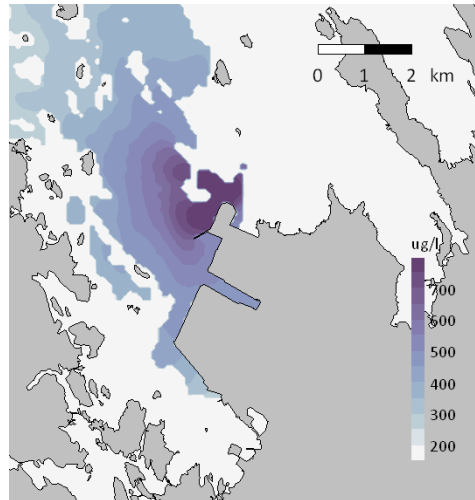


9-10m

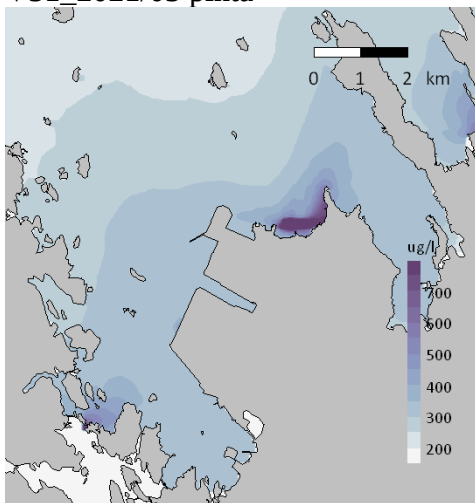
Kuva 6-19: NTOT keskiarvokentät 03/2021, 07/2021 ja 08/2021, laskentaskenaario V21.



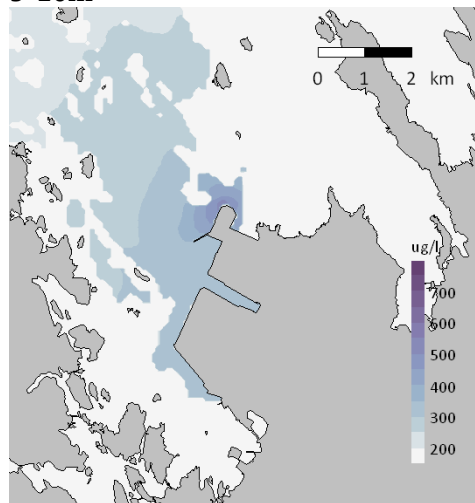
V31_2021/03 pinta



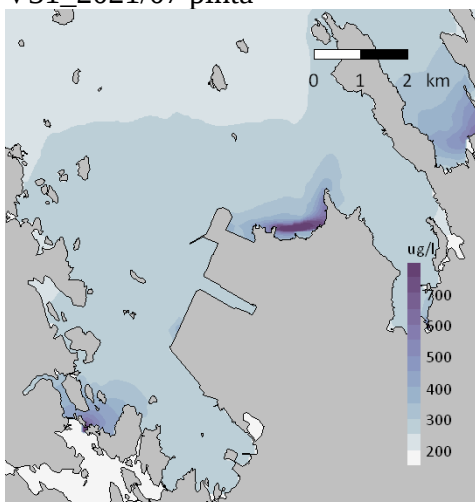
9-10m



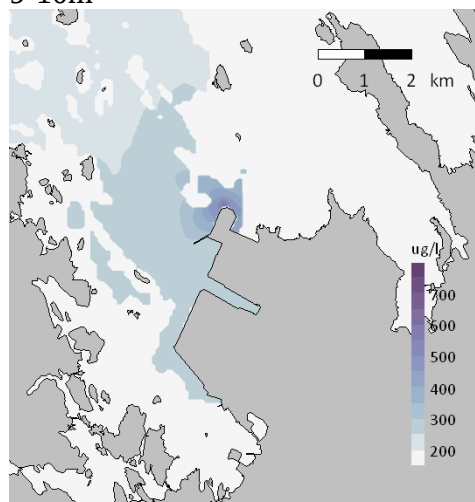
V31_2021/07 pinta



9-10m



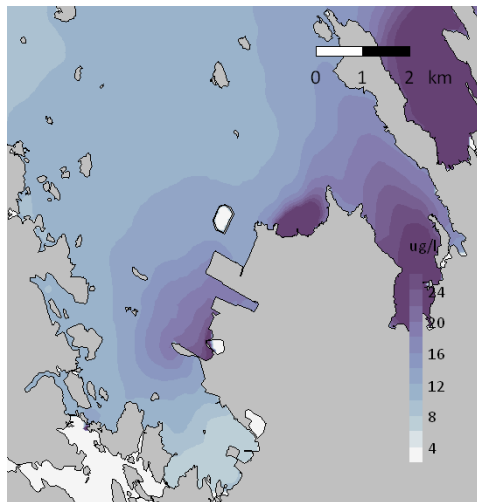
V31_2021/08 pinta



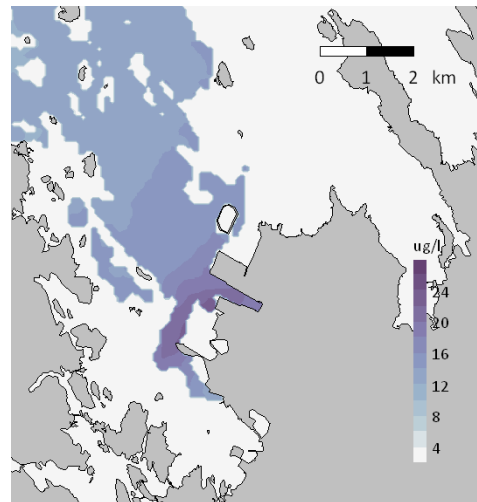
9-10m

Kuva 6-20: NTOT keskiarvokentät 03/2021, 07/2021 ja 08/2021, laskentaskenaario V31.

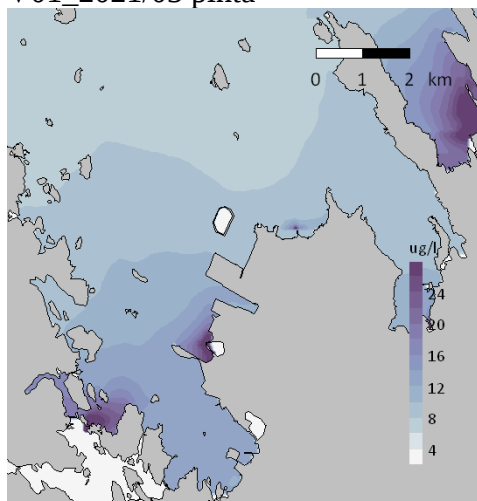
6.6 Vaikutus kokonaisfosforin keskipitosuuteen karttapohjalla



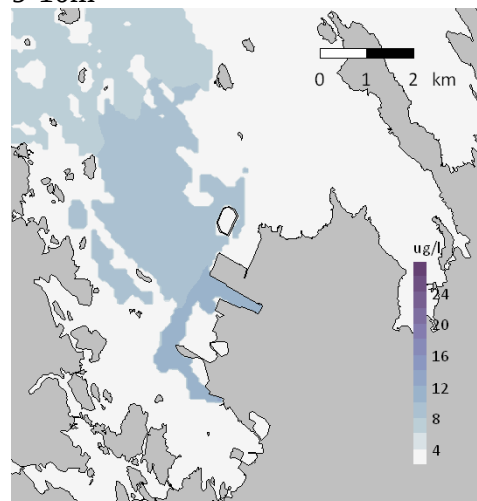
V01_2021/03 pinta



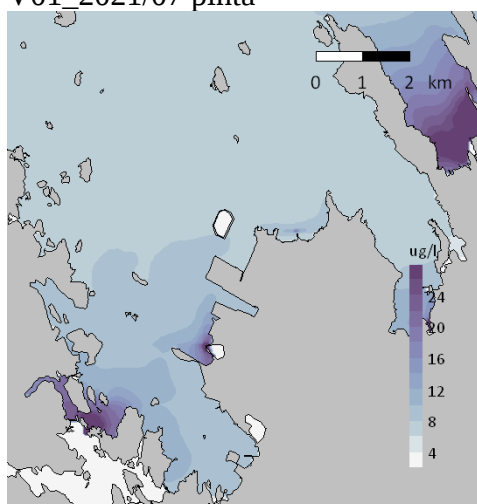
9-10m



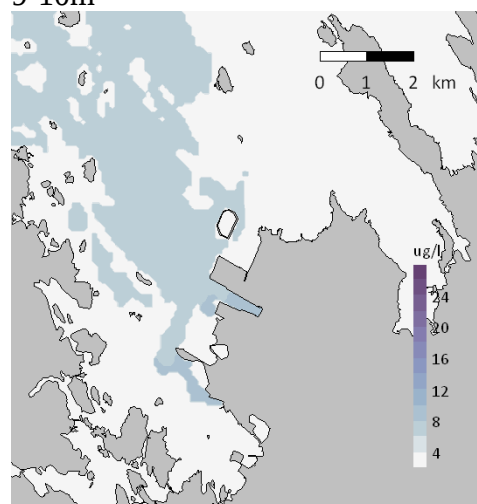
V01_2021/07 pinta



9-10m

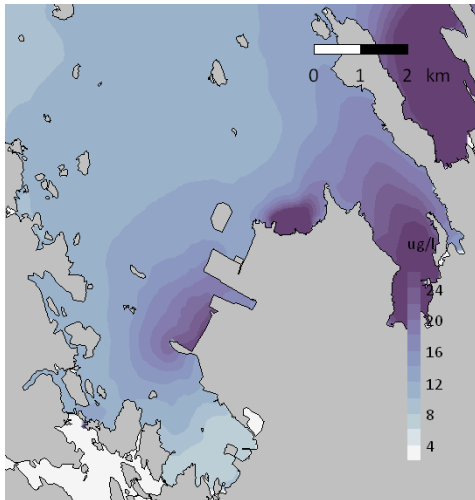


V01_2021/08 pinta

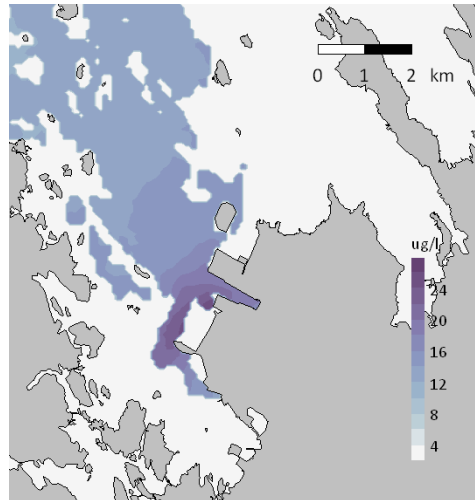


9-10m

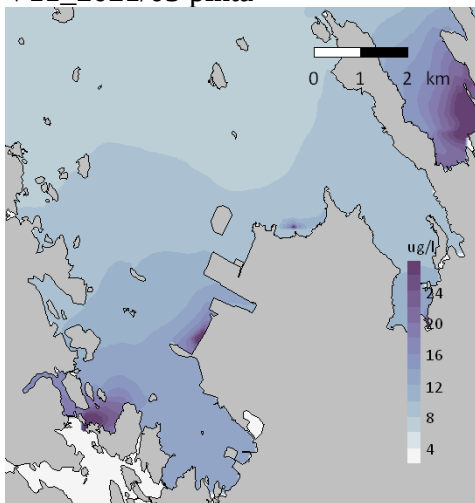
Kuva 6-21: PTOT keskiarvokentät 03/2021, 07/2021 ja 08/2021, laskentaskenaario V01.



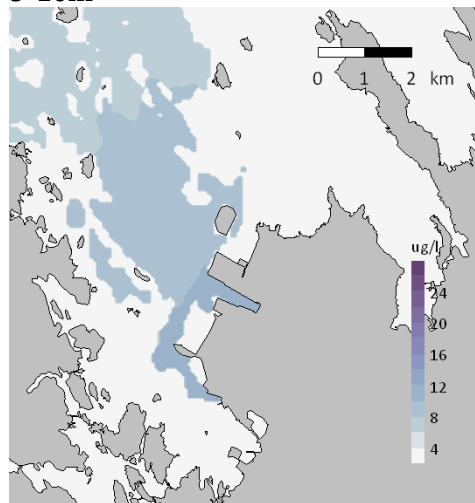
V11_2021/03 pinta



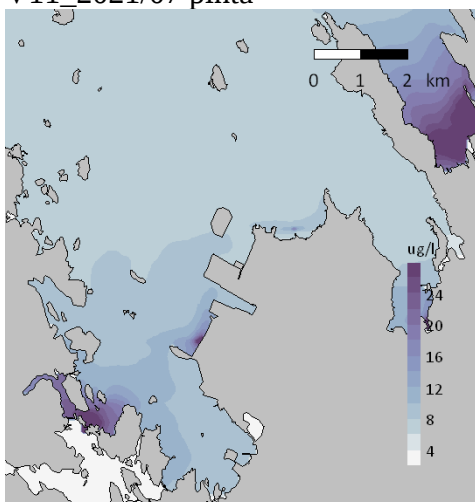
9-10m



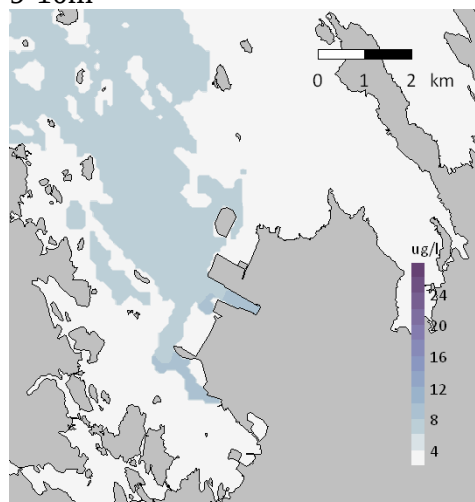
V11_2021/07 pinta



9-10m

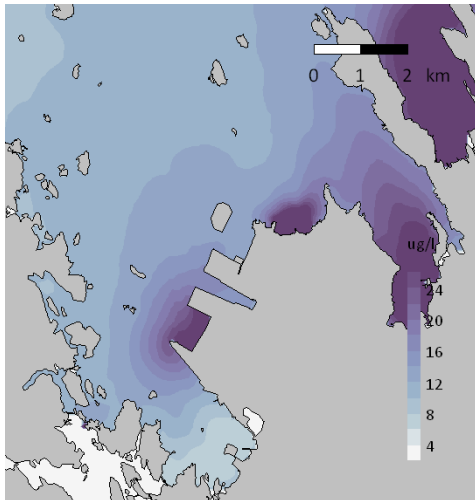


V11_2021/08 pinta

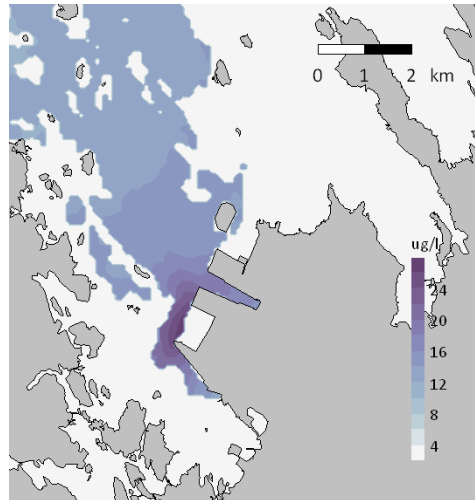


9-10m

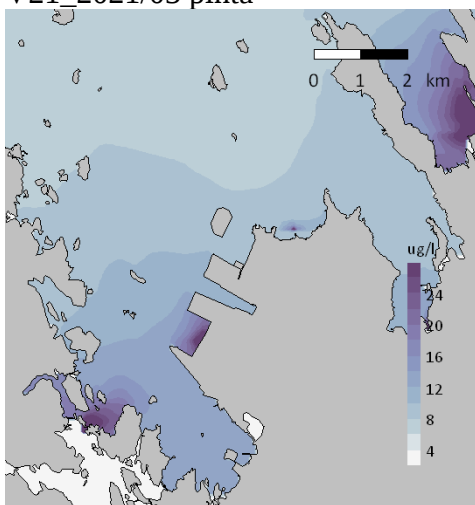
Kuva 6-22: PTOT keskiarvokentät 03/2021, 07/2021 ja 08/2021, laskentaskenaario V11.



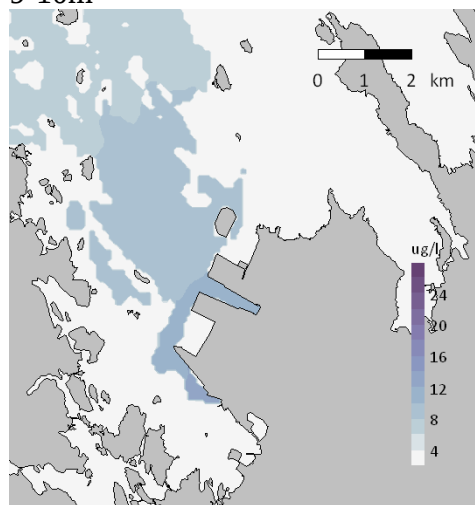
V21_2021/03 pinta



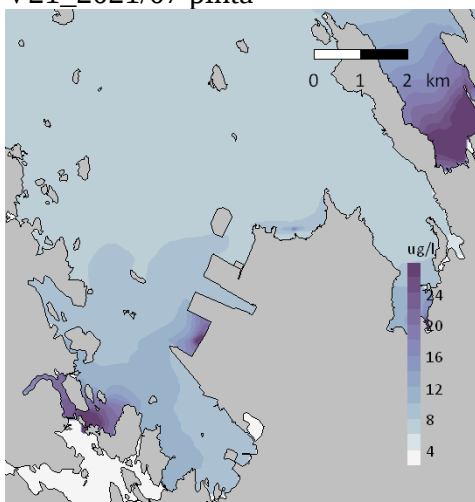
9-10m



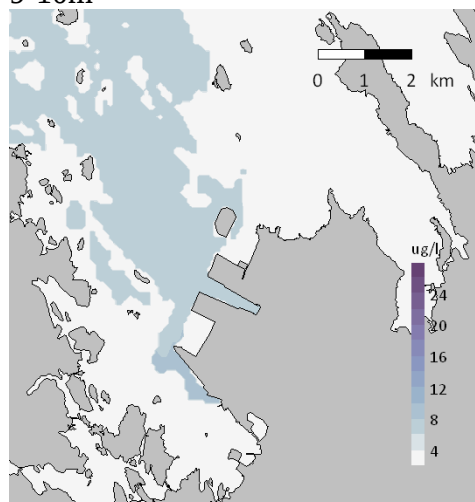
V21_2021/07 pinta



9-10m

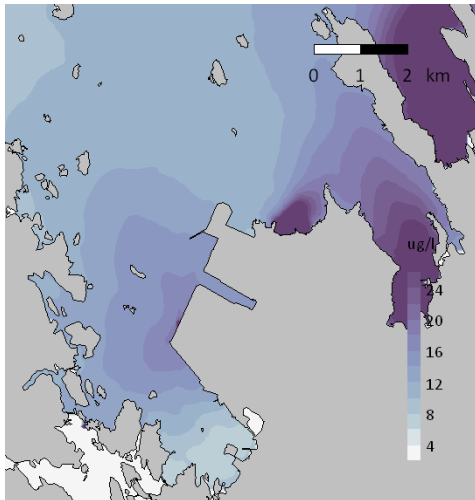


V21_2021/08 pinta

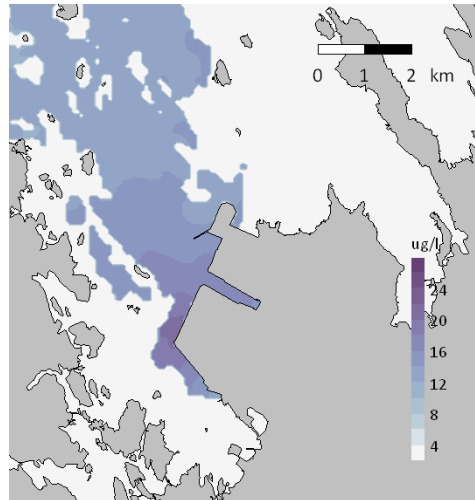


9-10m

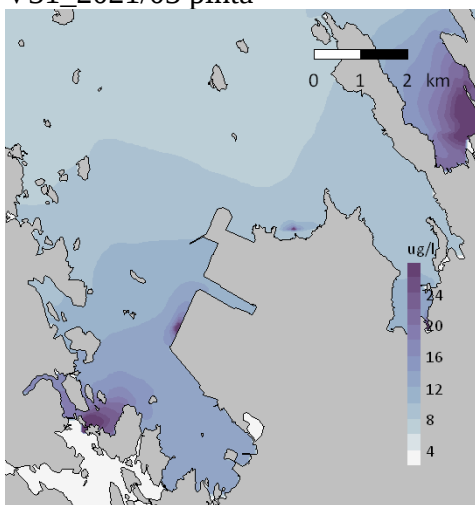
Kuva 6-23: PTOT keskiarvokentät 03/2021, 07/2021 ja 08/2021, laskentaskenaario V21.



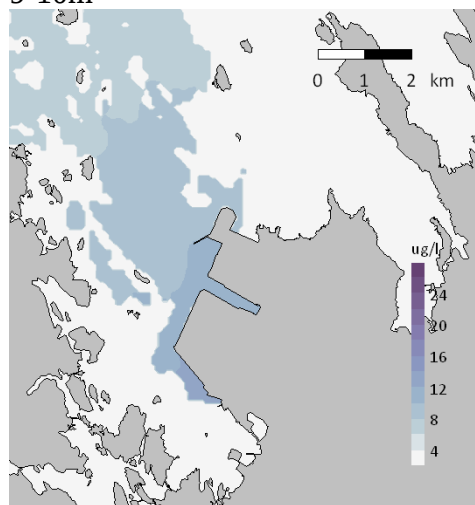
V31_2021/03 pinta



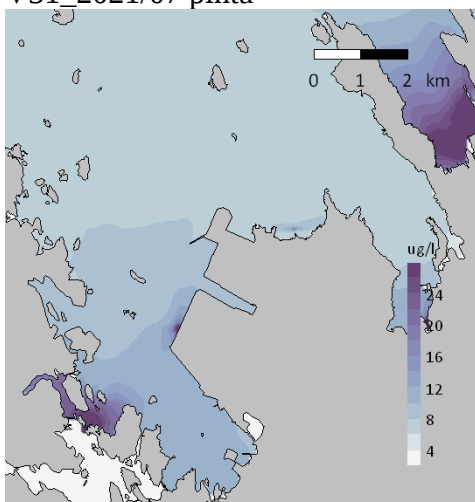
9-10m



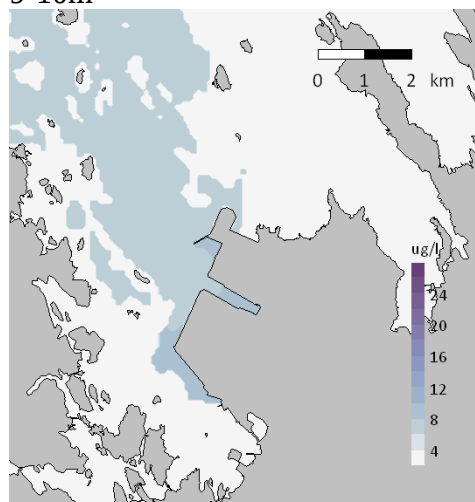
V31_2021/07 pinta



9-10m



V31_2021/08 pinta



9-10m

Kuva 6-24: PTOT keskiarvokentät 03/2021, 07/2021ja 08/2021, laskentaskenaario V31.

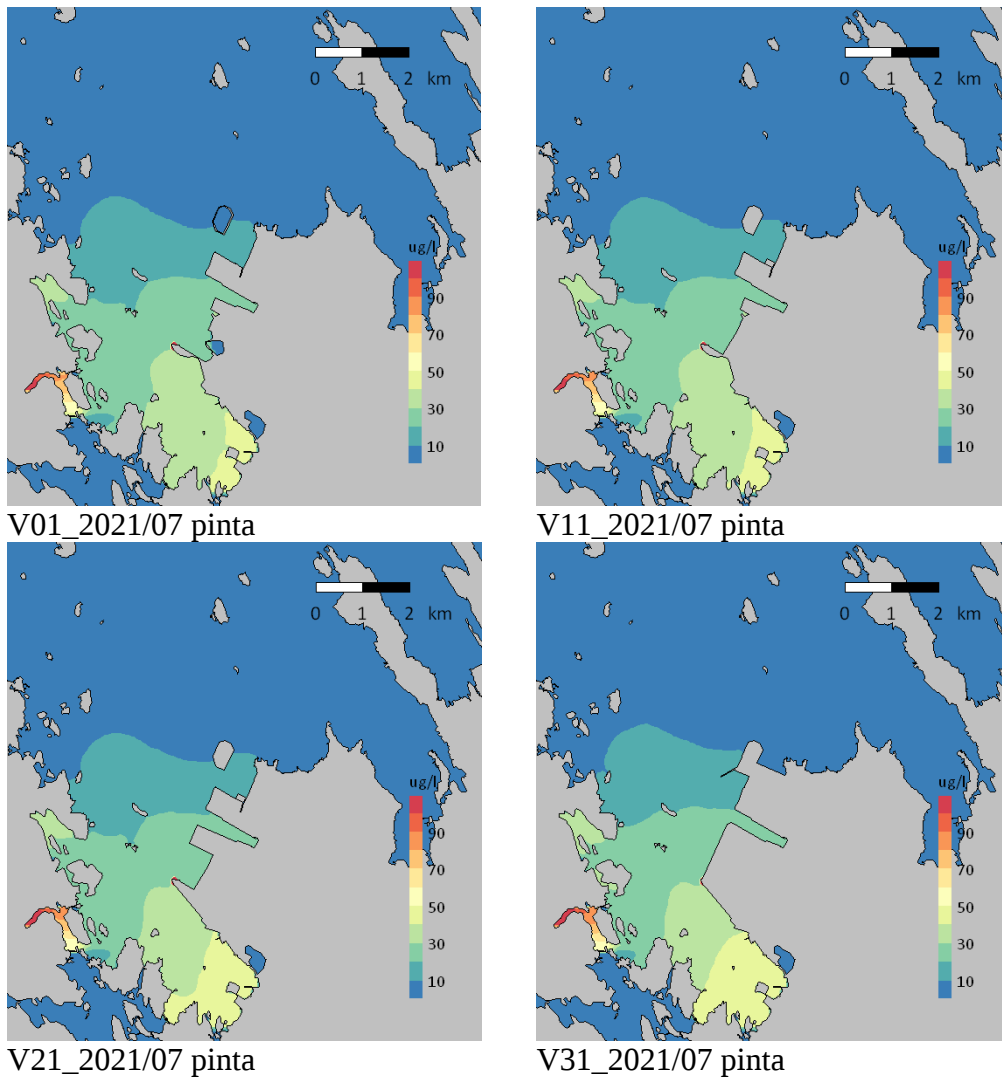
6.7 Rantaviivan muutoksen vaikutus vedenvaihtoon

Rantaviivan muutoksen vaikutusta vedenvaihtoon arvioitiin sijoittamalla Ykspihlajanlahdelle vakiosuuruinen merkkiainekuormitus koko vesisyvytyteen. Kuormituksen alue oli Ykspihlajanlahden alue Nälkäkarin tasolta etelään, muualla kuormitus oli nolla. Malli on laskettu koko laskentajaksolle siten, että kuormitus on ollut vakiosuuruinen koko laskennan ajan.

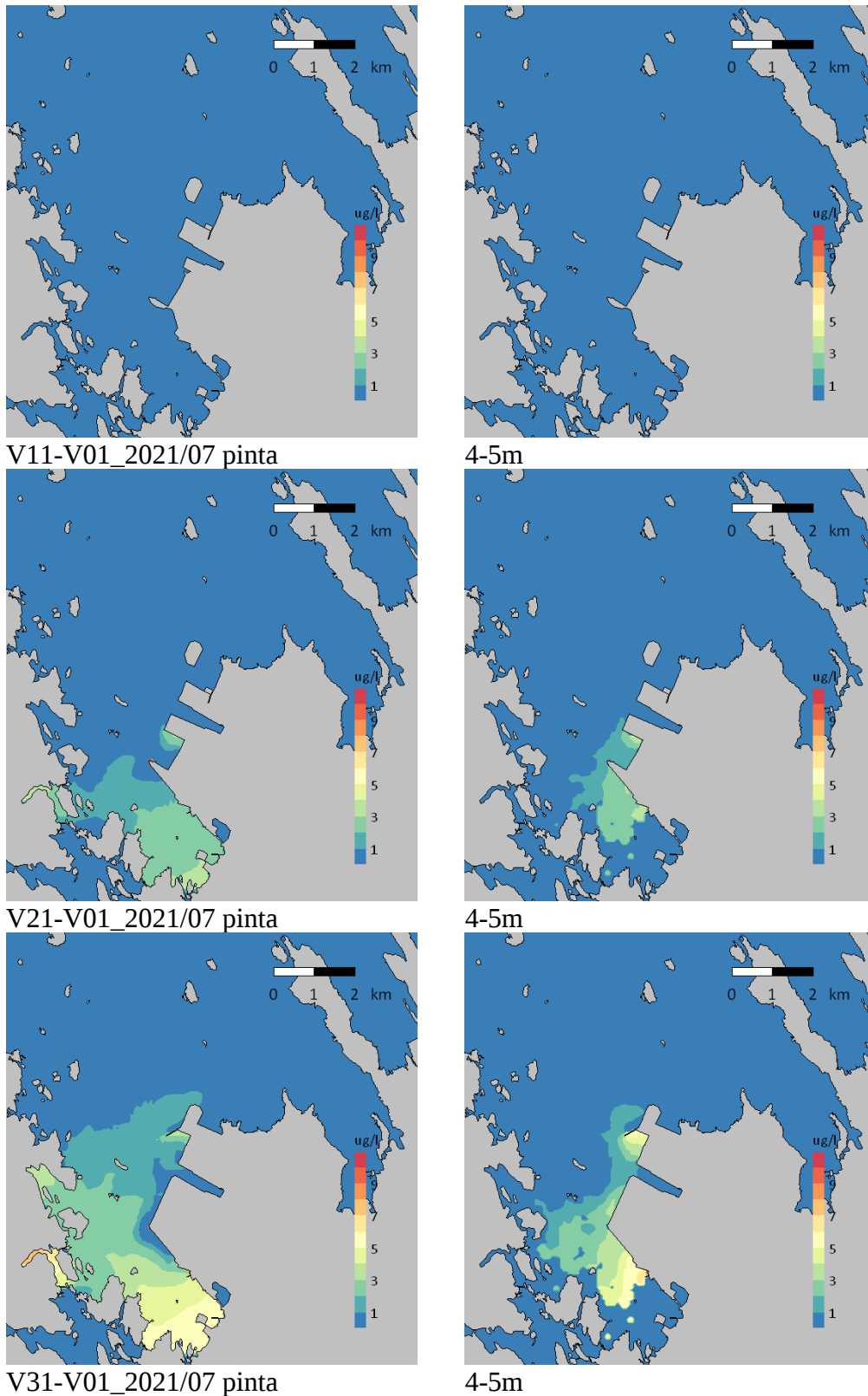
Laskettu pitoisuus on pieni alueella, josta virtaus on kuljettanut kuormituksen pois, ja suurempi alueella, jossa vesi on vaihtunut vähemmän. Laskenta soveltuu parhaiten eri skenaarioiden välisten erojen havainnollistamiseen.

Kuvassa 6-25 on esitetty kuormituksen aiheuttama keskipitoisuus heinäkuulle 2021 pinta-kerroksessa. Kuvissa 6-26 ja 6-27 on puolestaan esitetty V11, V21 ja V31 skenaariorille lasketut keskipitoisuudet, joista on vähennetty V01 skenaarion vastaavat pitoisuudet, ts. kuvat esittävät eroa V01 skenaarioon. Pitoisuuserot on laskettu heinä- ja elokuulle 2021.

Kuvan 43 perusteella Rantaviivan muuttuminen vähentää veden vaihtumista pääasiassa Ykspihlajanlahden eteläosissa. V1P skenaarion ero V01 skenaarioon on pieni ja kasvaa V21 ja V31 skenaariossa.

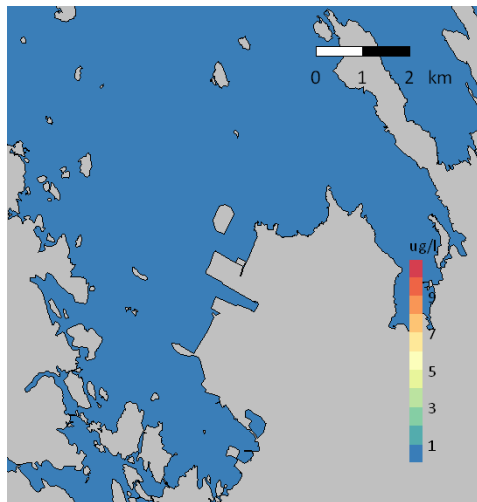


Kuva 6-25: Vakiokuormituksen aiheuttaman pitoisuusnousun muutos eri rantaviivavaihtoehdoilla nykytilanteeseen verrattuna. Heinäkuu 2021

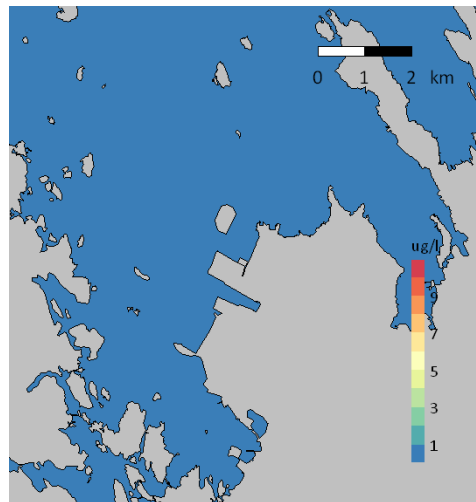


Kuva 6-26: Vakiokuormituksen aiheuttaman pitoisuushousun muutos eri rantaviivavaihtoehtoilla nykytilanteeseen verrattuna. Heinäkuu 2021

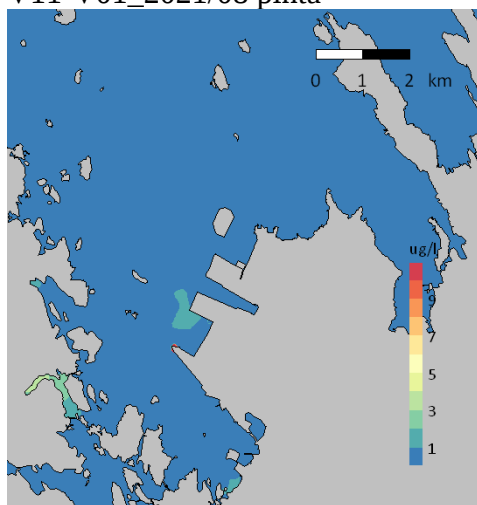
Kuvassa 6-27 on laskettu erotus eri rantaviivan muutoksen ja nykytilanteen välillä. Skenaarioilla V1P ero skenaarioon V01 jää vähäiseksi. Muutos skenaariosta V21 skenaarioon V31 on suurempi kuin muutos skenaariosta V01 skenaarioon V21.



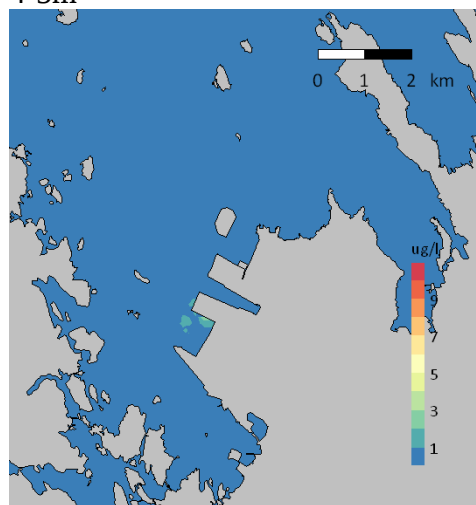
V11-V01_2021/08 pinta



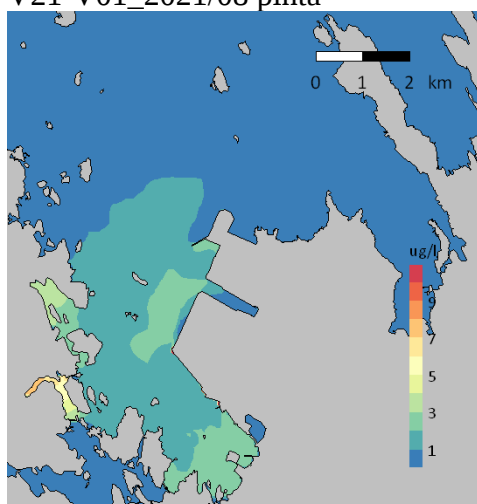
4-5m



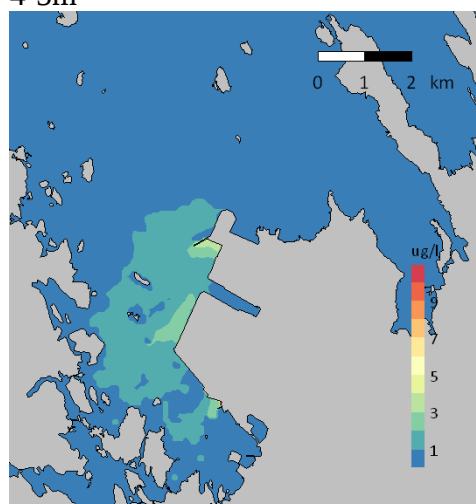
V21-V01_2021/08 pinta



4-5m



V31-V01_2021/08 pinta



4-5m

Kuva 6-27: Vakiokuormituksen aiheuttaman pitoisuushousun muutos eri rantaviivavaihtoehdoilla nykytilanteeseen verrattuna. Elokuu 2021

Kuvassa 6-27 elokuulle lasketut muutokset ovat selvästi pienempiä kuin heinäkuun vastaavat arvot. Säätilanne vaikuttaa selvästikin merkittävästi kuormituksen kulkeutumiseen pois Ykspihlajanlahdelta.

7 Laskennan epävarmuuksista

7.1 Purkupaikan lähialueen käyttäytyminen

Rannalle sijoittuvan purkuputken purkuvesien sekoittuminen riippuu purkuvesien tiheydestä ja purkupaikan olosuhteista. Rannalla olevasta purkupaikasta tuleva lämpöpäästö sekoittuu tyypillisesti hyvin, sillä lämmin purkuvesi on tavallisesti merivettä kevyempää, ja siten pyrkii pysymään pintakerroksessa, missä sekoittuminen on yleensä tehokkainta.

Suolaisen ja merivettä tiheämmän veden tapauksessa purkuvesi voi kulkeutua pohjalla, jolloin sekoittuminen ei ole erityisen tehokasta. KIPP purkuvedet sekoittuvat mittausten mukaan nykytilanteessa ja kesäolosuhteissa varsin tehokkaasti, minkä voi nähdä mittauksista pisteen H pinta- ja pohjakerroksen pitoisuustasojen pienistä eroista esim. suolaisuudessa ja typpipitoisuudessa. Pisteessä H mitatuissa sinkki- ja nikkelipitoisuuksissa pisteessä H on kuitenkin selviä eroja pinnan ja pohjan välillä myös kesällä, joten mittauksista ei yksiselitteisesti voi päätellä sekoittuuko purkuvesi nykytason päästöillä täysin koko vesisyvyyyteen vai ei.

Laskentamallissa purkuvesillä on taipumus sekoittua liiaksi, jos purkuvesi on ympäröivää vettä suolaisempaa ja purku sijoitetaan mallissa pintakerrokseen. Mallin käyttäytyminen vaikuttaa mallin tuloksiin tapauksissa, jossa purkuvesi on huomattavan suolapitoista ympäröivän vesistön vesiin verrattuna. Liiallinen sekoittuminen saa aikaan sen, että mallituloksissa pitoisuudet purkupisteen lähistöllä pohjakerroksessa jäävät pienemmiksi, ja kauempana purkupisteestä nousevat suuremmiksi kuin mitä ne todellisuudessa ehkä olisivat.

7.2 Mallin sopivuus mittauksiin

Mallin tuloksia vertailtiin mittauksiin luvuissa 3 ja 4. Lämpötilan osalta mallin huomattiin toistavan huonosti elokuussa tapahtuneita kumpuamisilmiöitä, jolloin avomerren syvemmillä alueilta virtaa vettä rannikkoalueelle. Perämerellä kumpuaminen tuo avomereltä rannikolle vähäravinteisempaa vettä, jolloin sen vaikutus vedenlaatuun on rannikon vesien pitoisuuksia alentava. Se, että malli ei toista kumpuamista riittävästi, aiheuttaa siis mallissa suurempia pitoisuuksia kuin todellisuudessa, joten ongelma ei aiheuta mallissa pitoisuustasojen aliarviointia.

Suolapitoisuuksien osalta vuoden 2022 suolapitoisuudet jäivät jonkin verran mitattuja arvoja pienemmäksi. Syy tässä on todennäköisesti reunaehdoissa, tai siinä, että malli sekoittaa pidemmissä laskennoissa suolapitoisuuksia liikaa. Luonnolliset suolapitoisuuserot pinnan ja pohjan välillä ovat avovesiaikana pieniä, joten vaikka suolapitoisuus on mitattua arvoa jonkin verran pienempi, ei tällä ole avovesiaikana merkittävää vaikutusta syvyysuuntaiseen sekoittumiseen, sillä suolapitoisuusero pinnan ja pohjan välillä ei muutu. Kuitenkin, kun merivesi on mallissa vähemmän suolaista kuin todellisuudessa, on suolapitoisen kuormituksen tuoman purkuveden ja meriveden välinen pitoisuusero hieman suurempi kuin todellisuudessa. Tästä johtuen pohjakerrokseen kulkeutuvien suolapitoisten purkuvesien ja meriveden sekoittuminen mallissa jää hieman pienemmäksi kuin mitä se olisi tapauksessa, jossa merivesi olisi hieman suolaisempaa. Tässäkin mallin epätarkkuus vähentää sekoittumista, jolloin mallin laskema pitoisuus ei aiheuta pohjan pitoisuuksien aliarviointia.

Sinkin ja nikkelin laskennassa mallissa käytettiin laskeutumisnopeutena nollaa, ts. molemmat metallit laskettiin täysin liukoisina. Tästä huolimatta pitoisuustasot jäivät molemmilla metalleilla vähintään muutamissa pisteissä mittauksia pienemmiksi. Mallilaskennassa ainemäärät säilyvät, joten mittauksia pienemmät pitoisuudet aiheutuvat siitä, että mallista puuttuu joitakin kuormituslähteitä tai että malliin asetetut kuormitukset ovat liian pieniä. Metallien laskennassa

ei otettu huomioon lähivaluma-alueilta tulevia kuormita tai ilmalaskeumaa, joiden kummankaan suuruuksista ei ole tarkkaa tietoa. Lisäksi täyttöalueilta voi tihkua jonkin verran vesiä patojen läpi, mitä ei myöskään ole mallissa huomioitu. Tämä ei kuitenkaan vaikuta uusien kuormitusten laskentaan, ts. purkupisteistä tulevien kuormitusten aiheuttama pitoisuusnousu nykytilanteeseen verrattuna lasketaan mallissa asetetun kuormitusmäärän mukaisesti.

7.3 Olosuhteiden vaikutus

Laskentamallin olosuhdetietoina on käytetty vuosien 2021 ja 2022 mitattua olosuhdetietoja. Molemmat vuodet olivat sääolojen puolesta (lämpötila, tuulen keskinopeus avovesiaikana) lähellä keskiarvoa, eli kumpikaan vuosi ei ollut erityksen poikkeuksellinen. Erilaisten vuosien vaikutusta laskennan tuloksiin voisi tästä johtuen arvioida tarkemmin.

Myöskään ilmaston muuttumista ei tässä mallinnustyössä ole huomioitu. Aikaisemmassa mallinnustyössä Kokkolan edustalle (AFRY 2020) tarkasteltiin ilmastonmuutoksen vaikutuksia pistekuormitusten kulkeutumiseen. Työssä arvioitiin, että ilmastonmuutoksen aiheuttamien olosuhteiden muutos ei merkittävästi muuta pistekuormitusten kulkeutumista nykytilanteeseen verrattuna.

8 Yhteenveto

Tässä raportissa esitetyn työn tavoitteena oli arvioida Kokkolan edustalle suunniteltujen rantaviivan ja kuormitusten muutosten vaikutusta alueen vedenlaatuun tiedossa olevien hankkeiden osalta noin vuoteen 2050 asti. Laskennassa huomioitiin rantaviivan ja kuormitusten muutokset. Laskennat tehtiin vuosien 2021 ja 2022 olosuhdetiedoilla. Sääolosuhteiden ja esim. jokikuormitusten muuttumisen vaikutusta ei tässä ole otettu erikseen huomioon.

Mallin toiminta varmistettiin vertaamalla mallin laskemia meriveden lämpötilan ja suolaisuuden arvoja alueella tehtyihin mittauksiin. Lämpötilan osalta mallin arvioitiin toistavan kohdealueen käyttäytymisen kohtalaisen hyvin. Suolapitoisuuksissa oli enemmän poikkeamia mittauksista kuin lämpötilan laskennassa, mutta keskeiset suolapitoisuuden kerrostumiseen liittyvät ilmiöt, kuten talviaikainen suolapitoisuuden kerrostuminen ja syvyysuuntainen sekoittuminen keväällä ja syksyllä toistuivat mallissa kohtuullisen hyvin mittauksia vastaavasti.

Vedenlaatulaskenta varmistettiin erikseen vertaamalla mitattuja kokonaisravinne- ja metallipitoisuuksia mittauksiin. Kokonaisravinteiden taso toistui mallissa riittävän hyvin mittauksia vastaavasti. Kun mallinnetaan kokonaisravinteita, jää laskennasta pois esim. typen ja liukoisen fosforin käyttäytymiseen liittyviä prosesseja, eli laskennan voi olettaa tästä yksinkertaistuksesta johtuen poikkeavan mittauksista vähintään jonkin verran. Metallien osalta lasketut pitoisuudet jäivät rannan lähellä sekä sinkin että nikkelin osalta mittauksia pienemmiksi. Syynä tähän voi olla esim. puutteellisissa kuormitustiedoissa, kuten puuttuva hajakuormitus, oletettua suurempi ilmalaskeuma, tai resuspensio pohjasta.

Mallin epätarkkuus kuormitusten osalta aiheuttaa pääasiassa kalibrointia vastaavan tasoeron myös skenaariolaskentojen tuloksiin. Uusien kuormitusten osalta mallin arvio on tyypillisesti yläkanttiin, sillä laskennassa on oletettu metallien olevan täysin liukoisessa muodossa. Tyypillisesti vähintään osa metalleista on sitoutunut tai sitoutuu vedessä partikkeleihin, ja sedimentoituu pohjaan ennemmin tai myöhemmin, jolloin aineen pitoisuus vedessä laskee.

Mallin skenaariolaskentoja tehtiin eri rantaviivavaihtoehdoille käyttäen kuormituksena nykyisiä kuormitusmääriä.

Rantaviivan muutosten vaikutusten vertailukohtana käytettiin vesialueen nykyisille seurantapisteille laskettuja pitoisuusaikeisarjoja. Skenaarioiden tuloksia verrattiin nykytilan laskennan tuloksiin, jolloin mallilaskennan lopputuloksena saatiin skenaarion aiheuttama pitoisuusmuutos seurantapisteissä nykytilanteeseen verrattuna. Muutokset laskettiin pinta- ja pohjakerroksille. Aikasarjatulosten lisäksi raportissa on esitetty pitoisuuskarttoja pinta- ja pohjakerrosten pitoisuuksien kuukausikeskiarvoista.

Nykykuormitus-skenaariolla rantaviivan muutokset vaikuttivat eniten vedenlaatuun Ykspihlajanlahden alueella, painottuen lahden eteläosaan. Vedenvaihduntaa arvioitiin laskemalla pintakerrokseen sijoitetun kuormituksen kulkeutumista pois lahden alueelta eri rantaviivavaihtoehtoilla. Vesialueen täytöt näkyivät vedenvaihtumisen hidastumisena. Rantaviivavaihtoehdolla V0+ vedenvaihtumisen muutos nykytilaan verrattuna jäi vähäiseksi ja vaihtoehdolla V1 pieneksi. Suurin muutos rantaviivalle oli rantaviivavaihtoehdossa V2, jossa veden vaihtumisen väheneminen näkyi selvimmin Ykspihlajanlahden kaakkoispohjukassa.

Vedenvaihdunnan lisäksi nykykuormitus-skenaarioilla laskettiin vedenlaadun muutokset seurantapisteissä. Ykspihlajanlahdella ei nykytilanteessa ole merkittäviä kuormituksia. KIPE purkupisteeseen tulee nykytilanteessa pääasiassa jäähdytysvettä. Kuormitusta lahdelle tulee suoraan myös Öjanjärvestä ja lähivaluma-alueilta. Koska lahdelle ei mallissa tule kuormitusta, ei

veden vaihdon väheneminen vaikuta juurikaan seurantapisteille laskettuihin pitoisuustasoihin. Kokonaistypen ja -fosforin pitoisuudet ranta-alueilla lahden ympäristössä pysyivät laskentatuloksissa suunnilleen samalla tasolla kuin nykytilanteessa. Purkupisteiden paikan vaihtuminen suhteessa seurantapisteisiin sai aikaan kuitenkin jonkin verran muutoksia, jotka keskittyivät purkupisteen aikaisemman ja uuden paikan lähialueille.

9 Lähdeluettelo

AFRY 2020, Kokkolan edustan vedenlaatun mallinnus 2020, Virtaus- ja vedenlaatumallin asetukset ja varmistus, v3, 26.4.2021, AFRY Finland Oy.

Copernicus Climate Change Service (C3S) (2017): ERA5: Fifth generation of ECMWF atmospheric reanalyses of the global climate . Copernicus Climate Change Service Climate Data Store (CDS), 10/2020. <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home>

Doneker, R.L. and G.H. Jirka, 2007, CORMIX User Manual: A Hydrodynamic Mixing Zone Model and Decision Support System for Pollutant Discharges into Surface Waters, EPA-823-K-07-001, Dec. 2007. Linkki <http://www.mixzon.com/downloads/>

FMI 2023a, Ilmatieteenlaitoksen avoin data / Havaintojen lataus, tiedot haettu 10/2023, <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus>

FMI 2023b, Ilmatieteenlaitoksen jäätalvi-tiedotteet, 02/2024, <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/jaatalvet>

Hertta, 2023, Suomen Ympäristökeskuksen HERTTA-tietokanta, tiedot haettu 10/2023.

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

Liikennevirasto, 2023, Lataus- ja katselupalvelut, <https://julkinen.vayla.fi/oskari/>, tiedot haettu 09/2020, lisenssi: <http://www.liikennevirasto.fi/avoindata>.

Maanmittauslaitos, 2023, Avoimien aineistojen tiedostopalvelu, tiedot haettu 09/2020, lisenssi ja tietojen haku sivulta <http://www.maanmittauslaitos.fi/asioi-verkossa/avoimien-aineistojen-tiedostopalvelu>

Pöyry Oy, 2019, KIPP sulfaattipäästöjen leviämismalli ja arvio päästön vaikutuksista Kokkolan edustan merialueella, raportti 24.6.2019, tilaaja Boliden Kokkola

SMHI, 2023, SMHI open data, <https://www.smhi.se/data>, oseanografinen data (vedenkorkeus rannikkoasemilla) ja hydrologinen data (jokivirtaamat), datat haettu 10/2023,

SMHI 2024, SMHI:n jääkarttapalvelu, <https://www.smhi.se/en/services/scandinavian-waters/swedish-ice-service>

SYKE Tarkka 2024, Suomen ympäristökeskuksen Tarkka-palvelu satelliittihavaintojen hyödyntämiseen, <http://tarkka.syke.fi>

Pohjanmaan vesi- ja ympäristö ry, 2022, Kokkolan edustan merialueen yhteistarkkailun tulokset 2021, Pohjanmaan vesi- ja ympäristö ry:n julkaisu 49.

Pohjanmaan vesi- ja ympäristö ry, 2023, Kokkolan edustan merialueen yhteistarkkailun tulokset 2022, Pohjanmaan vesi- ja ympäristö ry:n julkaisu 66.

YVA Oy, 2015, Kokkolan edustan merialueen virtausmalli, Raportti 9.3.2015