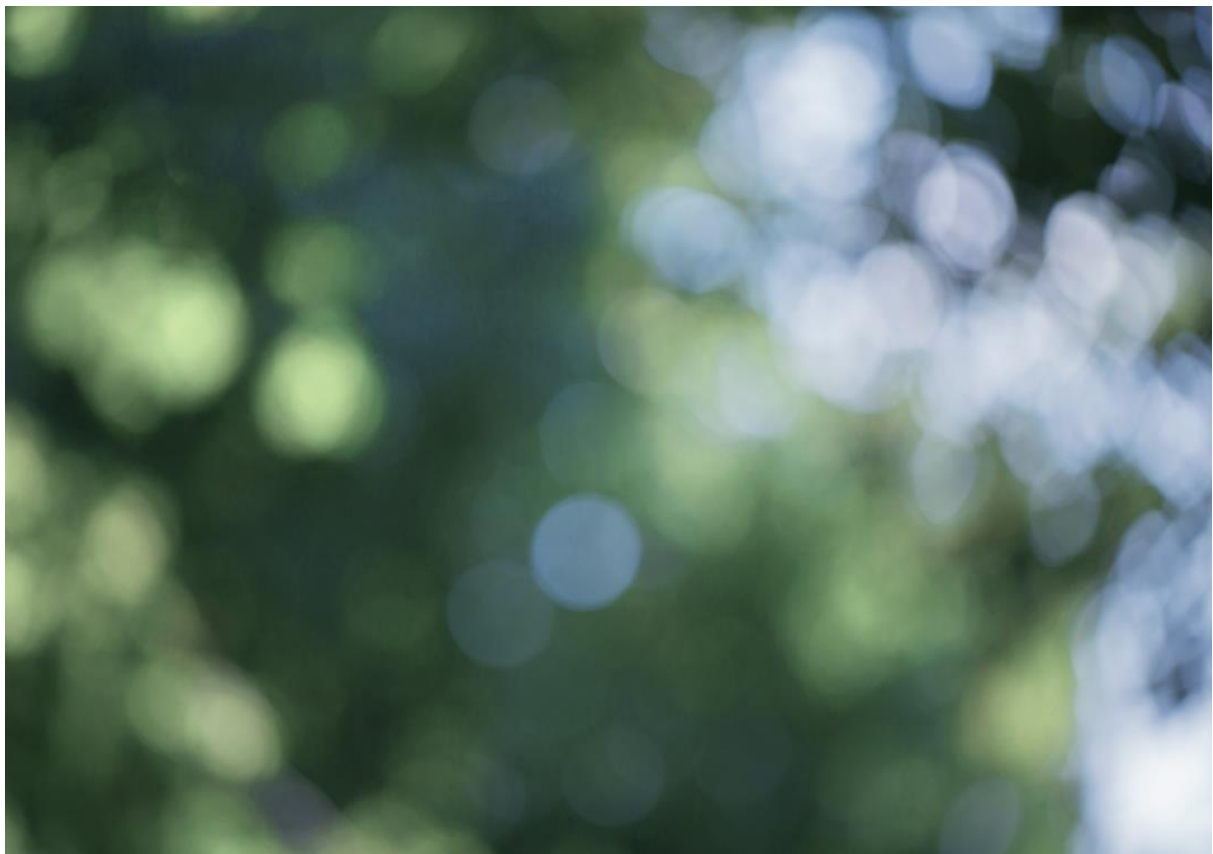


Liite 7

Pintavedet

b. Kitisen vesistömallinnus



Boliden Kevitsa Mining Oy

Louhintavaiheen 5 YVA-menettely

Purkuvesipäästöjen vesistömallinnus

10.10.2025



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.

AFRY Finland Oy:n projektinumero on 101021574.

Kuvien pohjakartat ja -ilmakuvat: Maanmittauslaitoksen peruskartta-aineisto, avoin data 2025 ellei toisin mainita.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	4
2	LASKENTAMALLI	6
3	OLOSUHDETIEDOT	10
3.1	Kuormitus purkuputkesta	10
3.2	Vedenlaadun seuranta ja taustapitoisuudet	16
3.3	Säätiedot	21
3.4	Jokivirtaamat	21
4	MALLIN TESTAUS	22
4.1	Malliasetukset	22
4.2	Laskentatulosten vertailu mittauksiin	24
5	VEDENLAADUN LASKENTA	27
5.1	Sulfaatti	29
5.2	Kloridi	34
5.3	Typpi	37
5.4	Nikkeli	40
5.5	Kupari	44
5.6	Arseeni	46
6	LASKENNAN EPÄVARMUUKSIEN ARVIOINTI	48
7	YHTEENVETO	48
8	LÄHDELUETTELO	49

1 JOHDANTO

Tässä raportissa kuvataan numeerinen vesistömallinnus, jonka tavoitteena on arvioida laskennallisesti Kevitsan kaivokselta Vajusen altaaseen johdettavan purkuveden vaikutusta keskeisten ympäristölle haitallisten aineiden pitoisuuksiin altaassa ja Vajukosken voimalan kautta virtaavassa vedessä. Tuloksia käytetään lähtötietona vesistövaikutusten arvioinnissa, joka on osa kaivoksen louhintavaiheen 5 ympäristövaikutusten arviointia.

Vesistömalli kuvaa Sodankylän kunnassa Porttipahdan tekojärvestä etelään kohti Kemijokea virtaavasta Kitisestä osuutta, jota rajaavat Kurittukosken voimalaitos ja pato pohjoisessa ja Vajukosken voimalaitos etelässä. Kevitsan kaivoksen purkuputki päättyy mallinnetun osuuden eteläosassa olevaan Vajusen altaaseen. Kohdealueen kartta on kuvassa 1-1.



Kuva 1-1. Vesistömallinnuksen kohdealue Sodankylässä. Kevitsan kaivos on kartan kaakkoiskulmassa.

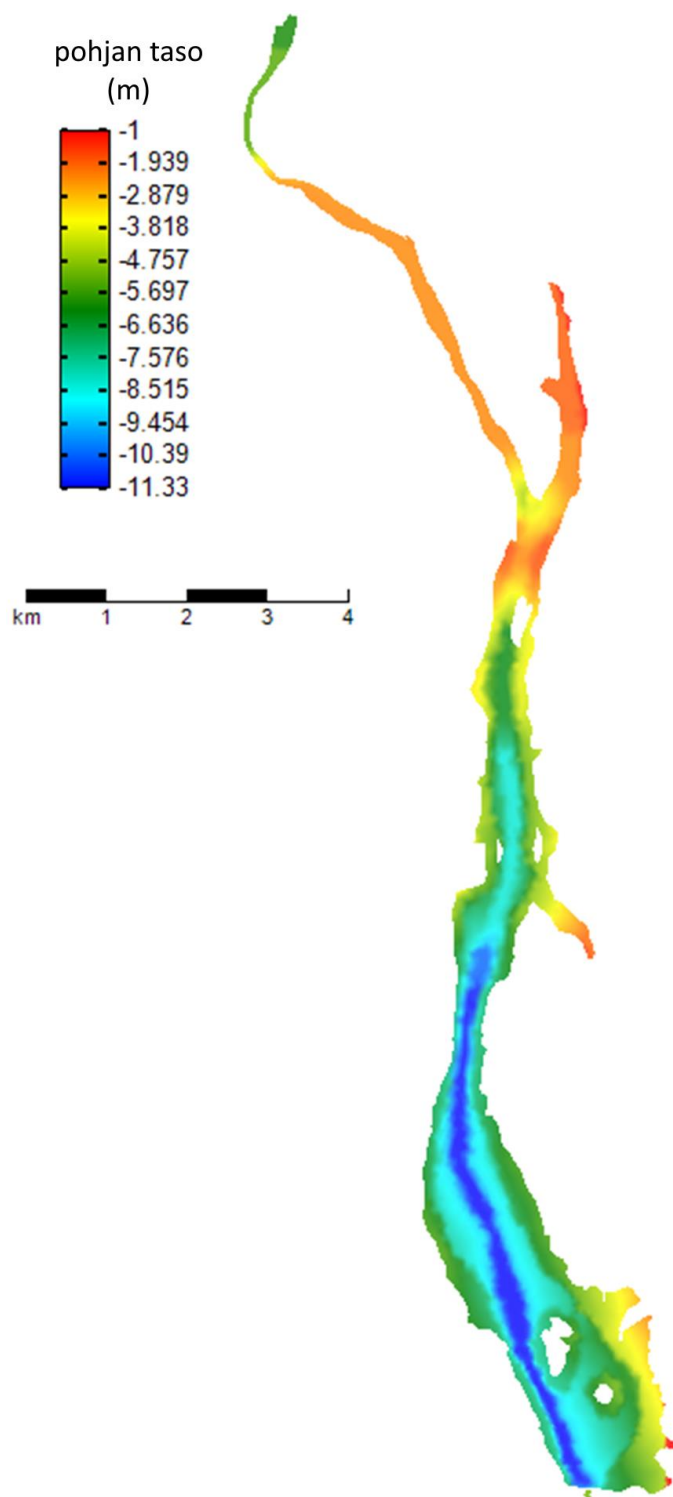
2 LASKENTAMALLI

Mallinnusohjelmanä käytettiin Deltaresin Delft3D FM Suiten versiota 2025.01. Se on vesistöjen hydrodynamiikan ja vedenlaadun numeeriseen mallintamiseen tarkoitettu ohjelma, joka simuloi kaksi- tai kolmiulotteisen mallihilan kuvaamassa vesitilavuudessa mm. pinnankorkeuden, lämpötilan ja suolaisuuden vaihtelua, korkeus- ja tiheyseroista sekä tuulesta johtuvaa virtausta ja sekoittumista ja veteen liuenneiden aineiden kulkeutumista.

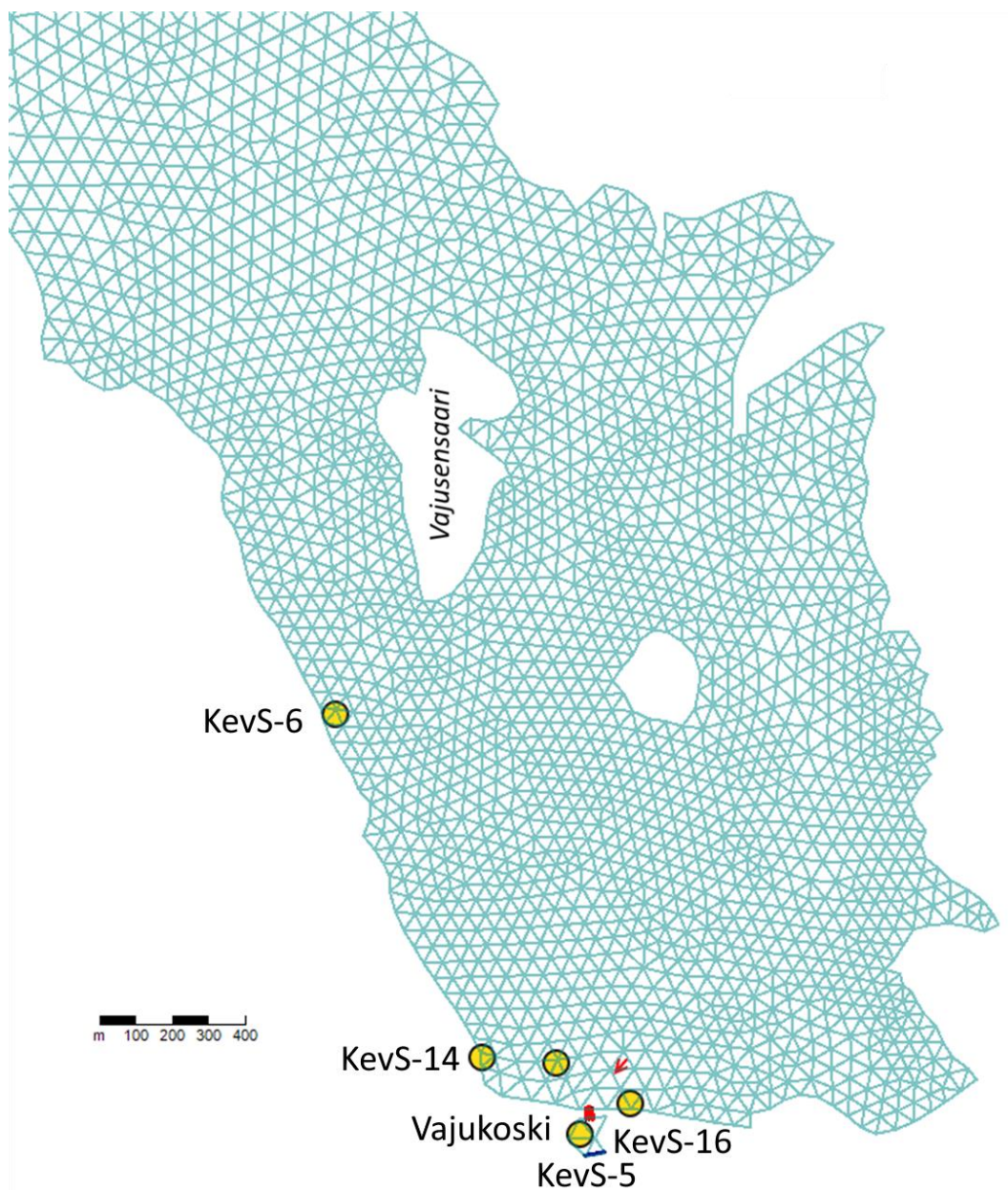
Mallin muodostamiseen käytettiin samoja syvyystietoja kuin edellisessä, vuosina 2021–2022 vesistövaikutusten arviota varten tehdyssä mallinnuksessa (Boliden Kevitsa 2022). Pohjan taso on esitetty kuvassa 2-1. Mallihila jakautui vaakatasossa 6464 kolmion muotoiseen soluun kuvien 2-2, 2-3 ja 2-4 esittämällä tavalla. Kurittukosken ja Vajukosken voimalaitosten välisen Kitisen osan lisäksi malliin kuului Vajukosken voimalaitoksen eteläpuolella neljän solun muodostama erillinen osa, jota käytettiin voimalaitoksen läpi purkautuvan veden laadun mallintamiseen. Pystysuunnassa malli jaettiin kymmeneksi tasavälikseksi kerrokseksi, jolloin kerrospaksuus vaihteli mallin kokonaissyvyyden mukaan 0,1 metristä hieman yli 1,1 metriin.

Mallin reunaehdoiksi asetettiin tulovirtaamat Kurittukosken voimalaitokselta Kitisen yläjuoksulta ja mallinnettuun vesistöosaan purkautuvista neljästä sivujoesta, jotka ovat pohjoisesta etelään Ala-Vaalojoki, Ylä-Liesijoki, Ala-Liesijoki ja Ylä-Postojoki. Näiden lisäksi määritettiin purkuputki pistemäisenä virtauksen lähteenä ja Vajukosken voimalaitoksen virtaama kolmena eri syvyyksillä olevana virtausnielun ja -lähteen parina. Reunaehtojen sijainnit mallihilassa on merkitty kuviin 2-2, 2-3 ja 2-4. Mallin eteläreunalla olevaan pieneen erilliseen osaan, johon Vajukosken voimalaitoksen läpi tuleva vesi purkautuu, määritettiin virtausreunaehto, joka sallii veden poistumisen alavirtaan pinnankorkeuden noustessa tietyn rajan yli mutta ei tulovirtausta. Näin erillisen osan veden simuloitu koostumus edustaa siihen Vajusen altaasta voimalaitoksen läpi tullutta vettä.

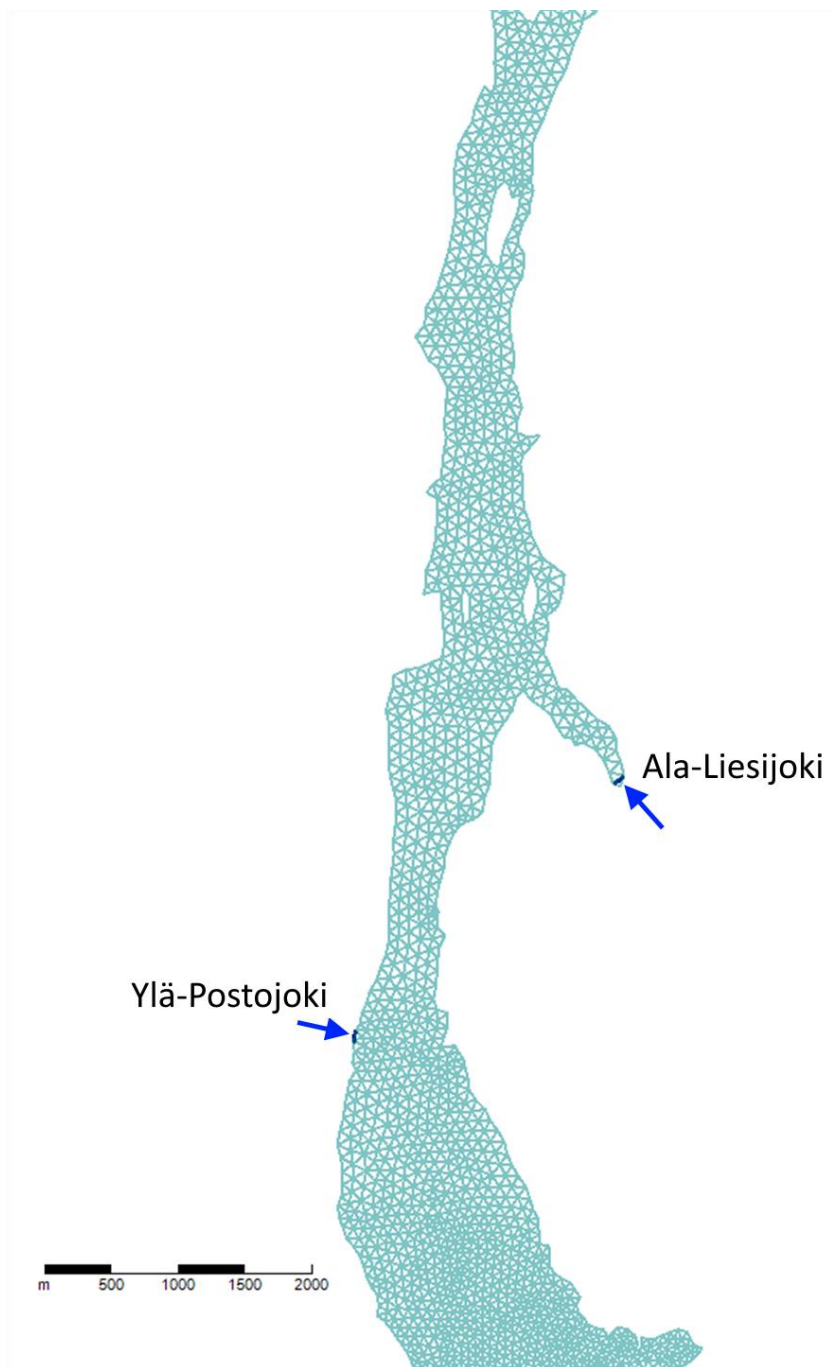
Purkuputkesta Vajusen altaaseen tulevien päästöjen simuloimiseen on Delft3D-mallissa kaksi vaihtoehtoista tapaa: suolaisuuden laskennan avulla tai merkkiaineen ("tracer") kulkeutumisen laskentana. Suolaisuuteen perustuvan laskennan etu on, että siinä otetaan huomioon suolaisuuden vaikutus veden tiheyteen. Toisaalta mallinnettavana suureena on silloin valtamerten koostumukseen perustuva yleinen suolaisuus eikä jokaisen kiinnostavan aineen pitoisuus erikseen, joten mallin määrittelyssä ja tulosten tulkinnassa joudutaan oletamaan, että suolaisuus muodostuu eri aineista aina samassa suhteessa. Merkkiaineina kuvatut aineet taas eivät vaikuta veden tiheyteen, mutta niitä voidaan käsitellä useita erikseen.



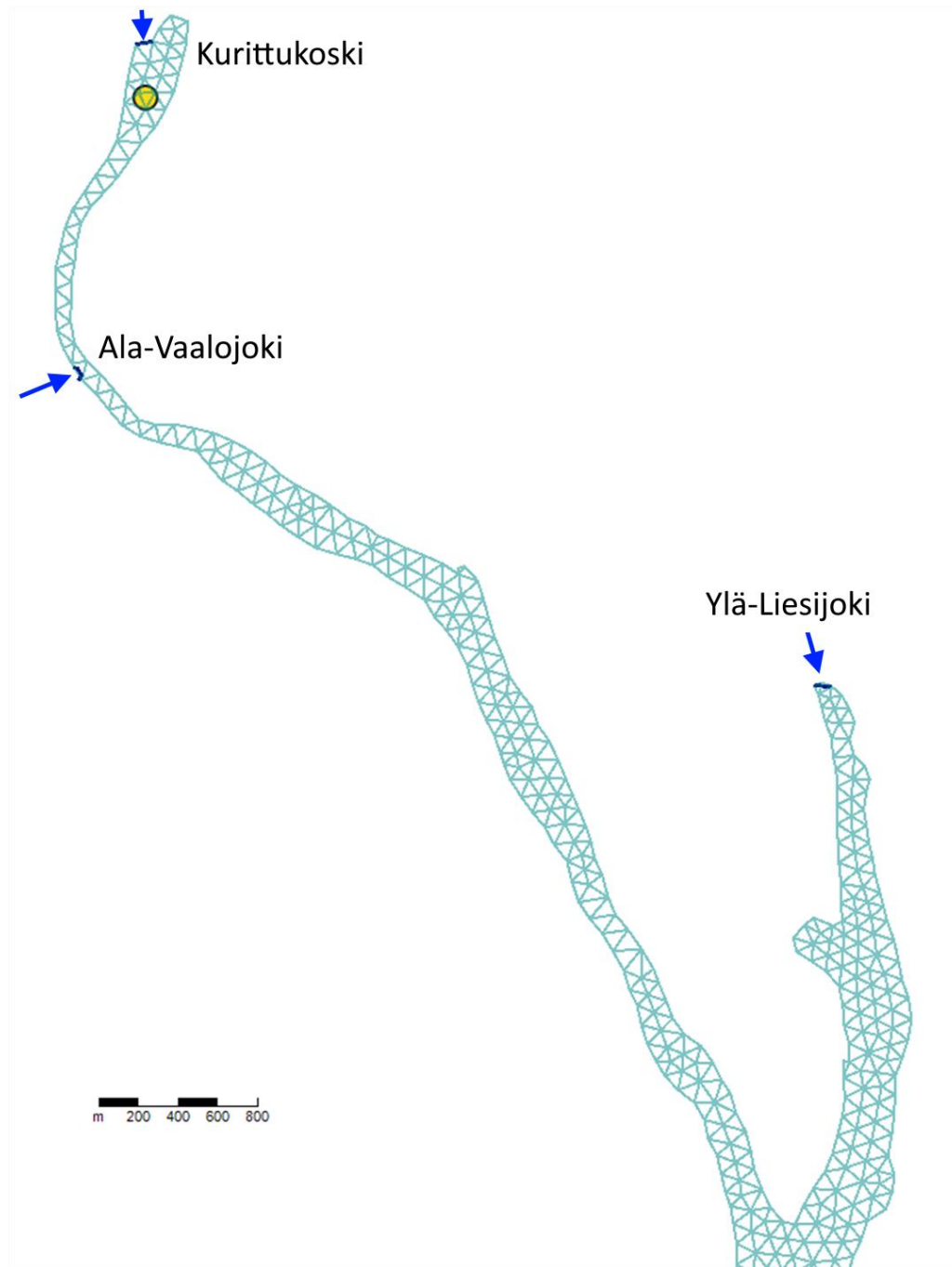
Kuva 2-1. Mallin pohjan taso Vajusen altaan keskimääräisestä pinnasta mitattuna.



Kuva 2-2. Mallihilan eteläosa ja vedenlaadun tarkkailupisteet. Kaivoksen purkuputken pää on merkitty punaisella nuolella. Tarkkailupisteen KevS-14 ja purkuputken väliin merkitty piste on mallinnuksessa käytetty tulosten tarkastelupiste, jossa ei ole tehty mitauksia.



Kuva 2-3. Mallihilan keskiosa ja reunaehtoina käytetyt sivujokien purkautumispaikat.



Kuva 2-4. Mallihilan pohjoisosa ja reunaehtoina käytetyt purkautumispaikat. Kurittukosken voimalaitoksen alapuolelle keltaisella merkitty piste on mallinnuksessa käytetty tulosten tarkastelupiste, jossa ei ole tehty mittauksia.

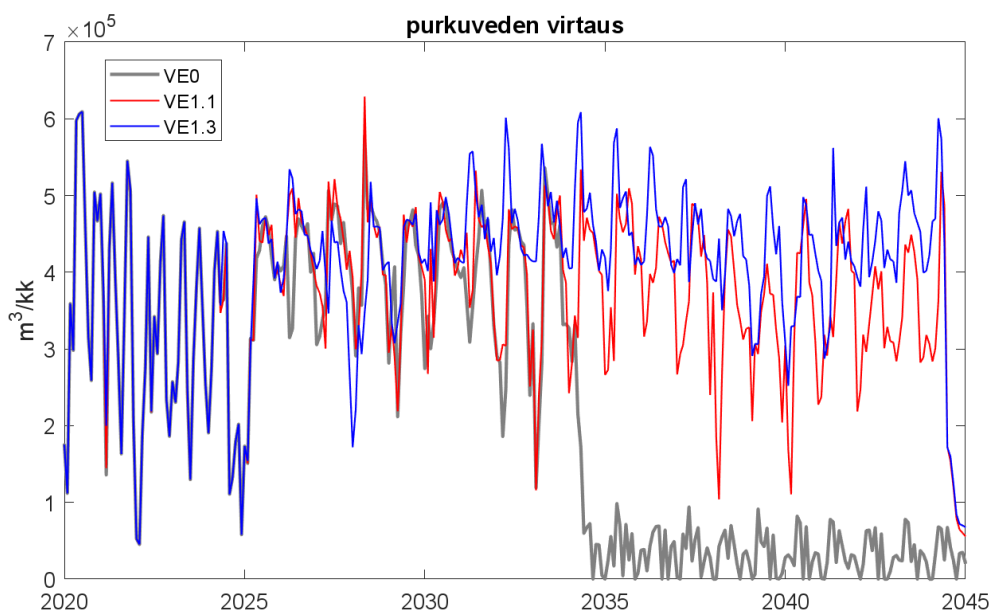
3 OLOSUHDETIEDOT

3.1 Kuormitus purkuputkesta

Purkuputkesta Vajuseen tulevaisuudessa tulevan veden määrä ja siihen liuenneiden aineiden pitoisuudet perustuvat Kevitsan kaivoksen vesi- ja kuormatasmallinnuksen tuloksiin. Ne saatiin vesistömallinnuksen lähtötiedoiksi kuukausikohtaisina arvoina. Sekä purkuveden määrän että eri aineiden pitoisuuksien vuodenaikavaihtelu on mallinnustulosten mukaan säännöllistä ja selvästi voimakkaampaa kuin hankevaihtoehtojen väliset erot, joten

samoilla kuormitusoletuksilla voidaan mallintaa kaikkien kolmen arvioitavan hankevaihtoehdon vesistövaikutukset yhtä luotettavasti.

Purkuputkesta Vajusen altaaseen kuukausittain tulevat purkuvesimäärät kolmessa hankevaihtoehdossa on esitetty kuvassa 3-1. Vuoden 2025 alkuun asti kuvaajat perustuvat toteutuneeseen virtaukseen ja sen jälkeen mallinnukseen. Virtaus pienenee kaivoksen toiminnan aikaiselta tasolta sulkemisen jälkeiseen tilanteeseen vaihtoehdossa VE0 vuoden 2034 aikana ja vaihtoehdoissa VE1.1 ja VE1.3 vuonna 2044.



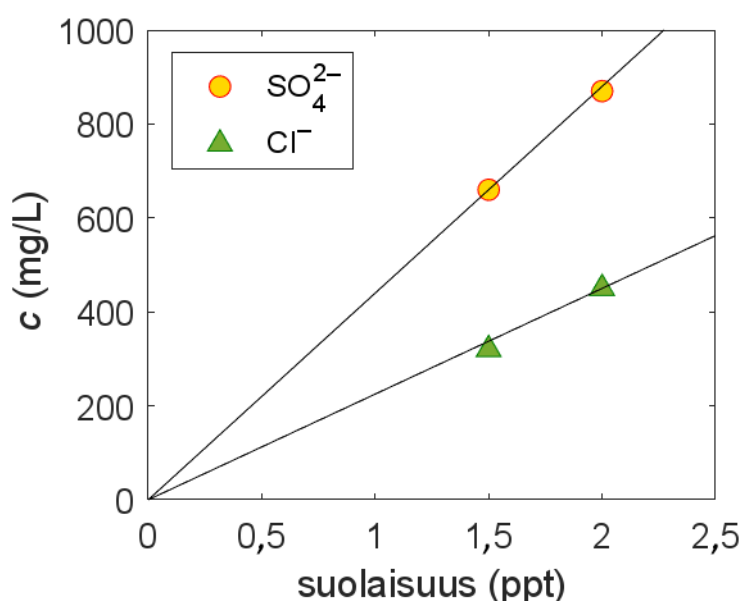
Kuva 3-1. Vesi- ja kuormatasemallinnuksen mukainen purkuveden määrä kuukaudessa eri hankevaihtoehdoissa vuosina 2020–2044.

Koska Delft3D-mallissa veden tiheyden vaikutuksen laskentaan käytetään meriveden koostumukseen perustuvaa tiheyden ja suolaisuuden välistä riippuvuutta, piti määrittellä muunnos purkuveden koostumuksen ja tiheydeltään vastaavan meriveden suolaisuuden välille. Vesi- ja kuormatasemallinnuksen tulosten mukaan kahdeksan ionia (sulfaatti, kloridi, sulfidi, natrium, kalsium, magnesium, kalium ja tiosulfaatti) muodostaa niin suuren osuuden purkuveteen liuenneista aineista, että sen tiheys voidaan riittävällä tarkkuudella arvioida niiden pitoisuuksista. Tulosten tarkastelussa kävi ilmi, että näiden kaikkien pitoisuuksissa esiintyy kaivoksen toiminnan aikana samanlainen vuodenaikavaihtelu, jossa pitoisuudet ovat keskimääräistä alempia kesän ja syksyn aikana ja vastaavasti korkeampia talvella ja keväällä. Siten voitiin määrittää kaksi tapausta, "laimea" ja "väkevä" purkuveden koostumus, joiden välillä vuodenaikavaihtelu kaikissa hankevaihtoehdoissa mallinnuksen mukaan tapahtuu. Kahdeksan hallitsevan ionin pitoisuudet "laimeassa" ja "väkevässä" purkuvedessä on esitetty taulukossa 3-1.

Taulukko 3-1. Purkuveden tiheyden vaihtelun arviointiin käytettyjen yleisimpien ionien pitoisuudet.

Ioni	Pitoisuudet "laimeassa" purkuvedessä (mg/L)	Pitoisuudet "väkevässä" purkuvedessä (mg/L)
Sulfaatti SO_4^{2-}	660	870
Kloridi Cl^-	320	450
Sulfidi S^{2-}	210	255
Natrium Na^+	155	215
Kalsium Ca^{2+}	170	195
Magnesium Mg^{2+}	92	115
Kalium K^+	56	73
Tiosulfaatti $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$	9.4	27

Verrattain pienten pitoisuuksien vuoksi purkuveden tiheydelle "laimeassa" ja "väkevässä" tapauksessa saatiin eri laskentamenetelmillä melko erilaisia arvoja, joten niitä vastaavia meriveden suolaisuuksia ei pystytty määrittämään kovin tarkasti. Arviot laimean purkuveden tiheydestä 5 °C lämpötilassa vaihtelivat välillä 1000,8–1001,8 kg/m³ ja väkevän välillä 1001,2–1002,3 kg/m³, joita vastaavat meriveden suolapitoisuusvälit ovat 1050–2300 ppm ja 1500–2900 ppm. Näiden arvojen pohjalta päädyttiin arvioon, että "laimeaa" purkuvettä vastaava meriveden suolaisuus olisi 1500 ppm (Delft3D:n käyttämissä yksiköissä 1,5 ppt eli tuhannesosaa) ja "väkevän" 2000 ppm (2 ppt). Tästä arviosta voitiin edelleen määrittää sulfaatile ja kloridille pitoisuuden ja mallinnetun suolaisuuden väliset verrannollisuuskerroimet, joita käytettiin mallin syötetietojen laskentaa ja tulosten tulkintaa varten: sulfaatile 440 mg/L / ppt ja kloridille 225 mg/L / ppt. Nämä verrannollisuudet on esitetty suorina kuvassa 3-2.



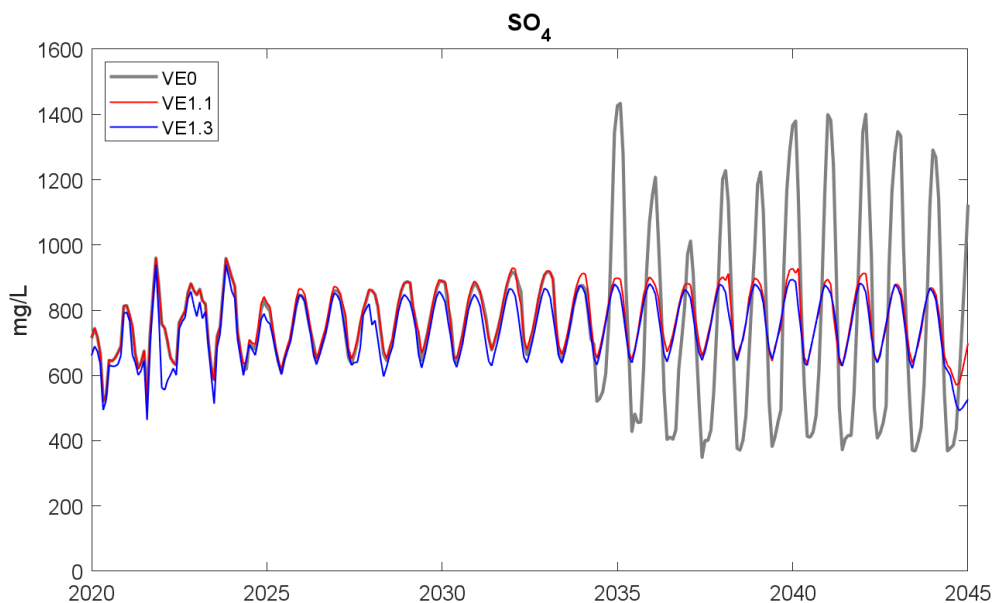
Kuva 3-2. Sulfaatti- ja kloridipitoisuuksien riippuvuus mallinnetusta veden suolaisuudesta.

Taulukossa 3-2 on esitetty ympäristölaatunormeissa annetut tai sellaisiksi ehdotetut raja-arvot pintavesien epäpuhtauksien pitoisuuksille ja kuormatasemallinnukseen perustuvat kaivoksen toiminnan aikaisen purkuvedessä olevan pitoisuuden vaihtelun ala- ja yläarvot. Yläarvojen ja laatunormin raja-arvojen suhteiden perusteella suurin riski laatunormin ylitymiseen on sulfaatilla, kloridilla, kokonaistypellä ja nikkelillä, joilla pitoisuus purkuvedessä on ainakin ajoittain vähintään 10-kertainen laatunormiin verrattuna. Näiden lisäksi mallinnuksella tarkasteltaviksi valittiin kupari ja arseeni, joilla purkuvedessä oleva pitoisuus on noin kaksinkertainen laatunormiin verrattuna.

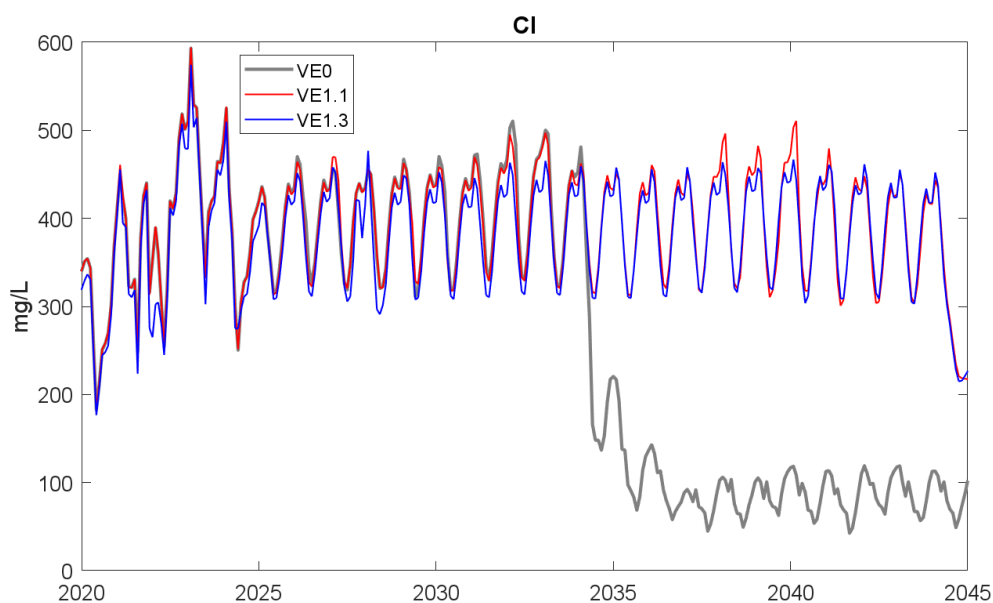
Taulukko 3-2. Purkuvedessä olevien haitta-ainepitoisuuksien vertailu ympäristölaatunormien pitoisuusrajoihin.

Aine	Pitoisuuden laatunormi	Pitoisuuden ala-arvo pur- kuvedessä	Pitoisuuden yläarvo pur- kuvedessä	Yläarvon ja laatunormin suhde
Sulfaatti (SO_4^{2-})	39 mg/L	660 mg/L	870 mg/L	22
Kloridi (Cl^-)	25 mg/L	320 mg/L	450 mg/L	18
Kokonaistyyppi (N_{tot})	450 $\mu\text{g/L}$	5200 $\mu\text{g/L}$	7200 $\mu\text{g/L}$	16
Kokonaisfosfori (P_{tot})	20 $\mu\text{g/L}$	80 $\mu\text{g/L}$	100 $\mu\text{g/L}$	5
Nikkeli (Ni)	5 $\mu\text{g/L}$	40 $\mu\text{g/L}$	70 $\mu\text{g/L}$	14
Kupari (Cu)	1,1 $\mu\text{g/L}$	1,3 $\mu\text{g/L}$	2,2 $\mu\text{g/L}$	2,0
Arseeni (As)	0,5 $\mu\text{g/L}$	0,68 $\mu\text{g/L}$	1,25 $\mu\text{g/L}$	2,5
Uraani (U)	0,17 $\mu\text{g/L}$	0,17 $\mu\text{g/L}$	0,23 $\mu\text{g/L}$	1,4
Koboltti (Co)	4 $\mu\text{g/L}$	1,7 $\mu\text{g/L}$	3,2 $\mu\text{g/L}$	0,8
Lyijy (Pb)	1,2 $\mu\text{g/L}$	0,27 $\mu\text{g/L}$	0,5 $\mu\text{g/L}$	0,42
Kromi (Cr)	3,4 $\mu\text{g/L}$	0,45 $\mu\text{g/L}$	0,9 $\mu\text{g/L}$	0,26
Kadmium (Cd)	0,1 $\mu\text{g/L}$	0,013 $\mu\text{g/L}$	0,022 $\mu\text{g/L}$	0,22
Elohopea (Hg)	0,07 $\mu\text{g/L}$	0,01 $\mu\text{g/L}$	0,01 $\mu\text{g/L}$	0,14
Sinkki (Zn)	14,4 $\mu\text{g/L}$	0,43 $\mu\text{g/L}$	1,3 $\mu\text{g/L}$	0,09

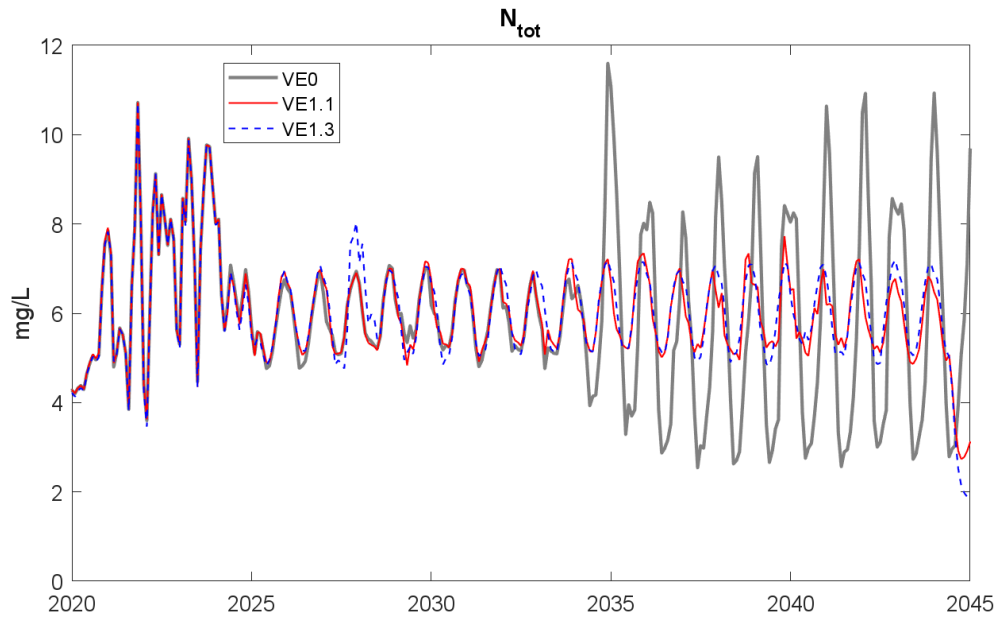
Tarkasteltaviksi valittujen aineiden pitoisuuksien vaihtelut vesi- ja kuormatasemallinnuksen mukaan on esitetty kuvissa 3-3 (sulfaatti), 3-4 (kloridi), 3-5 (kokonaistyyppi), 3-6 (nikkeli), 3-7 (kupari) ja 3-8 (arseeni). Vaihtoehdossa VE0 sulfaatin, typen, nikkelin ja kuparin pitoisuudet saavat kaivoksen sulkemisen jälkeen toiminnan aikaa suurempia arvoja joko jatkuvasti tai vuodenaikavaihtelun huippuaikoina, mutta purkuveden määrän pienentyminen samalla murto-osaan aiheuttaa sen, että näiden aineiden päästöt kuitenkin selvästi vähenevät.



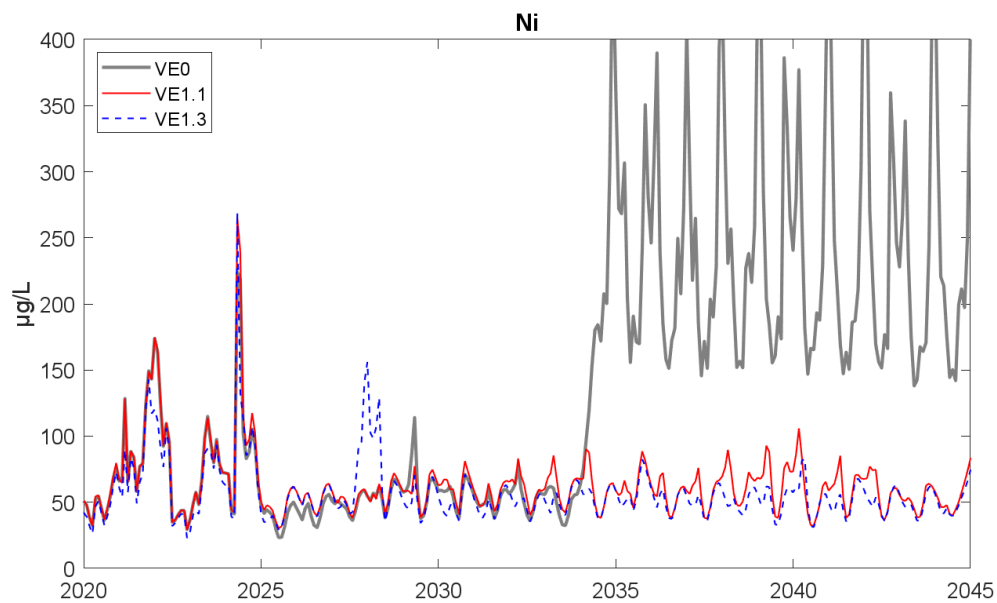
Kuva 3-3. Vesi- ja kuormatasemallinnuksen mukainen purkuveden sulfaattipitoisuuden kuukausikeskiarvo eri hankevaihtoehtoissa vuosina 2020–2044.



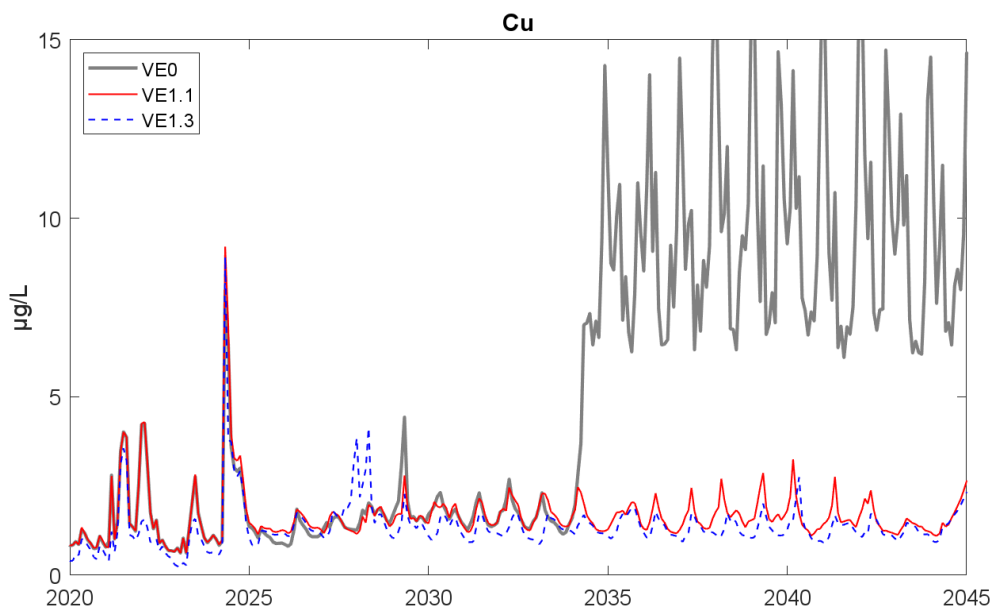
Kuva 3-4. Vesi- ja kuormatasemallinnuksen mukainen purkuveden kloridipitoisuuden kuukausikeskiarvo eri hankevaihtoehtoissa vuosina 2020–2044.



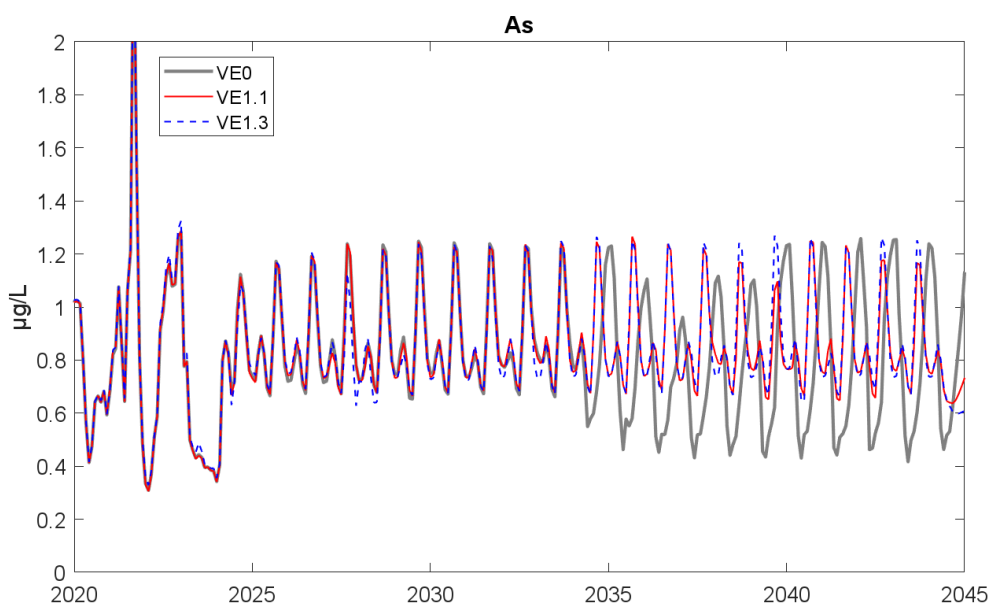
Kuva 3-5. Vesi- ja kuormatase mallinnuksen mukainen purkuveden kokonaistyyppipitoisuuden kuukausikeskiarvo eri hankevaihtoehtoisissa vuosina 2020–2044. Kokonaistyyppipitoisuus on laskettu erikseen mallinnettujen sulfaatti-, sulfiitti- ja ammoniummuodossa olevan typen pitoisuuksien summana.



Kuva 3-6. Vesi- ja kuormatase mallinnuksen mukainen purkuveden nikkelipitoisuuden kuukausikeskiarvo eri hankevaihtoehtoisissa vuosina 2020–2044.



Kuva 3-7. Vesi- ja kuormatasemallinnuksen mukainen purkuveden kuparipitoisuuden kuukausikeskiarvo eri hankevaihtoehdoissa vuosina 2020–2044.



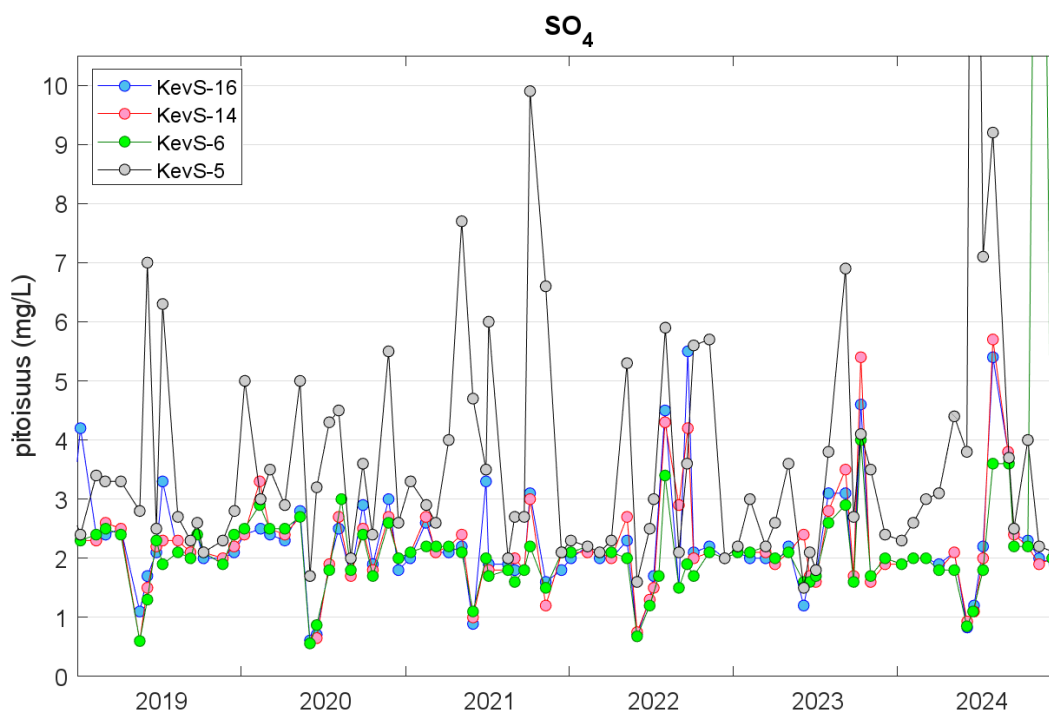
Kuva 3-8. Vesi- ja kuormatasemallinnuksen mukainen purkuveden arseenipitoisuuden kuukausikeskiarvo eri hankevaihtoehdoissa vuosina 2020–2044.

3.2 Vedenlaadun seuranta ja taustapitoisuudet

Pintavesimallin kuvaamalla alueella on neljä Kevitsan kaivoksen tarkkailuohjelmaan kuului pintaveden laadun seurantapistettä: KevS-6, KevS-14 ja KevS-16 Vajusen altaan eteläosassa ja KevS-5 Vajukosken voimalaitoksen alapuolella. Niiden sijainnit mallihilassa on esitetty kuvassa 2-2. KevS-6 sijaitsee Vajusen altaan länsirannalla yli 1 km päässä Vajukosken voimalaitoksesta ja purkuputkesta, ja sen ajatellaan edustavan purkuputken vaikutusalueen ulkopuolista yläjuoksua. KevS-16 on Vajukosken padolla noin 100 m purkuputkesta etelään ja edustaa oletettua purkuveden sekoittumisvyöhykettä, ja KevS-14 purkuputkesta noin 400 m länteen sekoittumisvyöhykkeen reunaa.

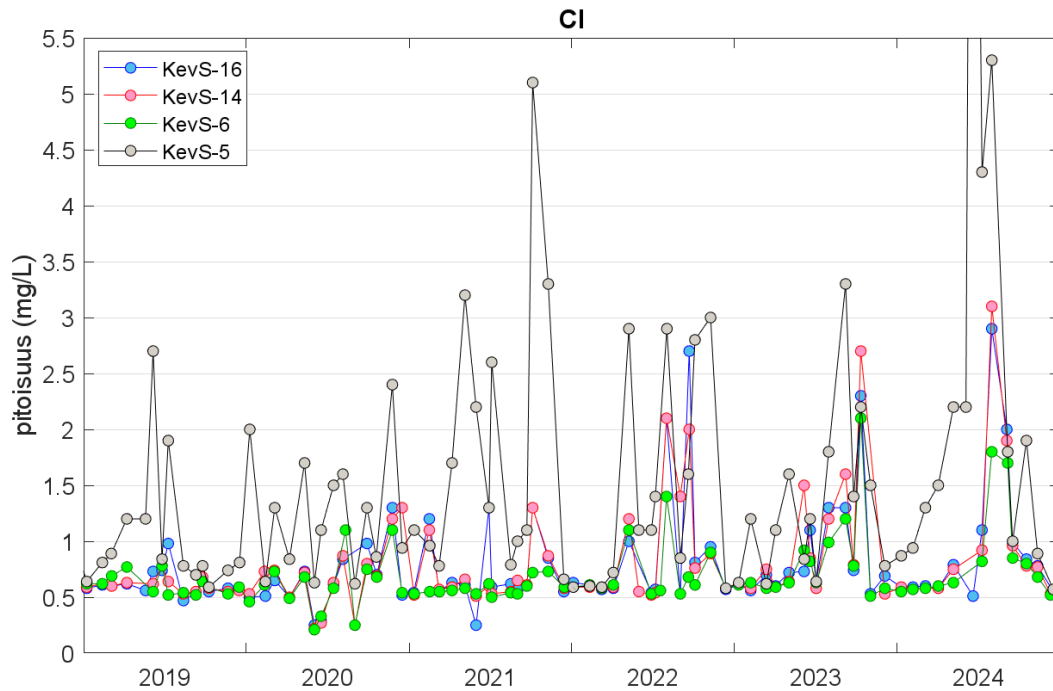
Seurannassa vuosina 2019–2024 havaitut sulfaattipitoisuudet on esitetty kuvassa 3-9. Kolmessa Vajusen altaan seurantapisteessä pitoisuudet ovat useilla mittauskerroilla

likimain yhtä suuret ja lähellä arvoa 2 mg/L, mutta etenkin pisteessä KevS-5 on esiintynyt ajoittain 5–10 mg/L pitoisuuksia ja myös KevS-16:ssa ja KevS-14:ssä yksittäisiä välillä 3–6 mg/L olevia arvoja. Loppukevällä pitoisuus tyypillisesti laskee noin 1 mg/L:aan kaikissa Vajusen altaan seurantapisteissä. Nämä havainnot viittaavat siihen, että sulfaatin taustapitoisuus Kitisessä on noin 2 mg/L, ja päästöt purkuputkesta nostavat Vajusen altaan eteläreunalla pitoisuutta pintavedessä ajoittain muutamalla milligrammalla litrassa. Selvästi korkeammat huippupitoisuudet KevS-5:ssä viittaavat siihen, että altaan pohjalla ja voimalaitoksen läpi juoksutettavassa vedessä esiintyy huomattavasti korkeampia sulfaattipitoisuuksia kuin pintavedessä. Keväiset pitoisuuden laskut liittyvät ilmeisesti lumen sulamisvaiheen tilanteeseen, jossa tulovirtaama Vajusen altaaseen tulee pääosin sivujoista eikä Kurittukosken padon kautta Kitisen yläjuoksulta. Tämän vaihtelun kuvaamiseksi vesistömallissa asetettiin Kurittukosken tulovirtaaman suolaisuudeksi 0,0045 ppt (vastaa mallinnuksessa sulfaattipitoisuutta 1,98 mg/L) mutta sivujoista tulevan veden suolaisuudeksi vain 0,0012 ppt (vastaa sulfaattipitoisuutta 0,528 mg/L).



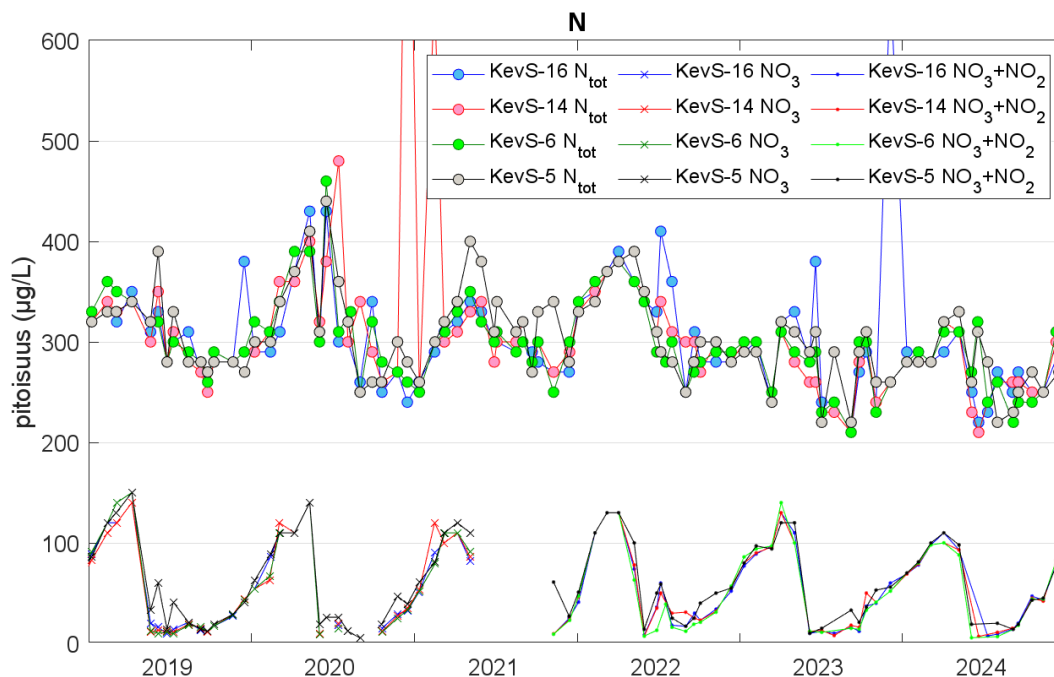
Kuva 3-9. Sulfaattipitoisuuden seurannan tuloksia Vajusen seurantapisteistä vuosilta 2019–2024.

Kloridin seurantatulokset vuosilta 2019–2024 on esitetty kuvassa 3-10. Ne muistuttavat sulfaattihavaintoja, mutta taustapitoisuus Kitisessä vaikuttaa olevan noin 0,5 mg/L eikä sivujoista keväisin purkautuvan sulamisveden laimentavaa vaikutusta ole havaittavissa.



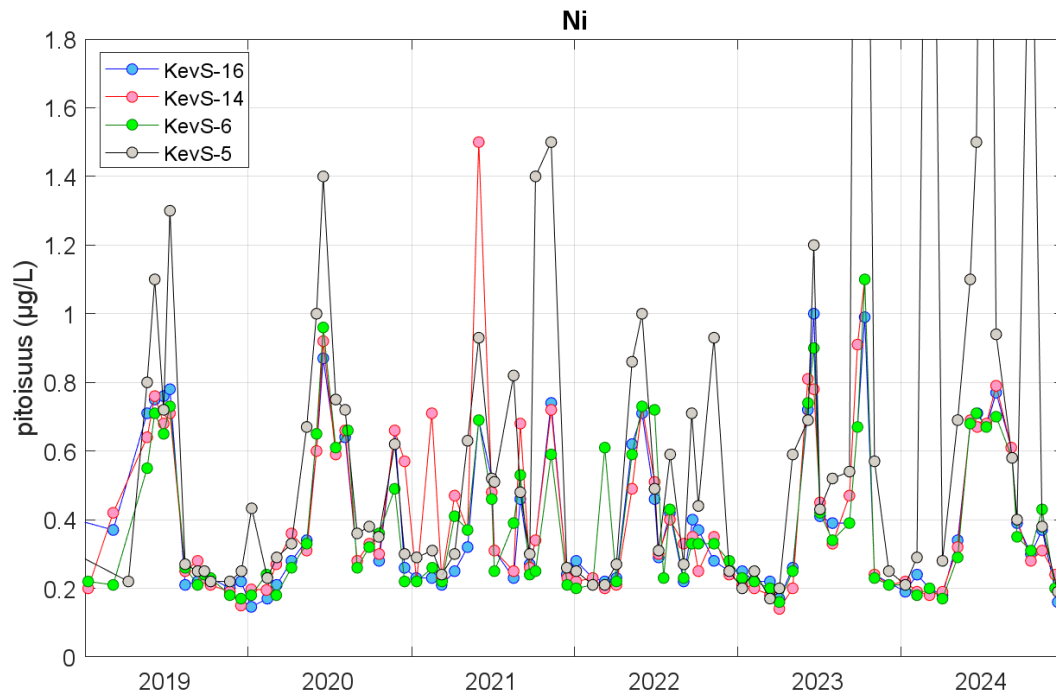
Kuva 3-10. Kloridipitoisuuden seurannan tuloksia Vajusen seurantapisteistä vuosilta 2019–2024.

Typen seurantatulokset vuosilta 2019–2024 on esitetty kuvassa 3-11. Typen kokonaispitoisuus (N_{tot}) vaihtelee lähes samalla tavalla kaikissa neljässä mittauspisteessä, ja esitettyjen kuuden vuoden aikana siinä näkyy hidas laskeva trendi yli 300 $\mu\text{g/L}$:n keskimääräisestä tasosta noin 250 $\mu\text{g/L}$:aan. Vuoteen 2021 asti mitattu nitraattitypen pitoisuus ja sen jälkeen mitattu nitraatti- ja nitriittitypen yhteispitoisuus vaihtelevat voimakkaasti vuodenajan mukaan välillä 10–130 $\mu\text{g/L}$ ja lähes yhtenevästi kaikissa seurantapisteissä. Purkuveden laadun mittausten mukaan siinä oleva tyyppi on pääosin nitraattityppeä eikä sen pitoisuudessa ole säännöllistä vuodenaikavaihtelua, joten pintaveden laadun seurannassa havaitun typen voidaan päätellä olevan pääosin peräisin muualta.



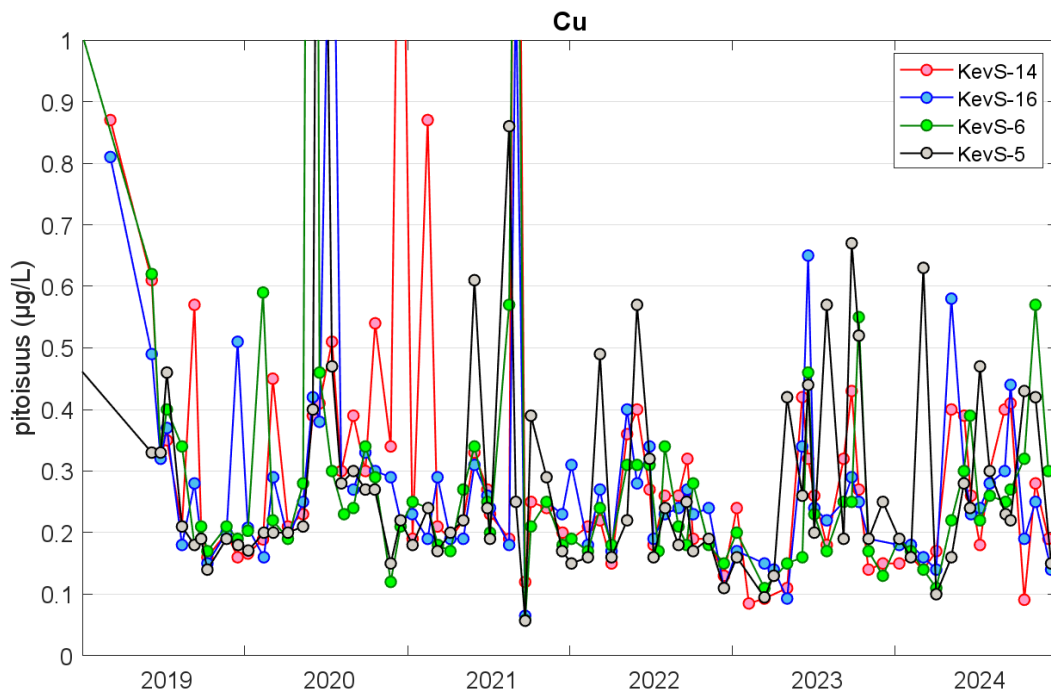
Kuva 3-11. Typpiyhdisteiden pitoisuuksien (kokonaistyyppi N_{tot} , nitraatti NO_3 , nitriitti NO_2) seurannan tuloksia Vajusen seurantapisteistä vuosilta 2019–2024.

Nikkelipitoisuuden seurantatulokset vuosilta 2019–2024 on esitetty kuvassa 3-12. Kaikkien mittauspisteiden aikasarjoissa on noin 0,2 µg/L alaraja, jota pitoisuus ei alita, ja johon useimpina talvina pitoisuudet asettuvat. Muina vuodenaikoina on havaittu pitoisuuden nousuja, jotka KevS-5:ssä voivat ylittää 1 µg/L mutta Vajusen altaan pisteissä ovat olleet muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta pienempiä. Havainnot viittaavat siihen, että Kitisessä nikkelipitoisuuden tausta-arvo on pinnan lähellä noin 0,2 µg/L mutta pitoisuus voi jäätömänä aikana ajoittain nousta moninkertaiseksi, mahdollisesti altaan pohjalle kerrostuneen nikkelipitoisemman veden ja pintaveden sekoittumisen vuoksi tai nikkelipitoisempien sulamisvesien tai muun pintavalunnan takia. Useissa tapauksissa nikkelipitoisuuden nousu on kaukana purkuputkesta olevassa pisteessä KevS-6 yhtä voimakasta kuin muissa pisteissä, joten ei ole todennäköistä, että ainakaan kaikki pitoisuuden nousut johtuisivat purkuputkesta tulleesta nikkelistä.

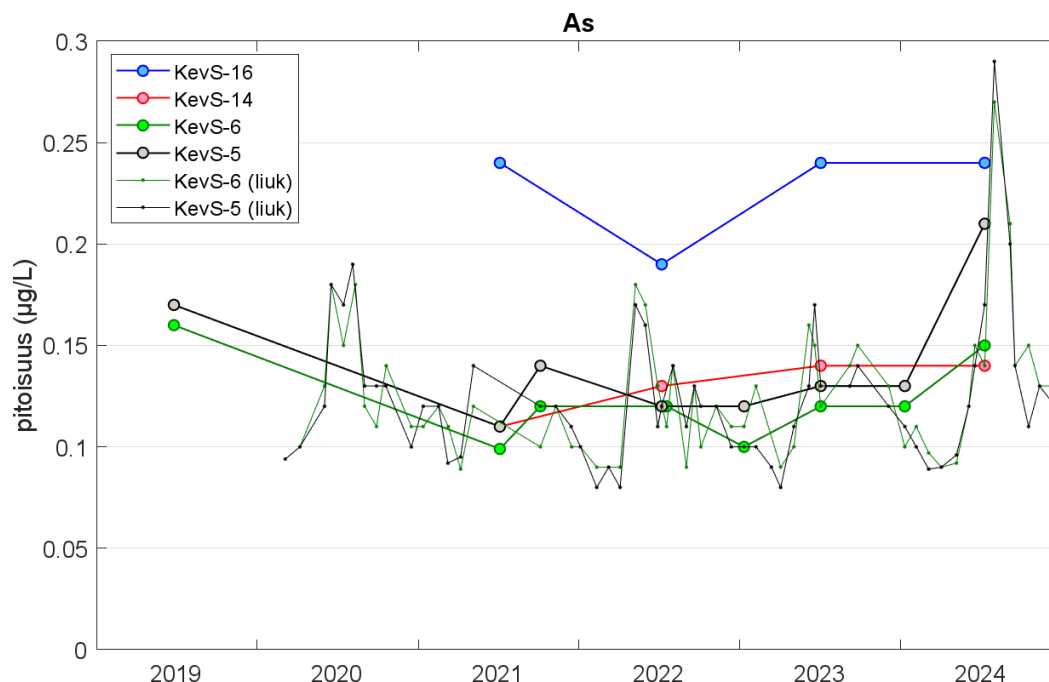


Kuva 3-12. Nikkelipitoisuuden seurannan tuloksia Vajusen seurantapisteistä vuosilta 2019–2024.

Kuparin seurantatulokset vuosilta 2019–2024 on esitetty kuvassa 3-13 ja arseenin kuvassa 3-14. Aikasarjojen perusteella kuparin taustapitoisuus pintavedessä on noin 0,1–0,2 µg/L ja arseenin 0,1–0,15 µg/L.



Kuva 3-13. Kuparipitoisuuden seurannan tuloksia Vajusen seurantapisteistä vuosilta 2019–2024.



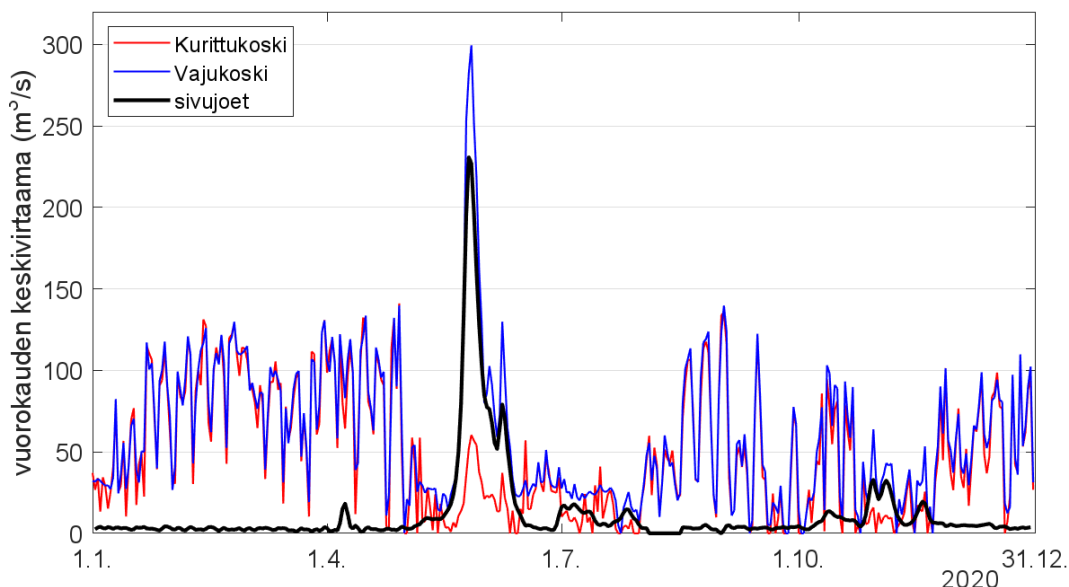
Kuva 3-14. Arseenin kokonaispitoisuuden ja liukoisen arseenin pitoisuuden seurannan tuloksia Vajusen seurantapisteistä vuosilta 2019–2024.

3.3 Säätiiedot

Mallin lähtötietoihin kuului ilman lämpötila, suhteellinen kosteus, pilvisuus ja tuulen nopeus ja suunta. Tähän tarkoitukseen haettiin EU:n Copernicus-ohjelman ilmastodatapalvelusta (Hersbach ym. 2023) ERA5-tuntidatana ilman lämpötila, kastepisteen lämpötila, pilvisuus ja tuulen nopeusvektorin itä- ja pohjoiskomponentit. Kastepisteen lämpötilasta ja ilman lämpötilasta laskettiin mallinnusohjelman käyttämä suhteellinen kosteus.

3.4 Jokivirtaamat

Kurittukosken ja Vajukosken voimalaitosten virtaamina käytettiin Kemijoki Oy:n toimittamia tuntikohtaisia mittausarvoja vuodelta 2020. Neljän mallinnetun Vajusen altaaseen purkautuvan sivujoen yhteenlasketulle virtaamalle laskettiin vuorokausikohtaiset arvot muuttamalla Vajukosken altaan pinnankorkeuden muutokset vesimäärän muutoksiksi kertomalla altaan pinta-alalla 12,14 km² ja vähentämällä tuloksesta patojen virtaamien vuorokausikeskiarvojen erotus. Suomen Ympäristökeskuksen Vemala-vesistömallilla lasketuista sivujokien virtaamista vuosina 1990–2021 havaittiin, että virtaamien summasta 35 % tulee Ala-Vaalojoesta, 11 % Ylä-Postojoesta, 16 % Ylä-Liesijoesta ja 38 % Ala-Liesijoesta. Sivujoista Vajusen altaaseen mallissa tulevat virtaamat muodostettiin jakamalla sivujokien laskennallinen yhteisvirtaama tämän jakauman mukaisesti. Voimalaitosten vuorokauden keskivirtaamat ja laskettu sivujokien virtaamien summa on esitetty kuvassa 3-15. Sivujokien yhteenlaskettu virtaama on murto-osa Kurittukosken ja Vajukosken virtaamista paitsi touko-kesäkuun vaihteessa, jolloin niiden kautta purkautuu runsaasti lumien sulamisvesiä ja Kurittukosken voimalaitoksen juoksutusta vastaavasti pienennetään Vajusen altaan pinnankorkeuden pitämiseksi vakaana.



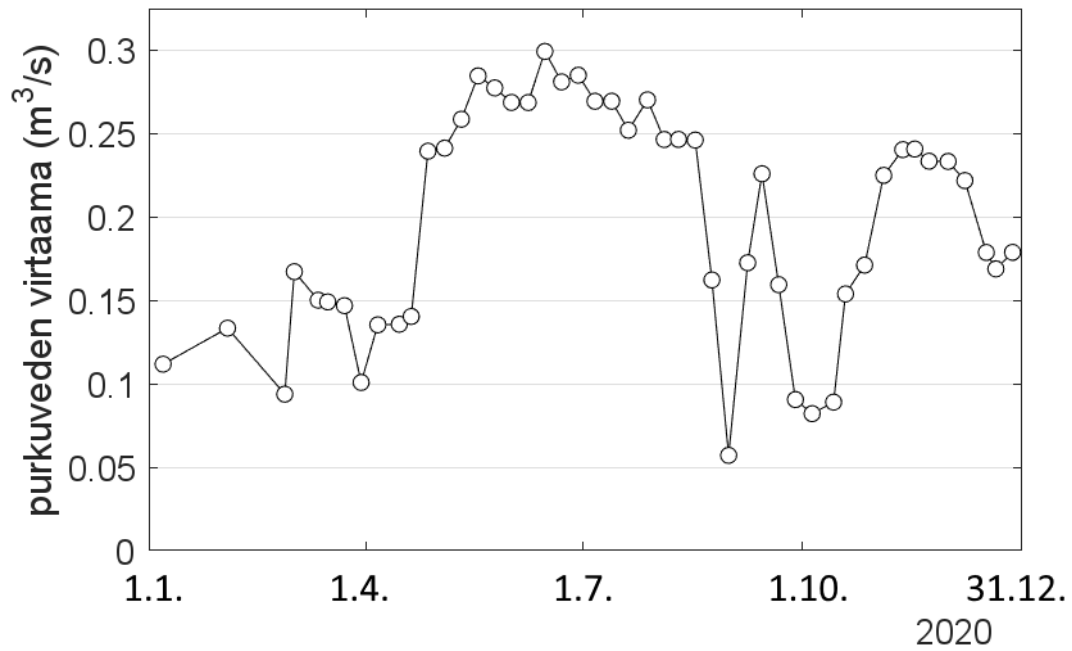
Kuva 3-15. Kurittukosken ja Vajukosken voimalaitosten vuorokausivirtaamat ja laskennallinen sivujokien yhteisvirtaama vuonna 2020.

4 MALLIN TESTAUS

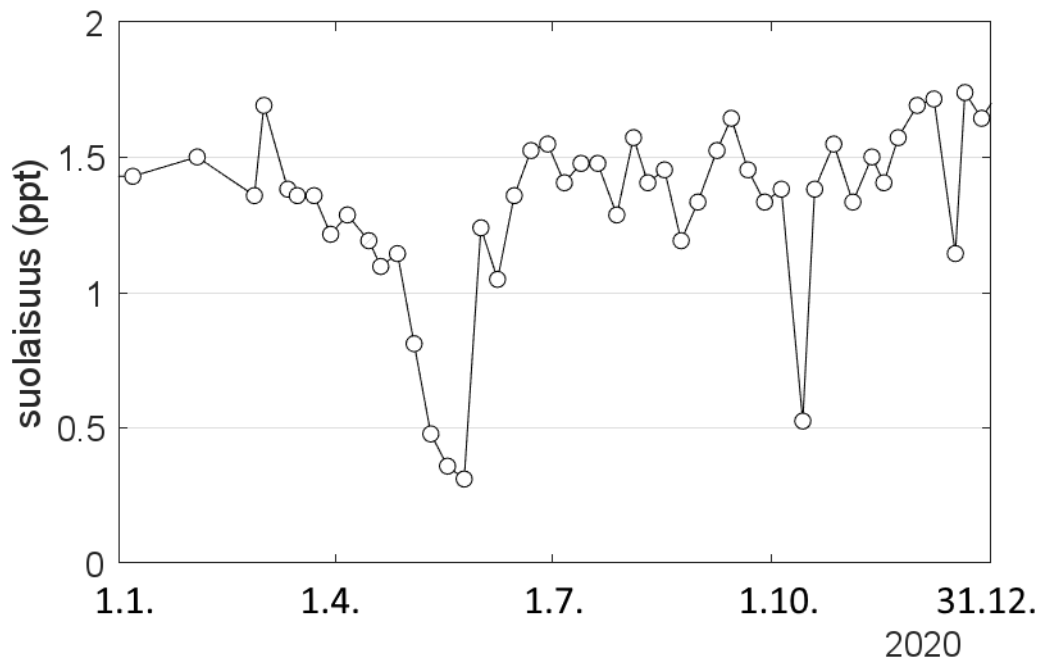
Vesistömallia testattiin mallintamalla vuoden 2020 toteutuneiden päästöjen vaikutusta ja vertaamalla saman vuoden havaintoihin. Mallinnuksella simuloitiin 7 kuukauden ajanjaksoa huhtikuun alusta lokakuun loppuun.

4.1 Malliasetukset

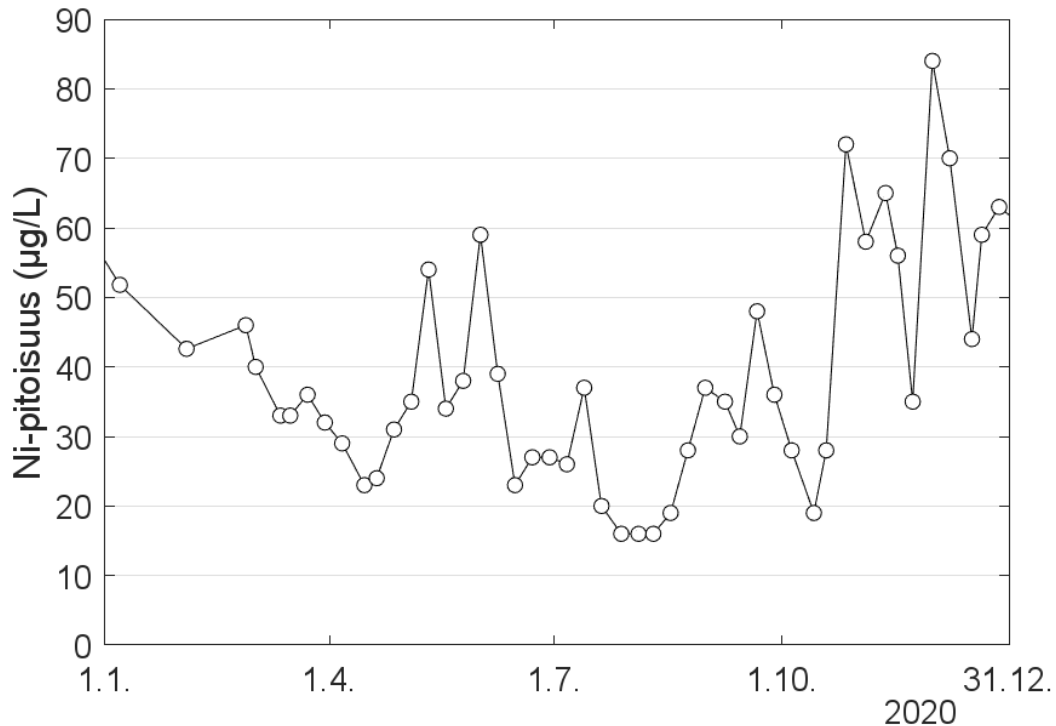
Mallin testauksessa käytettiin purkuveden suolaisuuden vaihtelua vuonna 2020, joka saatiin purkuveden laadun tarkkailutulosten sulfaattipitoisuudet suolaisuudeksi kappaleessa 3.1 esitetyllä verrannollisuuskertoimella. Purkuveden virtaama määritettiin jokaiselle purkuveden sulfaattipitoisuuden mittauspäivälle etsimällä suurin vuorokauden purkuvesimäärä aikaväliltä edellisen ja kyseisen mittauspäivän puolivälistä kyseisen ja seuraavan mittauspäivän puoleenväliin ja laskemalla siitä keskimääräinen virtaama. Tuloksena saatu virtaama vuoden 2020 aikana on esitetty kuvassa 4-1 ja suolaisuuden vaihtelu kuvassa 4-2. Testauksessa mallinnettiin myös merkkiaineena nikkelin leviämistä asettamalla purkuvedelle tarkkailutulosten mukainen, kuvassa 4-3 esitetty nikkelpitoisuus. Mallin muiden tulovirtaamien pitoisuudeksi ja nikkelpitoisuuden alkuarvoksi asetettiin 0,2 µg/L.



Kuva 4-1. Purkuveden virtaama nykytilan mallinnuksessa, perustuu vuonna 2020 mitattuun virtaamaan.



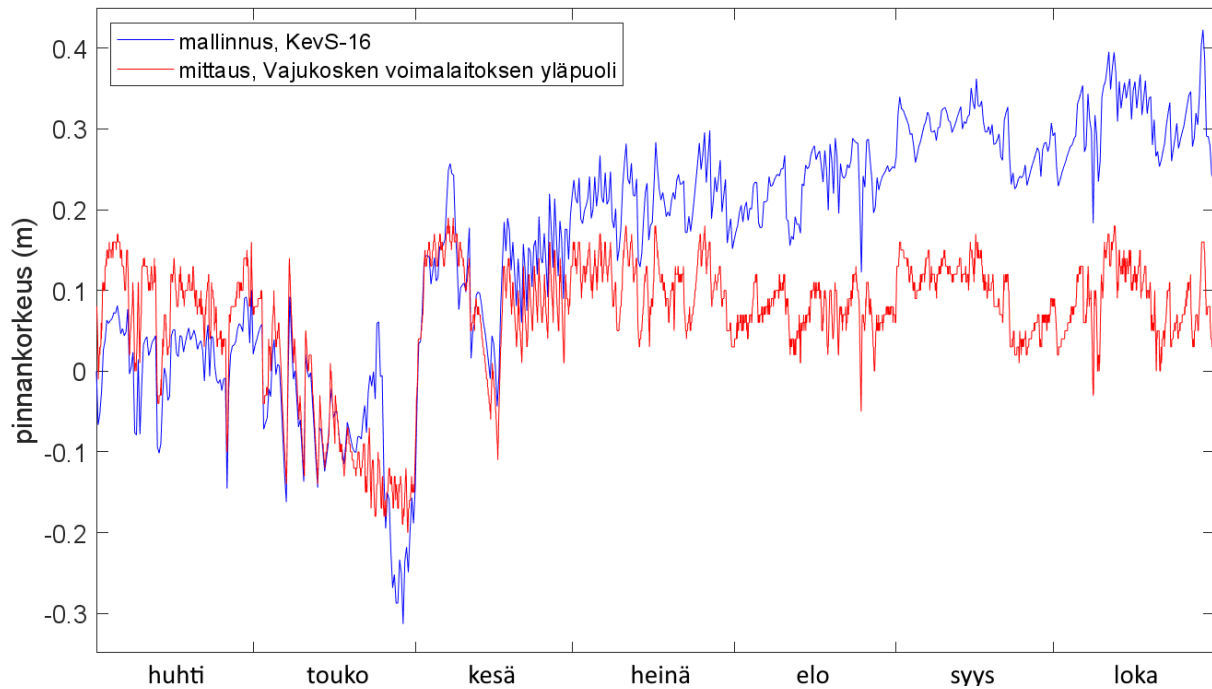
Kuva 4-2. Purkuveden suolaisuus nykytilan mallinnuksessa, laskettu purkuveden laadun tarkkailussa mitatuista sulfaattipitoisuuksista.



Kuva 4-3. Purkuveden nikkelpitoisuus nykytilan mallinnuksessa, perustuu purkuveden laadun seurantatuloksiin.

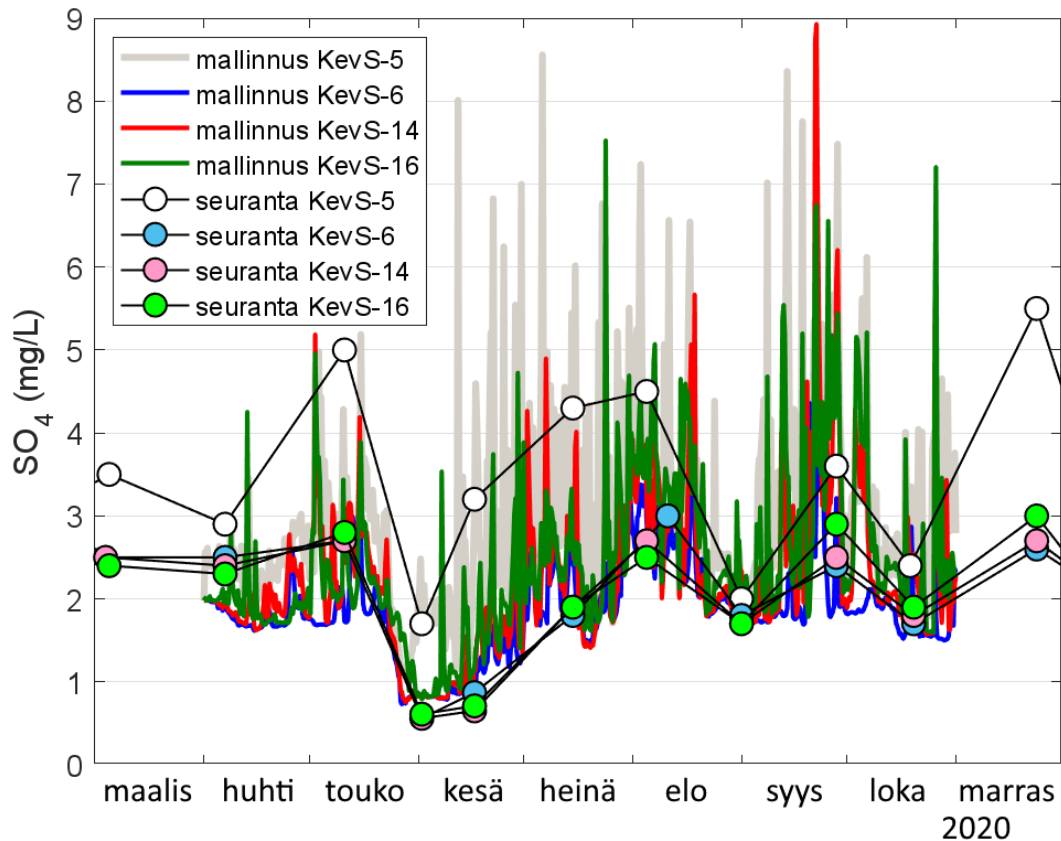
4.2 Laskentatulosten vertailu mittauksiin

Kuva 4-4 esittää mallinnetun Vajusen altaan pinnankorkeuden seurantapisteessä KevS-16 (sininen käyrä) ja Vajukosken voimalaitoksen padon yläpuolelta mitatun pinnankorkeuden vaihtelun (punainen käyrä, merenpinnan suhteen mitatusta arvosta vähennetty 203,8 m). Malli toistaa lyhyen aikavälin vaihtelun hyvin, mutta koko simulaation aikana pinnankorkeuteen kehittyy vähitellen noin 0,3 metrin nousu verrattuna mittaukseen. Virhe johtuu todennäköisesti pienestä epätasapainosta mallin reunaehtoina käytetyissä Kurittukosken ja Vajukosken voimalaitosten virtaamissa ja laskennallisissa sivujokien virtaamissa.



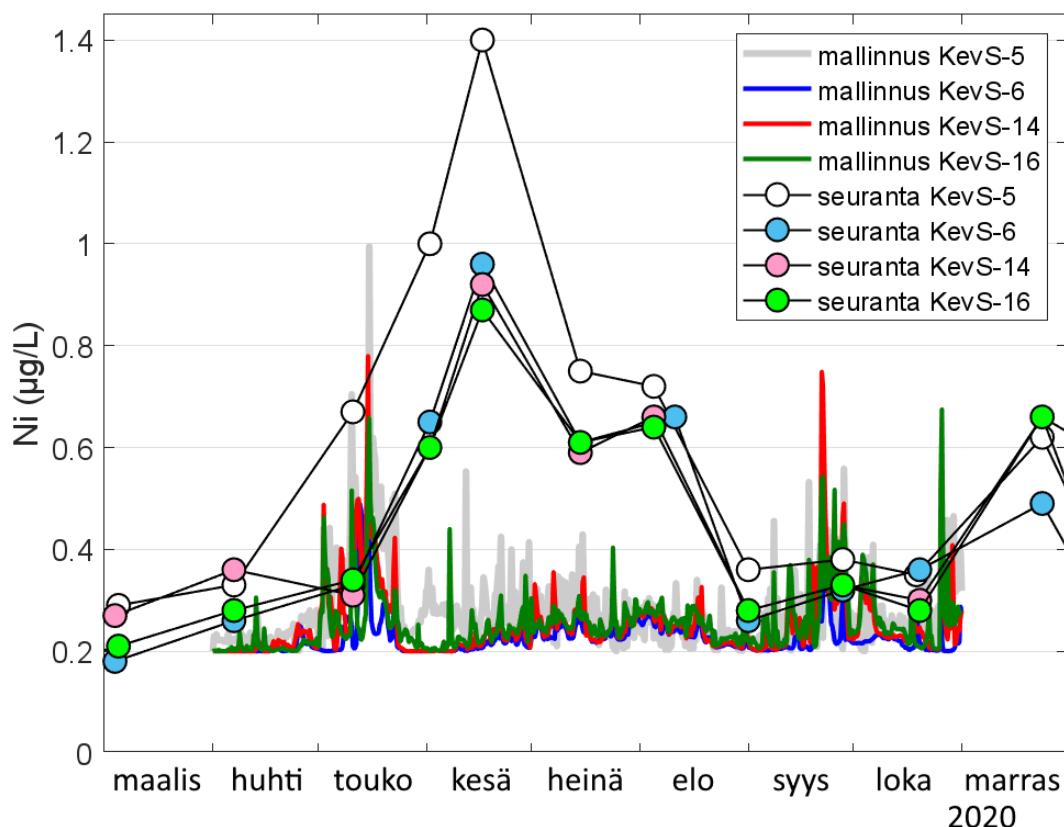
Kuva 4-4. Mallinnettu ja mitattu pinnankorkeuden vaihtelu Vajusen altaassa vuonna 2020.

Kuva 4-5 esittää mallinnetusta suolaisuudesta lasketut sulfaattipitoisuudet seurantapisteissä KevS-5, KevS-6, KevS-14 ja KevS-16 ja samoista pisteistä saadut seurantatulokset. Mallinnustulokset ovat mallin toiseksi ylimmästä kerroksesta, joka vastaa kaikissa seurantapisteissä 1 metrin näytteenotto-syvyyttä. Mallinnetut ja mitatut pitoisuustasot vastaavat hyvin toisiaan. Tarkka vertailu ei tosin ole mahdollista, koska voimalaitoksen juoksutuksen vaihtelun takia pitoisuudet vaihtelevat voimakkaasti jopa tuntien aikaskaalalla, eivätkä näytteenottojen kellonajat ole tiedossa.



Kuva 4-5. Mallinnettuja ja mitattuja sulfaattipitoisuuksia vuonna 2020.

Kuva 4-6 esittää mallinnetut nikkelpitoisuudet seurantapisteissä ja vastaavat vedenlaadun seurannan havainnot vuonna 2020. Mallinnuksen mukaan pitoisuuksissa Vajusen altaan seurantapisteiden kohdalla on sääolosuhteiden vaihtelusta ja padon juoksutuksesta johtuvaa vaihtelua enimmäkseen välillä 0,2–0,4 µg/L ja muutamia välille 0,6–0,8 µg/L nousevia huippuja toukokuussa ja syksyllä, ilmeisesti veden täyskierron aikana. Padon alapuolella mallinnetut pitoisuudet ovat jonkin verran korkeampia. Seurantatulokset sen sijaan osoittavat, että Vajusen altaan seurantapisteissä nikkelpitoisuus nousee kevään ja alkukesän aikana väliltä 0,2–0,3 µg/L vähitellen lähes 1 µg/L:aan ja sitten laskee syys–lokakuuhun mennessä taas alkukevään tasolle. Lähes yhtenevät havainnot kaikissa kolmessa pisteessä ja niiden aikakehitys, joka ei korreloi purkuputkesta tulevan nikkeliuormituksen kanssa, viittaavat siihen, että suurin osa Vajusen altaan vedessä havaitusta nikkelistä on peräisin muualta kuin kaivoksen purkuvedestä ja tulee Vajusen altaan eteläosaan Kitisen virtaukseen sekoittuneena. Mallinnustulos kuvaa siten purkuveden vaikutusta olettaen, että nikkelpitoisuus ilman sitä pysyisi taustapitoisuutena käytetyssä vakioarvossa 0,2 µg/L.

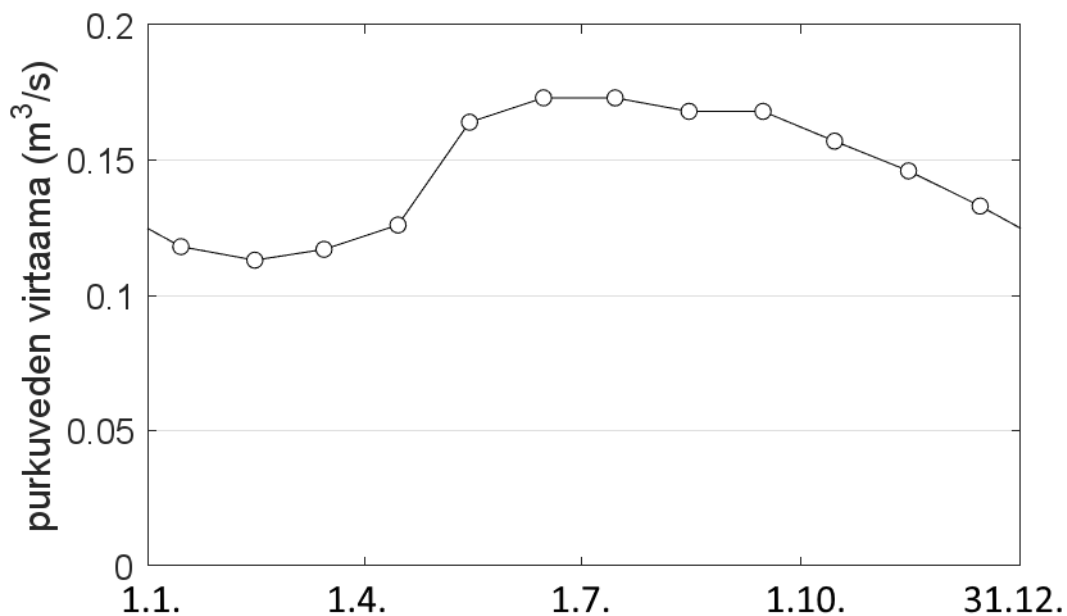


Kuva 4-6. Mallinnettuja ja mitattuja nikkelpitoisuuksia vuonna 2020.

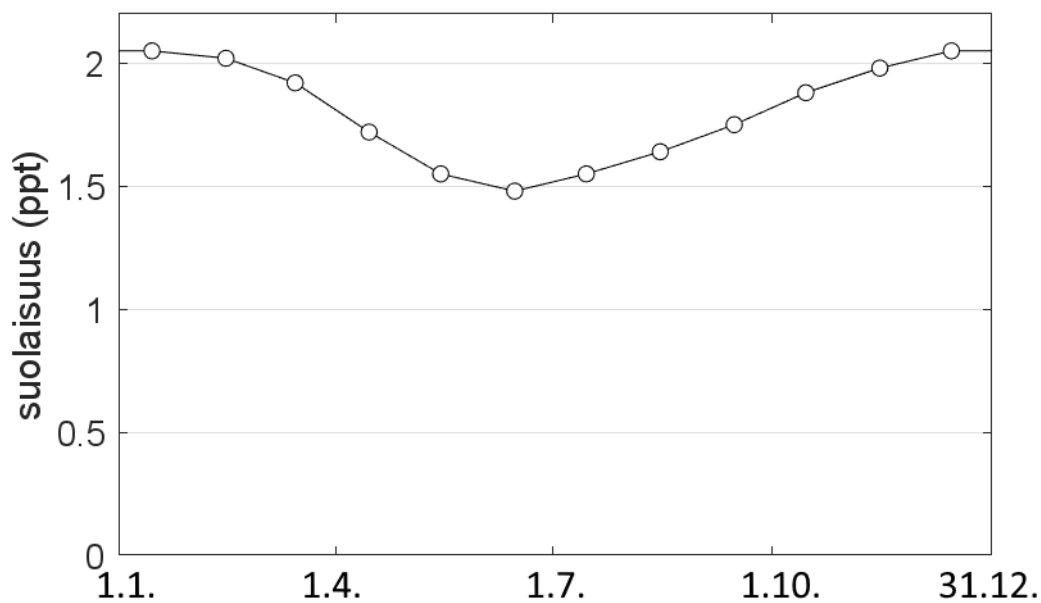
5 VEDENLAADUN LASKENTA

Kaivoksen purkuveden tulevan vaikutuksen mallinnuksessa asetettiin purkuveden virtaama, suolaisuus ja merkkiaineina mallinnettavien alkuaineiden pitoisuudet vaihtelevaan ajan funktiona yhden kuukauden aikaresoluutiolla. Oletettu virtaama on esitetty kuvassa 5-1, suolaisuus kuvassa 5-2, nikkelpitoisuus kuvassa 5-3 ja kupari- ja arseenipitoisuudet kuvassa 5-4. Vesi- ja kuormatasemallinnuksen mukaan purkuveden määrän ja laadun tyyppillinen vuotuinen vaihtelu noudattaa esitettyjä kuvaajia kaikissa arvioitavissa hankevaihtoehdoissa. Muut mallin lähtötiedot, kuten säätila ja patojen ja sivujokien virtaamat pidettiin samoina kuin mallin testauksessa, eli oletettiin niiden vaihtelevan samoin kuin vuonna 2020.

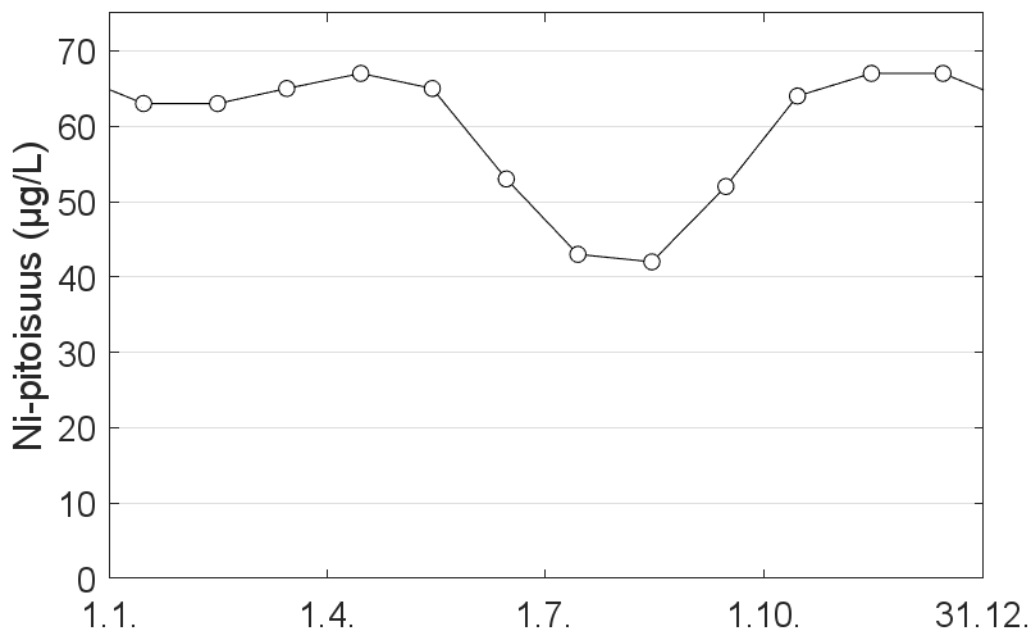
Huhtikuun alun ja lokakuun lopun välisen jakson simulaation lisäksi tehtiin jääpeitteisen ajan mallinnus tammi-maaliskuun ajalle poistamalla mallista tuulen vaikutus.



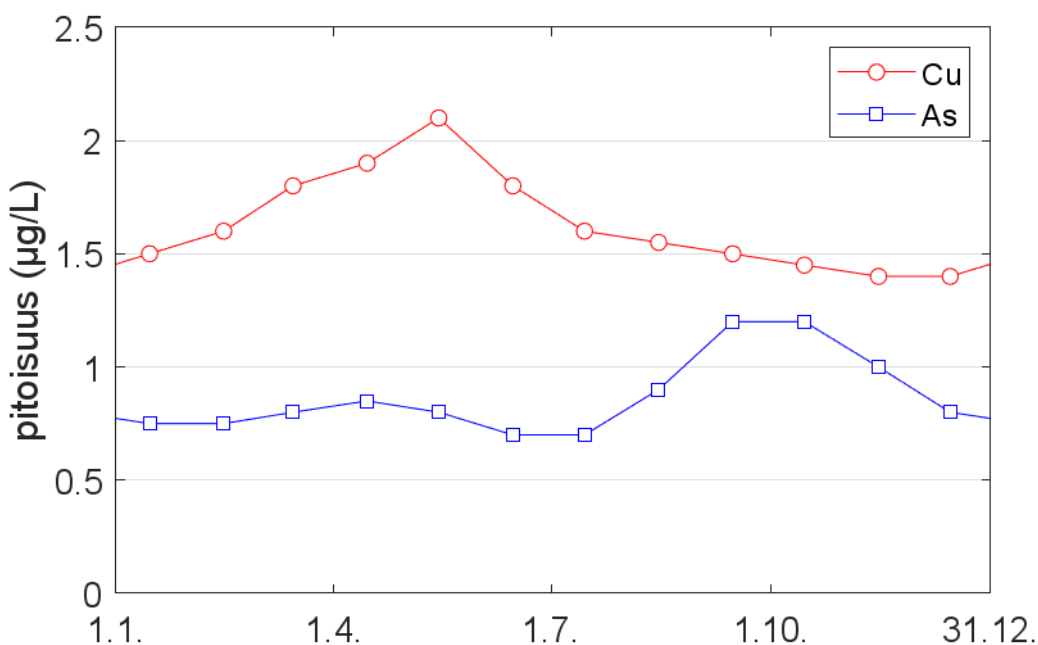
Kuva 5-1. Tulevan vedenlaadun mallinnuksessa käytetty purkuveden virtaaman vaihtelu vuoden aikana.



Kuva 5-2. Tulevan vedenlaadun mallinnuksessa käytetty purkuveden suolaisuuden vaihtelu vuoden aikana.



Kuva 5-3. Tulevan vedenlaadun mallinnuksessa käytetty purkuveden nikkelpitoisuuden vaihtelu vuoden aikana.

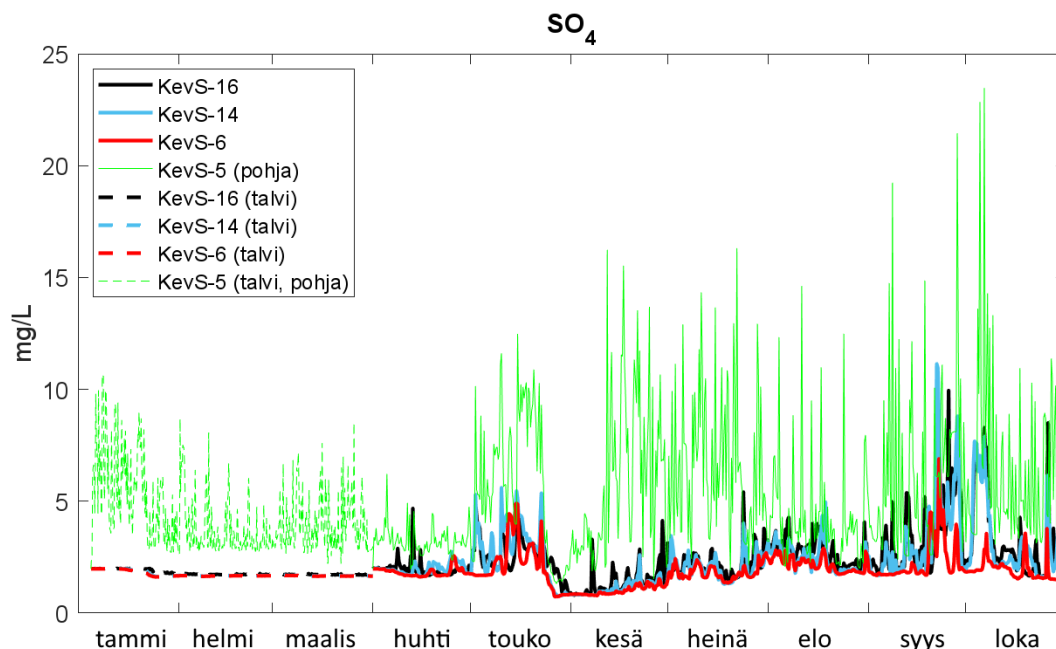


Kuva 5-4. Tulevan vedenlaadun mallinnuksessa käytetyt purkuveden kupari- ja arseenipitoisuuksien vaihtelut vuoden aikana.

5.1 Sulfaatti

Kuva 5-5 esittää mallinnetut sulfaattipitoisuudet Vajusen altaan ja Vajukosken seuranta-pisteissä. Vajusen altaan pisteiden KevS-6, KevS-14 ja KevS-16 tulokset ovat mallin toiseksi ylimmästä kerroksesta, jonka syvyys vastaa seurannan näytteenottosyvyyttä (1 m), mutta pisteestä KevS-5 on esitetty mallin alimman kerroksen tulos. Tammikuun alusta maaliskuun loppuun esitetyt tulokset ovat jääpeitteistä tilannetta kuvaavasta, ilman tuulen vaikutusta tehdystä mallinnuksesta, ja huhtikuun alusta lokakuun loppuun jäätöntä aikaa kuvaavasta mallista, jossa tuulen pintavettä kuljettava ja sekoittava vaikutus on mukana.

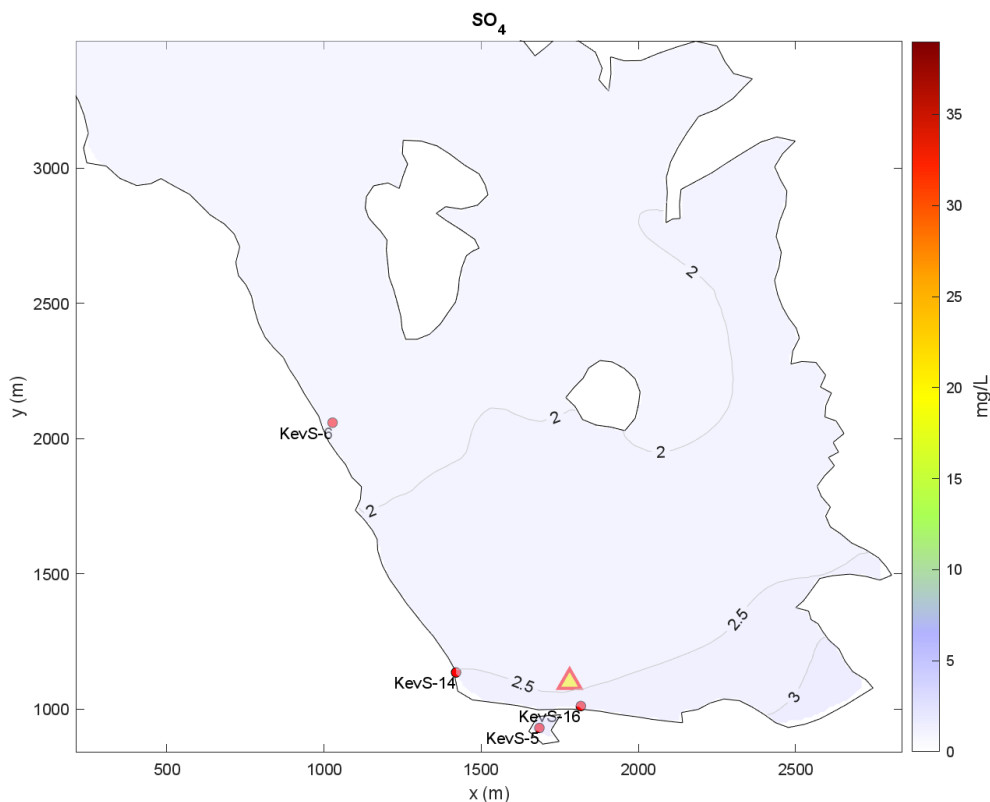
Mallinnuksen mukaan sulfaattipitoisuus Vajusen altaan seurantapisteissä vaihtelee enimmäkseen tausta-arvon 2 mg/L ja noin 5 mg/L välillä, mutta voi varsinkin syksyllä nousta ajoittain 10 mg/L:aan. Jääpeitteisenä aikana pitoisuus ei vaihtelee havaittavasti. Vajukosken padon alapuolelle purkautuvassa vedessä sulfaattipitoisuus voi hetkellisesti nousta noin 20 mg/L:aan mutta on enimmäkseen välillä 3–15 mg/L.



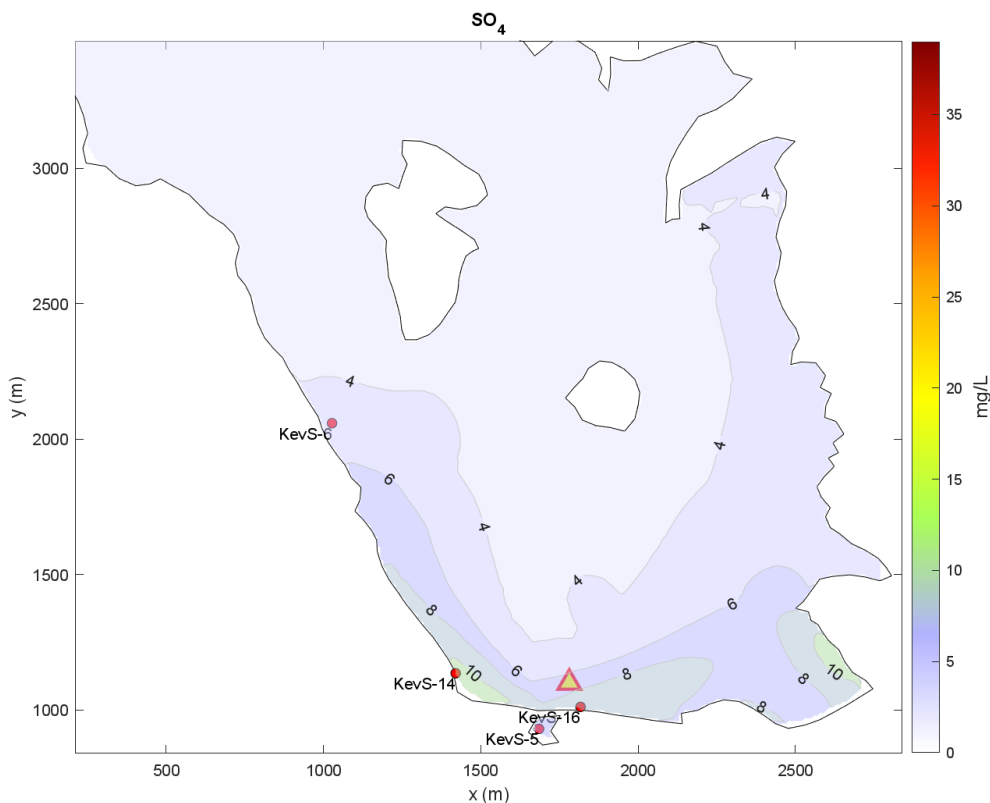
Kuva 5-5. Mallinnettu sulfaattipitoisuuden vaihtelu vesistötarkkailupisteissä. Pisteiden KevS-5 tulokset ovat mallin alimmasta kerroksesta ja kuvaavat suurimpia pitoisuuksia Vajukoskessa, ja muut näytteenottoisyvyttä vastaavasta toiseksi ylimmästä kerroksesta.

Kuva 5-6 esittää jäätymän ajan mallinnustuloksista lasketun sulfaattipitoisuuden keskiarvon ja kuva 5-7 maksimin jakauman Vajusen altaan eteläosan pintavedessä. Suurin keskipitoisuus saatiin altaan kaakkoiskulmassa, jossa se on välillä 3–3,5 mg/L. Oletettua taustapitoisuutta vastaava 2 mg/L:n keskiarvoa kuvaava käyrä on noin 1 km Vajukosken padosta pohjoiseen. Maksimipitoisuuksista suurimmat esiintyvät altaan kaakkoiskulman lisäksi lounaisella rannalla, joissa molemmissa suurimmat tarkastellut arvot ovat hieman yli 10 mg/L. Alue, jolla maksimipitoisuus ylittää 4 mg/L, ulottuu altaan itärannalla noin 2 km padosta pohjoiseen Vajusensaaren kohdalle ja länsirannalla hieman yli 1 km päähän.

Kaikissa tämän luvun pitoisuusjakaumaa kuvaavissa kartoissa käytetyt koordinaatit on saatu ETRS-TM35FIN-järjestelmän koordinaateista vähentämällä x-koordinaatista (itä) 490 000 m ja y-koordinaatista (pohjoinen) 7 508 000 m.



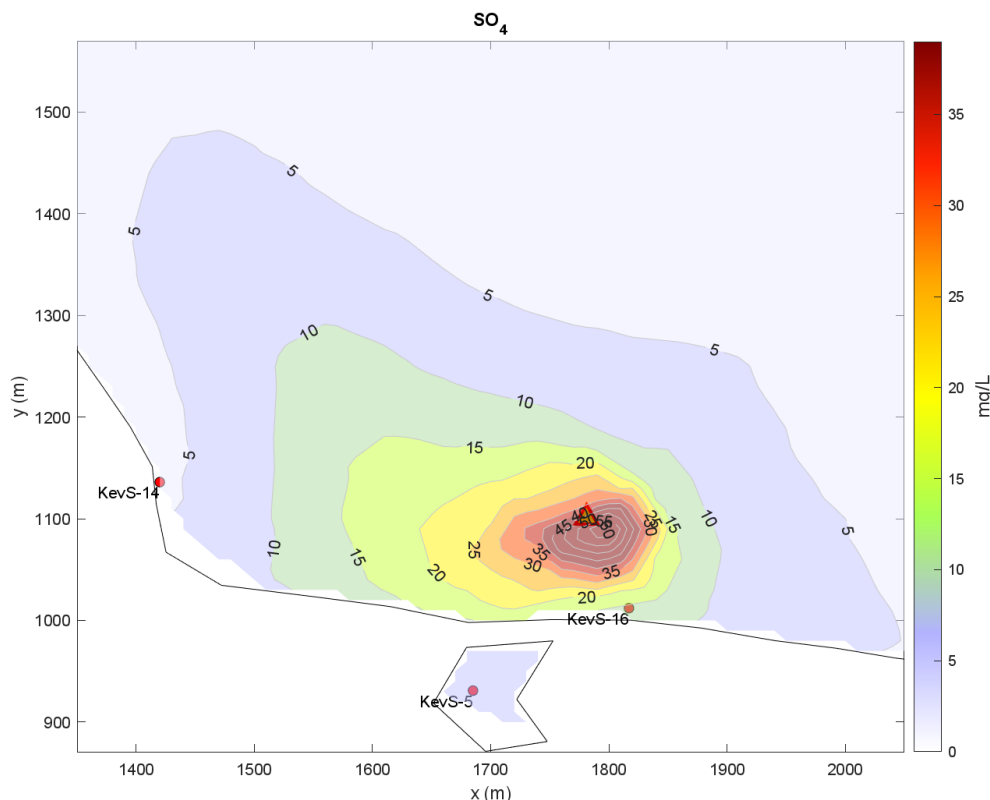
Kuva 5-6. Mallinnettu sulfaattipitoisuuden jäättömän ajan keskiarvo Vajusen altaan eteläosan pintavedessä (mg/L). Purkuputken pää sijainti on merkitty kolmiolla.



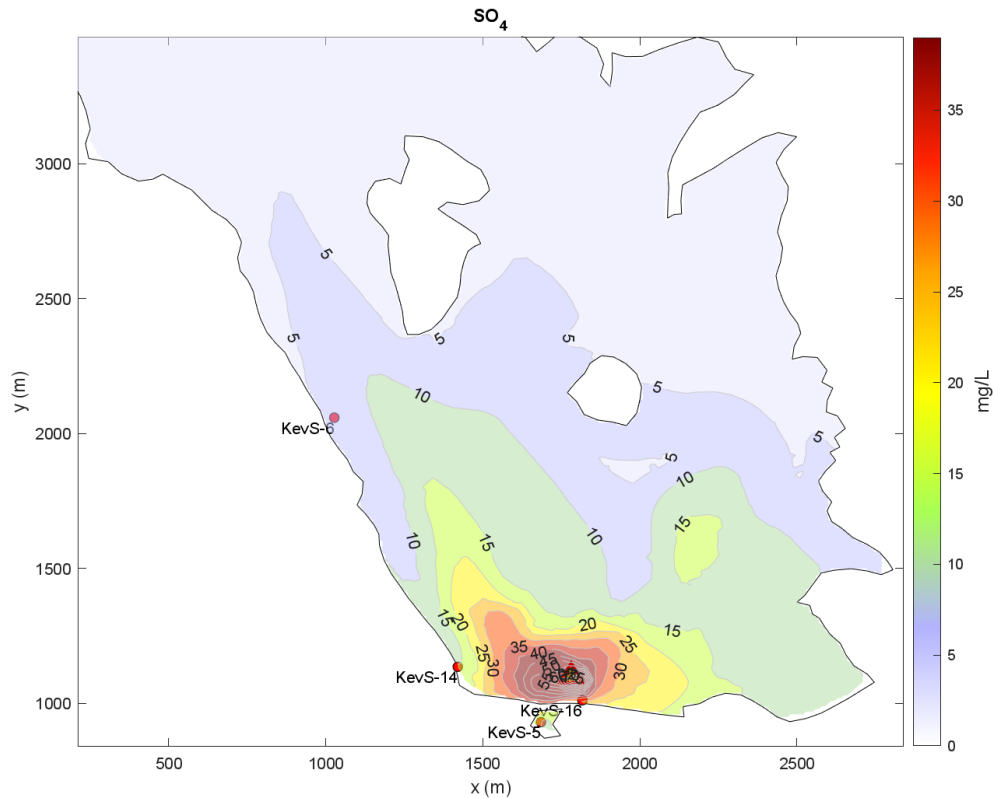
Kuva 5-7. Mallinnettu sulfaattipitoisuuden jäättömän ajan maksimi Vajusen altaan eteläosan pintavedessä (mg/L). Purkuputken pää sijainti on merkitty kolmiolla.

Kuva 5-8 esittää sulfaattipitoisuuden jäättömän ajan keskiarvon ja kuva 5-9 suurimman arvon jakauman Vajusen altaan pohjalla. Tulosten mukaan purkuputken pää ympärillä on

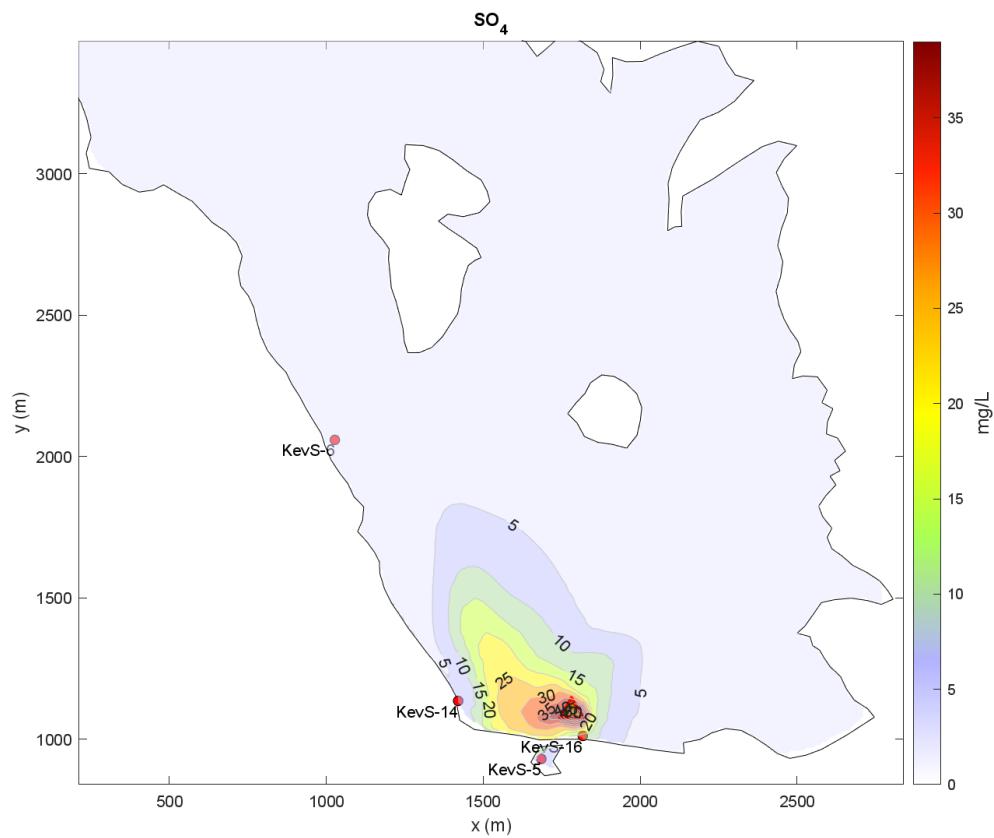
halkaisijaltaan noin 100-metrinen alue, jossa keskipitoisuus altaan pohjalla ylittää 40 mg/L. Maksimipitoisuus ylittää tämän arvon alueella, jonka leveys lännestä itään on noin 300 m ja joka ulottuu padosta pohjoiseen noin 200 m päähän. Yli 5 mg/L maksimipitoisuuksia pohjalla esiintyy noin 2 km päähän padosta pohjoiseen. Jääpeitteisen ajan mallinukseen perustuva maksimipitoisuus pohjalla on esitetty kuvassa 5-10. Sen mukaan yli 5 mg/L maksimipitoisuuksia esiintyy selvästi pienemmällä alueella kuin jäättömänä aikana, mikä voi johtua sekä tuulen vaikutuksen puuttumisesta että purkuputken pienemmästä virtaamasta talviaikana. Purkuputken pään ympärillä suurimmat pitoisuudet ovat kuitenkin selvästi yli 40 mg/L myös jääpeitteisenä aikana.



Kuva 5-8. Mallinnettu sulfaattipitoisuuden jäättömän ajan keskiarvo (mg/L) Vajusen altaan pohjalla lähellä purkuputkea (kolmio) ja Vajukosken voimalaitosta.



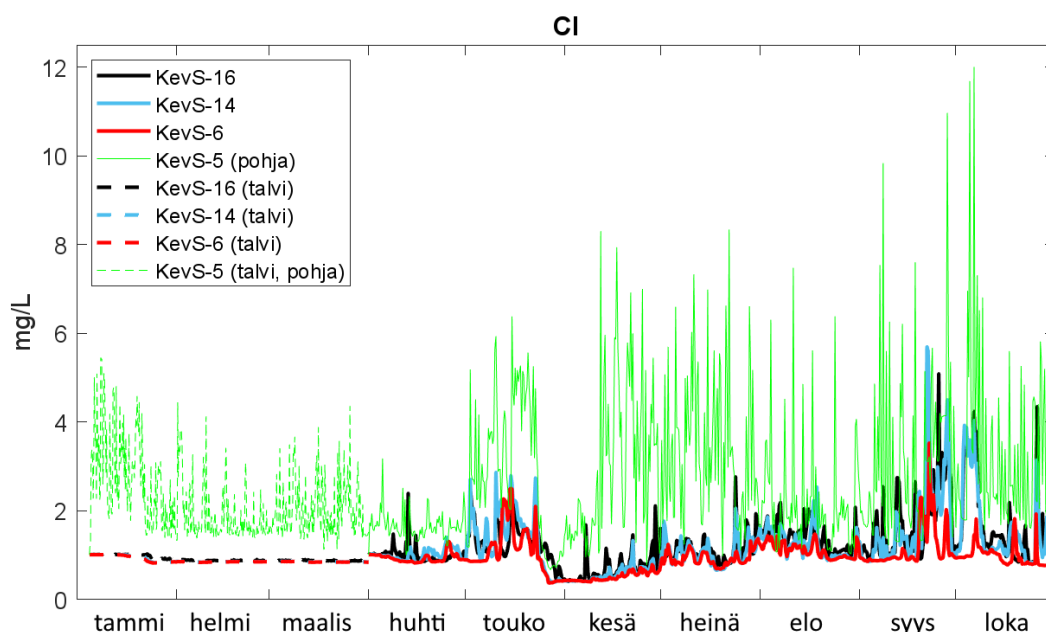
Kuva 5-9. Mallinnettu sulfaattipitoisuuden jäättömän ajan maksimi (mg/L) Vajusen altaan eteläosan pohjalla.



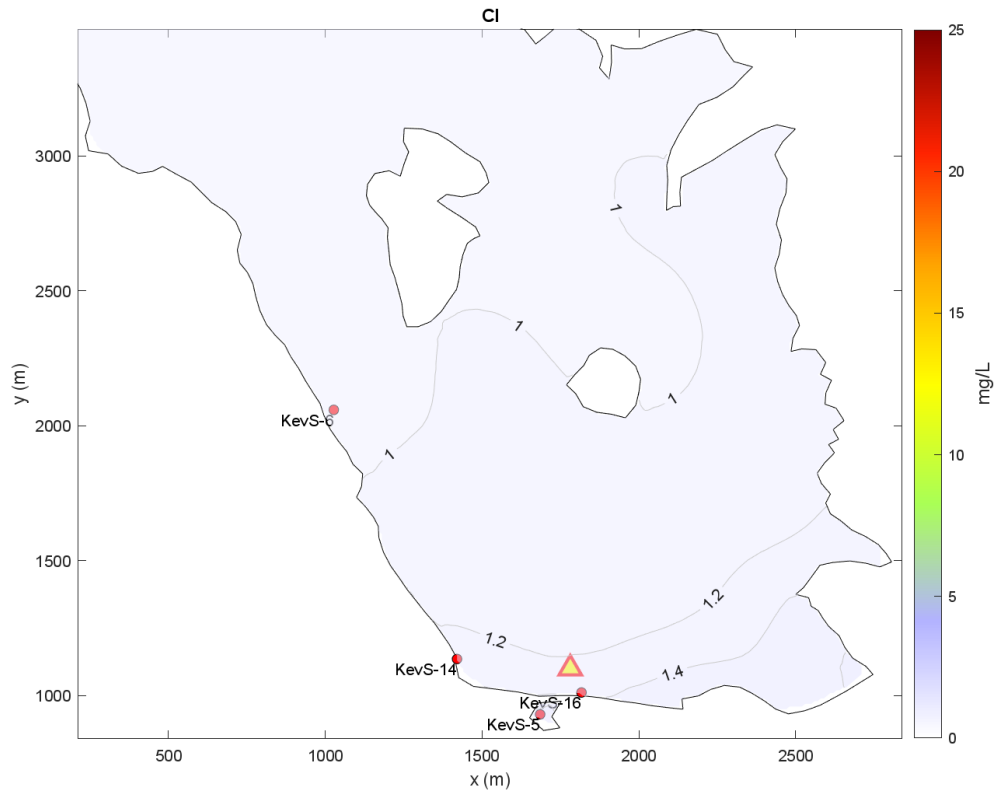
Kuva 5-10. Mallinnettu sulfaattipitoisuuden jääpeitteisen ajan maksimi (mg/L) Vajusen altaan eteläosan pohjalla.

5.2 Kloridi

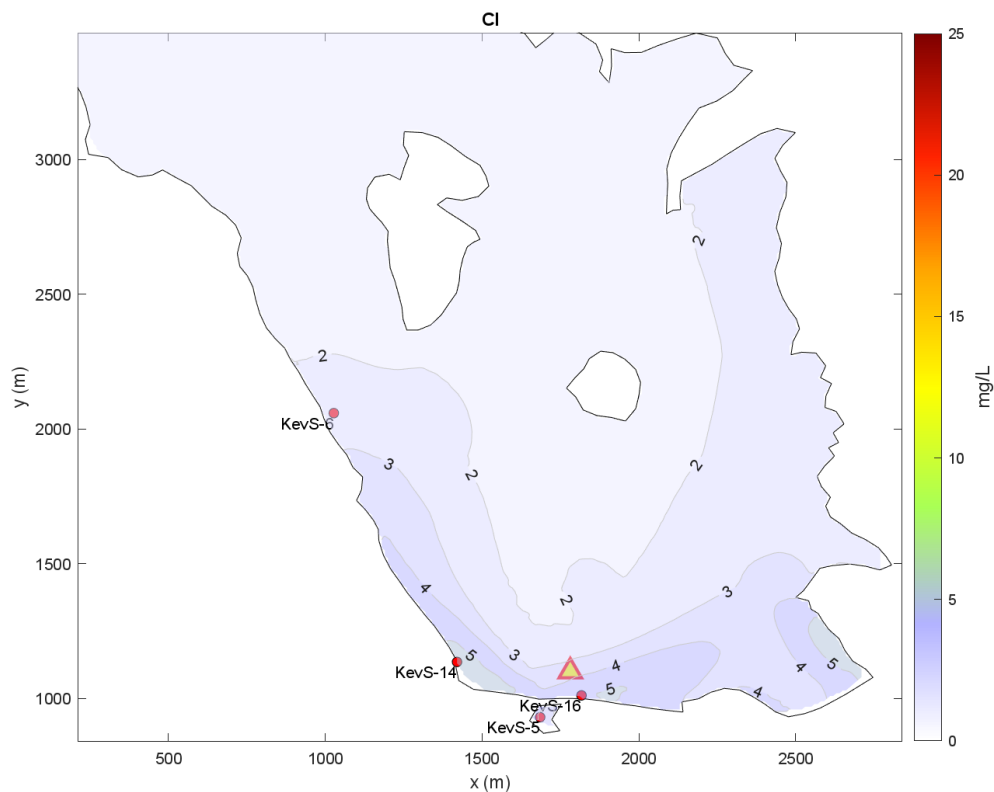
Kuvat 5-11, 5-12, 5-13, 5-14, 5-15 ja 5-16 esittävät mallinnustulokset kloridipitoisuuksista Vajusen altaan eteläosassa. Pitoisuudet on laskettu samoista suolaisuusarvoista kuin edellä esitetyt sulfaattia koskevat tulokset, ainoastaan pienemmällä verrannollisuuskertoimella, joten niiden suhteelliset erot ovat samanlaiset. Tulosten mukaan kloridipitoisuus vaihtelee Vajusen altaan seurantapisteissä enimmäkseen välillä 1–2 mg/L, mutta voi ajoittain nousta välille 5–6 mg/L. Vajukosken pohjalla tyypillinen vaihteluväli on talvella 2–4 ja kesällä 2–8 mg/L, mutta myös yli 10 mg/L pitoisuuksia esiintyy. Keskimääräinen pintaveden kloridipitoisuus nousee Vajusen altaan lounaisimmassa osassa noin 1,6 mg/L:aan, kun se on hieman alle 1 mg/L yli 1,5 km päässä padosta. Suurimmat pintaveden maksimipitoisuudet ovat 5–6 mg/L. Altaan pohjalla noin 200 m leveällä alueella purkuputken päään ympärillä keskimääräinen kloridipitoisuus ylittää 10 mg/L, maksimipitoisuus jäätömänä aikana 25 mg/L ja maksimipitoisuus jääpeitteisenä aikana 15 mg/L.



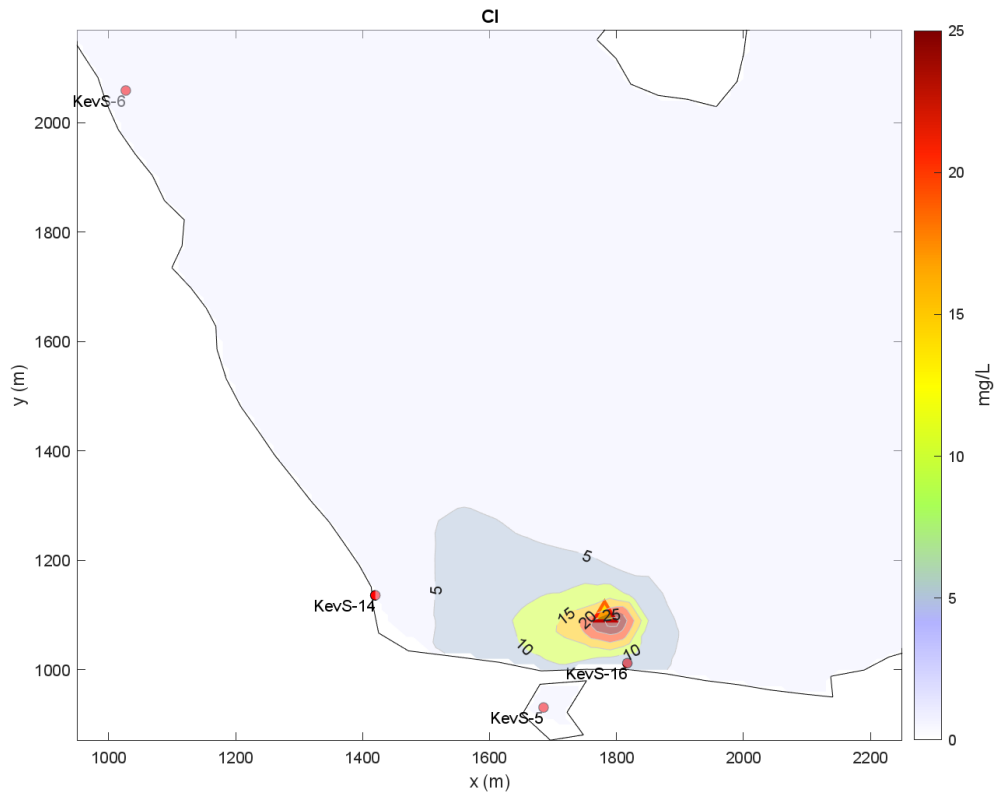
Kuva 5-11. Mallinnettu kloridipitoisuuden vaihtelu vesistötarkkailupisteissä. Piste KevS-5 tulokset ovat mallin alimmasta kerroksesta ja kuvaavat suurimpia pitoisuuksia Vajukoskessa, ja muut näytteenottoisyvyttä vastaavasta toiseksi ylimmästä kerroksesta.



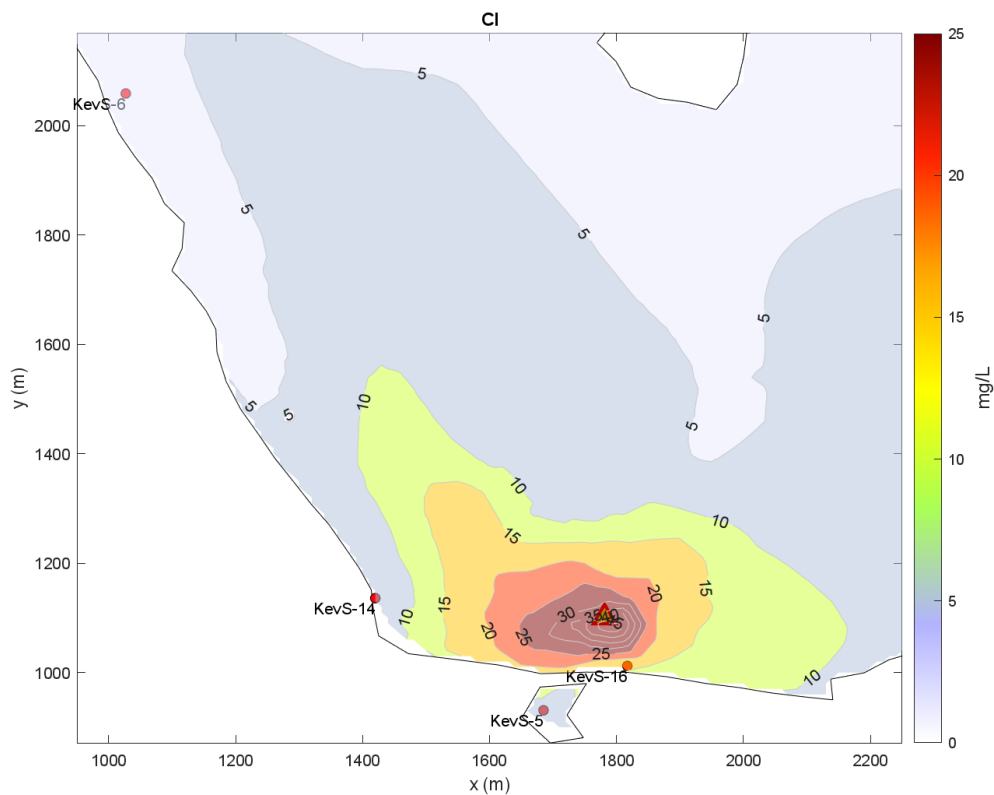
Kuva 5-12. Mallinnettu kloridipitoisuuden jäättömän ajan keskiarvo Vajusen altaan etelä-osan pintavedessä (mg/L). Purkuputken pään sijainti on merkitty kolmiolla.



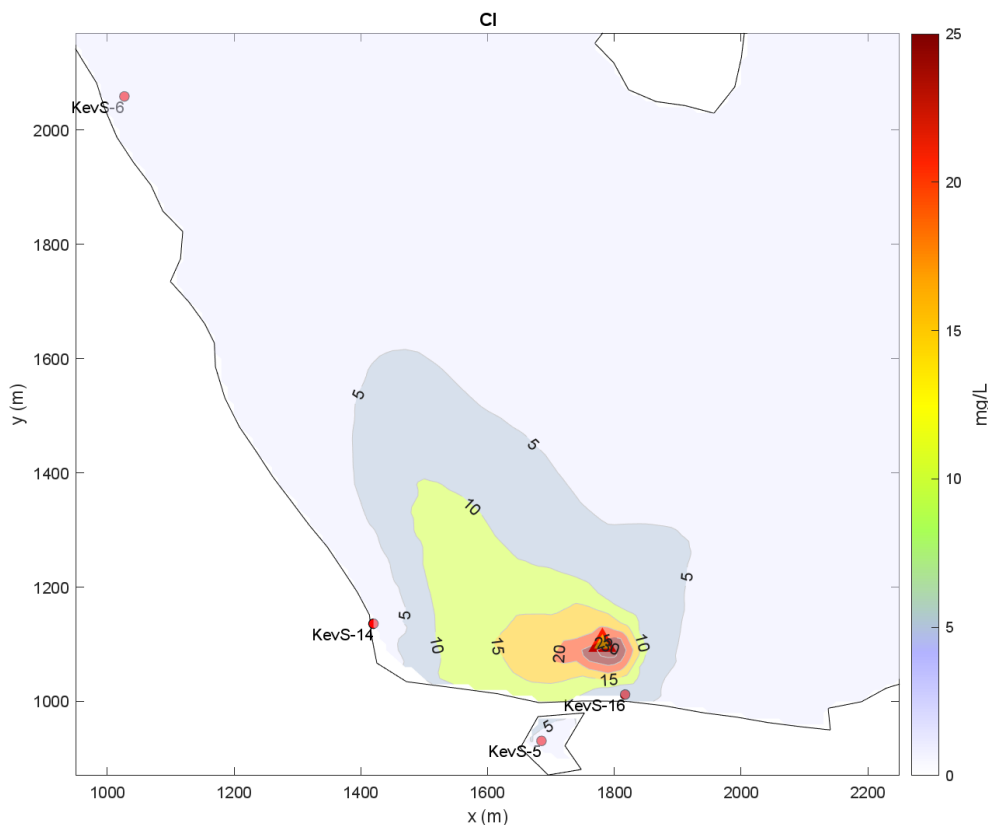
Kuva 5-13. Mallinnettu kloridipitoisuuden jäättömän ajan maksimi Vajusen altaan etelä-osan pintavedessä (mg/L). Purkuputken pään sijainti on merkitty kolmiolla.



Kuva 5-14. Mallinnettu kloridipitoisuuden jäättömän ajan keskiarvo (mg/L) Vajusen altaan eteläosan pohjalla.



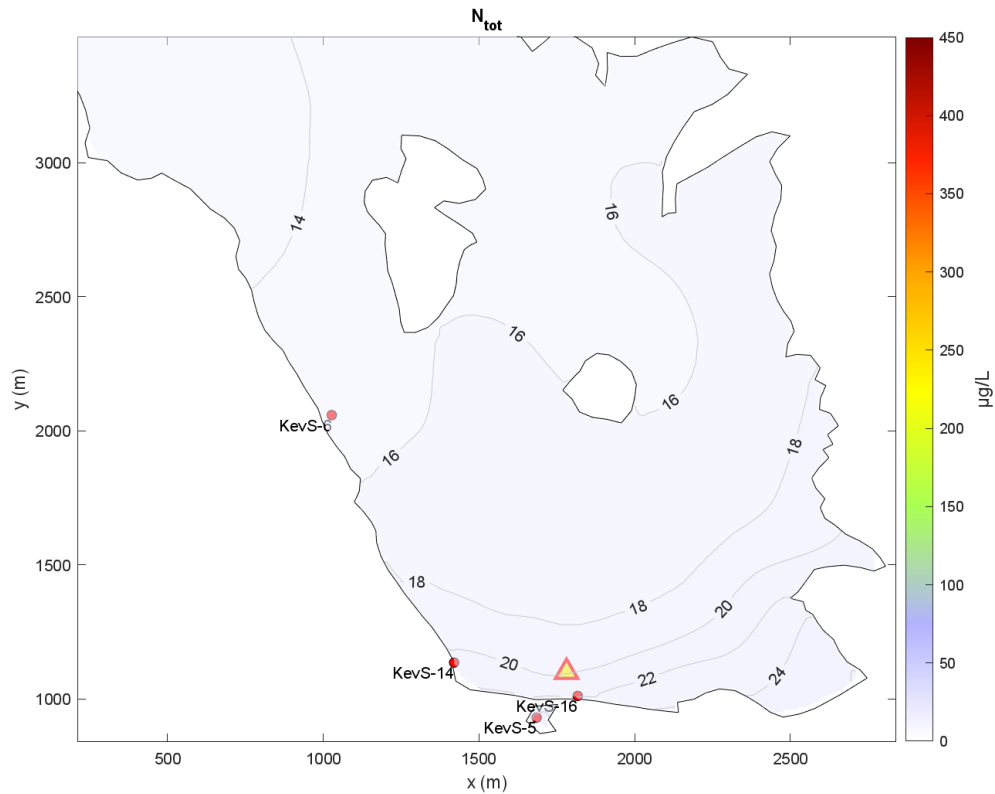
Kuva 5-15. Mallinnettu kloridipitoisuuden jäättömän ajan maksimi (mg/L) Vajusen altaan eteläosan pohjalla.



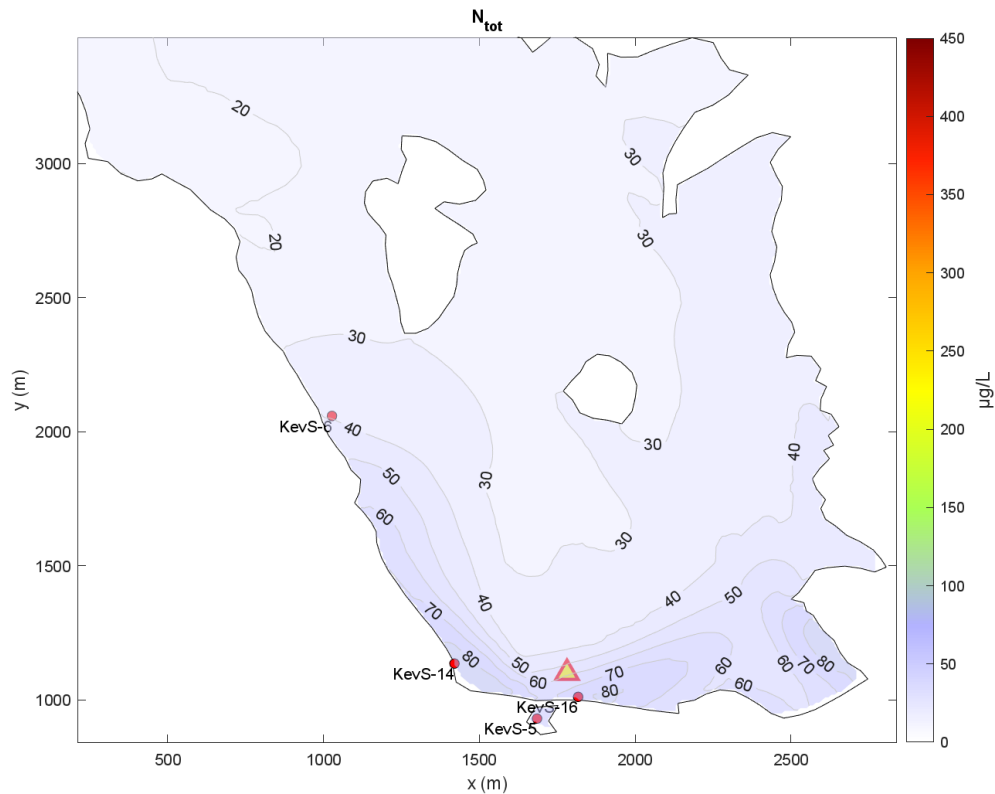
Kuva 5-16. Mallinnettu kloridipitoisuuden jääpeitteisen ajan maksimi (mg/L) Vajusen altaan eteläosan pohjalla.

5.3 Typpi

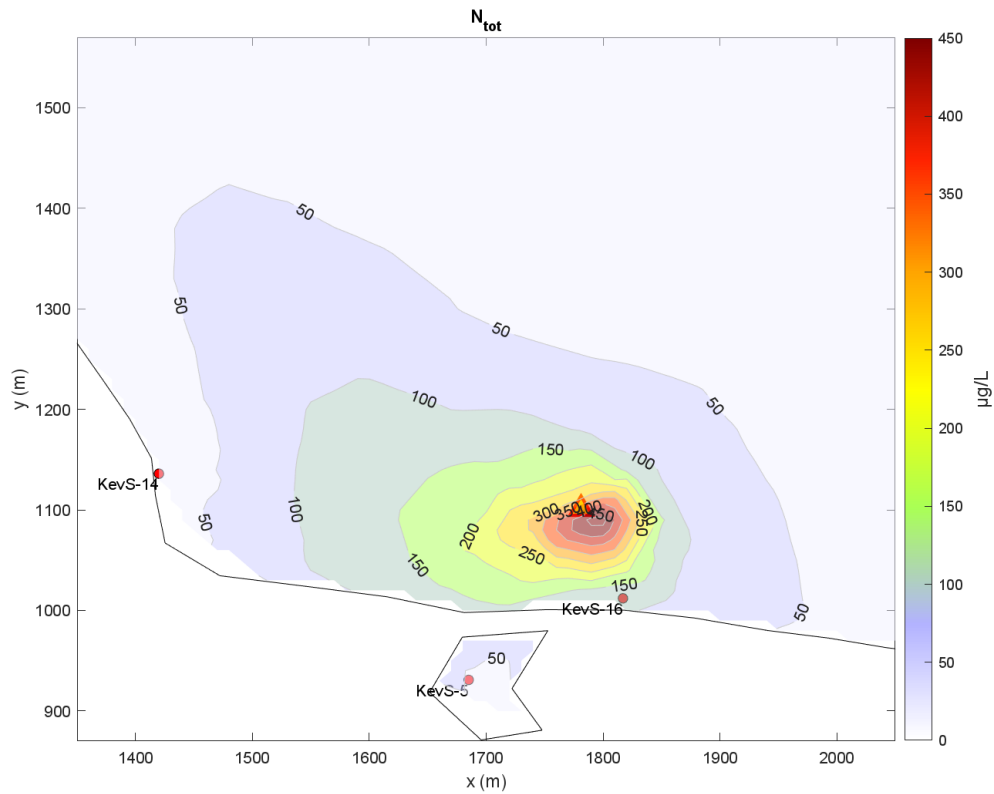
Kokonaistyyppipitoisuus laskettiin mallinnetusta veden suolaisuudesta purkuvedessä esiintyvän typen suhteellisen osuuden avulla. Vastaanottavassa vesistössä tiedetään typen suhteellisen osuuden suolaisuudesta olevan huomattavasti korkeampi, joten laskettu typpipitoisuus ei sisällä luonnollista taustaa vaan kuvaa karkeasti purkuveden vaikutusta siinä tapauksessa, että typpipitoisuus olisi muuten selvästi todellista pienempi. Siten kuvissa 5-17 ja 5-18 esitetyistä pitoisuusjakaumista voidaan päätellä, että pintavedessä purkuveden vaikutus typpipitoisuuden keskiarvoon on enimmillään noin 10 µg/L Vajusen altaan kaakkoispäässä ja maksimiin noin 60 µg/L sen eteläisillä reunoilla. Pohjalla olevan veden mallinnustulokset on esitetty kuvissa 5-19, 5-20 ja 5-21. Niiden mukaan laatu normi todennäköisesti ylittyy aivan purkuputken lähellä (alle 100 m säteellä), jossa purkuveden vaikutus typpipitoisuuteen on mallinnuksen mukaan keskimäärin 500 µg/L luokkaa ja enimmillään 700 µg/L.



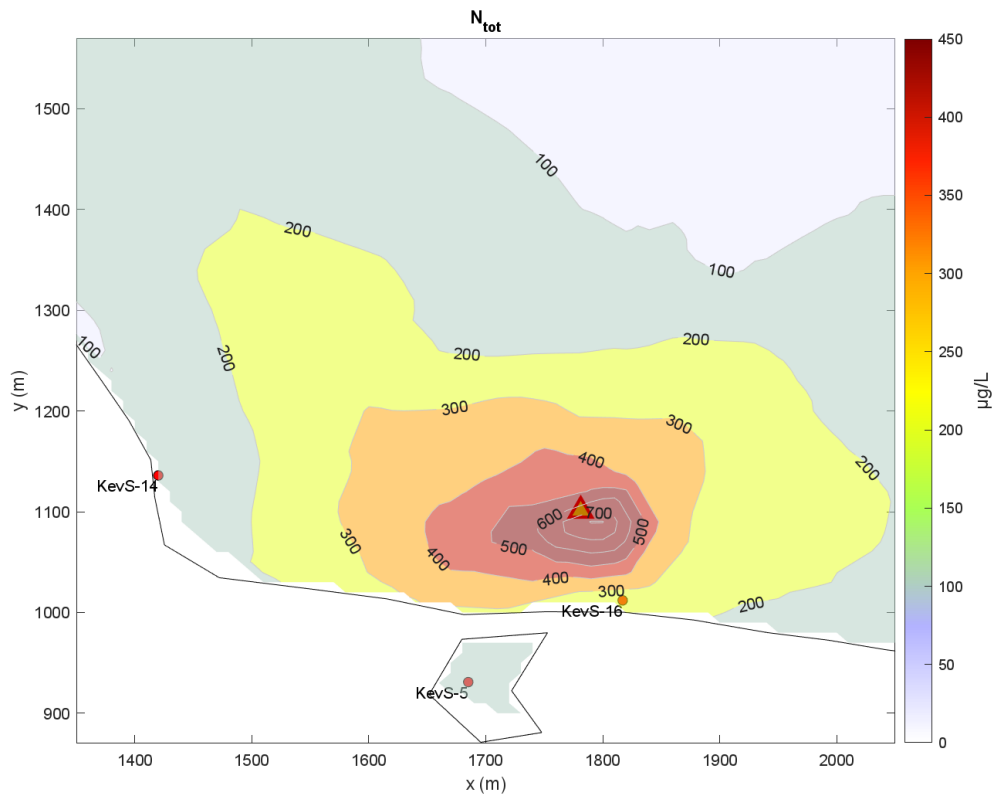
Kuva 5-17. Mallinnetusta Vajusen altaan eteläosan pintaveden suolaisuuden jäättömän ajan keskiarvosta laskettu kokonaistyyppipitoisuus ($\mu\text{g/L}$). Purkuputken pää sijainti on merkitty kolmiolla.



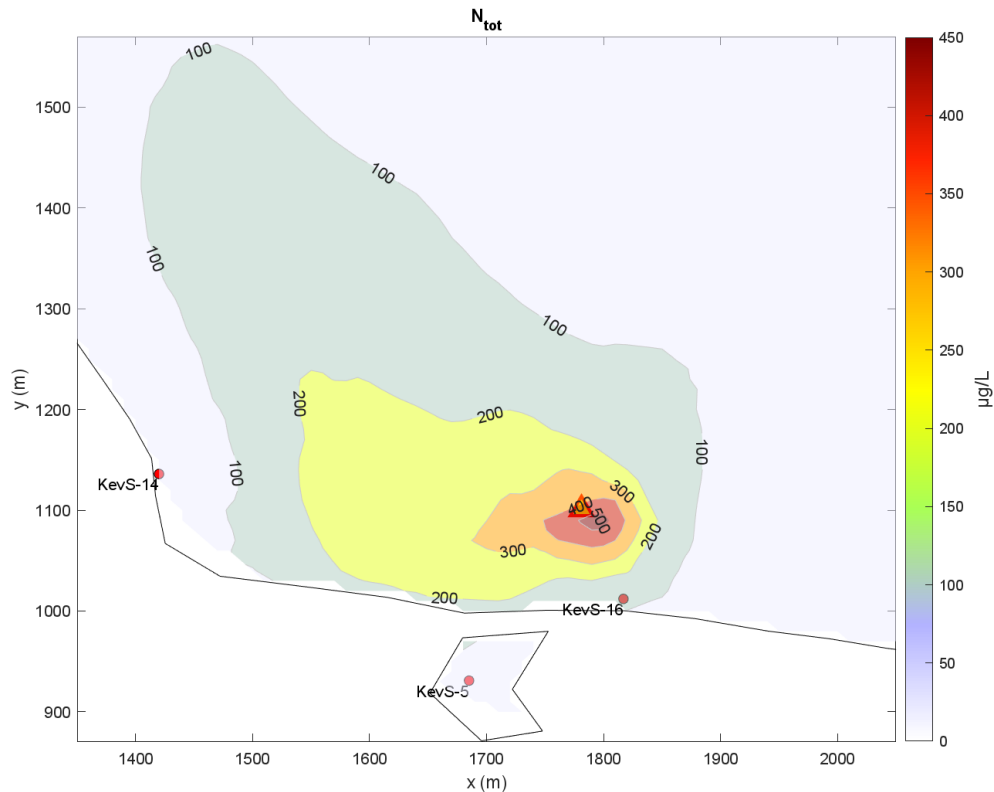
Kuva 5-18. Mallinnetusta Vajusen altaan eteläosan pintaveden suolaisuuden jäättömän ajan maksimista laskettu kokonaistyyppipitoisuus ($\mu\text{g/L}$). Purkuputken pää sijainti on merkitty kolmiolla.



Kuva 5-19. Mallinnetusta pohjalla olevan veden suolaisuuden jäättömän ajan keskiarvosta laskettu kokonaistyyppipitoisuus ($\mu\text{g/L}$) lähellä purkuputkea (kolmio) ja Vajukosken voimalaitosta.



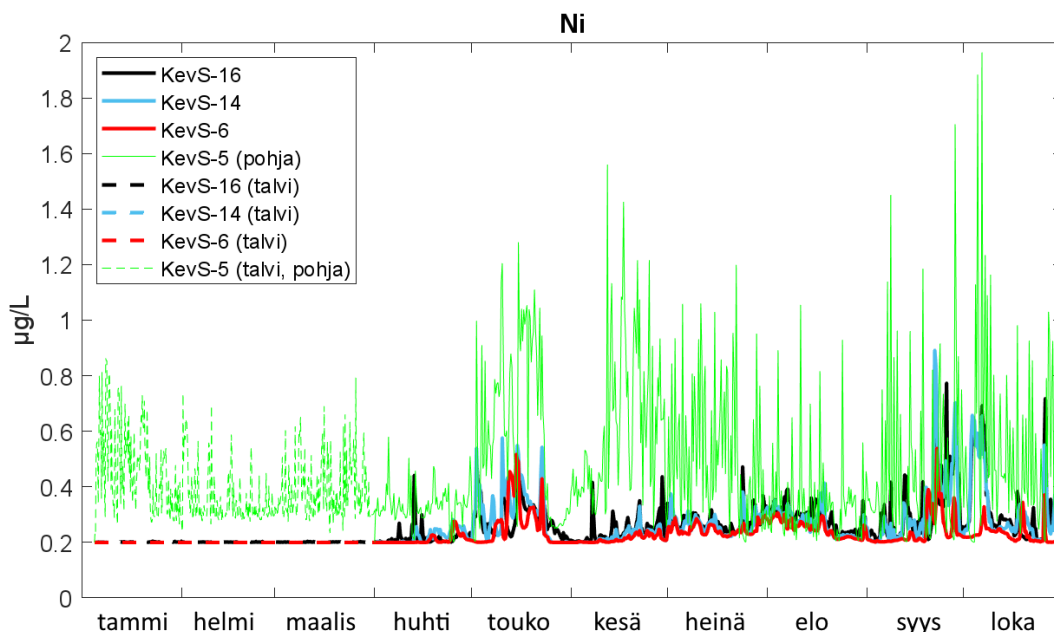
Kuva 5-20. Mallinnetusta pohjalla olevan veden suolaisuuden jäättömän ajan maksimista laskettu kokonaistyyppipitoisuus ($\mu\text{g/L}$) lähellä purkuputkea (kolmio) ja Vajukosken voimalaitosta.



Kuva 5-21. Mallinnetusta pohjalla olevan veden suolaisuuden jääpeitteisen ajan maksimista laskettu kokonaistyyppipitoisuus (µg/L) lähellä purkuputkea (kolmio) ja Vajukosken voimalaitosta.

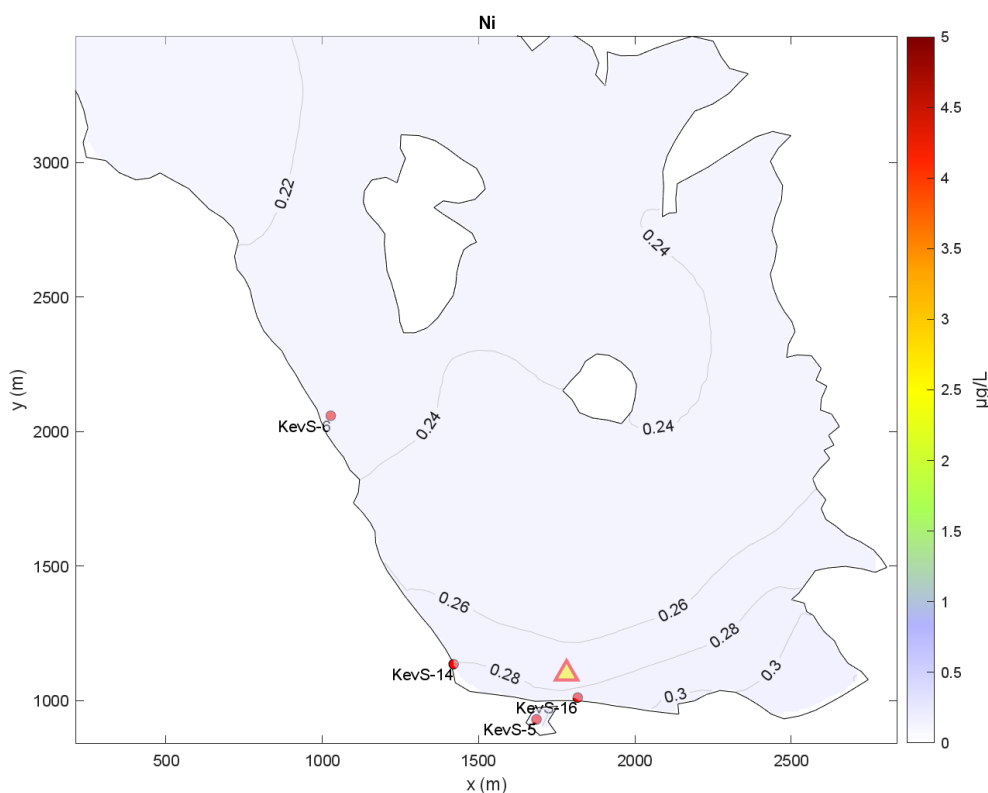
5.4 Nikkeli

Kuva 5-22 esittää mallinnetut nikkelpitoisuudet Vajusen altaan seurantapisteissä mallin toiseksi ylimmässä kerroksessa eli noin 1 m syvyydellä ja Vajukosken seurantapisteessä mallin alimmassa kerroksessa. Kuten mallin testausvaiheessa havaittiin vertaamalla seurantalutoksia ja vuonna 2020 toteutuneeseen kuormitukseen perustuvaa mallinnustulosta, on mahdollista, että Kitisen yläjuoksulta Vajusen altaaseen virtaavan veden sisältämä nikkeli nostaa pitoisuuksia ajoittain enemmän kuin mallilla laskettu purkuveden vaikutus. Tammikuun alusta maaliskuun loppuun tulokset ovat jääpeitteistä tilannetta kuvaavasta mallista, jossa pitoisuudet muissa kuin Vajukosken pisteessä pysyvät oletetussa 0,2 µg/L tausta-arvossa. Jäättömän ajan mallinnuksessa pitoisuudet seurantapisteissä vaihtelevat enimmäkseen välillä 0,2–0,4 µg/L, mutta nousevat varsinkin syksyllä ajoittain välille 0,6–0,9 µg/L. Vajukosken voimalaitoksesta virtaavassa vedessä voi mallinnuksen mukaan olla nikkeliä yleisesti 0,3–0,8 µg/L ja ajoittain lähes 2 µg/L.

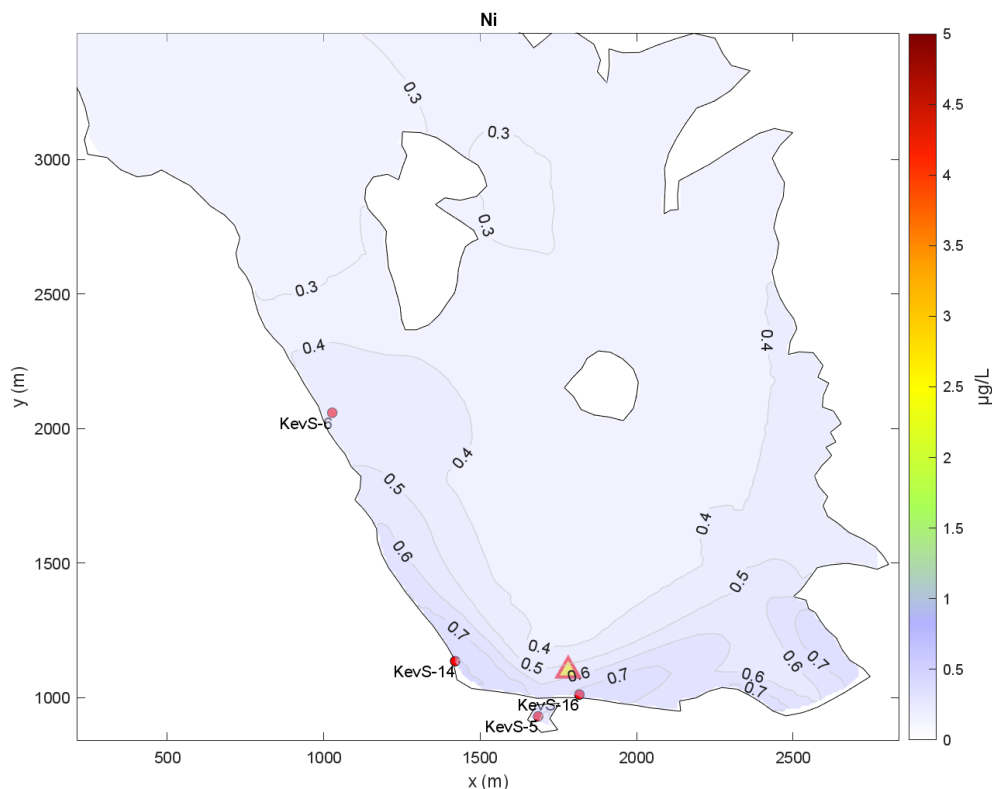


Kuva 5-22. Mallinnettu nikkelpitoisuuden vaihtelu vesistötarkkailupisteissä. Pisteiden KevS-5 tulokset ovat mallin alimmasta kerroksesta ja kuvaavat suurimpia pitoisuuksia Vajukoskessa, ja muut näytteenottosyvyyttä vastaavaksi toiseksi ylimmästä kerroksesta.

Kuvat 5-23 ja 5-24 esittävät jäättömän tilanteen mallinnuksen tuloksista lasketut pintaveden keskimääräisen ja suurimman nikkelpitoisuuden jakaumat Vajusen altaan eteläosassa. Purkuveden suurin vaikutus keskipitoisuuteen on altaan kaakkoisimmassa osassa, jossa se nousee oletetusta 0,2 µg/L:sta hieman yli 0,3 µg/L:aan. Maksimipitoisuus on suurimmillaan etelä- ja kaakkoisreunoilla noin 0,8 µg/L.

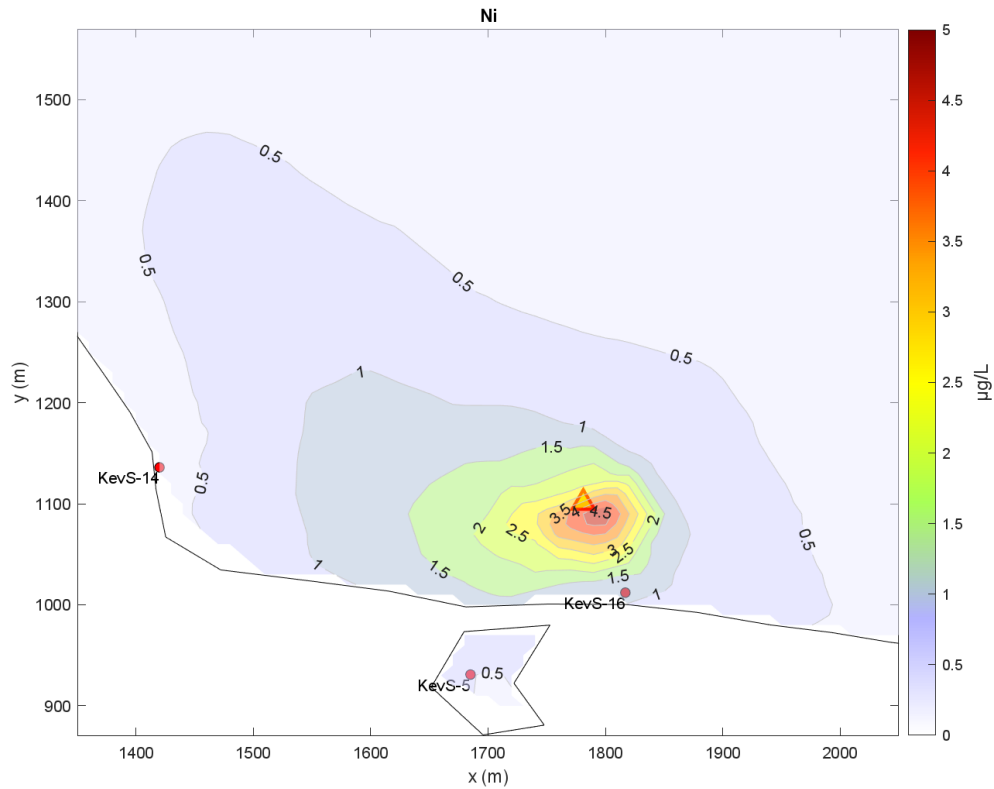


Kuva 5-23. Mallinnettu nikkelpitoisuuden jäättömän ajan keskiarvo Vajusen altaan eteläosan pintavedessä (µg/L). Purkuputken päänsijainti on merkitty kolmiolla.

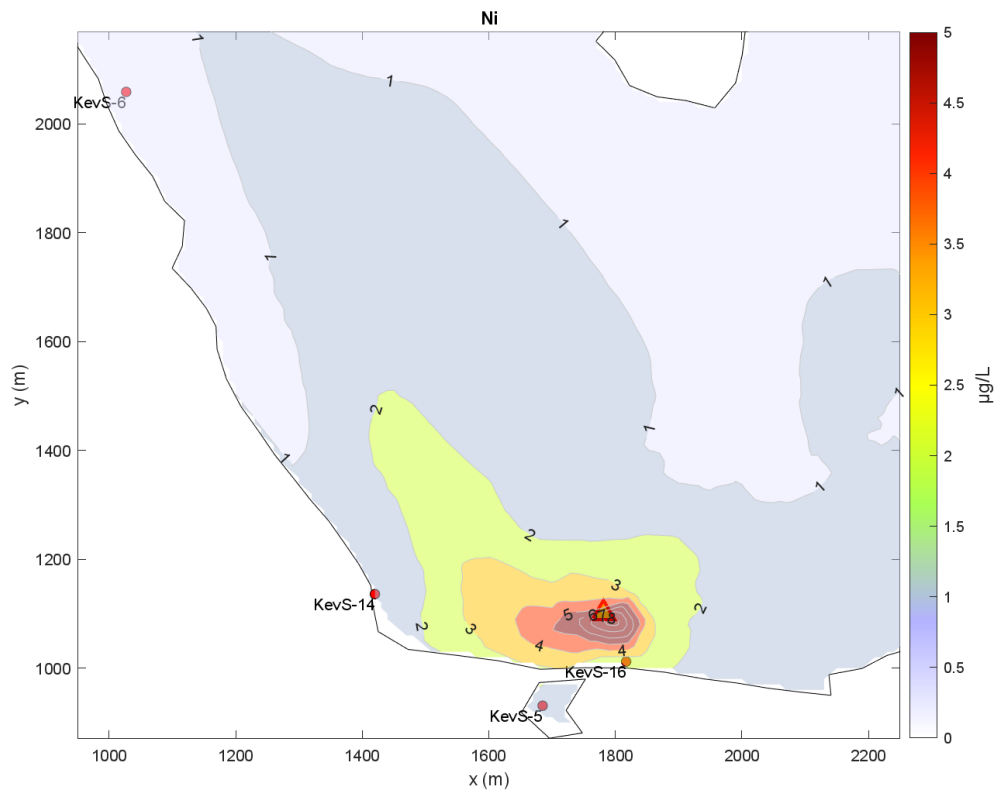


Kuva 5-24. Mallinnettu nikkelpitoisuuden jäättömän ajan maksimi Vajusen altaan eteläosan pintavedessä (µg/L). Purkuputken pää sijainti on merkitty kolmiolla.

Mallinnetun nikkelpitoisuuden jäättömän ajan keskiarvon ja maksimin jakaumat purkuputken pää ja Vajukosken voimalaitoksen lähellä altaan pohjalla on esitetty kuvissa 5-25 ja 5-26. Tulosten mukaan nikkelpitoisuuden keskiarvo ei ylitä laatu normia 5 µg/L missään mallinnetussa pisteessä, mutta maksimipitoisuuksia väliltä 5–8 µg/L esiintyy leveydeltään noin 100-metrisellä alueella purkuputken pää ympärillä.



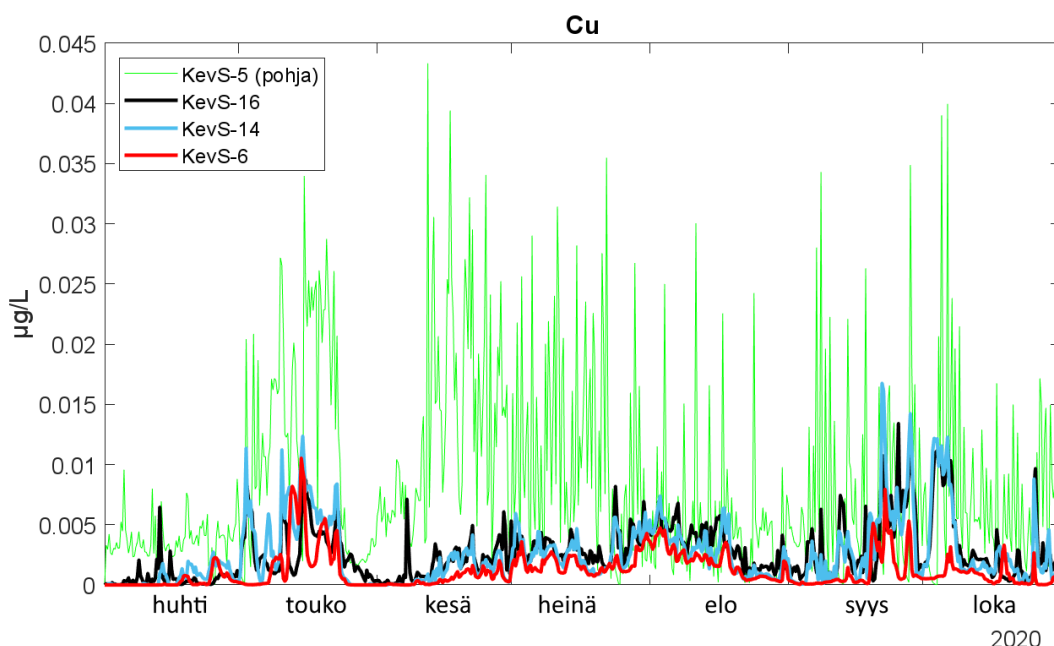
Kuva 5-25. Mallinnettu nikkelpitoisuuden jäättömän ajan keskiarvo ($\mu\text{g/L}$) Vajusen al- taan pohjalla lähellä purkuputkea (kolmio) ja Vajukosken voimalaitosta.



Kuva 5-26. Mallinnettu nikkelpitoisuuden jäättömän ajan maksimi ($\mu\text{g/L}$) Vajusen al- taan eteläosan pohjalla.

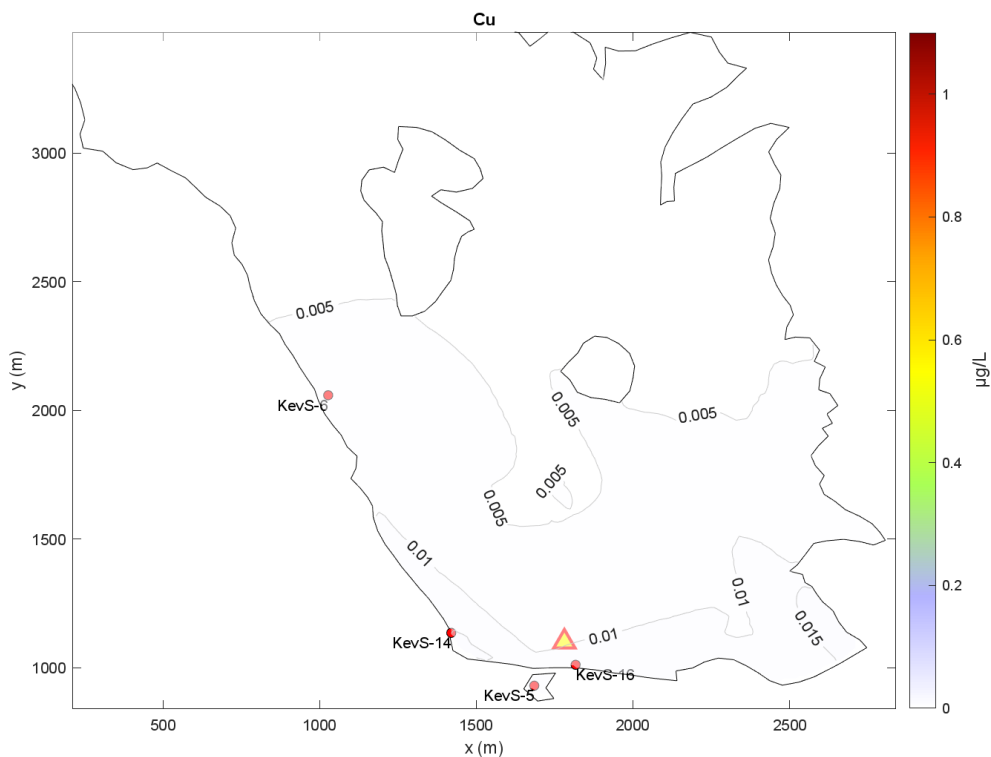
5.5 Kupari

Kuva 5-27 esittää mallinnetut kuparipitoisuudet Vajusen altaan seurantapisteissä mallin toiseksi ylimmässä kerroksessa (noin 1 m syvyydellä) ja Vajukosken seurantapisteessä mallin alimmassa kerroksessa. Kuparipitoisuutta mallinnettiin vain jäätömälle ajalle huhtikuun alusta lokakuun loppuun. Kuparille ei oletettu taustapitoisuutta muualta kuin purkupuutkesta tuleville virtauksille, joten tulos edustaa vain purkuveden vaikutusta. Vajusen altaan seurantapisteissä kuparipitoisuus on lähes koko mallinnetun ajan selvästi alle 0,01 µg/L, mutta nousee muutamia kertoja lyhyeksi ajaksi välille 0,005–0,015 µg/L. Vajukosken pohjalla veden kuparipitoisuus nousee ajoittain noin 0,04 µg/L:aan, mutta pysyy enimmäkseen välillä 0,005–0,03 µg/L.

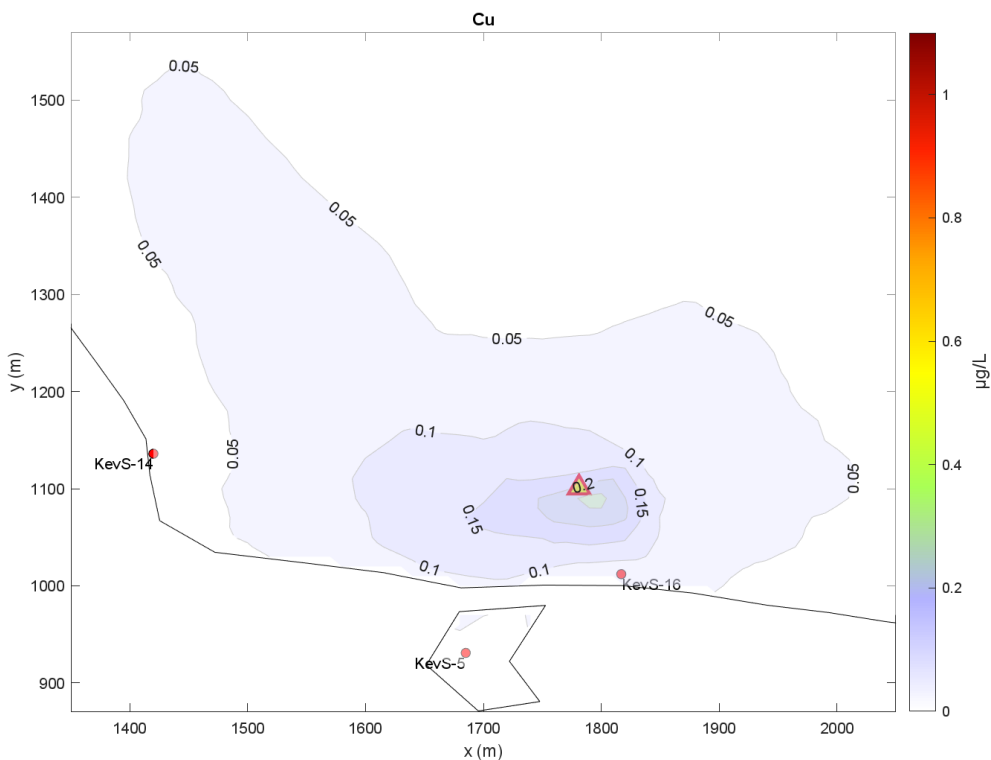


Kuva 5-27. Mallinnettu purkuvedestä peräisin olevan kuparin pitoisuuden vaihtelu vesistötarkkailupisteissä. Piste KevS-5 tulokset ovat mallin alimmasta kerroksesta ja kuvaavat suurinta vaikutusta Vajukoskessa, ja muut näytteenottosyvyyttä vastaavasta toiseksi ylimmästä kerroksesta.

Kuva 5-28 esittää mallinnukseen perustuvan suurimman kuparipitoisuuden jakauman Vajusen altaan eteläosan pintavedessä ja kuva 5-29 suurimman pitoisuuden jakauman altaan pohjalla purkupuutken pää ja Vajukosken voimalaitoksen lähellä. Pintavedessä mallinnetut pitoisuudet ovat suurimmillaankin vain murto-osa vedenlaadun seurannassa havaituista, mikä viittaa siihen, että purkuvedessä olevan kuparin vaikutus on hyvin vähäinen. Altaan pohjalla purkupuutken pää ympärillä suurin mallinnettu pitoisuus on noin 0,2 µg/L, eli purkuveden vaikutus on siellä samaa luokkaa kuin seurantatuloksista arvioitu luonnollinen tausta.



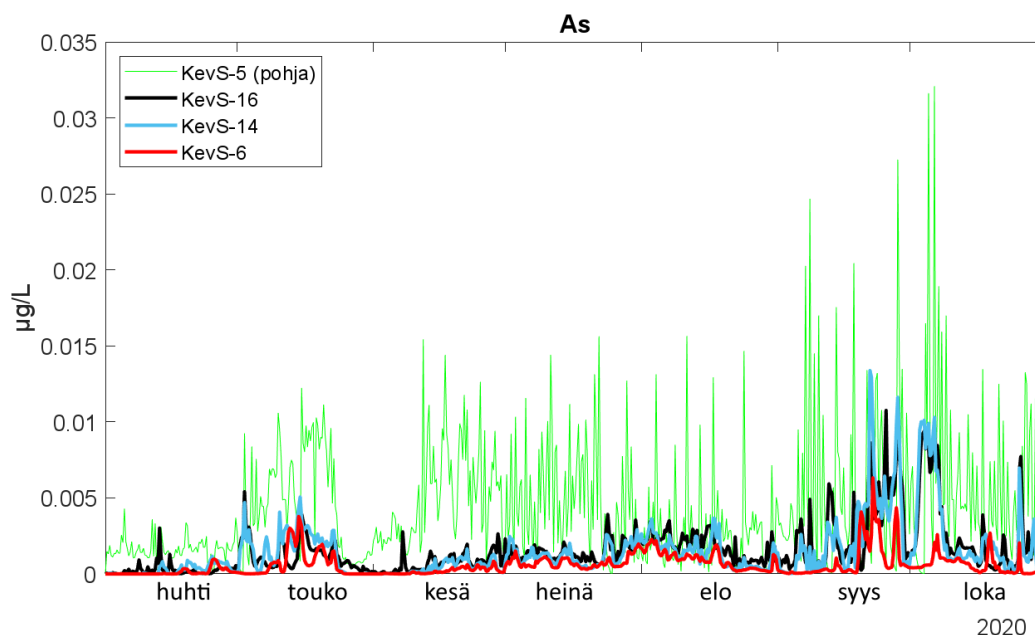
Kuva 5-28. Mallinnettu purkuvedestä peräisin olevan kuparin pitoisuuden jäättömän ajan maksimi Vajusen altaan eteläosan pintavedessä (µg/L). Purkuputken päin sijainti on merkitty kolmiolla.



Kuva 5-29. Mallinnettu purkuvedestä peräisin olevan kuparin pitoisuuden jäättömän ajan maksimi (µg/L) Vajusen altaan pohjalla lähellä purkuputkea (kolmio) ja Vajukosken voimalaitosta.

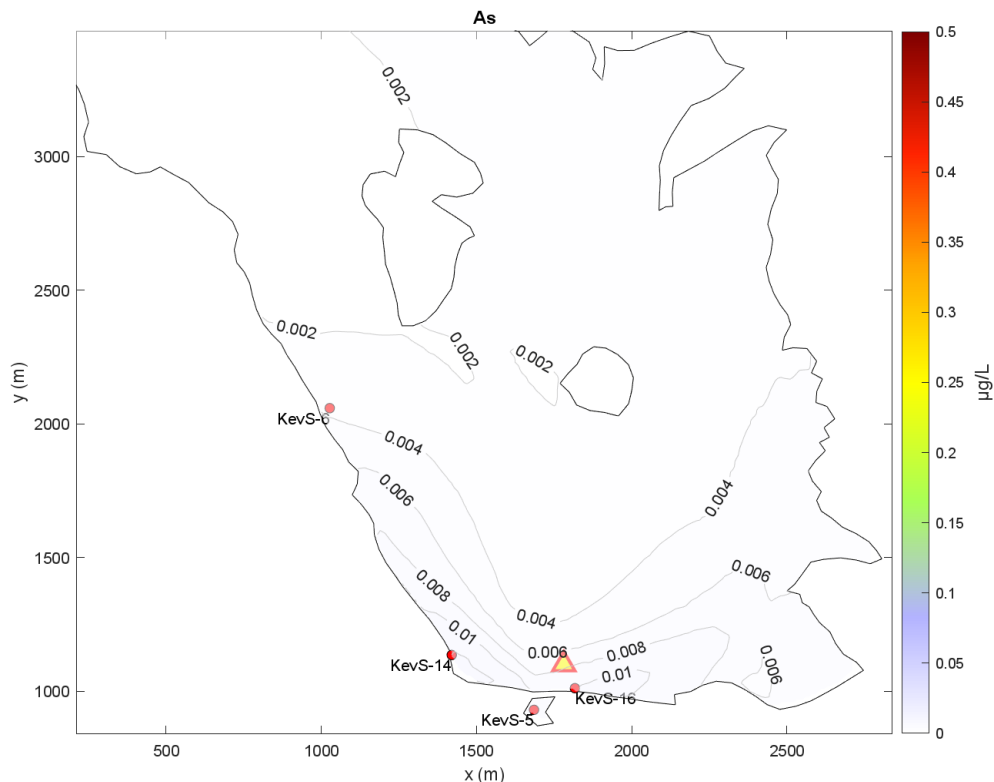
5.6 Arseeni

Kuva 5-30 esittää mallinnetut arseenipitoisuudet Vajusen altaan seurantapisteissä mallin toiseksi ylimmässä kerroksessa (noin 1 m syvyydellä) ja Vajukosken seurantapisteessä mallin alimmassa kerroksessa. Pisteissä KevS-14 ja KevS-16 mallinnettu pitoisuus kohoaa syksyllä ajoittain välille 0,005–0,015 µg/L ja myös pohjoisemmassa pisteessä KevS-6 noin 0,005 µg/L:aan, mutta suurimman osan ajasta pitoisuus on kaikissa kolmessa Vajusen altaan seurantapisteessä selvästi alle 0,005 µg/L. Vajukoskessa pitoisuuden lyhytaikaiset huippuarvot ovat luokkaa 0,03 µg/L mutta enimmäkseen pitoisuus vaihtelee välillä 0,002–0,015 µg/L. Purkuveden arseenin mallinnettu vaikutus on siten huomattavasti pienempi kuin seurannassa havaitut noin 0,1–0,2 µg/L pitoisuudet eikä vaikuta havaittavasti keskimääräiseen pitoisuuteen Vajusessa.

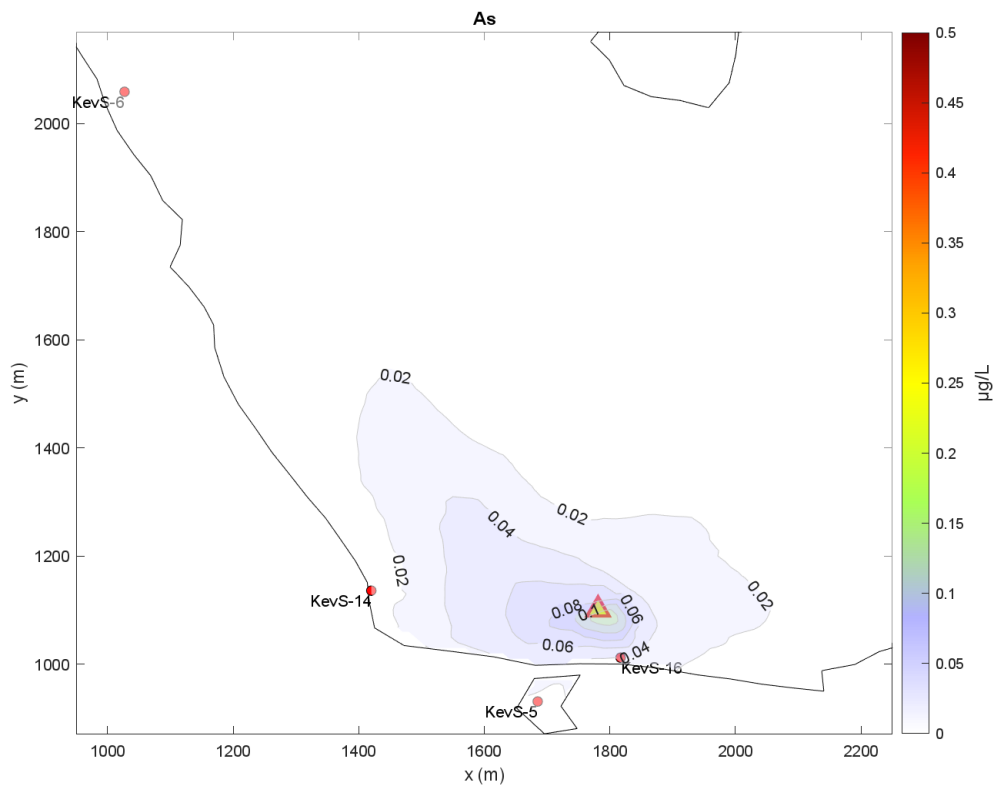


Kuva 5-30. Mallinnettu purkuvedestä peräisin olevan arseenin pitoisuuden vaihtelu vesistötarkkailupisteissä. Pisteiden KevS-5 tulokset ovat mallin alimmasta kerroksesta ja kuvaavat suurinta vaikutusta Vajukoskessa, ja muut näytteenottosyvyyttä vastaavasta toiseksi ylimmästä kerroksesta.

Kuvat 5-31 ja 5-32 esittävät mallinnustuloksista määritetyt suurimman arseenipitoisuuden jakaumat Vajusen altaan pintavedessä ja pohjalla purkuputken pään ja Vajukosken voimalaitoksen lähellä. Tulosten perusteella purkuveden maksimivaikutus pintaveden arseenipitoisuuteen on noin 0,012 µg/L Vajusen altaan eteläreunan länsipäässä ja vähenee pohjoiseen päin 1 km matkalla alle 0,004 µg/L:aan. Pohjalla purkuputken pään ympärillä on halkaisijaltaan noin 200-metrinen alue, jossa purkuveden vaikutus voi ylittää 0,06 µg/L.



Kuva 5-31. Mallinnettu purkuvedestä peräisin olevan arseenin pitoisuuden jäättömän ajan maksimi Vajusen altaan eteläosan pintavedessä ($\mu\text{g/L}$). Purkuputken pää sijainti on merkitty kolmiolla.



Kuva 5-32. Mallinnettu purkuvedestä peräisin olevan arseenin pitoisuuden jäättömän ajan maksimi ($\mu\text{g/L}$) Vajusen altaan eteläosan pohjalla. Purkuputken pää sijainti on merkitty kolmiolla.

6 LASKENNAN EPÄVARMUUKSIEN ARVIOINTI

Numeeriseen mallinnukseen liittyy aina epätarkkuutta, joka johtuu esimerkiksi ajan ja paikan diskretoinnista, rajallisesta laskentatarkkuudesta ja epälineaaristen mallinnusyhtälöiden likimääräisistä ratkaisumenetelmistä. Näiden yleisten epävarmuustekijöiden lisäksi tässä vesistömallinnuksessa ilmeisiä epätarkkuuden ja epävarmuuden lähteitä ovat laskennallisten säätietojen käyttö ja se, että tiettyä mennyttä vuotta koskevat tuntikohtaiset virtaama- ja säätiedot oli yhdistettävä tulevaisuuden purkuveden määrää ja laatua kuvaaviin, kuukausikeskiarvoina annettuihin vesi- ja kuormatasemallinnuksen tuloksiin. Näiden epävarmuustekijöiden vaikutusta kuitenkin vähentää se, että tarkastellaan keskimääräisiä tuloksia yli puolen vuoden jaksolle tehdyistä simulaatioista.

Oletettavasti merkittävämpää epävarmuutta liittyy kahteen tälle vesistömallinnukselle erityiseen piirteeseen: Vajukosken voimalaitospadon ylä- ja alapuoliseen paikallisesti voimakkaaseen ja nopeasti vaihtelevaan virtaukseen ja purkuveden ja Vajusen veden tiheys- ja koostumuserojen kuvaamiseen yhden suolaisuusarvon avulla. Padon lähialueen voimakas, mahdollisesti pyörteinen virtaus ja sen vaikutus veden sekoittumiseen on ilmiö, jonka tarkka mallintaminen vaatisi paikallisempaa virtausdynaamista simulointia. Suolaisuuteen liittyvä epävarmuus johtuu osittain mallinnusohjelmasta, jonka alkuperäinen sovelluskohde on rannikkovesien ja jokisuistojen mallinnus, ja jossa sen vuoksi veden tiheyden riippuvuus suolaisuudesta perustuu meriveden koostumukseen. Lisäksi vesi- ja kuormatasemallinnuksesta saatujen pitoisuuksien mukaisessa vesiliuoksessa olisi huomattava varausepätasapaino, joten ne eivät kuvaa realistisesti purkuveden koko ionisisältöä.

Mainittujen epävarmuustekijöiden vuoksi mallinnettujen keskimääräisten pitoisuuksien epätarkkuus on vähintään kymmeniä prosentteja ottamatta huomioon vesi- ja kuormatasemallinnuksen tulosten epävarmuutta. Kuormituksen määrä ja Kitisen virtaama tunnetaan tarkemmin kuin veden sekoittumiseen ja kerrostumiseen vaikuttavat tekijät, joten mallinnuksen epävarmuus liittyy erityisesti siihen, miten laajalle alueelle Vajusen altaan eteläosassa päästöjen vaikutus ulottuu ja miten voimakkaasti ne kertyvät sen pohjalle.

7 YHTEENVETO

Kevitsan kaivoksen purkuputkea pitkin Vajusen altaaseen johdettavan veden vaikutusta vedenlaatuun kaivoksen toiminnan aikana arvioitiin laskennallisen vesistömallin avulla. Lähtötietoina purkuveden määrästä ja laadusta käytettiin vesi- ja kuormatasemallinnuksen tuloksia. Niiden mukaan kolmessa hankevaihtoehdossa VE0, VE1.1 ja VE1.3, joita verrataan kaivoksen louhintavaiheen 5 ympäristövaikutusten arvioinnissa, purkuvedestä johutuva kuormitus on likimain sama ja sen vuodenaikavaihtelu suurempaa kuin vaihtoehtojen väliset erot, joten samat vesistömallinnuksen tulokset kuvaavat yhtä hyvin kaikkia kolmea hankevaihtoehtoa ja niiden vaikutukset vesistön vedenlaatuun ovat yhtenevät.

Vesi- ja kuormatasemallinnuksesta saatuja eri aineiden pitoisuuksia purkuvedessä verrattiin vesistöjä koskeviin ympäristönlautunormeihin ja valittiin vesistömallilla tarkasteltaviksi päästöiksi sulfaatti, kloridi, typpi, nikkeli, kupari ja arseeni. Kaikkien näiden aineiden päästöt jatkuvat likimain samansuuruisina kuin nykyisin, joten oli odotettavissa, että mallinnettu vedenlaatukaan ei merkittävästi poikkea tähänastisessa seurannassa havaitusta. Siihen myös saadut tulokset viittaavat. Tulosten mukaan sulfaatin, kloridin ja nikkelin pitoisuuksissa Vajusen altaan pintavedessä voi tulevaisuudessakin esiintyä taustatasosta erotuvia tai jopa jonkin verran sitä suurempia hetkellisiä nousuja sopivissa virtaus- ja sääolosuhteissa, mutta niin keskipitoisuudet kuin maksimipitoisuudetkin jäävät selvästi nykyisten

tai ehdotettujen laatu normien alapuolelle. Purkuveden vaikutus typen kokonaispitoisuu-
teen pintavedessä on vähäinen verrattuna taustatasoon.

Toisaalta mallinnustulokset viittaavat siihen, että kerrostumisen takia ainakin sulfaatin,
kloridin ja typen, ja mahdollisesti myös nikkelin, laatu normit ylittyvät paikallisesti purku-
putken lähellä Vajusen altaan pohjalla. Sulfaatilla alue, jolla keskipitoisuus pohjalla mallin-
nuksen mukaan ylittää ehdotetun raja-arvon, on halkaisijaltaan 100 metrin luokkaa, ja
muilla aineilla pienempi. Raja-arvojen ylityksiä voi tapahtua selvästi laajemmalla, useiden
satojen metrien levyisellä alueella. Kuparin ja arseenin mallinnustulosten mukaan purku-
veden vaikutus on altaan pohjallakin vähäinen raja-arvoihin, havaittuun taustaan ja muista
lähteistä johtuvaan pitoisuuden vaihteluun verrattuna.

8 LÄHDELUETTELO

Boliden Kevitsa (2022): Kevitsan kaivoksen kuormituksen vaikutus Kitisen ainepitoisuu-
siin vesistömallilla tarkasteltuna.

Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Biavati, G., Horányi, A., Muñoz Sabater, J., Nicolas,
J., Peubey, C., Radu, R., Rozum, I., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Dee, D., Thépaut,
J.-N. (2023): ERA5 hourly data on single levels from 1940 to present. Copernicus Climate
Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS), DOI: [10.24381/cds.adbb2d47](https://doi.org/10.24381/cds.adbb2d47) (haettu
12.–22.8.2025)