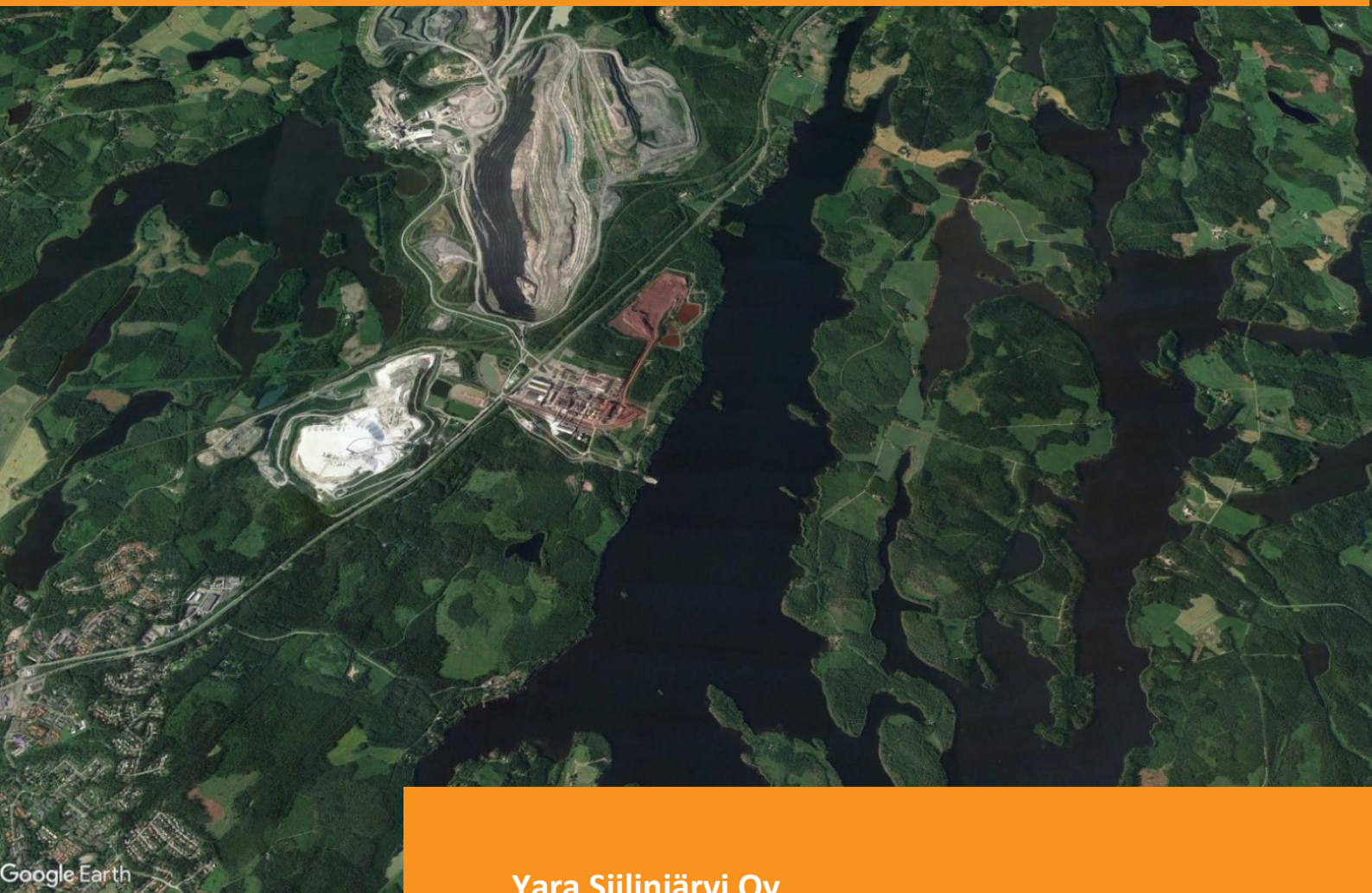




Yara Siilinjärvi Oy

# KUUSLAHDEN 3D-VIRTAUS- JA KULKEUTUMISMALLINNUS

26.1.2024

Yara Siilinjärvi Oy

Hanna Luukkonen

Envineer Oy

Saara-Maria Muurinen

Matias Viitasalo

Anssi Sohlman

Anna Raatevaara

[etunimi.sukunimi@envineer.fi](mailto:etunimi.sukunimi@envineer.fi)

[www.envineer.fi](http://www.envineer.fi)

Y-tunnus: 2850396-1

Projektikumppanit:

T:mi Timo Huttula Environmental Consulting

Timo Huttula (Mallin parametrisointi, kalibrointi ja raportointi)

Vesi-Eko Oy Water-Eco Ltd

Erkki Saarijärvi (Mallin parametrisointi, kalibrointi ja raportointi)

FCG Finland Oy

Henna Ruuth (vertaisarviointi)

Projektinumero: 11793

Kannen kuva: Google Earth, 2023

# SISÄLLYSLUETTELO

|       |                                                     |    |
|-------|-----------------------------------------------------|----|
| 1     | Johdanto.....                                       | 5  |
|       | OSA 1 MALLIN KUVAUS.....                            | 6  |
| 2     | Mallinnusohjelmisto .....                           | 7  |
| 3     | Nykytilan mallinnus.....                            | 8  |
| 3.1   | Vesistön kuvaus.....                                | 8  |
| 3.2   | Mallinnusalue .....                                 | 9  |
| 3.3   | Malliajot.....                                      | 11 |
| 3.4   | Lähtötiedot .....                                   | 13 |
| 3.4.1 | Säätiedot .....                                     | 13 |
| 3.4.2 | Vedenkorkeus .....                                  | 14 |
| 3.4.3 | Virtaamat ja vesitase.....                          | 15 |
| 3.4.4 | Veden lämpötila .....                               | 16 |
| 3.4.5 | Pitoisuustiedot ja ainetase.....                    | 16 |
| 3.4.6 | Alkutilanteet.....                                  | 18 |
| 3.5   | Kalibrointi ja validointi.....                      | 18 |
| 3.6   | Herkkyystarkastelu .....                            | 18 |
| 4     | Nykytilan tulokset .....                            | 19 |
| 4.1   | Kalibrointi ja validointi.....                      | 19 |
| 4.2   | Jääolosuhteet .....                                 | 20 |
| 4.3   | Nykytilan ajot.....                                 | 20 |
| 4.3.1 | Tavanomainen säävuosi.....                          | 21 |
| 4.3.2 | Sateinen säävuosi.....                              | 22 |
| 4.3.3 | Kuiva säävuosi .....                                | 24 |
| 5     | Nykytilatulosten tarkastelu ja johtopäätökset ..... | 26 |
|       | OSA 2 YVA-MALLINNUS.....                            | 28 |
| 6     | Kuvaus YVA-hankkeesta ja hankevaihtoehtoista .....  | 29 |
| 7     | YVA-Mallinnus.....                                  | 29 |
| 7.1   | Mallinnustilanteet .....                            | 29 |
| 7.2   | Lähtöoletukset.....                                 | 33 |
| 8     | YVA-mallinnuksen tulokset .....                     | 36 |

|       |                                                     |    |
|-------|-----------------------------------------------------|----|
| 8.1   | Tulosten tulkinnessa huomioitavaa .....             | 36 |
| 8.2   | Sateinen säävuosi .....                             | 37 |
| 8.2.1 | Aikasarjat.....                                     | 37 |
| 8.2.2 | Päästöjen leviäminen loppukesällä.....              | 42 |
| 8.2.3 | YVA-vaihtoehdot VE2 ja VE3 .....                    | 43 |
| 8.3   | Kuiva säävuosi .....                                | 43 |
| 8.3.1 | Aikasarjat.....                                     | 43 |
| 8.3.2 | Päästöjen leviäminen loppukesällä.....              | 47 |
| 8.3.3 | YVA-vaihtoehdot VE2 ja VE3 .....                    | 48 |
| 8.4   | Vaikutukset ekologiseen ja kemialliseen tilaan..... | 48 |
| 9     | YVA-mallinnuksen yhteenveto.....                    | 53 |
|       | Lähteet .....                                       | 54 |

## LIITTEET

1. Aikasarjakuvat
  - a. Kalibrointi ja validointi
  - b. Sulfaattipitoisuus
  - c. Ravinnepitoisuuksien lisäys
2. Poikkileikkauskuvat
3. Päästön leviämiskartat
  - a. Sulfaattipitoisuus
  - b. Ravinnepitoisuudet



# 1 JOHDANTO

Yara Suomi Oy on aloittanut Tulevaisuudessakin leipää -hankkeen (TULE), jonka tarkoituksena on Siilinjärven kaivostoiminnan laajentaminen. Hankkeen myötä tavoitteena on pidentää kaivoksen toiminta aikaa (LOM), johon tarvitaan uusia malmivaroja ja läjitysalueiden tilavuuden kasvattamista. Kaivoksen nykyiset malmivarat mahdollistavat kaivostoiminnan jatkumisen vuoteen 2035. Laajennus mahdollistaa toiminnan jatkumisen 2060-luvulle saakka. Kaivostoiminnan laajentamista koskeva YVA-hanke on käynnistetty. Mallinnuksen avulla tuotetaan tietoa TULE-hankkeen suunnittelun ja YVA-hankevaihtoehtojen vaikutusten arvioimisen tueksi.

Kuuslahti vastaanottaa Yaran kaivoksen kuormitusta ja on näin ollen keskeinen vesialue hankkeen vaikutusten arvioinnin kannalta. Vaikutusten arvioinnin tueksi laadittiin Kuuslahden alueelle 3D-virtaus- ja kulkeutumismalli EEMS-ohjelmistolla. Mallinnusta voidaan käyttää yhtenä hyvänä työkaluna arvioitaessa YVA-hankevaihtoehtojen vedenlaatuvaikutuksia ja eroja verrattuna nykytilaan. Toinen päätavoite mallin rakentamisella oli tunnistaa keskeiset lisätiedon tarpeet mallin epävarmuuksien pienentämiseksi ja tulosten tarkentamiseksi. Näitä lisätietoja hankkimalla ja mallia kehittämällä voidaan parantaa toiminnan vaikutusten arvioinnin luotettavuutta myöhemmin ympäristölupaa haettaessa.

Raportti on jaettu kahteen osaan. Ensimmäisessä osassa on esitelty rakennettu malli, sen lähtötiedot ja oletukset, sekä nykytilaa koskevien malliajojen tulokset. Toisessa osassa on esitetty tulevaisuuteen sijoittuvien YVA-vaihtoehtojen mallinnus ja tulokset, sekä on verrattu niitä nykytilaan.

# OSA 1 MALLIN KUVAUS

## 2 MALLINNUSOHJELMISTO

Mallinnusohjelmasta käytettiin EEMS-ohjelmaa (EFDC Explorer Modelling System). Ohjelmisto on DSI:n valmistama kaupallinen tuote. Ohjelmiston pohjana on 90-luvulla Yhdysvalloissa kehitetty EFDC-virtausmallinnuskoodi (EFDC = Environment Fluid Dynamics Code), josta ohjelmiston valmistajat ovat kehittäneet uuden version (EFDC+). Ohjelmistopakettiin kuuluvat myös graafinen käyttöliittymä (EFDC Explorer) sekä työkalu laskentahilojen muodostamiseen paikkatiedon pohjalta. Ohjelmiston etuna on rinnakkaisajomahdollisuus, jolloin pitkät simuloinnit voidaan suorittaa kohtuullisessa ajassa. Mallinnusohjelmistoa on sovellettu useisiin vesistöihin USA:ssa, Kanadassa ja Kauko-Idässä. Referenssejä virtausmallikoodista ja sen mallisovelluksista löytyy osoitteesta: <https://eemodelingsystem.atlassian.net/wiki/spaces/EK/pages/260276304/References>

Mallinnettavaan alueeseen sovitetaan kolmiulotteinen hilaruudukko, jonka jokaiseen soluun malli laskee tilamuuttujien arvot kunakin ajanhetkenä. Lähtöarvoina malliin tarvitaan vesistön syvyystiedot sekä alueelle tulevien ja sieltä lähtevien virtaamien suuruudet sekä haluttujen tilamuuttujien lähtöarvot mallinnusalueella. Vesitaselaskennassa otetaan huomioon myös alueelle satava ja sieltä haihtuva vesimäärä. Hilasolut voivat olla veden täyttämiä tai kuivia.

Hydrodynamiikka perustuu vakiintuneisiin liike- ja jatkuvuusyhtälöihin, joiden perusteella ohjelma laskee mm. veden virtauksen (suunta, voimakkuus) suuruutta kussakin hilasolussa. Yläpinnassa reunaehdot käsittävät tuulen antaman liikemäärän ja alapinnassa pohjakitkan. Käyttäjän on mahdollista asettaa reunaehdoksi myös isojen kappaleiden tai kasvillisuuden aiheuttama virtausvastus. Horisontaali- ja vertikaalisuunnan turbulenssin suuruutta on mahdollista säätää parametrisoinnilla.

Hydrodynamiikan ohella käyttäjä voi lisätä laskentaan lämpötilan, suolaisuuden ja vedessä olevien yhdisteiden kulkeutumisen. Lämpötaseen laskennassa huomioidaan säteilyn antama energia, ilman lämpötila, tulovirtaamien veden lämpötila sekä pohjan lämpövaikutus. Lämpötilan laskentaan sisältyvä jään syntyminen ja kasvu kuvataan yksinkertaisella tavalla, eikä se huomioi lumen vaikutusta jään paksuuteen. Laskennan perusajatuksena on se, että vesi, jonka lämpötila on jäätympistettä matalampi, muutetaan sitä vastaavaksi jään paksuudeksi. Veden tiheyslaskennassa sovelletaan UNESCO:n (1981) kaavaa, joka huomioi lämpötilan ja suolaisuuden. Näin mallin avulla voidaan laskea kerrostuneisuutta ja sen vaikutusta veden liikkeisiin ja yhdisteiden kulkeutumiseen.

Yhdisteiden pitoisuuksien laskenta voidaan suorittaa usealla eri tavalla. Yksinkertaisimmillaan yhdiste mallinnetaan inerttinä merkkiaineena, jolloin oletuksena on, että yhdiste ei vaikuta esimerkiksi kerrostuneisuuteen tai ole vuorovaikutuksessa muiden yhdisteiden kanssa. Merkkiainelaskennassa on mahdollista soveltaa hajoamisvakioita. Ohjelmiston avulla voidaan mallintaa usean eri merkkiaineen leviämistä yhtäaikaaisesti. Mikäli mallinnettava yhdiste vaikuttaa tiheyteen, voidaan yhdiste laskea suolana. Haittapuolena on se, että laskenta suoritetaan tällöin kokonaissuolaisuutena, jolloin päästöstä peräisin olevia suolayhdisteitä, esimerkiksi sulfaattia, ei pysty erottamaan alueen luontaisista suoloista. Mallinnusohjelmisto sisältää myös huomattavasti monimutkaisempia tapoja aineiden pitoisuuksien laskentaan. Nämä laskentatavat huomioivat esimerkiksi ravinteiden kierron elollisten ja elottomien prosessien välillä sekä sedimentissä tapahtuvat reaktiot.

Tässä mallinnuksessa sulfaatti laskettiin suolapitoisuutena. Typen ja fosforin osalta mallissa laskettiin kuormituksen aiheuttamaa pitoisuuden nousua. On erityisen tärkeä huomioida, että typpi- ja fosforitulokset edustavat pitoisuusnousua, eivät mittauksiin verrattavaa pitoisuutta. Fluoridipitoisuuslaskentaa käytettiin mallin kalibroinnissa ja validoinnissa.

## 3 NYKYTILAN MALLINNUS

### 3.1 Vesistön kuvaus

Kuuslahti (pinta-ala noin 600 ha) on tyypitelty keskikokoiseksi humusjärveksi, ja tarkkailualueen vesi on yleisesti lievästi humuksista. Vaikka Kuuslahti on rajattu omaksi vesimuodostumakseen, on se osa Juurusvettä (04.611.1.001). Etenkin kesäaikaan merkittävin osa Juurusveden päältä ja Kuuslahden välisestä vesien vaihtumisesta tapahtuu Kuuslahden eteläpäässä sijaitsevan Nikinsaaren kapeikon kautta. Kuuslahden alueella on useita yli 20 metrin syvänteitä ja enimmillään syvyys on 40 metriä.

Kuuslahden valuma-alueen valumavesistä merkittävin Kuuslahden vedenlaadun kannalta on Yaran alueelta tuleva Sikopuro, jossa on rikastusprosessin puhdistettuja ylijäämävesiä, louhoksen kuivanapitovesiä, sekä Itäläjityksen sivukivialueen suotovesiä. Kuuslahdesta otetaan ja sinne palautetaan Yaran tehtailta merkittävä määrä jäähdytysvesiä, joilla on paikallista vaikutusta lämpötalouteen. Lisäksi lahteen puretaan tehdasalueen puhdistetut jätevedet.

Kaivoksen ja kemiantehtaiden vaikutusta kuvaa sähkönjohtavuuden lisäksi veden sulfaatti- ja fluoridipitoisuus. Fluoridi ei erityisesti vaikuta vesistön ekologiaan kuin suurina pitoisuuksina. Sulfaatti voi vaikuttaa vedenlaatuun lähinnä kahdella tavalla. Suolana sulfaatti kasvattaa veden tiheyttä, jolloin liiallinen kuormitus suhteessa vesistön vastaanottokykyyn voimistaa vaikutusalueen syvyyssuuntaista kerrostumista. Alusveden hapettomissa olosuhteissa sulfaatti puolestaan muuttuu sulfidiksi, joka saattaa syrjäyttää fosforin raudasta ja kiihdyttää fosforin sisäistä kuormitusta. Kuuslahdella on havaittu joinakin talvina alusveden alhaisia happipitoisuuksia. Pitkän ajan aikasarjojen perusteella tilanne on kuitenkin pysynyt vakaana seurannan alkua ajoista lähtien. (Ramboll Oy 2022)

Tarkkailutulosten perusteella Kuuslahden sähkönjohtavuudet ovat olleet lievästi korkeampia verrattuna Juurusveden eteläisiin havaintopaikkoihin. Sulfaatti- ja fluoridipitoisuudet ovat korkeimmillaan talvella ja vaikutus näkyy erityisesti alusvedessä. Alusveden sulfaattipitoisuus on ollut viime vuosina korkein Kuuslahden havaintopaikalla Juurusvesi 2 (havaintosarjan maksimi 80 mg/l). Kesällä pitoisuudet ovat olleet Kuuslahdella matalampia. (Ramboll Oy 2022)

Talvella alusveden kohonneita kokonaisfosforipitoisuuksia, jotka voivat johtua joko sisäisestä kuormituksesta tai aineiden kertymisestä, on havaittu lähinnä Kuuslahden eteläpuolella (Savo-Karjalan Ympäristötutkimus Oy 2022). Kesäisin alusveden kohonneet fosforipitoisuudet keskittyvät selkeimmin Kuuslahden havaintopaikoille Juurusvesi 1 ja 2 ollen luokkaa 20–130 µg/l (Ramboll Oy 2022).

Kuuslahden alusveden kokonaistyyppipitoisuudet ovat talvella olleet hieman korkeampia verrattuna Juurusveden eteläosaan. Vahvan kerrostuneisuuden aikana talvella maksimipitoisuudet ovat olleet

luokkaa 1200–1700 µg/l Kuuslahden havaintopaikoilla Juurusvesi 1, 2, 2A, 3 ja 4. Kesällä pitoisuudet ovat pienempiä ja alueellinen vaihtelu vähäisempää. (Ramboll Oy 2022)

Juurusveden päänlyysveden kesäajan kokonaisfosforipitoisuudet ilmentävät lievästi rehevää vettä. Vuonna 2021 lahden veden pitoisuudet olivat ekologisen luokittelun mukaan hyvää tai erinomaista tasoa (Savo-Karjalan Ympäristötutkimus Oy 2022). Keskimääräisesti pitoisuudet laskevat hieman Kuuslahdesta Juurusvedelle päin mentäessä. Pitkän ajan aineistojen perusteella ei ole havaittavissa selkeitä muutostrendejä. Kuuslahdella havaintopaikan Juurusvesi 1 kokonaisfosforipitoisuus on ollut keskimäärin lievästi alapuolisia havaintopaikkoja korkeampi (ka 22,5 µg/l ja keskiarvon ero muihin havaintopaikkoihin noin 3 µg/l). Kokonaistyyppipitoisuudet laskevat fosforin tapaan lievästi pohjoisesta etelään ja viittaavat tyydyttävään, hyvään tai erinomaiseen tilaan. Päänlyysveden kokonaistyyppipitoisuus on ollut Kuuslahden havaintopaikoilla keskimäärin luokkaa 620–706 µg/l. (Ramboll Oy 2022)

Kuuslahti on luokiteltu kolmannella vesienhoidon suunnittelukaudella hyvään tilaan, joskin yksittäisissä muuttujissa on ollut luokkarajojen ylityksiä (esim. Klorofyllipitoisuus on luokitunut tyydyttävään). Kokonaisfosforipitoisuus oli luokittelussa 21,37 µg/l. Kaikkialla esiintyvien, laajalle levinneiden aineiden (ubikvitaarinen aine eli UBI-aine) luokittelussa arvioitiin asiantuntija-arviona bromattujen difenyyliettereiden pitoisuuden ylittävän raja-arvon, kuten on säännönmukaisesti arvioitu kaikkien Suomen vesimuodostumien osalta. Mittausten perusteella kalojen elohopeapitoisuus ylittää raja-arvon luontaisista tekijöistä ja kaukokulkeumasta johtuen.

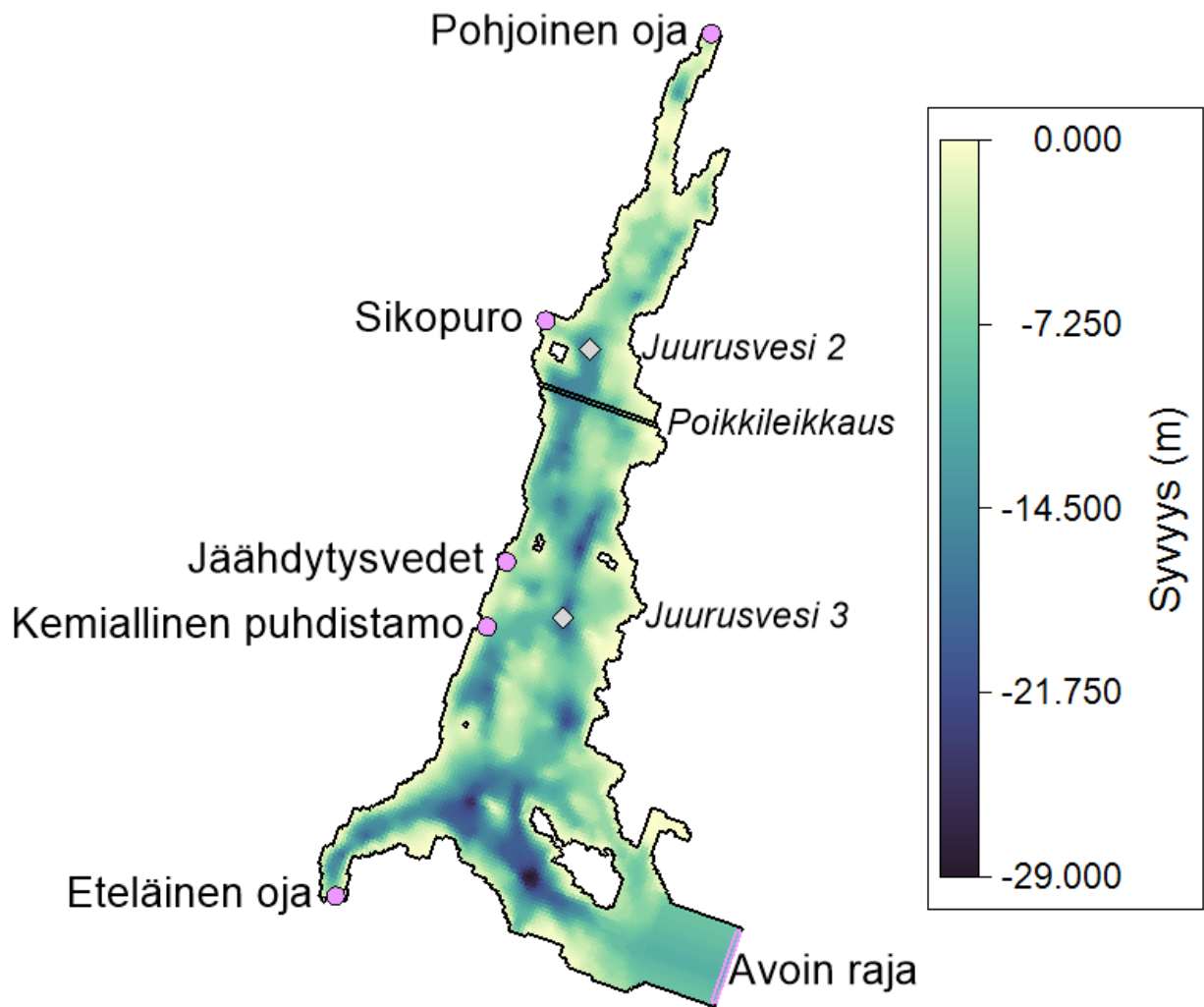
## 3.2 Mallinnusalue

Mallinnettava alue käsitti koko Kuuslahden. Kaakkoispuolella malli rajautui Nikinsaaresta noin 500 metriä kaakkoon Rapaluodon edustalle (Kuva 1). Mallinnusalue ulotettiin näin riittävän laajaksi, jotta mallinnettujen päästöjen vaikutusalue ei altistu Juurusveden avoimessa rajapinnassa mahdollisesti esiintyville mallitekniikasta johtuville poikkeavuuksille.

Horisontaalisuunnassa mallihilan hilakoko oli 30 m \* 30 m (Kuva 2). Vertikaalisuunnassa kerroksia oli matalimmilla alueilla 2 ja syvänteissä enintään 20 (Kuva 3). Kerrospaksuus oli enintään 1,4 m. Syvyystietoina käytettiin Traficomien syvyysaineistoja. Mallihilan muotoa ja syvyysaineistoa muokattiin avoimen rajan kohdalta tasaisemmaksi mallin numeerisen ratkaisun vakauttamiseksi.

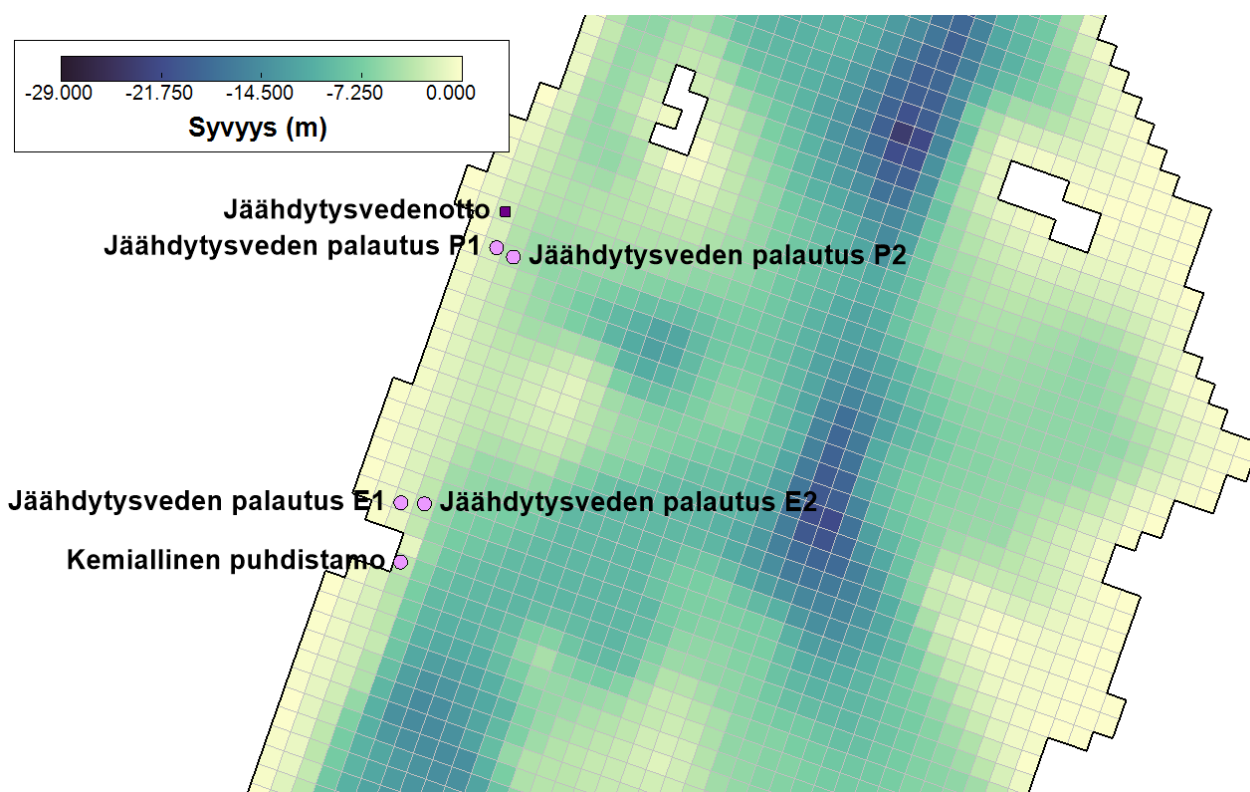
Mallinnuksessa huomioituja tulovirtaamia olivat Kuuslahden pohjoiskärjestä laskeva oja, Sikopuro, kemiallisen puhdistamon jätevedet, eteläkärjestä laskeva oja, lähivaluma-alueen pintavalunta ja pohjavalunta (Kuva 1). Hajakuormituksen kuvaamiseksi lähivaluma-alueen pintavalunta jaettiin 18:lle ja pohjavalunta 13 hilaruudulle. Yaran tehdasalueen raakavedenoton ja jäähdytysvesien palautuksen aiheuttama virtaus ja lämpökuorma Kuuslahteen mallinnettiin ohjelmiston erillisellä vedenotto/palautus -rajapakotteella. Sen avulla voidaan mallintaa veden mekaanista siirtämistä eri hilaruutujen välillä, kuten veden pumppaamista esimerkiksi tehdasalueelle ja takaisin vesistöön (Kuva 2).

Mallinnusalueen itäreunaan asetettiin avoin raja, jonka läpi vesi vaihtuu Juurusveden ja Kuuslahden välillä (Kuva 1). Avoimella rajalla oli 20 hilasolua. Nikinsaaren salmen eteläpuolelle ei asetettu avointa rajaa, sillä vedenvaihto sieltä arvioitiin vähäiseksi alueen mataluuden vuoksi, ja se olisi heikentänyt mallin vakautta.

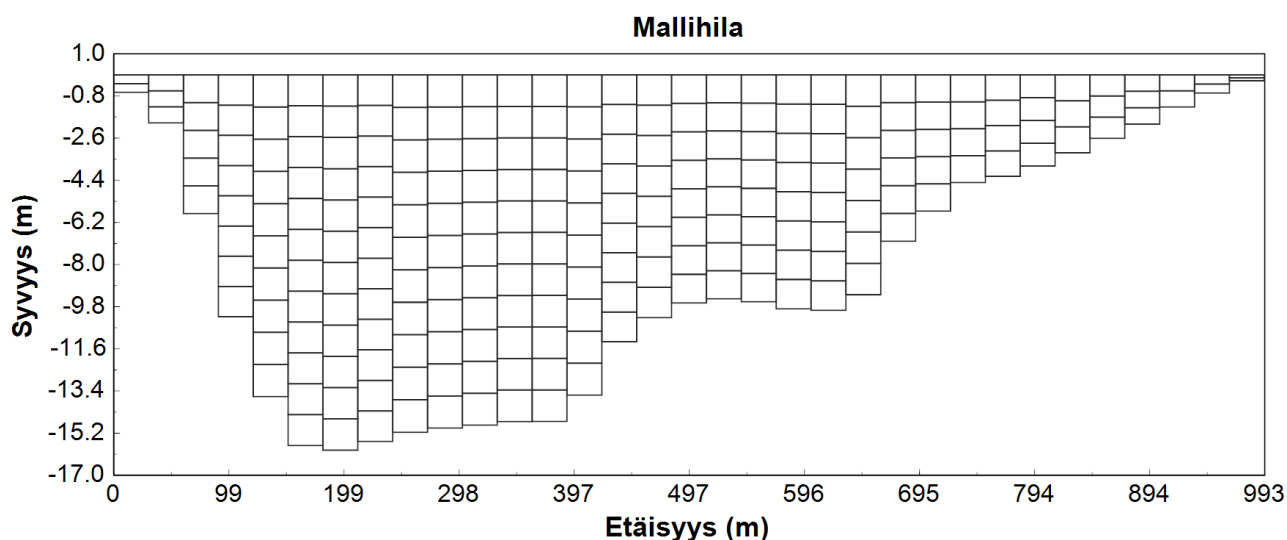


Kuva 1. Kuuslahden mallialue. Tulovirtaamat on merkitty violeteilla pisteillä. Avoimen rajan kohdalla vettä tulee sisään tai sitä poistuu tuulista ja virtauksista riippuen. Aikasarjamuotoisten tuloskuvien sijainti on merkitty harmailla neliöillä ja poikkileikkauskuvien sijainti mustalla viivalla. Lähivaluma-alueen pinta- ja pohjavalunta tulee Kuuslahteen hajautettuna, eikä sitä ole merkitty kuvaan.





Kuva 2. Tehdasalueen veden purkupaikat (violetti ympyrä) ja sisäänottopaikat (violetti neliö).



Kuva 3. Mallihilan rakenne vertikaalisuunnassa. Sijaintina on Sikopuron eteläpuoli kuvan 1 poikkileikkauksen kohdalta.

### 3.3 Malliajot

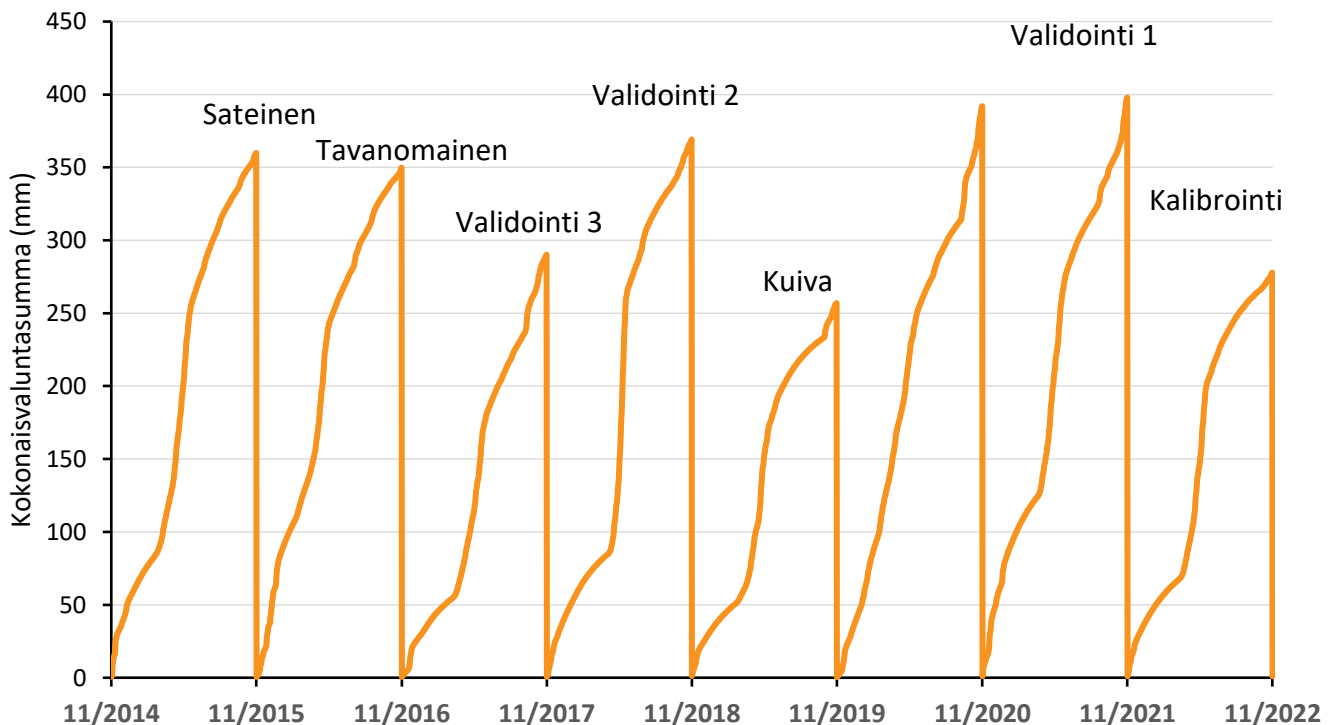
Nykytilan simulointi toteutettiin kolmena eri ajona, jotka edustivat erilaisia säävuosia (tavanomainen, kuiva, sateinen). Tavanomaisen ajon pituus oli 4 vuotta toistaen samaa 1 vuoden aineistoa 4 vuotta peräkkäin, jotta varmistuttiin, ettei malli aiheuta epärealistisia kumuloituvia vaikutuksia. Kuivan ja sateisen ajon pituus oli 12 kuukautta. Tällä tavalla voitiin huomioida ja tutkia erilaisten säätilanteiden ja päästöjen vaikutusta sekä kestoja Kuuslahden vesimassoihin ja ainepitoisuuksiin. Laskenta aloitettiin marraskuun alusta, jolloin vesimassa on sekoittunut ja

mahdollisimman homogeenisessa tilassa syystäyskierron takia. Tavanomaisen ajon alkuosan syöttötiedot poikkesivat ensimmäisenä vuotena muista vuosista. Tuolloin käytettiin vuoden 2015 aineistoa marras-joulukuun osalta, mutta jälkimmäisissä vuoden 2016 aineistoa.

Eri säävuosien valinnassa hyödynnettiin Ilmatieteen laitoksen Kuopion Maaningan mittausaseman sade- ja lämpötilamittaustuloksia sekä Suomen Ympäristökeskuksen (SYKE) vesistömallijärjestelmän (WSFS) laskemia kokonaisvaluntakertymäsummia vuosilta 2015–2022. Havaintotuloksista laskettiin sulan ajan, eli huhtikuulta lokakuulle, sadesumma sekä kuukausikeskilämpötilojen keskiarvo (Taulukko 1). Säähavaintojen perusteella sateiseksi vuodeksi valittiin se, jonka sademäärä oli suurin ja kuivaksi se, jonka sademäärä oli pienin. Vesistömallijärjestelmän valuntatietoja käytettiin varmentamaan sademäärien pohjalta tehtyjä havaintoja (Kuva 4).

*Taulukko 1. Sulan ajan (huhti- – lokakuu) sadesumma sekä kuukausikohtaisten keskilämpötilojen keskiarvot vuosilta 2015–2022.*

|      | Sadesumma (mm) | Keskilämpötilojen keskiarvo (°C) | Mallinnus    |
|------|----------------|----------------------------------|--------------|
| 2015 | 465            | 10.3                             | Sateinen     |
| 2016 | 341            | 11                               | Tavanomainen |
| 2017 | 378            | 8.8                              | Validointi 3 |
| 2018 | 367            | 11.8                             | Validointi 2 |
| 2019 | 291            | 10.3                             | Kuiva        |
| 2020 | 460            | 10.8                             |              |
| 2021 | 442            | 11.3                             | Validointi 1 |
| 2022 | 380            | 10.7                             | Kalibrointi  |



*Kuva 4. Kertymäkaavio kokonaisvalunnasta marraskuulta marraskuulle ajanjaksolla 11/2014–11/2022. Datan lähde: WSFS (Syke 2023).*

## 3.4 Lähtötiedot

Lähtötiedot pohjautuivat avoimiin aineistoihin tai asiakkaalta saatuihin arvoihin.

### 3.4.1 Sää tiedot

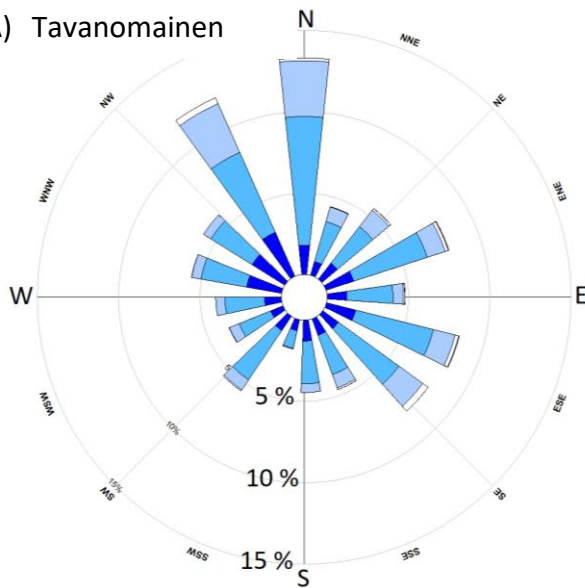
Sää tietoina käytettiin Ilmatieteen laitoksen havaintotuloksia eri asemilta (suluissa saatu aineisto): Kuopion Maaningan (ilmanpaine, sademäärä), Siilinjärven lentoaseman (pilvisyys, tuulen suunta, tuulen nopeus, ilman lämpötila, suhteellinen kosteus) ja Kuopion Savilahden (säteilyn määrä) havaintoasemilta (Taulukko 2 ja Kuva 5). Puuttuvat arvot korvattiin joko edellisen ja seuraavan havainnon keskiarvona tai toisen havaintopaikan tiedoilla. Pilvisyys muunnettiin prosenttiosuudeksi jakamalla pilvisyy sarvot (0–8) luvulla 8. Säteil y arvoina puolestaan käytettiin suorasäteilyä, joka saatiin vähentämällä kokonaissäteilystä hajasäteily. Järvi haihdunnan määrä haettiin Suomen Ympäristökeskuksen vesistö mallijärjestelmästä.

Taulukko 2. Kooste nykytila mallin sää tiedoista.

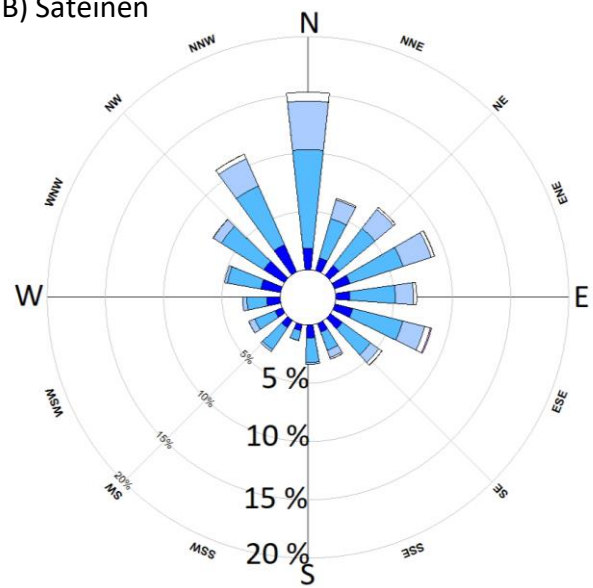
| Suure                | Vuosiarvo | Yksikkö           | Tavanomainen (2016) | Sateinen (2015) | Kuiva (2019) |
|----------------------|-----------|-------------------|---------------------|-----------------|--------------|
| Lämpötila            | Keskiarvo | °C                | 4.99                | 4.88            | 4.08         |
| Sademäärä            | Summa     | mm                | 575*                | 690             | 472          |
| Järvi haihdunta      | Summa     | mm                | 651*                | 611             | 681          |
| Säteily              | Summa     | kW/m <sup>2</sup> | 450*                | 430             | 501          |
| Suhteellinen kosteus | Keskiarvo | %                 | 82                  | 83              | 79           |
| Ilmanpaine           | Keskiarvo | mbar              | 1011.5              | 1011.6          | 1011.6       |
| Pilvisyys            | Keskiarvo | %                 | 66                  | 69              | 65           |

\*Neljän vuoden ajan ensimmäinen vuosi (ks. kpl 3.3 s.11)

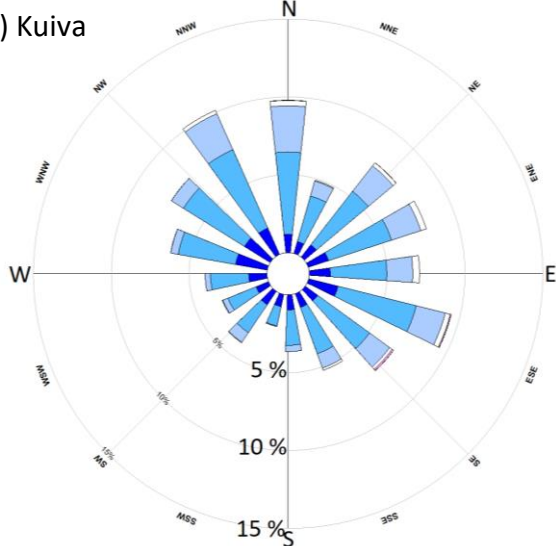
A) Tavanomainen



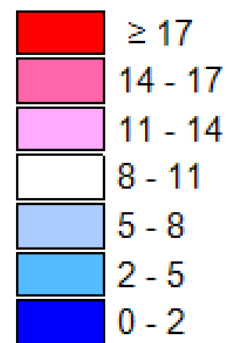
B) Sateinen



C) Kuiva



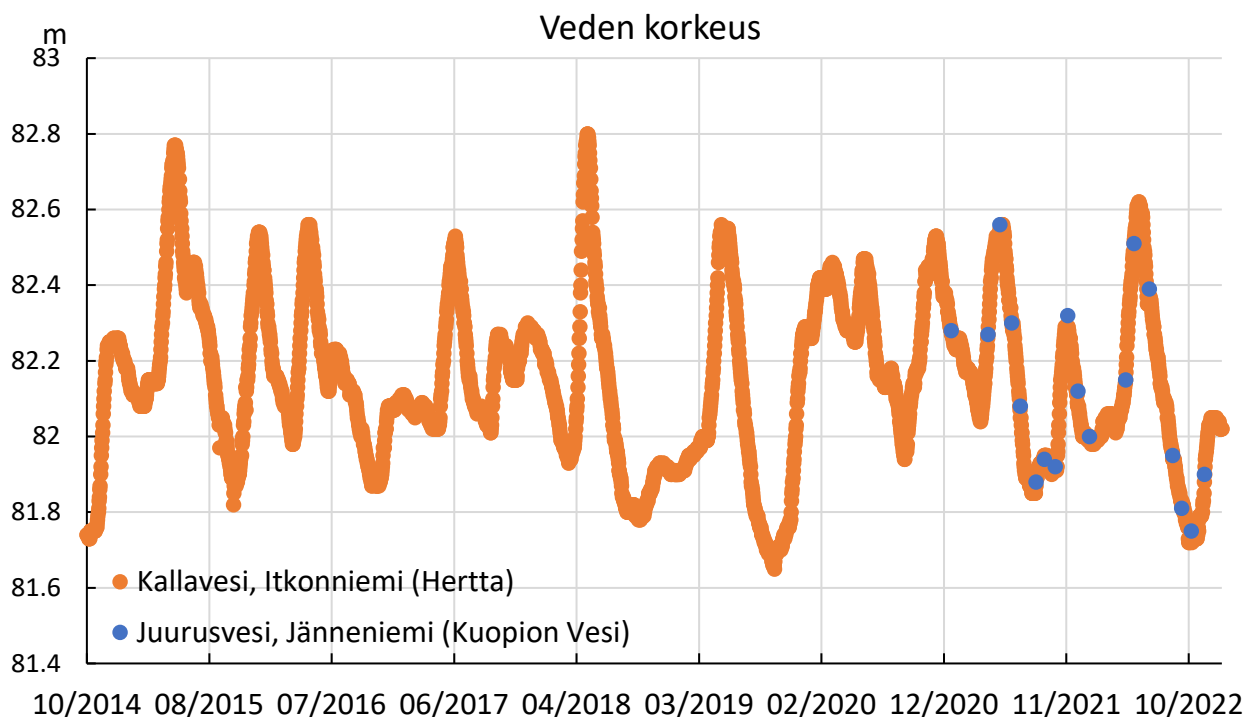
Tuulen nopeus (m/s)



Kuva 5. Tuulen nopeus ja suunta Kuopion lentokentällä eri säävuosina. Kuvaaja kertoo, mihin suuntaan tuulee.

### 3.4.2 Vedenkorkeus

Avoimen rajan vedenkorkeustasoina käytettiin Ympäristötiedon hallintajärjestelmä Hertasta noudettua aikasarjaa Kallaveden Itkonniemen vedenkorkeudesta vuorokauden aikavälein. Juurusvedeltä (Kuopion vesi) oli saatavilla vedenkorkeuden aikasarja Jänneniemen kohdalta, mutta niiden aikaväli oli kuukausi. Itkonniemen päivittäiset havainnot vastasivat Jänneniemen havaintoja lähes täysin (Kuva 6). Koska Jänneniemen havaintojen aikaväli oli pitkä, käytettiin mallissa Kallaveden vedenkorkeutta.



Kuva 6. Veden korkeus Kallavedellä ja Juurusvedellä 1.10.2014 – 31.12.2022

### 3.4.3 Virtaamat ja vesitase

Kuuslahden pohjois- ja eteläkärjen ojan sekä pinta- ja pohjavalunnan aikasarjat haettiin Syken vesistömallijärjestelmästä. Sikopuron virtaamatiedot laskettiin yhdistämällä mitattuja ja mallinnettuja tietoja. Virtaaman katsottiin muodostuvan luontaisen valuma-alueen lisäksi Sikopuron puhdistamolta ja Itävesialtaalta poisjohdetusta vedestä sekä Itäläjitysalueelta suotauvasta vedestä. Altailta lähtevä vesimäärä saatiin seurantatiedoista, Itäläjituksesta suotautuvat vesimäärät oli mallinnettu GoldSim-ohjelmalla (Envineer Oy 2023b). Tehtaiden kemiallisen puhdistamon, jäähdytysvesien ja raakavedenoton virtaamatietoina käytettiin asiakkaan toimittamia tietoja. Purettujen jäähdytysvesien summa on Kuuslahdesta otetun raakaveden kokonaismäärä. (Taulukko 3)

Taulukko 3. Tulovirtaamat ( $m^3/s$ ) nykytilaa kuvaavassa mallissa: keskiarvo (min – maks).

| $m^3/s$                               | Tavanomainen (2016)        | Sateinen (2015)          | Kuiva (2019)               |
|---------------------------------------|----------------------------|--------------------------|----------------------------|
| <b>Sikopuro</b>                       | <b>0.22</b> (0.005–0.43)   | <b>0.22</b> (0.007–0.53) | <b>0.15</b> (0.002–0.39)   |
| <b>Kemiallinen puhdistamo</b>         | <b>0.054</b> (0.026–0.090) | <b>0.052</b> (0–0.087)   | <b>0.052</b> (0.022–0.094) |
| <b>Jäähdytysvesi P1</b>               | <b>0.19</b> (0.072–0.30)   | <b>0.17</b> (0.069–0.32) | <b>0.26</b> (0.064–0.48)   |
| <b>Jäähdytysvesi P2</b>               | <b>0.38</b> (0.15–0.62)    | <b>0.35</b> (0.14–0.66)  | <b>0.53</b> (0.13–0.97)    |
| <b>Jäähdytysvesi E1</b>               | <b>0.39</b> (0.1–0.67)     | <b>0.37</b> (0.11–0.69)  | <b>0.45</b> (0.098–0.71)   |
| <b>Jäähdytysvesi E2</b>               | <b>0.8</b> (0.2–1.4)       | <b>0.76</b> (0.23–1.4)   | <b>0.91</b> (0.2–1.4)      |
| <b>Lähivaluma-alueen pintavalunta</b> | <b>0.13</b> (0–2.5)        | <b>0.18</b> (0–3.2)      | <b>0.12</b> (0–3.3)        |
| <b>Pohjavalunta</b>                   | <b>0.015</b>               | <b>0.015</b>             | <b>0.015</b>               |

Malliin syötettyjen aikasarjojen arvoina olivat pääasiassa vuorokauden keskiarvot, joiltakin osin tuntiarvot, saatujen lähtötietojen mukaan. Eteläisen ja pohjoisen ojan virtaamina käytettiin vakioarvoja (0,01 ja 0,03 m<sup>3</sup>/s). Sikopuron ja pintavalunnan kokonaisvesimäärä vuodessa vaihteli eri säävuosina (Taulukko 4).

Taulukko 4. Tulovirtaamien kokonaisvesimäärä nykytilamallissa eri säävuosina.

| milj. m <sup>3</sup> /a               | Tavanomainen* | Sateinen | Kuiva |
|---------------------------------------|---------------|----------|-------|
| <b>Sikopuro</b>                       | 7.2           | 6.7      | 5.3   |
| <b>Kemiallinen puhdistamo</b>         | 1.6           | 1.6      | 1.6   |
| <b>Lähivaluma-alueen pintavalunta</b> | 0.49          | 0.57     | 0.39  |
| <b>Pohjavalunta</b>                   | 0.049         | 0.049    | 0.049 |
| <b>Pohjoinen oja</b>                  | 0.95          | 0.95     | 0.95  |
| <b>Eteläinen oja</b>                  | 0.32          | 0.32     | 0.32  |

\*Neljän vuoden ajon ensimmäinen vuosi (ks. kpl 3.3. s.11)

### 3.4.4 Veden lämpötila

Sikopuron veden lämpötilana käytettiin mitattua tietoa. Mittausdataa oli saatavilla Sikopurolta vain hyvin lyhyeltä ajanjaksolta loppuvuodesta 2022. Muu osa tuosta vuodesta korvattiin Syrjänjoelta mitatuista havainnoista. Tätä aikasarjaa käytettiin sitten Sikopuron lämpötila-aikasarjana mallissa jokaisena vuotena.

Jäähdytysvesien osalta malliin syötettiin vain tieto lämpötilan noususta, sillä jäähdytysvesien purkautuminen mallinnettiin jäähdytysvesi-rajapakotteena. Jäähdytysveden lämpötilan nousu eteläisillä purkupisteillä oli 20 °C ja pohjoisilla 10 °C. Kemiallisen puhdistamon jätevesien lämpötilana käytettiin 10 °C järvivettä korkeampaa arvoa. Pohjana oleva pintaveden lämpötila haettiin vesistömallijärjestelmästä.

Pohjoisen ja eteläisen ojan sekä lähivaluma-alueen pintavalunnan lämpötiloina käytettiin samaa aikasarjaa kuin Sikopurolta. Pohjavalunnalle tehtiin oma aikasarja asiantuntija-arviona.

Avoimen rajan lämpötila-aikasarja muodostettiin yhdistämällä tietoa havaintotuloksista (Juurusvesi 6) ja Vesistömallijärjestelmästä haetuista mallinnetuista pintalämpötilatiedoista. Koska Juurusvesi 6 -havaintopaikka on 60 m syvä ja avoin raja syvimmillään 11 m, käytettiin pohjakerroksen lämpötilana 20 m syvyyden havaintotuloksia. Muiden kerrosten lämpötila saatiin laskemalla keskiarvo pinnan ja pohjan tai edellisen kerroksen välillä.

### 3.4.5 Pitoisuustiedot ja ainetase

Kuormituslähteiden fluoridi-, typpi-, fosfori- ja suolapitoisuudet saatiin pääasiassa asiakkaan toimittamista tiedoista. Sikopuron osalta pitoisuustiedot yhdistettiin käyttämällä virtaamapainotettuja keskiarvoja Sikopuron altaan ja Itävesialtaan mittaustuloksista sekä itäläjityksen GoldSim-mallinnustuloksista (Envineer Oy 2023b). Tiedot syötettiin samalla aika-askeleella kuin virtaamatiedot. Pinta- ja pohjavalunnan sekä eteläisen ja pohjoisen ojan suolapitoisuutena käytettiin taustapitoisuutta vastaavaa pitoisuutta. Talviajalle asetettiin korkeampi pitoisuus kuvaamaan tiesuolausta. Jäähdytysveteen ei asetettu kuormitusmääriä, sillä oletettiin, että ulos pumpattava vesi vastaa pitoisuuksiltaan laitokseen otettavaa raakavettä. Tällöin

jäähdytysvedet eivät vaikuta Kuuslahden ainetaseeseen. Jäähdytysveden otto- ja palautus järveen vaikuttaa kuitenkin virtauskenttiin ja lämpötalouteen, minkä vuoksi ne on sisällytetty malliin.

Sulfaattipitoisuus muunnettiin sitä vastaavaksi suolapitoisuudeksi muuntamalla se aluksi sähkönjohtavuudeksi. Tässä hyödynnettiin Vesi-Ekon vedenlaatuaineiston ja mittausten pohjalta laatimaa, Juurusvettä koskevaa, lineaarista sulfaattipitoisuuden ja sähkönjohtavuuden välistä yhtälöä. Sähkönjohtavuus muunnettiin suolapitoisuudeksi Hubertin ja Wolkesdorferin (2015) määrittämän kaivosvesille soveltuvan kertoimen avulla. Koska mallissa tarkastellaan ravinteiden (fosfori ja typpi) osalta Yaran toimintojen aiheuttamaa pitoisuuslisäystä Kuuslahdessa, on muiden kuormituslähteiden, jotka vastaavat siis taustapitoisuudesta, ravinnekuormituksiksi asetettu 0 kg/a. (Taulukko 5).

Taulukko 5. Suolan, fosforin ja typen kokonaiskuormitus eri päästölähteistä.

|                                   | Tavanomainen*<br>(2016) | Sateinen (2015) | Kuiva (2019) |
|-----------------------------------|-------------------------|-----------------|--------------|
| <b>Suola (t/a)</b>                |                         |                 |              |
| Sikopuro                          | 6 300                   | 5 900           | 6 200        |
| Kemiallinen puhdistamo            | 3 000                   | 2 500           | 260          |
| Lähivaluma-alueen<br>pintavalunta | 29                      | 32              | 22           |
| Pohjavalunta                      | 3                       | 3               | 3            |
| Eteläinen oja                     | 29                      | 19              | 19           |
| Pohjoinen oja                     | 56                      | 56              | 56           |
| <b>Fosfori (kg/a)</b>             |                         |                 |              |
| Sikopuro                          | 270                     | 220             | 160          |
| Kemiallinen puhdistamo            | 180                     | 120             | 65           |
| Lähivaluma-alueen<br>pintavalunta | 0                       | 0               | 0            |
| Pohjavalunta                      | 0                       | 0               | 0            |
| Eteläinen oja                     | 0                       | 0               | 0            |
| Pohjoinen oja                     | 0                       | 0               | 0            |
| <b>Typpi (t/a)</b>                |                         |                 |              |
| Sikopuro                          | 83                      | 86              | 41           |
| Kemiallinen puhdistamo            | 32                      | 65              | 13           |
| Lähivaluma-alueen<br>pintavalunta | 0                       | 0               | 0            |
| Pohjavalunta                      | 0                       | 0               | 0            |
| Eteläinen oja                     | 0                       | 0               | 0            |
| Pohjoinen oja                     | 0                       | 0               | 0            |

\*Neljän vuoden ajon ensimmäinen vuosi (ks. kpl 3.3. s. 11)

Avoimen rajan pitoisuusaikasarjoina käytettiin rajapintaa lähellä Juurusveden puolella olevan havaintopisteen Juurusvesi 4 tuloksia.

### 3.4.6 Alkutilanteet

Simuloinnin alkutilanteessa vesimassan oletettiin olevan täysin sekoittunut syystäyskierron jäljiltä (Taulukko 6). Alkutilanteen pitoisuuksien määrittämisessä hyödynnettiin lokakuun näytteenotokerran tuloksia. Alkutilanteen tiedot syötettiin ohjelmaan kerroksittain eri havaintopaikoissa, ja näiden tietojen pohjalta ohjelma interpoloi arvot koko vesimassaan. Alkutilanteessa oli näin vain vähäisiä paikallisia eroja. Koska mallilla tarkastellaan ravinteiden osalta Yaran toimintojen aiheuttamaan pitoisuusnousua, ravinnepitoisuudet alkutilanteessa olivat 0 µg/l. Suolapitoisuuden yksikkönä on mallissa ppt (*parts per thousand*), joka on sama asia kuin g/l.

Taulukko 6. Lämpötila sekä suola- ja fluoridipitoisuus alkutilanteessa: keskiarvo (min-maks).

|                  | Tavanomainen (2016) | Sateinen (2015)     | Kuiva (2019)       |
|------------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| Lämpötila (°C)   | 9.0 (8.4–9.2)       | 9.7 (9.0–10.3)      | 9.4 (8.4–9.8)      |
| Suolaisuus (ppt) | 0.068 (0.059–0.081) | 0.071 (0.061–0.084) | 0.054 (0.049–0.06) |
| Fluoridi (mg/l)  | 0.135 (0.110–0.16)  | 0.164 (0.13–0.2)    | 0.115 (0.1–0.14)   |

## 3.5 Kalibrointi ja validointi

Malli kalibroitiin jakson 10/2021–10/2022 havainnoilla, jotka saatiin SYKE:n Hertta-järjestelmästä. Käytössä olivat suorat vedenlämpötilahavainnot sekä sähkönjohtavuus- ja sulfaattihavainnot, joista laskettiin veden suolaisuus. Käytettävissä oli havaintoja kolmelta syvyydeltä neljästä Kuuslahden havaintopaikasta. Seuraavassa esitetään vertailut kahdesta paikasta. Juurusvesi 2 sijaitsee Kuuslahdessa Sikopuron suuta lähellä. Juurusvesi 3 sijaitsee lahden pohjoisosassa.

Toisena kalibrointiaineistona käytettiin veden virtausnopeuksia vakiotuulten aikana. Mallilla laskettiin tuulennopeus ja -suunta käyttäen tuulennopeutta 3,6 m/s. Tuloksia verrattiin kesän 1984 virtausmittaustuloksiin (Huttula ja Sarkkula 1985).

Kalibroittavat parametrit liittyivät turbulenssiin ja lämpötaseeseen. Sekä vertikaali- että horisontaalisuunnan turbulenssimuuttujia säädettiin kuvaamaan realistisia sekoittumisolosuhteita. Lämpötaseen määrittämisessä huomioitiin erilaiset lämmönsiirtokertoimet ilman ja veden sekä pohjan ja veden välillä. Valon vaimeneminen vedessä ja mahdollisessa jääpeitteessä sisältyivät myös laskentaan. Jään albedo, eli valon heijastuskyky, muutettiin vastaamaan tilannetta, jossa jään päällä on lunta. Muilta osin käytettiin ohjelmiston oletusarvoja. Esimerkiksi tuulikitkan laskennassa käytettiin valmistajan määrittämiä yhtälöitä, joissa kitkakerroin vaihtelee tuulen voimakkuuden mukaan.

Kalibroidut arvot validoitiin kolmen eri vuoden aineistolla (Taulukko 1 ja Kuva 4). Päästö- ja säätietoina käytettiin kyseisien vuosien tietoja ja mallinnustuloksia verrattiin velvoitetarkkailutuloksiin.

## 3.6 Herkkyystarkastelu

Mallin herkkyyttä tutkittiin sekä lähtötietojen että mallin eri kertoimien arvoja vaihtelemalla. Eriytynen huomio kiinnitettiin jääosamallin laskennan herkkyyteen. Jäälaskenta onnistuikin vaikutusten kannalta tärkeimmän eli jääpeiteajan laskennan osalta hyvin. Jäänpaksuuslaskennan



tulokset olivat sen sijaan vain tyydyttävät. Tämä johtui lumipeitteen ja kohvajään osuuden kuvausten puutteista. Koska jää on syntyessään teräsjäätä ja jään sulaminen tapahtuu kokonaisuudessaan kiteiden metamorfoosin kautta jään muuttuessa pitkiksi puikkomaisiksi kiteiksi, ei jään olomuodolla ole suurta vaikutusta jään sulamisajankohtaan.

Myös auringonsäteilyn laskentaa tarkasteltiin, sillä malli näytti olevan herkkä säteilyn määrälle. Säteilyn veteen tunkeutumisen laskennassa vaimenemiskertoimen arvo asetettiin Suomessa vakiintuneen tavan mukaan veden näkösyvyyden avulla. Vedenpinnan albedo eli takaisinheijastumiskerroin asetettiin arvoon 0,6, joka vastasi Suomessa mitattuja arvoja.

Mallin todettiin olevan herkkä myös pohjan ja vesipatsaan lämmönvaihdolle. Lämpövaraston suuruus vaikutti huomattavasti erityisesti alusveden lämpötilaan ja tätä kautta lämpökerrostuneisuuden voimakkuuteen. Mitä suurempi varasto oli, sitä hitaampia olivat alusveden lämpötilan muutokset. Koska suomalaiset järvet eivät useimmiten ole tasaisia, vaan sisältävät useita syvänteitä, on pohjan lämmönvaihdon merkitys iso. Kuuslahti on lisäksi muodoltaan pitkänomainen, mikä entisestään korostaa pohjan lämpövaikutusta. Tämän mallinnuksen puitteissa lämpövaraston suuruus asetettiin koko tarkastelualueella samansuuruiseksi. Seurauksena alusveden lämpötila muuttuu etenkin kapeilla alueilla hieman liian nopeasti ja leveimmillä alueilla hieman liian hitaasti.

## 4 NYKYTILAN TULOKSET

Alla on kuvattu kalibroinnin, validoinnin ja nykytilan malliajojen tulokset.

### 4.1 Kalibrointi ja validointi

Juurusvesi 2:n (jatkossa JV2) kohdalla pintaveden lämpötilan kalibrointi onnistui erittäin hyvin avovesikaudella. Jääpeitteen aikana malli antoi lopputalvesta noin asteen verran liian korkeaa lämpötilaa. 10 metrin syvyydellä laskettujen ja havaittujen arvojen yhtäpitävyys oli vielä parempi kuin pinnassa. Myös alusveden lämpötilakalibrointi onnistui hyvin, vaikkakin loppukesästä alusveden lämpötila nousi mitattuja arvoja korkeammaksi.

Juurusvesi 3:n (jatkossa JV3) kohdalla tehtaiden edustalla lämpötilan simulointi oli jonkin verran parempi kuin edellisessä paikassa päällys- ja väliveden osalta. Alusveden laskettu lämpötila jäi liian matalaksi loppukesästä ja lisäksi kevättäyskierto jäi vajaaksi.

Suolapitoisuuden laskenta JV2:n kohdalla toimi pinta- ja välivedessä erittäin hyvin. Alusvedessä malli antoi jonkin verran mitattuja korkeampia arvoja. JV3:n kohdalla malli laski suolaisuuden erinomaisesti.

Virtauslaskennan tuloksia verrattiin kesällä 1984 saatuihin mittaustuloksiin. Tuolloin virtausten ja tuulien vrk-arvoille oli saatu tilastollisesti merkittävät regressioyhtälöt kahdessa mittauspaikassa (Nikinsaari ja tehtaan edusta) kahdella syvyydellä mitanneiden virtausmittarien virtauskomponenteille yhtä lukuun ottamatta. Mallilla laskettiin virtausennusteet tyypillisellä avovesikauden tuulennopeudella (3,6 m/s). Tuulensuuntina käytettiin Nikinsaaren salmen ja Kuuslahden pääsuuntia.

Nikinsaaren kohdalla tulokset osoittivat erinomaista yhtäpitävyyttä mallin ja mittauksiin perustuvien tilastollisten virtausestimaattien välillä. Sen sijaan tehtaan edustalla yhtäpitävyys jäi heikoksi. Syynä saattaa olla Kuuslahden paikallisen tuulikentän suuntaeroissa verrattuna lentokentällä mitattuun tuuleen. Erot johtunevat ympäröivän maaston muodoista. Myös tehtaan edustalla virtauksiin voi vaikuttaa tehtaan vedenotto ja purkuvedet, joista ei ole vuodelta 1984 tietoa.

## 4.2 Jäöolosuhteet

Nykytilaa kuvaavissa ajoissa Kuuslahden jäätymisajankohdaksi saatiin joulukuun loppu tai tammikuun alku (Taulukko 7). Aikaisintaan jää suli maaliskuun loppupuolella ja viimeistään huhtikuun puolivälissä. Jään paksuus oli kaikissa nykytilaa kuvaavissa ajoissa suurimmillaan maaliskuun alussa (60–70 cm) Nikinsaaren ympäristössä. Vähiten jäätä muodostui tehtaiden edustalle, joka pysyi sulana jokaisessa malliajossa. Jääpeitteinen aika oli pisin, eli 15 viikkoa, kuivan vuoden malliajossa.

Taulukko 7. Mallilla laskettu jääpeitteinen aika eri vuosina.

| Vuosi     | Malliajo            | Viikkonumerot |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
|-----------|---------------------|---------------|----|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
|           |                     | 49            | 50 | 51 | 52 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 2014/2015 | Nykytila (sateinen) |               |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 2015/2016 | Nykytila (tavanom.) |               |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 2016/2017 | Validointi 3        |               |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 2017/2018 | Validointi 2        |               |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 2018/2019 | Nykytila (kuiva)    |               |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 2020/2021 | Validointi 1        |               |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 2021/2022 | Kalibrointi         |               |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 2034/2035 | VE0 (tavanom.)      |               |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 2034/2035 | VE0 (sateinen)      |               |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 2034/2035 | VE0 (kuiva)         |               |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 2063/2064 | VE1-4 (tavanom.)    |               |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 2063/2064 | VE1-4 (sateinen)    |               |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| 2063/2064 | VE1-4 (kuiva)       |               |    |    |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |

## 4.3 Nykytilan ajot

Tulosten tarkastelussa hyödynnettiin mallinnusohjelman tuottamia aikasarja- (liite 1A-C), poikkileikkaus (liite 2) ja leviämiskarttakuvia (liite 3) lämpötilalle ja mallinnetuille yhdisteille. Tuloksia tarkasteltiin erityisesti nykyisten havaintopaikkojen Juurusvesi 2 ja 3 kohdilta. Leviämiskarttakuvat tehtiin nykytilan ja YVA-mallinnuksen tuloksista karttaohjelmassa. Mallinnusohjelmasta ladattiin solutason tulokset tarkasteltavana ajanhetkenä pistetasona. Pisteiden tuloksista luotiin Kuuslahden kattava rasteritaso interpoloimalla käänteisen etäisyyden menetelmällä. Menetelmä kuvaa luotettavasti tuloksia muutaman pikselin tarkkuudella.

Tuloksia tulkittaessa on huomioitava, että nykytilan laskennassa veden pumppauksessa Sikopuron allaspuhdistamolta Sikopuroon oli joinakin vuosina pidempiä katkoja. Käyttökatoja oli esimerkiksi

sateisen vuotena kesällä lähes kolme kuukautta sekä kuivana vuotena kaksi kuukautta kevättalvesta ja noin puolitoista kuukautta loppukesästä. Tavanomaisena vuotena oli reilun kuukauden pituinen käyttökato helmi-maaliskuussa. Sikopuron vesimäärästä isoin osa tulee nimenomaan Sikopuron altaalta. Näinä ajanjaksoina Sikopuron altaan virtaama muodostui Itävesialtaalta pumpattavasta vedestä ja itäläjitäsalueelta suotautuvasta vedestä.

Käyttökatoja oli seuraavina ajanhetkinä:

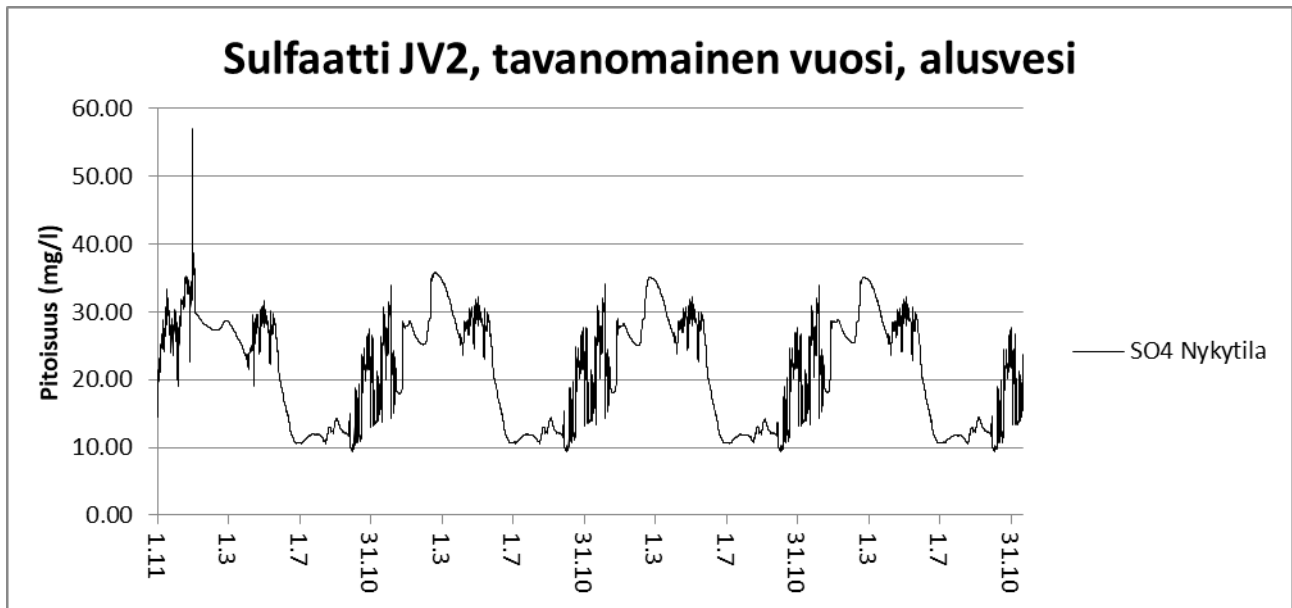
- Sateinen vuosi (2015):
  - 2 – 3.12.2014
  - 29.5.–11.8.
  - 13.8.–23.8.
  - 22.9.
  - 5.10.–18.10.
- Tavanomainen vuosi (2016):
  - 23.2.–31.3.
  - 1.9.–9.10.
- Kuiva vuosi (2019):
  - 29.11. – 5.12.2018
  - 19.12.2018
  - 29.7.2019 – 13.9.
  - 23.9.–13.12.

Koska sulfaattipitoisuus on laskettu ohjelman mallintamasta suolapitoisuudesta, eivät tulokset täysin vastaa mitattuja pitoisuuksia, sillä vedessä on muitakin suoloja sulfaatin lisäksi. YVA-vaiheen mallinnettuja sulfaattipitoisuuksia onkin ensisijaisesti verrattava nykytilamallin ja vaihtoehdolle VE0 mallinnettuihin sulfaattipitoisuuksiin, ei havaittuihin pitoisuuksiin.

### 4.3.1 Tavanomainen säävuosi

Neljän peräkkäisen vuoden malliajoissa vedenlämpötilatulokset olivat samanlaisia ja lämpötilan vuotuinen sukkessio oli samanlainen vuodesta toiseen. Suolaisuuden osalta malli antoi ensimmäisten 12 kuukauden jälkeen hyvin samanlaisia tuloksia vuodesta riippumatta. Ensimmäisen vuoden loppusyksyn ja alkutalven suolaisuusarvot poikkesivat muista vuosista, minkä katsottiin johtuvan erilaisista syöttötiedoista (Kuva 7).

Mallin laskemat suolapitoisuudet ja veden lämpötila olivat realistia. Kesän pintalämpötilan maksimi-arvot olivat Sikopuron edustalla 18 m:n syvyisellä alueella noin 21 °C. Alimman kerroksen lämpötila nousi aina tasolle 14 °C, jonka jälkeen tapahtui veden täyskierto syys-lokakuussa. Pintalämpötilat ja väliveden lämpötilat vaihtelivat vuorokaudenajan ja tuulisuuden mukaan. Pohjan läheisen kerroksen lämpötilatulostäyrä ei tällaista vaihtelua osoittanut. Tämä tulos vastaa todellisuutta hyvin.



Kuva 7. Sulfaattipitoisuus Juurusveden havaintopaikan 2 alusvedessä neljän peräkkäisen vuoden malliajossa.

Sulfaattipitoisuuden aikasarjakuviissa näkyy odotetusti pintakerroksen vähäsuolaisuus talvella (JV2 ja JV3: n. 50 mg/l) sekä syvempien kerrosten pintakerrosta suurempi sulfaattipitoisuus (JV2: 60–80 mg/l; JV3: 55–65 mg/l). Kesällä välikerroksen sulfaattipitoisuudet olivat lähes samansuuruisia kuin alusveden sulfaattipitoisuus (JV2: 50–70 mg/l; JV3: 50–60 mg/l). Koko vuoden pitoisuushuippu ajoittuu maaliskuun alkuun. Malli kuvasi hyvin Sikopurosta purkautuvan suolaisen veden asettumista talvella syvänteeseen Sikopuron eteläpuolella. Kesällä vesipatsaan pitoisuudet olivat lähes samansuuruiset pinnasta pohjaan.

Myös ravinteiden inertit pitoisuusnousuarviot ovat kesällä pienemmät kuin talvella. Odotetusti pitoisuusnousut ovat korkeammat paikalla JV2 kuin JV3. Talviaikana typen pitoisuusnousu verrattuna nollakuormitustilanteeseen oli väli- ja alusvedessä 1000 µg/l paikalla JV2 ja 600 µg/l paikalla JV3. Kesäaikana pitoisuusnousut olivat vastaavasti noin 300 µg/l ja 200–300 µg/l. Pintakerroksessa pitoisuusnousu oli talviaikana noin puolta pienempi alempiin kerroksiin verrattuna, mutta kesäaikana ero ei ollut merkittävä. Fosforin pitoisuusnousu oli talviaikana paikalla JV2 4–8 µg/l ja paikalla JV3 puolet pienempi. Kesäaikana pitoisuusnousut olivat vastaavasti 1–2 µg/l ja 0.5–2 µg/l koko vesipatsaassa.

Sikopuron eteläpuolella (liite 2) malli antoi realistisia vedenlämpötilatuloksia sekä talven tilanteessa että kesäkerrostuneisuuden aikaan. Harppauskerros oli elokuun lopulla noin 9 m:n syvyydellä.

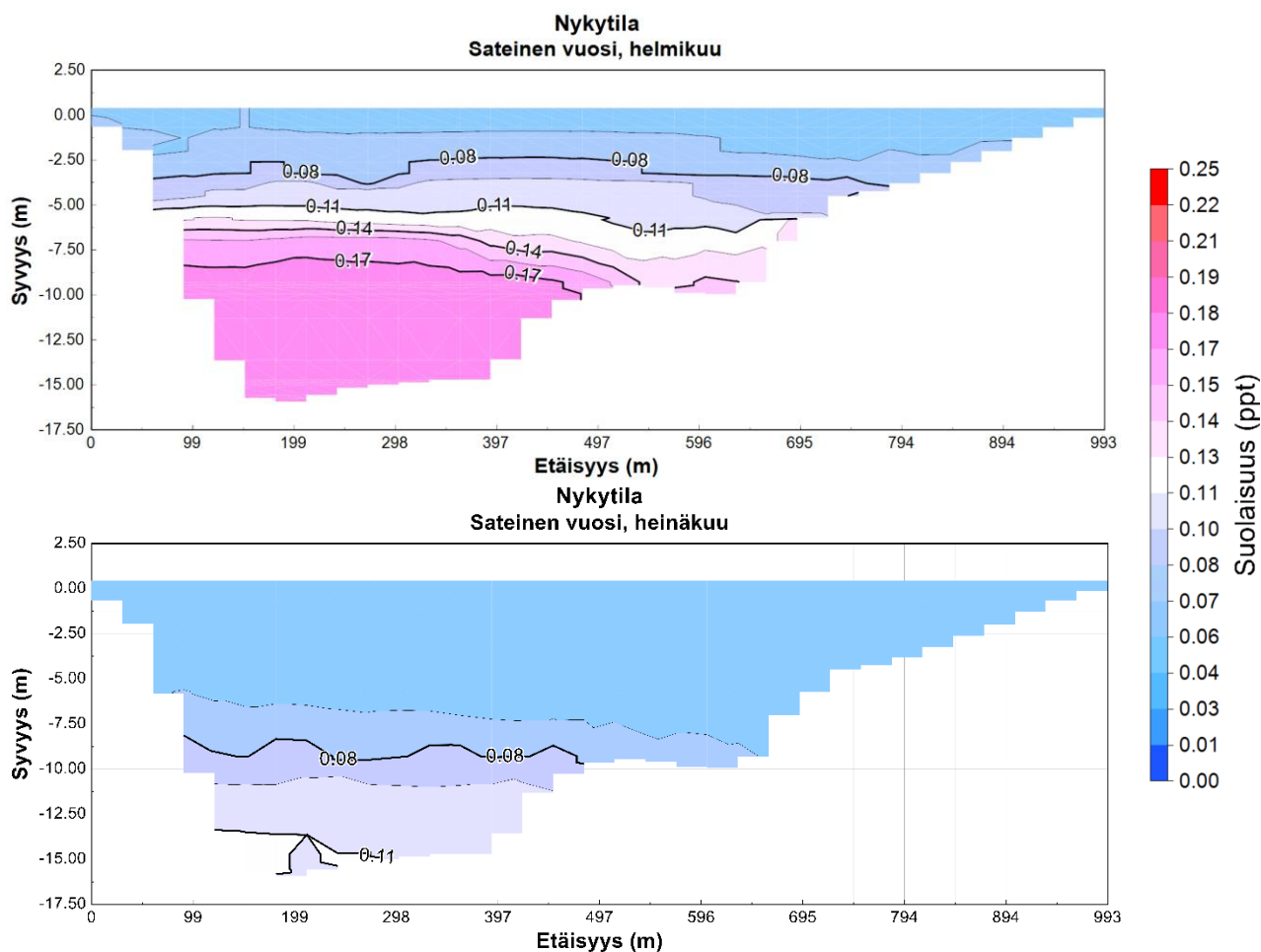
### 4.3.2 Sateinen säävuosi

Sateisena vuotena sulan ajan sadanta oli 136 % tavanomaisen vuoden sadannasta. Tosin jakson valuntasumma nousi vain 103 %:iin verrattuna tavanomaiseen. Kyseisenä vuotena sula aika oli tavallista vuotta hiukan (0,7 °C) kylmempi.

Sikopuron eteläpuolelta tulostettujen kuvien perusteella pohjanläheinen vesikerros oli noin puoli astetta lämpimämpi kuin tavanomaisena vuonna. Ero johtunee säätilasta ennen jäätymistä. Kesällä pintalämpötila jäi noin asteen viileämmäksi kuin tavanomaisena vuonna. Alimman kerroksen

huippuarvo jäi neljä astetta alemmaksi eli 10 °C – tasolle. Syystäyskierto tapahtui lokakuun puolivälissä, eli noin 2 viikkoa myöhemmin kuin tavanomaisena vuonna.

Poikkileikkauskuvat (Kuva 8) ja aikasarjatulosteet osoittivat, että suolakerrostuminen oli voimakkaampaa talvella kuin kesällä. Talviajan sulfaattipitoisuus (JV2: n. 80 mg/l; JV3: 70–75 mg/l) välivedessä ja pohjan lähellä olivat puolitoistakertaiset verrattuna tavanomaiseen vuoteen. Kesäaikana pitoisuudet (JV2: n. 60 mg/l; 55–65 mg/l) olivat tavanomaisen vuoden tavoin talviaikaa pienemmät. Pintakerroksessa sulfaattipitoisuus (JV2: 55–70 mg/l; JV3: 50–60 mg/l) vaihteli vuoden aikana enemmän kuin tavanomaisena vuonna. Tämä johtui mitä ilmeisemmin tulovirtaamien suuresta määrästä ja virtaamien vaihteluista.



Kuva 8. Suolakerrostuneisuus oli Sikopuron eteläpuolella talvella (yläpuolella) voimakkaampaa kuin kesällä (alapuolella)

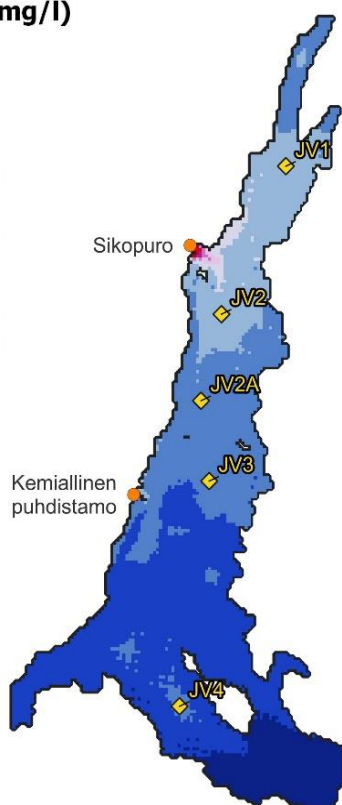
Ravinteiden pitoisuusnousu nollakuormitustilanteeseen verrattuna oli suurin kevättäyskierrosta kesäkerrostuneisuusajan alkuun. Pitoisuusnousu vaihteli tuona aikana myös enemmän kuin muuna aikana vuodesta. Talvella typen pitoisuusnousu oli väli- ja alusvedessä (JV2: 1500–2000 µg/l; JV3 noin 1000 µg/l) ajoittain jopa viisinkertainen pintakerrokseen verrattuna. Fosforipitoisuuden nousu oli vastaavasti väli- ja alusvedessä 4–6 µg/l ja 2–3 µg/l sekä pintakerroksessa vähintään puolta pienemmät. Sikopuron allaspuhdistamon kesäaikainen (toukokuun loppu – elokuun loppu) käyttökato näkyi selvästi pitoisuuslisäyksen laskevana trendinä koko kesän ajan. Kesällä typen pitoisuuslisäys oli paikassa JV2 noin 500–600 µg/l ja tätä noin 100 µg/l pienemmät paikalla JV3.

Kesällä fosforin pitoisuuslisäys laskee lähelle 1 µg/l paikalla JV2 kaikissa kerroksissa ja paikalla JV3 tämän alle.

Kuva 9 on esitetty sulfaattipitoisuuden ja fosforin pitoisuuslisäyksen koko vesipatsaan keskiarvot Kuuslahdessa elokuun lopun tilanteessa. Sulfaattipitoisuus ei vaihteile suuresti Kuuslahden eri osissa. Sulfaattipitoisuus on kuitenkin suurempi Sikopuron edustalla, Kuuslahden pohjoisosassa ja kemiallisen puhdistamon edustalla. Paikoitellen koholla olevia arvoja on myös lahden eteläosassa Nikinsaaren lounaispuolen syvänteessä. Fosforin leviämiskuvasta voidaan havaita, että leviämisa-alue on varsin rajallinen. Suurimmat pitoisuuden lisäykset ovat sulfaatin tavoin Sikopuron edustalla. Typen leviämisa-alue on lähes samansuuruinen fosforin kanssa.

#### Sulfaatti (mg/l)

- ≤ 7
- 7 - 9
- 9 - 11
- 11 - 13
- 13 - 15
- 15 - 17
- 17 - 19
- 19 - 21
- 21 - 23
- > 23



#### Fosforin osuus Sikopuron keskimääräisestä pitoisuudesta (VE1, sateinen)

- 2 %
- 2 - 4 %
- 4 - 8 %
- 8 - 12 %
- 12 - 16 %
- 16 - 20 %
- > 20 %

◆ Tarkkailupaikat



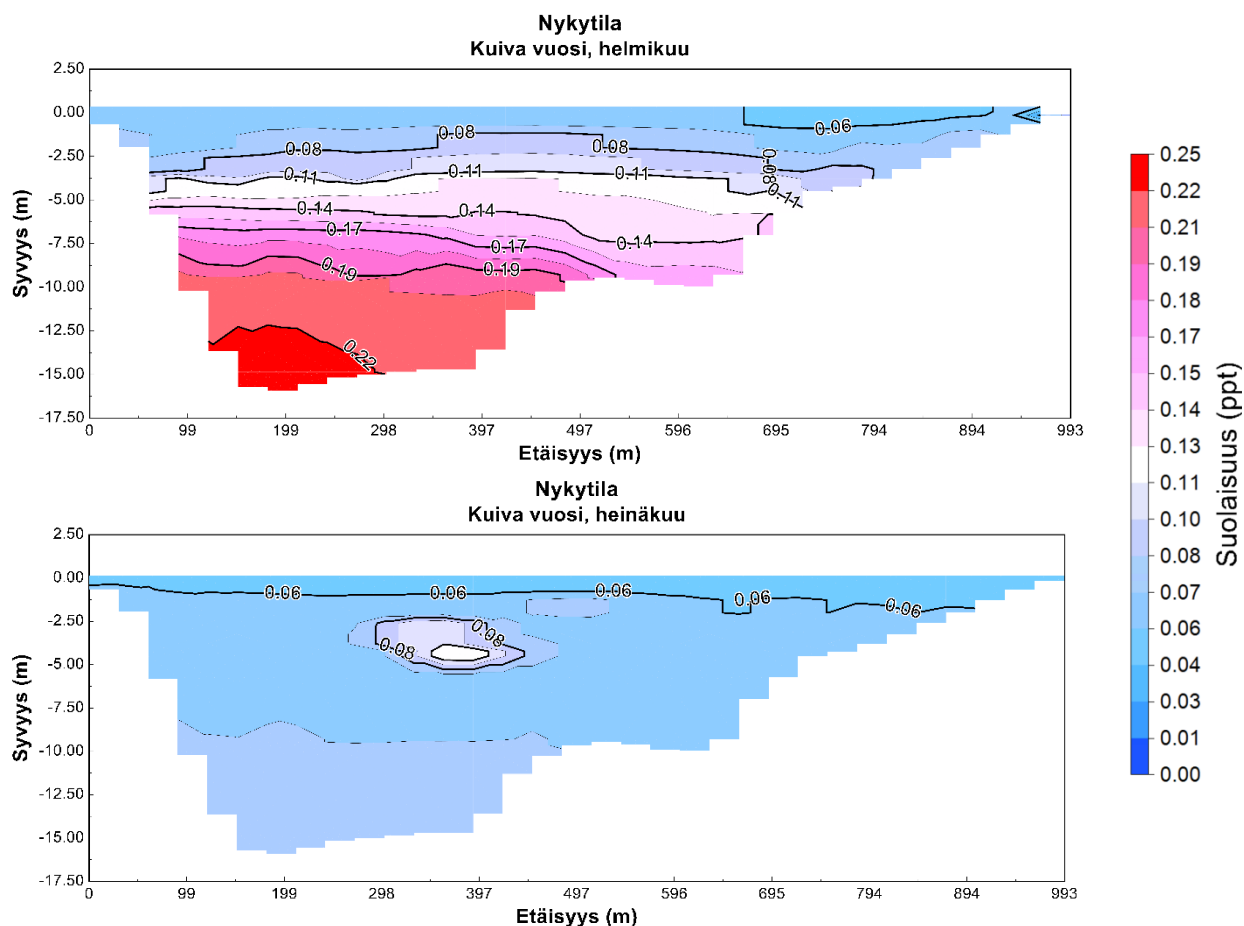
Kuva 9. Sulfaattipitoisuus (vasen kuva) ja fosforin (oikea kuva) keskimääräinen pitoisuuslisä koko vesipatsaassa Kuuslahdessa elokuun lopussa sateisena vuotena. Vasta Nikinsaaren eteläpuolella fosforin pitoisuuslisä on 0 µg/l. Suolapitoisuudesta laskettu sulfaattipitoisuus vastaa taustaa tehtaiden eteläpuolella.

### 4.3.3 Kuiva säävuosi

Kuivan vuoden tapauksessa sadanta oli 85 % ja valuntasumma 73 % tavanomaisen vuoden arvoista. Lisäksi sulan ajan keskilämpötila oli 0,7 °C kylmempi.

Päälysveden lämpötila saavutti vain lyhytaikaisesti heinä-elokuun vaihteessa yli 20 °C arvoja. Alusveden lämpötilan maksimi jäi 10 °C:een tasolle eli noin neljä astetta tavanomaista kylmemmäksi. Syksyn täyskierto tapahtui lokakuun alussa.

Kuivana vuonna sulfaattipitoisuus oli korkeampi kuin tavanomaisena vuotena. Pitoisuudet laimenevat elokuun alussa tavanomaisen vuoden tasolle. Syynä tähän on Sikopuron allaspuhdistamon pumppauksen käyttökato heinäkuun lopusta syyskuun puoliväliin. Poikkileikkauksista (Kuva 10) havaitaan, että sateisen vuoden tapaan kerrostuminen on voimakkaampaa talvella kuin kesällä. Kuivana vuotena talvikerrostuminen on voimakkaampi ja pohjanläheisen veden suolapitoisuus on korkeampi kuin sateisena vuotena. Kesäajan sulfaattipitoisuudet ovat samaa suuruusluokkaa sekä kuivana että sateisena vuotena.



Kuva 10. Talviaikainen suolaisuuskerrostuminen (ylempi kuva) oli voimakkaampaa Sikopuron edustalla kuivana kuin sateisena vuotena (vrt. Kuva 8, s.23). Kesäaikana (alempi kuva) kuiva vuosi ei eroa sateisesta.

Kuivana vuotena ravinteiden pitoisuuslisäys nollakuormitustilanteeseen verrattuna oli suurin piirtein samansuuruinen kuin sateisena vuotena. Kevätaikana, jolloin sateisena vuotena pitoisuuslisäys oli suuri, pitoisuusnousu ei kuitenkaan ole väli- ja alusvedessä merkittävästi suurempi kuin muina vuodenaikoina. Pintakerroksessa ero on kuitenkin havaittavissa, ja lisäksi pitoisuuden lisäys vaihtelee tuolloin kaikissa kerroksissa enemmän kuin muuna aikana vuodesta. Kuivana vuotena Sikopuron altaan käyttökato ajoittui elokuusta syyskuun puoliväliin asti, mikä on havaittavissa molempien ravinteiden pitoisuuslisäyksessä. Kesäaikana ravinteiden pitoisuuslisäys oli kuivana vuotena noin puolta pienemmät kuin sateisena vuotena. Esimerkiksi typen pitoisuuslisäysoli paikalla JV3 noin 100 µg/l pintakerroksessa ja 300–500 µg/l muissa kerroksissa ja fosforille vastaavasti 0,5 µg/l ja 0,5–2 µg/l.

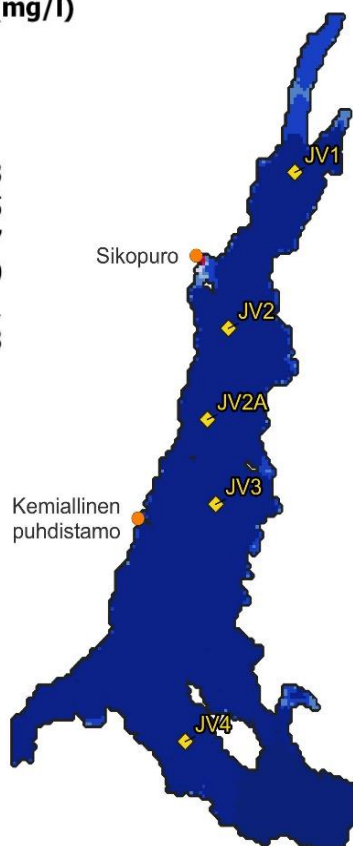
Kuivan vuoden leviämiskarttojen (Kuva 11) perusteella leviämisalueet ovat elokuun lopussa huomattavasti pienemmät kuin sateisena vuotena. Tämä kuitenkin johtuu Sikopuron



allaspuhdistamon käyttökatkosta. Heinäkuun lopussa, jolloin käyttökatko ei ole vielä alkanut, ovat leviämisaalueet yhtä suuria kuin sateisena vuotena. Ravinnepitoisuuden lisäys on kuitenkin sateista vuotta pienempi, mikä on havaittavissa myös aikasarjakuvista.

#### Sulfaatti (mg/l)

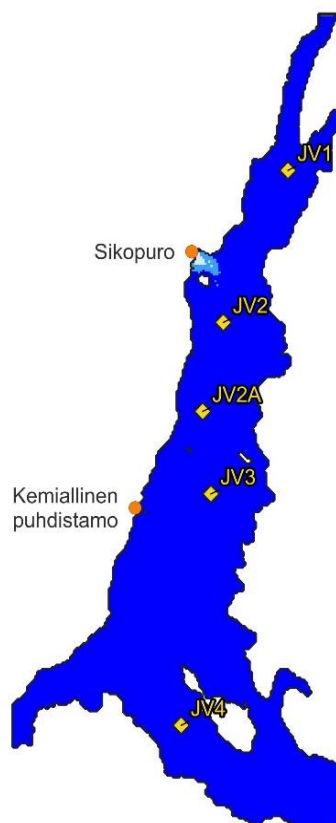
- ≤ 7
- 7 - 9
- 9 - 11
- 11 - 13
- 13 - 15
- 15 - 17
- 17 - 19
- 19 - 21
- 21 - 23
- > 23



#### Fosforin osuus Sikopuron keskimääräisestä pitoisuudesta (VE1, sateinen)

- 2 %
- 2 - 4 %
- 4 - 8 %
- 8 - 12 %
- 12 - 16 %
- 16 - 20 %
- > 20 %

◆ Tarkkailupaikat



Kuva 11. Sulfaattipitoisuus (vasen kuva) ja fosforin (oikea kuva) suhteellinen pitoisuuslisä koko vesipatsaassa Kuuslahdessa elokuun lopussa kuivana vuonna. Suhteellinen pitoisuus on laskettu jakamalla hilasolun keskimääräinen pitoisuuslisä Sikopuron keskipitoisuudella sateisen vuoden YVA-vaihtoehdossa VE1 (Ks. kpl 8.1s. 36).

## 5 NYKYTILATULOSTEN TARKASTELU JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Työssä käytetyn virtaus- ja kulkeutumismallin sovellus onnistui erittäin hyvin, ottaen huomioon, että mallisovelluksen kohteena oli haastava mallin aikaisempiin sovelluksiin nähden matala ja suhteellisen pieni vesistön osa. Haasteina olivat myös Kuuslahden vaihtelevat syvyysuhteet, lahden vedenvaihto Juurusveden kanssa sekä lauhdeveden kierron kuvaaminen. Myös tehtaan puhdistamolta tulevan veden lämpötilatieto oli viitteellistä.

Käytetty hilakoko (30 m x 30 m) ja korkeintaan 1,4 m kerrospaksuus osoittautui toimivaksi ratkaisuksi. Vertikaalikerroksia oli syvimmissä paikoissa 20, jolloin saatiin myös Kuuslahden syvänteet kuvattua hyvin.



Juurusveteen rajoittuneella mallialueen reunalla Juurusveden ja Kallaveden vedenkorkeushavainnot toimivat välttämättöminä aineistoina. Ilman niitä ei vedenvaihtoa Juurusveden kanssa olisi saatu arvioitua oikein.

Kalibrointi- ja verifiointi veden lämpötilan ja johdetun suolaisuuden avulla osoittivat, että malli pystyy kuvaamaan käytetyt tilamuuttujat realistisesti erilaisissa sääoloissa. Virtausnopeuksien vertailu aikaisempien mittaustulosten kanssa osoitti, että yhtäpitävyys Nikinsaaren kohdalla oli hyvä, mutta tehtaan edustalla heikompi. Tuloksien vertailua toki rajoitti käytettävissä olevan mittausaineiston vähäisyys.

Jääpeitekuvaus mallissa on rajoittunut teräsjään kuvaukseen. Näin ollen ei voida olettaakaan, että malli voisi antaa tarkkoja jäänpaksuustuloksia. Sen sijaan jääpeiteajan kuvaus toimi hyvin. Jääpeitteinen aika on juuri keskeisin jään pintakerroksen lämpötaloutta ja tuulten virtauksia aiheuttavaa vaikutusta säätelevä tekijä. Jääpeitteinen aika on myös keskeinen syyskierron ja kevätkierron oikean ajoittumisen kannalta. Siten jäänpaksuuden mallintamisen puutteiden vaikutus mallinnustuloksiin on vähäinen.

Ravinnekuvaus nykyisessä mallisovelluksessa perustuu puhtaasti kulkeutumisen ja laimenemisen laskentaan eikä ravinnelaskentaa erikseen kalibroitu. Yleisesti ottaen pienillä kuormitusmuutoksilla kulkeutumismallien avulla saadaan käsitys vastaanottavan vesistön pitoisuusmuutoksien suunnasta ja suuruusluokasta. Todellisuudessa ravinteiden kiertoon sisältyvät bio- ja geokemialliset prosessit vaikuttavat merkittävästi lopullisiin pitoisuuksiin. Kuuslahden viipymä on lyhyt, vain muutaman kuukauden luokkaa. Myös saadut laskentatulokset osoittivat realistisia ravinteiden arvoja. Tämä tarkoittaa, että käytetty malli ja lähestymistapa soveltuu hyvin kaivosvesien vedenlaatutarkasteluihin tässä kohteessa. ja malli on hyvä työkalu kerrostuneen Kuuslahden tarkasteluun hankkeen YVA-vaiheessa.

Mallisovellusta voidaan parantaa entisestään ottamalla huomioon Kuuslahtea ympäröivän maaston tuottama tuulikatve sekä kehittämällä lumen ja jään kuvausta. Lisäksi veden lämpötilan ja virtausten mittaus itse Kuuslahdessa ja sen suulla parantaisi mallin tarkkuutta. Myös ravinnepitoisuuden mittaukset Kuuslahdessa parantavat mallin ennustekykä. Mallin jatkokehittäminen edellyttää Kuuslahden ja Kuuslahteen kulkeutuvien vesien kattavampaa mittaushanketta.

## **OSA 2 YVA-MALLINNUS**

## 6 KUVAUS YVA-HANKKEESTA JA HANKEVAIHTOEHDOSTA

Yaran Siilinjärven kaivos on EU-alueen ainoa fosfaattikaivos. Avolouhoksista saatavasta malmista rikastetaan apatiittia, josta saadaan fosforia lannoitteiden ja rehufosfaattien raaka-aineeksi. Toimipaikalla on kaivoksen lisäksi neljä eri tuotantolaitosta: lannoitetehtas, fosforihappotehtas, typpihappotehtas ja rikkihappotehtas.

Yara suunnittelee Siilinjärven kaivostoiminnan laajentamista ja on aloittanut Tulevaisuudessakin leipää (TULE) -hankkeen, jonka tavoitteena on selvittää kaivostoiminnan jatkumisen mahdollisuuksia vuoden 2035 jälkeen. Toiminnan jatkuminen vuoden 2035 jälkeen vaatii uusia malmivaroja sekä lisää läjitystilavuutta (kaivannaisjätteille / sivukiville ja rikastushiekalle).

Tässä raportissa kuvattu mallinnus on toteutettu TULE-hankkeen ympäristövaikutustenarviointiprosessissa (YVA) tehtävän Kuuslahden vesistövaikutusten arvioinnin tueksi. YVA-lain ja -asetuksen mukaisessa hankkeessa tarkastellaan Yaran Siilinjärven kaivoksen laajentamisen toteutusvaihtoehtoja. YVA-hankkeen tavoitteena on selvittää kaivostoiminnan jatkumisen mahdollisuuksia 2060-luvulle saakka.

YVA-hankkeessa arvioidaan hankkeen aiheuttamia vaikutuksia verrattuna nykytilassa ilmeneviin vaikutuksiin. YVA sisältää vaihtoehtoisia toteutustapoja, joiden vaikutuksia nykytilaan vertaillaan hankevaihtoehtojen välillä. Lisäksi YVA:ssa arvioidaan ns. vaihtoehto 0, jossa hanketta ei toteuteta, minkä seurauksena kaivostoiminta Siilinjärvellä päättyisi vuonna 2035. YVA:n sisältämät vaihtoehdot on esitetty YVA-selostuksessa.

## 7 YVA-MALLINNUS

### 7.1 Mallinnustilanteet

Alla on kuvattu YVA-hankeen mukaiset vaihtoehdot (Taulukko 8). YVA-vaihtoehtojen tarkempi kuvaus on esitetty YVA-selostuksessa. Mallinnustilanteet on kuvattu seuraavissa alakappaleissa.

**Nykytilaa kuvaavien malliajojen (tavanomainen, sateinen ja kuiva vuosi) tulokset on esitetty edellä kohdassa 4.3.** YVA:ssa kaikkia vaihtoehtoja ja niiden aiheuttamia vaikutuksia verrataan nykytilan mitattuun kuormitukseen ja vesinäytetuloksiin.

Vaihtoehto VE0 tarkoittaa kaivostoiminnan päättymistä vuonna 2035, jonka jälkeen toiminta ei nykyisten lupien mukaan ole enää mahdollista. VE0 eroaa nykytilasta vuoteen 2035 mennessä tapahtuvan läjitysalueiden ja avolouhosten suurentumisen takia.

**VE0 tilanne mallinnettiin nykyisen toiminnan elinkaaren loppuvaiheen mukaisena (vuosi 2035),** jolloin toiminnasta aiheutuva kuormitus on mallinnukseen määritettyjen oletusten mukaan kyseisessä skenaariossa suurin. Myös ilmastonmuutoksen eteneminen vuoteen 2035 huomioitiin malliajossa.

Taulukko 8. YVA-vaihtoehdot (mukailtu Ramboll 2023).

| Vaihtoehto                                    | VE0                                           | VE1                             | VE2                            | VE3                             | VE4                        |
|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| <b>Louhokset</b>                              |                                               |                                 |                                |                                 |                            |
| <b>Särkijärven/<br/>Jaakonlammen louhos</b>   | Toiminta<br>nykyisten<br>lupien<br>puitteissa | Toiminta<br>jatkuu              | Toiminta<br>jatkuu             | Toiminta<br>jatkuu              | Toiminta<br>jatkuu         |
| <b>Laukansalon uusi<br/>louhos</b>            | Ei toteuteta                                  | Toteutetaan                     | Toteutetaan                    | Toteutetaan<br>suppeampana      | Toteutetaan<br>suppeampana |
| <b>Saarisen louhoksen<br/>laajennus</b>       | Ei toteuteta                                  | Toteutetaan                     | Toteutetaan                    | Toteutetaan                     | Toteutetaan                |
| <b>Sivukiven läjitysalueet</b>                |                                               |                                 |                                |                                 |                            |
| <b>Ansanmäen laajennus</b>                    | +230<br>ei laajennusta                        | +230<br>n. 185 ha               | +230<br>n. 185 ha              | +305<br>n. 115 ha               | +305<br>n. 115 ha          |
| <b>Saarisen laajennus</b>                     | +210<br>ei laajennusta                        | +210<br>n. 50 ha                | +210<br>n. 50 ha               | +210<br>n. 50 ha                | +210<br>n. 50 ha           |
| <b>Itäläjätyksen laajennus</b>                | +240<br>ei laajennusta                        | -                               | -                              | +295<br>n. 50 ha                | +295<br>n. 50 ha           |
| <b>Laukansalo</b>                             | -                                             | +225<br>n. 85 ha<br>lounaaseen  | +225<br>n. 85 ha<br>lounaaseen | -                               | -                          |
| <b>Rikastushiekka-alue</b>                    |                                               |                                 |                                |                                 |                            |
| <b>Mustin laajennus<br/>(sis. vesialtaan)</b> | -                                             | +250<br>n. 430 ha<br>pohjoiseen | +250<br>n. 440 ha<br>itään     | +250<br>n. 430 ha<br>pohjoiseen | +250<br>n. 440 ha<br>itään |

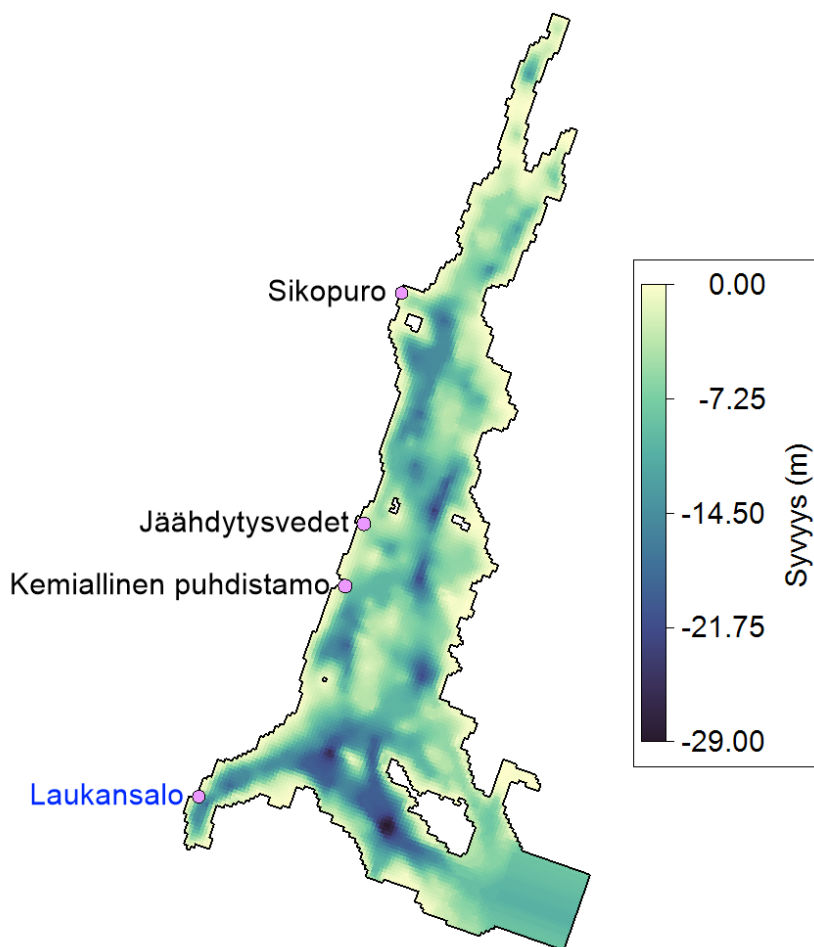
Kaikissa YVA:n hankevaihtoehdoissa VE1, VE2, VE3 ja VE4 Särkijärven, Jaakonlammen ja Saarisen louhokset laajenevat ja toiminta niillä ei eroa vaihtoehtojen välillä. Myös Laukansaloon perustetaan uusi avolouhos kaikissa hankevaihtoehdoissa, mutta vaihtoehdoissa VE3 ja VE4 se jää kooltaan selvästi suppeammaksi kuin vaihtoehdoissa VE1 ja VE2. Lisäksi Mustin rikastushiekka-aluetta laajennetaan joko pohjoiseen (VE1 ja VE3) tai itään (VE2 ja VE4).

Saarisen sivukivialuetta laajennetaan kaikissa hankevaihtoehdoissa saman verran. Vaihtoehtoihin VE1 ja VE2 sisältyy uusi Laukansalon sivukivialue, jonka suotovedet johdetaan Kuuslahteen (Kuva 12). Vaihtoehtoihin VE3 ja VE4 sisältyy Laukansalon sivukivialueen sijaan Itäläjätyksen laajennusosa.

**Kaikissa YVA-hankevaihtoehdoissa (VE1-VE4) rikastamon raakavedenottoa Sulkavanjärvestä korvataan Ansanmäen sivukivialueen suotovedellä.** Pumpausta kasvatetaan Ansanmäen läjitysalueen ja suotovesimäärän suurentuessa. Koska etenkin typpi- ja sulfaattipitoisuudet suotovesissä ovat Sulkavanjärvestä otettavaa raakavettä korkeampia, lisää tämä jossain määrin ainemäärää rikastamon vesikierrossa ja ylitevesien mukana Sikopuroon ja Kuuslahteen johdettava kuormitus sitä myötä suurenee. Suotovesien ottamisella raakavedeksi pystytään pienentämään toiminnan kokonaiskuormitusta, kun tyyppä mm. pidättyy altaissa rikastamon vesikierron varrella.

Edellä esitetyt muutokset lisäävät Sikopuroon johdettavien kuivanapitovesien, rikastamon vesikierron puhdistettujen ylitevesien sekä Itäläjätyksen suotovesien (VE3 ja VE4) ja Laukansalon

sivukivialueen (VE1 ja VE2) Kuuslahteen tuomaa kuormitusta (Kuva 12). Näiden muutosten myötä lisääntyy myös Kuuslahden kuormitus.



Kuva 12. Laukansalon suotovesien purkupiste vaihtoehdossa VE1 (ja VE2) sekä Kuuslahden syvyysmallin kartta.

**Hankevaihtoehdot VE1-VE4 mallinnettiin elinkaaren loppuvaiheen mukaisena (vuosi 2065), jolloin toiminnasta aiheutuva kuormitus on mallinnukseen määritettyjen oletusten mukaan suurin.**

Mallinnettu Sikopuron kokonaiskuormitus nousee nykytilasta jonkin verran kaikissa YVA-vaihtoehdoissa VE0-VE4 (Taulukko 9). Kokonaiskuormituksessa on huomioitu Sikopuron lisäksi vaihtoehdoissa VE1 ja VE2 Laukansalon sivukivialueen kuormitus Kuuslahden lounaisosaan. Kokonaiskuormituksen muutos on suurin sateisena vuonna fosforin osalta (Lisäys verrattuna nykytilamallin kuormitukseen +64 %:sta +187 %:iin) ja kuivana vuonna typen osalta (Lisäys verrattuna nykytilamallin kuormitukseen +98 %:sta +283 %:iin). Fosforin määrä kuormituksessa lisääntyy, kun valumavesistä ja lyhyemmästä viipymästä johtuen vesikierrossa fosforin määrä ja Sikopuroon purettava vesimäärä suurenevat. Typpikuormituksessa YVA-vaihtoehtojen kuormitus perustuu kuivanapitovesissä ja sivukivialueilla tuotettuihin typpikiloihin, jotka ovat vain vähän riippuvaisia säävuoden sadannasta. Tämä aiheuttaa laskennallisesti suuren typpikuormituksen suurenemisen kuivana säävuonna. Nykytilassa (pienemmät louhokset ja sivukivialueet) kuivan säävuoden pienempi vesimäärä johtaa realistisempaan pienempään typpikuormitukseen verrattuna keskimääräisen ja sateisen säävuoden typpikuormitukseen. YVA-vaihtoehtojen

vaikutuksia Kuuslahteen kohdistuvaan kuormitukseen on esitetty tarkemmin kaivoksen vesi- ja ainetaseraportissa (Envineer Oy 2023b)

*Taulukko 9. Malliskenaarioiden mukainen kokonaiskuormitus Sikopuron ja Laukansalon suotovesien kautta Kuuslahteen nykytilassa (1.11.2023-31.10.2024), YVA-vaihtoehdossa VE0 (1.11.2024-31.10.2025) ja YVA-vaihtoehtoissa VE1-VE4 (1.11.2024-31.10.2025). Sikopuron kuormitus pitää sisällään myös valuma-alueen luontaisen hajakuormituksen. Ainekohtaisesti pienin kuormitus kunakin säävuonna on värjätty vihreällä ja suurin kuormitus punaisella. +% tarkoittaa kuormituksen lisäystä verrattuna mallinnettuun nykytilaan. (Envineer 2023b)*

| Kuormitus Kuuslahteen tn/v                                                                                       | Sulfaatti |     | Fluoridi |     | Fosfori |     | Typpi |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----|----------|-----|---------|-----|-------|-----|
|                                                                                                                  | tn/v      | +%* | tn/v     | +%* | tn/v    | +%* | tn/v  | +%* |
| <small>*Lisäys suhteessa nykytilan malliskenaarioon, jossa kaivostoiminnot v. 2024 suunnitellun mukaiset</small> |           |     |          |     |         |     |       |     |
| <b>Kuiva vuosi (2019)</b>                                                                                        |           |     |          |     |         |     |       |     |
| Nykytila                                                                                                         | 1 930     | 0   | 20       | 0   | 0.26    | 0   | 41    | 0   |
| VE0                                                                                                              | 2 067     | 7   | 20       | 0   | 0.26    | 0   | 81    | 98  |
| VE1                                                                                                              | 3 255     | 69  | 28       | 39  | 0.40    | 54  | 157   | 283 |
| VE2                                                                                                              | 3 134     | 62  | 25       | 26  | 0.36    | 37  | 157   | 282 |
| VE3                                                                                                              | 2 932     | 52  | 26       | 29  | 0.36    | 40  | 137   | 235 |
| VE4                                                                                                              | 2 818     | 46  | 24       | 20  | 0.32    | 23  | 135   | 229 |
| <b>Keskimääräinen vuosi (2016)</b>                                                                               |           |     |          |     |         |     |       |     |
| Nykytila                                                                                                         | 1 970     | 0   | 19       | 0   | 0.27    | 0   | 83    | 0   |
| VE0                                                                                                              | 2 249     | 14  | 21       | 11  | 0.29    | 7   | 88    | 6   |
| VE1                                                                                                              | 3 374     | 71  | 30       | 56  | 0.51    | 88  | 152   | 83  |
| VE2                                                                                                              | 3 390     | 72  | 30       | 55  | 0.50    | 84  | 151   | 82  |
| VE3                                                                                                              | 3 306     | 68  | 29       | 54  | 0.51    | 87  | 146   | 76  |
| VE4                                                                                                              | 3 298     | 67  | 29       | 53  | 0.49    | 80  | 145   | 74  |
| <b>Sateinen vuosi (2015)</b>                                                                                     |           |     |          |     |         |     |       |     |
| Nykytila                                                                                                         | 2 054     | 0   | 20       | 0   | 0.22    | 0   | 87    | 0   |
| VE0                                                                                                              | 2 469     | 20  | 23       | 15  | 0.36    | 64  | 100   | 15  |
| VE1                                                                                                              | 3 632     | 77  | 31       | 54  | 0.63    | 187 | 174   | 100 |
| VE2                                                                                                              | 3 527     | 72  | 29       | 47  | 0.50    | 127 | 170   | 96  |
| VE3                                                                                                              | 3 627     | 77  | 31       | 54  | 0.63    | 186 | 171   | 97  |
| VE4                                                                                                              | 3 530     | 72  | 30       | 48  | 0.50    | 129 | 168   | 94  |

Alustavissa Kuuslahden 3D-malliajoissa erot kaikkien eri hankevaihtoehtojen VE1-VE4 tulosten välillä eivät olleet selvästi havaittavia. Raportoinnissa nähtiin tärkeäksi esittää ne tulokset, joissa hankevaihtoehtojen välillä ilmeni nähtävissä olevia eroja. Lukuisien tulosten ja kuvien esittämistä pyrittiin välttämään, jotta merkittävät tulokset eivät hukkuisi valtavaan määrään toisiaan toistavaa tulosaineistoa. Tästä syystä lopulliset Kuuslahden malliajot tehtiin YVA-hankevaihtoehtoille VE1, jossa kuormitus oli keskimäärin hieman suurempaa kuin muissa hankevaihtoehtoissa ja VE4, jossa kuormitus oli keskimäärin hieman pienempää kuin muissa hankevaihtoehtoissa. Vaihtoehtojen VE2 ja VE3 osalta päästöjen leviäminen ja vaikutukset Kuuslahdessa asettuvat mallinnettujen hankevaihtoehtojen ääripäihin tai niiden väliin, tarkasteltavan aineen mukaan ks. Taulukko 9.

## 7.2 Lähtöoletukset

Malliajojen säävuodet pohjautuvat nykytila-ajoja vastaaviin säävuosiin, tavanomainen (2016), sateinen (2015) ja kuiva (2019) sekä Ilmatieteenlaitoksen Maanigan sääasemalla mitattuihin lämpötila- ja sadantatietoihin. Nämä tiedot on syötetty Siilinjärven alueelle laadittuun ilmastomuutosmalliin (Envineer Oy 2023a), joka huomioi ilmastomuutoksen kuukausitasolla. Ilmastomuutosmalli muuntaa sadanta- ja lämpötila-arvoja ilmastomuutoksen edetessä kuukauden välein muuttuvilla kertoimilla. Ilmastomuutoksen kuukausikertoimet ovat laskennallisia ja ne perustuvat 30 vuoden säähistoriaan sekä Ilmatieteen laitoksen tuottamaan Paituli-aineistoon (Ilmatieteen laitos 2022). Tästä syystä, tarkasteltaessa yksittäistä vuotta, mallin vaikutus lämpötilaan ja sadantaan ei ole täysin lineaarista ajan suhteen. Merkittävämpi vaikutus yksittäisen vuoden säähän on säätekijöiden luontaisella vaihtelulla. Kuukausikertoimet huomioivat muutosta kuukausitasolla. Ne eivät huomioi muutosta yksittäisten poikkeuksellisten sääilmiöiden esiintymisessä. Muut säätiedot (tuuli, säteilyn määrä, pilvisuus ja ilmanpaine) ja haihdunta pidettiin samoina kuin nykytilaa kuvaavissa malleissa, sillä ilmastomuutoksen vaikutusta näihin muuttujiin ei voida arvioida riittävän tarkasti.

Sikopuron ja Laukansalon sivukivialueen suotovesien virtaama- ja pitoisuusaineisto eri vaihtoehtoissa olivat peräisin Siilinjärven kaivoksen vesi- ja ainetasemallin (Envineer Oy 2023b) tuloksista. Jotta hankevaihtoehtojen aiheuttamien vaikutusten erot saadaan parhaiten esiin, muut lähtötiedot pidettiin samoina kuin nykytila-ajoissa.

Erot keskimääräisen ja sateisen vuoden kuormitusten välillä olivat pieniä (Taulukko 9), eikä alustavien Kuuslahden malliajojen tuloksissa päästöjen leviämisessä ollut näiden säävuosien välillä selkeää silmin havaittavaa eroa. **Jotta suuresta määrästä tuloksia saadaan merkittävät tulokset ja erot esille, tehtiin lopulliset YVA-vaihtoehtojen mallinnukset pelkästään sateiselle ja kuivalle säävuodelle.**

Alla on kuvattu mallinnustilanteiden kokonaisvesimäärät ja -kuormitus. Vesi- ja ainetasemallinnuksen (Envineer Oy 2023b) Sikopuron kuormitusvesimäärästä (Taulukko 10) nähdään, että rikastamon vesikierron yliteveden määrä ei aivan suoraan korreloi sademäärän muutoksen kanssa. Sään vaikutus kaivoksen sisäisestä vesikierrasta aiheutuvaan kuormitukseen jää loppujen lopuksi melko vähäiseksi, sillä kuormitus on peräisin suuressa määrin rikastamoprosessista (Taulukko 11). Sateisempina vuonna suhteellisesti suurempi osuus rikastamon vesikierron Sikopuroon johdettavasta ylitevedestä muodostuu sadevedestä.

Sateisuuden vaikutus kuormitukseen ei aina täysin näy yhden vuoden jaksolla, vaan sateisuuden ajankohta voi vaikuttaa vuosikuormitukseen (Taulukko 11). Vuoden lopussa esiintyvien sateiden takia vesikierron alkupäähän rikastushiekka-alueelle rikastamolta tuleva eniten kuormitusta sisältävä vesi ei pääse vuoden loppuun mennessä vesikierron loppuun. Sadevedet muodostavat laimeamman veden puskurin niiden edelle. Tällöin myös Sikopuroon johdettavat ylitevedet ovat laimeampia.

Sateisuudella on kuitenkin selvää vaikutusta Itävesialtaasta pumpattavien kuivanapitovesien määrään ja sitä myötä kuormituksen määrään. YVA:n hankevaihtoehtoissa louhosala laajenee.

Tämän takia YVA-hankevaihtoehtojen malliajoissa kuormitus kasvaa selvemmin sadannan kasvaessa (Taulukko 11).

Vaihtoehtojen vertailukelpoisuuden parantamiseksi rikastamon vesikierron kokonaisvesivarasto (Vesiallas + Uusi vesivarastoallas + Raasio) pyrittiin saattamaan malliajon loppuun mennessä samankokoiseksi tai vähän pienemmäksi, kuin malliajon alkaessa. Tällä estettiin veteen sitoutuneiden aineiden (F, SO<sub>4</sub>, N ja P) varastoitumista kasvavaan vesivarastoon sen sijaan, että kuormitus olisi johdettu Sikopuroon. Vesivarastoja kasvattamalla tai pienentämällä voitaisiin tilapäisesti vaikuttaa huomattavasti Sikopuroon johdettavaan kuormitukseen.

*Taulukko 10. Tulovirtaamien kokonaisvesimäärä eri säävuosina ja eri vaihtoehtoisissa.*

| milj. m <sup>3</sup> /a               | Tavanomainen* | Sateinen | Kuiva   |
|---------------------------------------|---------------|----------|---------|
| <b>Sikopuro</b>                       |               |          |         |
| Nykytila                              | 7.2           | 6.7      | 5.4     |
| VE0                                   |               | 10.2     | 8.6     |
| VE1                                   |               | 14.1     | 10.5    |
| VE4                                   |               | 13.6     | 10.4    |
| <b>Laukansalo</b>                     |               |          |         |
| VE1                                   |               | 0.30     | 0.22    |
| <b>Lähivaluma-alueen pintavalunta</b> |               |          |         |
| Nykytila                              | 0.49          | 0.58     | 0.39    |
| VE0                                   |               | 5.5      | 3.7     |
| VE1-4                                 |               | 5.6      | 3.7–4.7 |

\*Ensimmäinen vuosi (ks. kpl 3.3. s.11)



Taulukko 11. Sikopuron, Laukansalon ja lähivaluma-alueen pintavalunnan kautta tuleva kokonaiskuormitus erilaisina säävuosina ja eri vaihtoehtoissa.

|                                       | Tavanomainen* | Sateinen | Kuiva   |
|---------------------------------------|---------------|----------|---------|
| <b>Suola (t/a)</b>                    |               |          |         |
| <b>Sikopuro</b>                       |               |          |         |
| Nykytila                              | 6 300         | 5 900    | 6 200   |
| VE0                                   |               | 8 400    | 7 100   |
| VE1                                   |               | 12 000   | 9 800   |
| VE4                                   |               | 12 000   | 9 500   |
| <b>Laukansalo</b>                     |               |          |         |
| VE1                                   |               | 50       | 410     |
| <b>Lähivaluma-alueen pintavalunta</b> |               |          |         |
| Nykytila                              | 29            | 32       | 22      |
| VE0                                   |               | 320      | 210     |
| VE1-4                                 |               | 320      | 210–270 |
| <b>Fosfori (kg/a)</b>                 |               |          |         |
| <b>Sikopuro</b>                       |               |          |         |
| Nykytila                              | 270           | 220      | 260     |
| VE0                                   |               | 360      | 260     |
| VE1                                   |               | 630      | 400     |
| VE4                                   |               | 500      | 320     |
| <b>Laukansalo</b>                     |               |          |         |
| VE1                                   |               | 8        | 6       |
| <b>Typpi (t/a)</b>                    |               |          |         |
| <b>Sikopuro</b>                       |               |          |         |
| Nykytila                              | 83            | 86       | 71      |
| VE0                                   |               | 100      | 87      |
| VE1                                   |               | 166      | 150     |
| VE4                                   |               | 168      | 135     |
| <b>Laukansalo</b>                     |               |          |         |
| VE1                                   |               | 8        | 7       |

\*Ensimmäinen vuosi (ks. kpl 3.3. s.11)

## 8 YVA-MALLINNUKSEN TULOKSET

### 8.1 Tulosten tulkinnessa huomioitavaa

Vertailun painopisteenä olivat sulfaatin, typen ja fosforin leviäminen sekä niiden kerrostuneisuus. Tuloksia tarkasteltaessa on huomioitava, että mallinnusohjelmasta on tulostettu kokonaissuolaisuus, joka on laskennallisesti muutettu aikasarja- ja leviämiskuvissa esitettäväksi sulfaatiksi. Koska sulfaattipitoisuus on laskettu ohjelman mallintamasta suolapitoisuudesta, eivät sen pitoisuudet kaikissa olosuhteissa täysin vastaa mitattuja pitoisuuksia. YVA-vaiheen mallinnettuja sulfaattipitoisuuksia onkin ensisijaisesti verrattava nykytilamallin ja vaihtoehdolle VEO mallinnettuihin sulfaattipitoisuuksiin, ei havaittuihin pitoisuuksiin. Kokonaissuolaisuutta kuvaavat poikkileikkaukset on tulostettu suoraan EEMS-ohjelmasta.

Väärintulkinnan ehkäisemiseksi erityistä huomiota on kiinnitettävä siihen, että **fosforin ja typen osalta numeeriset tulokset esittävät konservatiivista pitoisuusnousua**, joka aiheutuu Yaran toiminnoista (kaivos + tehdas). Pitoisuusnousu nykytilassa ei ole nolla, vaan esittää sananmukaisesti paljonko ravinnepitoisuudet Yaran toimintojen seurauksena nykytilassa nousevat. **Fosfori- ja typpipitoisuuden nousu on, sekä nykytilassa, että YVA-vaihtoehdoissa molemmissa laskettu verrattuna samaan laskennalliseen tilanteeseen, jossa Yaran toiminnoista aiheutuvaa kuormitusta ei ole.**

Seuraavissa kappaleissa on esitetty malliskenaarioiden tulokset sateisena ja kuivana säävuotena. Näissä kappaleissa esitetyt tulokset kuvaavat pitoisuutta tai pitoisuusnousua joko aikasarjana (sulfaatti, typpi ja fosfori, liite 1) yhdessä pistemäisessä kohteessa tai päästön leviämisenä hetkellisessä tilanteessa joko Kuuslahden poikkileikkauksessa (lämpötila, suolaisuus, liite 2) tai karttaesityksenä (sulfaatti, typpi, fosfori, liite 3). Tulokset edustavat siis vain yhtä pistemäistä kohdetta tai leviämisen tilannetta yhtenä valittuna päivänä. Pistemäiset kohteet on kohdistettu vertailun helpottamiseksi paikkoihin, joista veden laatua seurataan tarkkailunäytteillä (Juurusvesi 2 ja Juurusvesi 3). **Päivä on valittu niin, että alueellista tilannetta edustavat tulokset (poikkileikkaus- ja karttakuvat) edustavat lämpökerrostuneisuuskausien loppua, jolloin päästöjen vaikutukset ovat keskimääriin suurimmat. Leviämiskarttojen tulokset edustavat siis vuosikierron suurimpien vaikutusten tilannetta valittuna päivänä.** Ajallinen vaihtelu vuosikierron aikana on kuvattu liitteen 1 aikasarjakuvissa.

Ravinteiden osalta koko vesipatsaan (pohjasta pintaan) keskiarvoisina pitoisuuslisäyksinä saadut tulokset skaalattiin päästöjen leviämiskarttoihin %-suhteessa Yara:n toimintojen Sikopuroon aiheuttamaan keskimääräiseen pitoisuuslisään vaihtoehdoissa VE1 ja VE4. Tämä keskiarvoinen pitoisuuslisäys oli typelle 12 mg/l ja fosforille 50 µg/l. Jokaisen solun keskiarvoinen ravinteiden pitoisuuslisä (pohjasta pintaan) esitettiin päästön laimenemista kuvaavana %-osuutena näistä luvuista. Näistä tuloksista luotiin rasteritaso (Kappale 4.3 s.20) ja päästön laimenemista kuvaavat leviämiskartat (Liite 3).

Tuloksissa on painotettu kesäaikaa, sillä se on ekologisten vaikutusten kannalta merkittävin vuodenaika. Esitettyjen tulosten tulkinnassa ja tarkastelussa on hyödynnetty myös mallin muita tuloksia ja aikasarjoja, joita kaikkia ei ole niiden suuren määrän takia mahdollista liittää raporttiin.

Tuloksia tulkittaessa on huomioitava, että **nykytilan laskennassa veden pumppauksessa Sikopuron allaspuhdistamolta Sikopuroon oli joinakin vuosina pidempiä katkoja**. Käyttökatoja oli esimerkiksi sateisena vuotena (2015) kesällä lähes kolme kuukautta sekä kuivana (2019) vuotena kaksi kuukautta kevättalvesta ja noin puolitoista kuukautta loppukesästä. Tavanomaisena vuotena (2016) oli reilun kuukauden pituinen käyttökato helmi-maaliskuussa. Sikopuron vesimäärästä isoin osa tulee nimenomaan Sikopuron allaspuhdistamolta. Käyttökatojen aikana Sikopuron virtaama muodostui Itävesialtaalta pumpattavasta vedestä ja itäläjäytysalueelta suotautuvasta vedestä. Sulfaattipitoisuudet ovat näissä vesijakeissa samaa suuruusluokkaa kuin Sikopuron allaspuhdistamon vedessä, mutta typpipitoisuudet ovat kummassakin noin 10 kertaa isompia allaspuhdistamoon verrattuna. Itävesialtaan fosforipitoisuudet ovat samaa suuruusluokkaa kuin Sikopuron allaspuhdistamon vedessä. Itäläjäytyksen suotovesien fosforipitoisuudet ovat pieniä. Käyttökatot näkyvät siten herkemmin fosforin ja sulfaatin tuloksissa kuin typen.

Kappaleessa 8.4 on esitetty mallinnuksen tuloksia muodossa, jossa ne ovat vertailukelpoisia ekologisiin ja kemiallisiin tilaluokkarajoihin. Sateisen ja kuivan vuoden tuloksia kuvaavissa kappaleissa on lisäksi esitetty luettelomuodossa sulfaatin pitoisuudet ja ravinteiden pitoisuuslisäykset tai näiden vaihteluväli eri YVA-vaihtoehtoissa talvi- ja kesäaikana. Leipätekstissä on tarkemmin kuvattu vaihtoehtojen välisiä eroja, jotka eivät välttämättä käy ilmi luettelomuotoisesta esityksestä. Luettelon on tarkoitus antaa lukijalle suuntaa antava käsitys pitoisuustasoista eri vaihtoehtoissa.

## 8.2 Sateinen säävuosi

### 8.2.1 Aikasarjat

Sateisia vuosia kuvaavissa ajoissa veden lämpötila havaintopaikassa JV2 on lähes samanlainen eri hankevaihtoehtoissa. Nykytilan laskentatuloksissa alusveden lämpötila jää noin puoli astetta matalammalle tasolle kuin hankevaihtoehtoissa. Myös paikassa JV3 erot ovat pieniä.

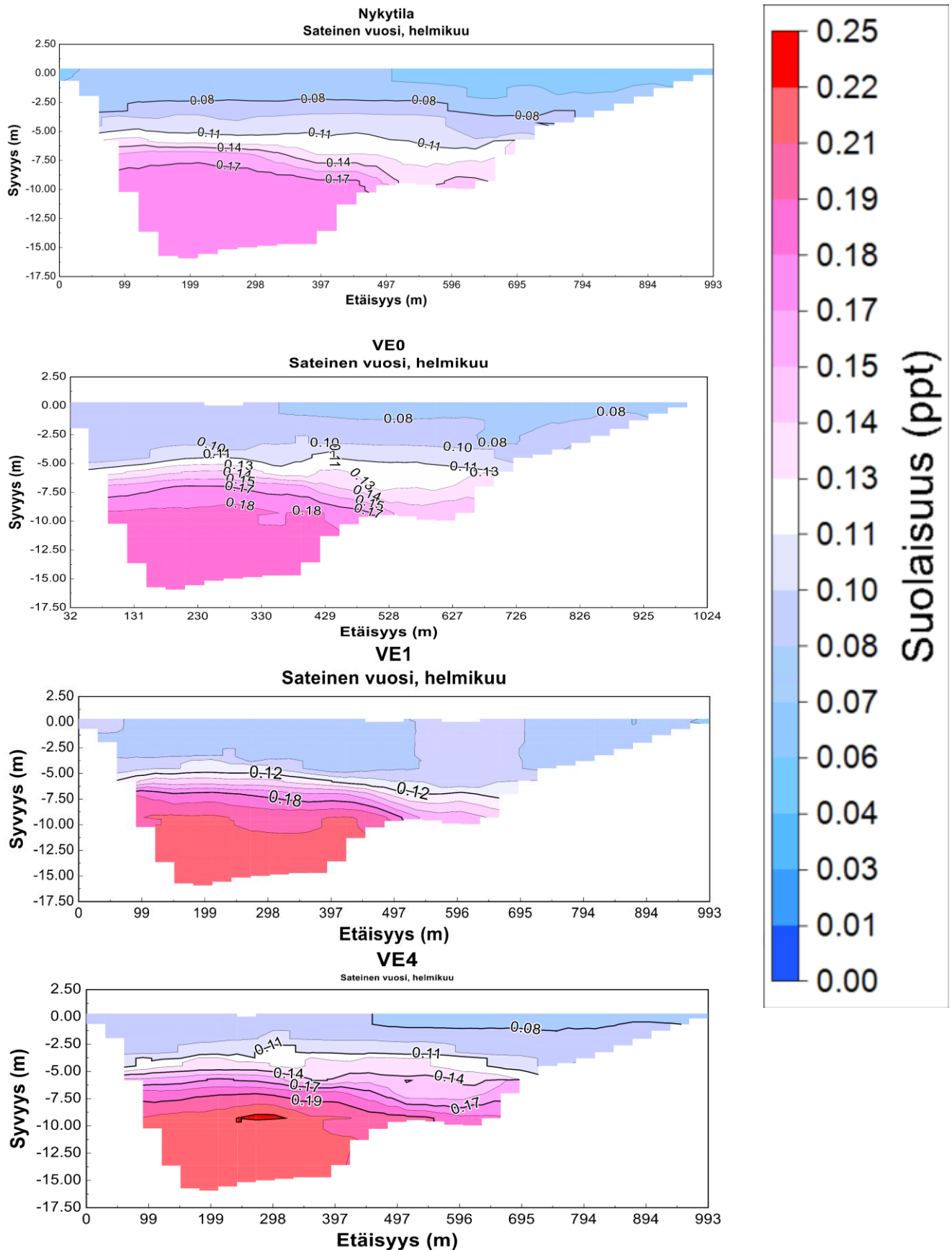
Aikasarjakuvien perusteella **sulfaattipitoisuudet ovat sekä paikalla JV2 että JV3 lähes koko vuoden korkeammat vaihtoehtoissa VE1 ja VE4 kuin nykytilassa ja vaihtoehdossa VE0** (Liite 1b). Vaihtoehtojen välinen ero sulfaattipitoisuudessa vaihtelee ja on isoin talviaikana ja pienin täyskiertojen aikana. Vaihtoehdossa VE0 sulfaattipitoisuus on nykytilaa suurempi kesäaikana ja lopputalvesta. Kevättäyskierron aikana erot vaihtoehtojen ja nykytilan välillä pienenevät.

**Merkittävää eroa ei sulfaattipitoisuudessa ole vaihtoehtojen VE1 ja VE4 välillä** (Liite 1b). Ainoastaan mallinnuksen alussa marras- ja tammikuun välisenä aikana sulfaattipitoisuus on selkeästi suurempi vaihtoehdossa VE1 päälly-, väli- ja alusvedessä kuin vaihtoehdossa VE4. Pitoisuudet olivat talviaikana muuten vastaavissa kerroksissa lähes yhtä suuret vaihtoehtoissa VE1 ja VE4.

## Sulfaattipitoisuustulosten numeerinen yhteenveto:

- Alkupalvi (marras-tammikuu):
  - JV2:
    - Nykytila: päänlysvesi 20 mg/l, välivesi 30–40 mg/l ja alusvesi 35–40 mg/l
    - VE0: päänlysvesi 20 mg/l, välivesi 40–60 mg/l ja alusvesi 40–60 mg/l
    - VE1: päänlysvesi 40 mg/l, välivesi 100–380 mg/l ja alusvesi 100–470 mg/l
    - VE4: päänlysvesi 15–30 mg/l, välivesi 60–80 mg/l ja alusvesi 60–80 mg/l
  - JV3:
    - Nykytila: päänlysvesi 15 mg/l, välivesi 15–20 mg/l ja alusvesi 15–20 mg/l
    - VE0: päänlysvesi 15 mg/l, välivesi 15–20 mg/l ja alusvesi 15–20 mg/l
    - VE1: päänlysvesi 25 mg/l, välivesi 40–150 mg/l ja alusvesi 40–160 mg/l
    - VE4: päänlysvesi 15 mg/l, välivesi 15–20 mg/l ja alusvesi 15–20 mg/l
- Lopputalvi (helmi-huhtikuu, ennen täyskiertoa):
  - JV2:
    - Nykytila: päänlysvesi 15–20 mg/l, välivesi 40 mg/l ja alusvesi 40 mg/l
    - VE0: päänlysvesi 15–30 mg/l, välivesi 40–60 mg/l ja alusvesi 40–60 mg/l
    - VE1: päänlysvesi 15–30 mg/l, välivesi 60–80 mg/l ja alusvesi 60–80 mg/l
    - VE4: päänlysvesi 15–30 mg/l, välivesi 60–80 mg/l ja alusvesi 60–80 mg/l
  - JV3:
    - Nykytila: päänlysvesi 10 mg/l, välivesi 20–35 mg/l ja alusvesi 20–30 mg/l
    - VE0: päänlysvesi 10 mg/l, välivesi 20–35 mg/l ja alusvesi 20–35 mg/l
    - VE1: päänlysvesi 10 mg/l, välivesi 30–40 mg/l ja alusvesi 35–40 mg/l
    - VE4: päänlysvesi 10 mg/l, välivesi 30–40 mg/l ja alusvesi 35–40 mg/l
- Kesäaika yksittäisiä pitoisuushuippuja lukuun ottamatta (kesä – elokuu):
  - JV2:
    - Nykytila: päänlys-, väli- ja alusvesi 15–20 mg/l
    - VE0: päänlys-, väli- ja alusvesi 20–40 mg/l
    - VE1: päänlys-, väli- ja alusvesi 20–40 mg/l
    - VE4: päänlys-, väli- ja alusvesi 20–40 mg/l
  - JV3:
    - Nykytila: päänlys-, väli- ja alusvesi 10–30 mg/l
    - VE0: päänlys-, väli- ja alusvesi 20–30 mg/l
    - VE1: päänlys-, väli- ja alusvesi 20–30 mg/l
    - VE4: päänlys-, väli- ja alusvesi 20–30 mg/l

Poikkileikkauskuvien perusteella suolakerrostuminen voimistuu sateisina vuosina talvella Sikopuron edustalla vaihtoehtoisissa VE1 ja VE4 nykytilaan verrattuna (Kuva 13). Nykytilan ja vaihtoehtoisuuden VE0 välillä ei ollut merkittäviä eroja. Kesäaikana vaihtoehtoisissa VE1 ja VE4 suolapitoisuus on suurin välivedessä, mutta alusveden ja päänlysveden suolapitoisuudessa ei ole merkittävää eroa.



Kuva 13. Talviajan suolakerrostuminen oli voimakkaampaa vaihtoehdoissa VE4 ja VE1 (alimmaisiet kuvat) kuin vaihtoehdossa VE0 ja nykytilassa (ylimmäiset kuvat). Kuva on tulostettu Sikopuron eteläpuolelta (ks. Kuva 1 s.10).

Aikasarjakuvien perusteella sateisten vuosien typpipitoisuuden nousu noudattaa samaa trendiä kuin suolapitoisuus: **kerrostuneisuuskaudella vaihtoehtojen VE1 ja VE4 pitoisuusnousu on suurempi kuin vaihtoehdossa VE0 ja nykytilassa** (Liite 1c). Etenkin väli- ja alusvedessä pitoisuusnousu on merkittävästi suurempi vaihtoehdoissa VE1 ja VE4 nykytilaan ja vaihtoehtoon VE0 verrattuna. Vaihtoehtojen VE1 ja VE4 välillä erot olivat pieniä. Ainoastaan havaintopaikan JV3 välivedessä oli typen pitoisuusnousu vaihtoehdossa VE4 noin 200 µg/l suurempi kuin vaihtoehdossa VE1. Typpipitoisuuden nousu on talvella, keväällä ja syksyllä yhtä suuri vaihtoehdossa VE0 ja nykytilassa jokaisessa kerroksessa (Liite 1c). Kesäaikana typen pitoisuusnousu on vaihtoehdossa VE0 noin 150 µg/l suurempi kuin nykytilassa.

Typpipitoisuuslisätulosten numeerinen yhteenveto:

- Talviaika (marras – huhtikuu, ennen täyskiertoa):
  - JV2:
    - Nykytila: päällysvesi 500 µg/l ja väli- ja alusvesi 1000–2000 µg/l
    - VE0: päällysvesi 500 µg/l ja väli- ja alusvesi 1000–2500 µg/l
    - VE1: päällysvesi 500 µg/l ja väli- ja alusvesi 1000–4000 µg/l
    - VE4: päällysvesi 500 µg/l ja väli- ja alusvesi 1000–4000 µg/l
  - JV3:
    - Nykytila: päällysvesi 250 µg/l ja väli- ja alusvesi 250–1000 µg/l
    - VE0: päällysvesi 250 µg/l ja väli- ja alusvesi 250–1000 µg/l
    - VE1: päällysvesi 250–750 µg/l ja väli- ja alusvesi 500–1500 µg/l
    - VE4: päällysvesi 250–500 µg/l ja väli- ja alusvesi 500–2500 µg/l
- Kesäaika (kesä-elokuu):
  - JV2:
    - Nykytila: päällysvesi, väli- ja alusvesi 500–1000 µg/l
    - VE0: päällysvesi, väli- ja alusvesi 500–1200 µg/l
    - VE1: päällysvesi, väli- ja alusvesi 700–1200 µg/l, yksittäiset pitoisuushuiput päällysvedessä > 2000 µg/l
    - VE4: päällysvesi, väli- ja alusvesi 700–1200 µg/l, yksittäiset pitoisuushuiput päällysvedessä > 2000 µg/l
  - JV3:
    - Nykytila: päällysvesi 250 µg/l ja väli- ja alusvesi 500–1250 µg/l
    - VE0: päällysvesi 400 µg/l ja väli- ja alusvesi 750–1250 µg/l
    - VE1: päällysvesi 400–500 µg/l ja väli- ja alusvesi 750–1750 µg/l
    - VE4: päällysvesi 400–500 µg/l ja väli- ja alusvesi 800–2000 µg/l

Vaihtoehdoissa VE0, VE1 ja VE4 talvinen fosforipitoisuuslisä on nykytilaan verrattuna suurempi kummallakin havaintopaikalla kaikilla syvyyksillä (Liite 1c). Kevättäyskierron aikana eroja ei ole eri vaihtoehtojen ja nykytilan välillä. **Fosforipitoisuuden lisäys vaihtoehdoissa VE0 ja VE1 on talviaikana lähes yhtä suuri** kummallakin havaintopaikalla kaikilla syvyyksillä. Havaintopaikalla JV2 on vaihtoehdon VE4 fosforin pitoisuusnousu alkutalvesta suurempi kuin edellisillä, mutta jo tammikuussa eroa ei enää ole havaittavissa. Paikalla JV3 on VE4 vaihtoehdon ero muihin merkittävä

alus- ja välivedessä, mutta päällyksivedessä eroa ei juuri ole. Ero tasoittuu vasta kevätkierron aikana.

Päällyksveden fosforipitoisuuslisä kesäaikaan on suurempi vaihtoehdoissa VE0, VE1 ja VE4 kuin nykytilassa (Liite 1c). Lisäksi havaintopaikalla JV2 esiintyy lyhytaikaisia pitoisuushuippuja. **Eri vaihtoehtojen välillä ei päällyksivedessä ole selkeää eroa kesäajan fosforipitoisuuslisässä.**

Välivedessä fosforin pitoisuuslisä (Liite 1c) on alkukesästä korkein vaihtoehdossa VE4 kummallakin havaintopaikalla. Havaintopaikalla JV2 alusvedessä pitoisuuslisä on vaihtoehdoissa VE0, VE1 ja VE4 matalampi kuin nykytilassa. Paikalla JV3 ainoastaan vaihtoehtojen VE0 ja VE1 pitoisuuslisä on nykytilaa matalampi, mutta vaihtoehdon VE4 pitoisuuslisä on samansuuruinen kuin nykytilassa. Keskikesän aikana vaihtoehdoissa VE0 ja VE4 pitoisuuslisä pysyy väli- ja alusvedessä tasaisena kummallakin havaintopaikalla, mutta nykytilassa pitoisuuslisä laskee johtuen Sikopuron puhdistamon käyttökatkosta.

Vaihtoehdossa VE1 fosforin pitoisuuslisä nousee voimakkaasti elokuun alusta asti, aluksi vain havaintopaikalla JV2 (  $2 \rightarrow > 8 \mu\text{g/l}$  ), mutta syystäyskiertoon tultaessa myös paikalla JV3. Paikalla JV2 pitoisuuslisä nousee erityisesti alus- ja välivedessä, ja paikalla JV3 päällyks- ja välivedessä. Havaintopaikalla JV2 vaihtoehdoissa VE0 ja VE4 pitoisuuslisä alkaa nousta vasta lokakuussa syystäyskierron alettua.

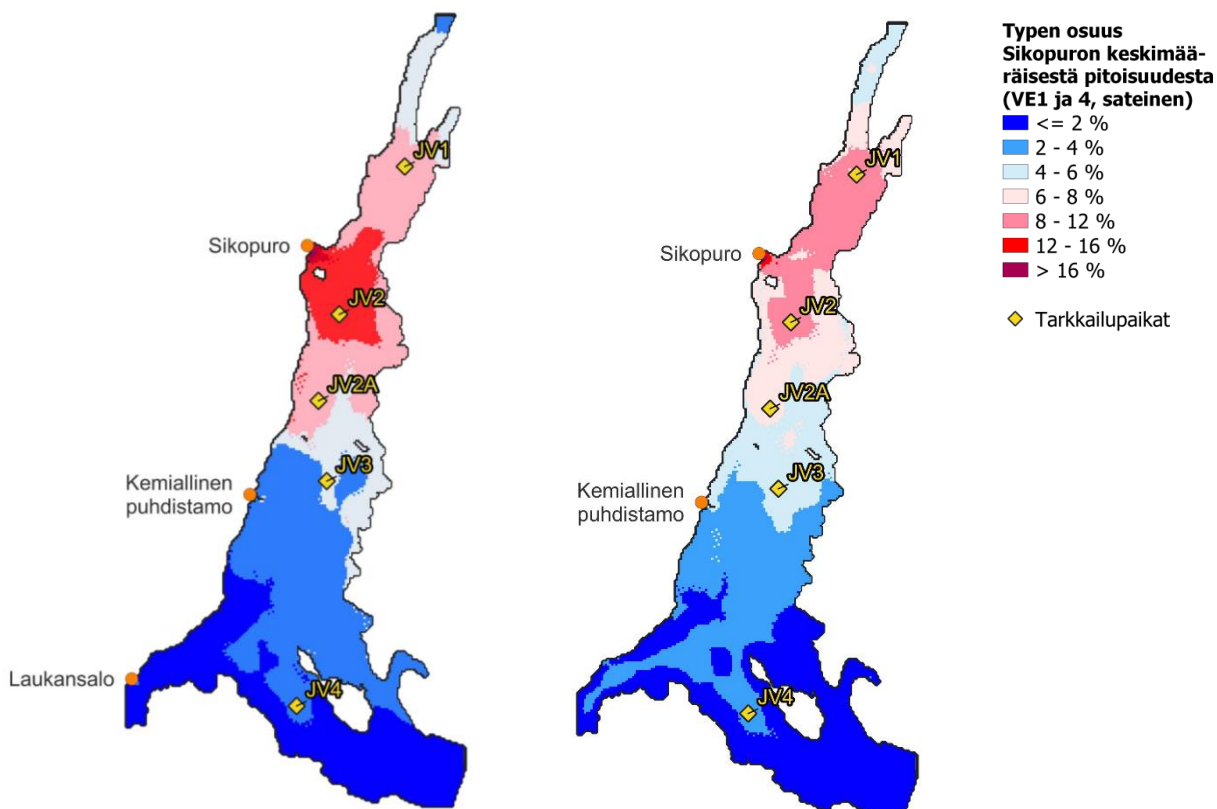
Fosforipitoisuuslisätulosten numeerinen yhteenveto:

- Talviaika (marras – huhtikuu, ennen täyskiertoa):
  - JV2:
    - Nykytila: päällyksvesi 1–2  $\mu\text{g/l}$  ja väli- ja alusvesi 2–6  $\mu\text{g/l}$
    - VE0: päällyksvesi 1–3  $\mu\text{g/l}$  ja väli- ja alusvesi 2–8  $\mu\text{g/l}$
    - VE1: päällyksvesi 1–4  $\mu\text{g/l}$  ja väli- ja alusvesi 2–12  $\mu\text{g/l}$
    - VE4: päällyksvesi 1–4  $\mu\text{g/l}$  ja väli- ja alusvesi 2–12  $\mu\text{g/l}$
    - erot väli- ja alusvedessä pieniä, vaihteluväli seurausta ajallisesta vaihtelusta
  - JV3:
    - Nykytila: päällyksvesi 0,5  $\mu\text{g/l}$  ja väli- ja alusvesi 0,5–4  $\mu\text{g/l}$
    - VE0: päällyksvesi 0,5–1  $\mu\text{g/l}$  ja väli- ja alusvesi 0,5–6  $\mu\text{g/l}$
    - VE1: päällyksvesi 0,5–2  $\mu\text{g/l}$  ja väli- ja alusvesi 2–7  $\mu\text{g/l}$
    - VE4: päällyksvesi 0,5–1,5  $\mu\text{g/l}$  ja väli- ja alusvesi 2–7  $\mu\text{g/l}$
- Kesäaika (kesä – elokuu):
  - JV2:
    - Nykytila: päällyksvesi 0,5–2  $\mu\text{g/l}$  ja väli- ja alusvesi 1–3  $\mu\text{g/l}$
    - VE0: päällyksvesi 2–6  $\mu\text{g/l}$  ja välivesi 3  $\mu\text{g/l}$  ja alusvesi 4–6  $\mu\text{g/l}$
    - VE1: päällyksvesi 2–6  $\mu\text{g/l}$  ja välivesi 3  $\mu\text{g/l}$  ja alusvesi 4–6  $\mu\text{g/l}$
    - VE4: päällyksvesi 2–6  $\mu\text{g/l}$  ja välivesi 4  $\mu\text{g/l}$  ja alusvesi 4–6  $\mu\text{g/l}$
  - JV3:
    - Nykytila: päällyksvesi 0,5–1  $\mu\text{g/l}$  ja välivesi 0,8–2  $\mu\text{g/l}$  ja alusvesi 2–4  $\mu\text{g/l}$
    - VE0: päällyksvesi 0,5–2  $\mu\text{g/l}$  ja välivesi 2  $\mu\text{g/l}$  ja alusvesi 3,5  $\mu\text{g/l}$
    - VE1: päällyksvesi 0,5–2  $\mu\text{g/l}$  ja välivesi 2  $\mu\text{g/l}$  ja alusvesi 3,5  $\mu\text{g/l}$
    - VE4: päällyksvesi 0,5–2  $\mu\text{g/l}$  ja välivesi 3  $\mu\text{g/l}$  ja alusvesi 4  $\mu\text{g/l}$

## 8.2.2 Päästöjen leviäminen loppukesällä

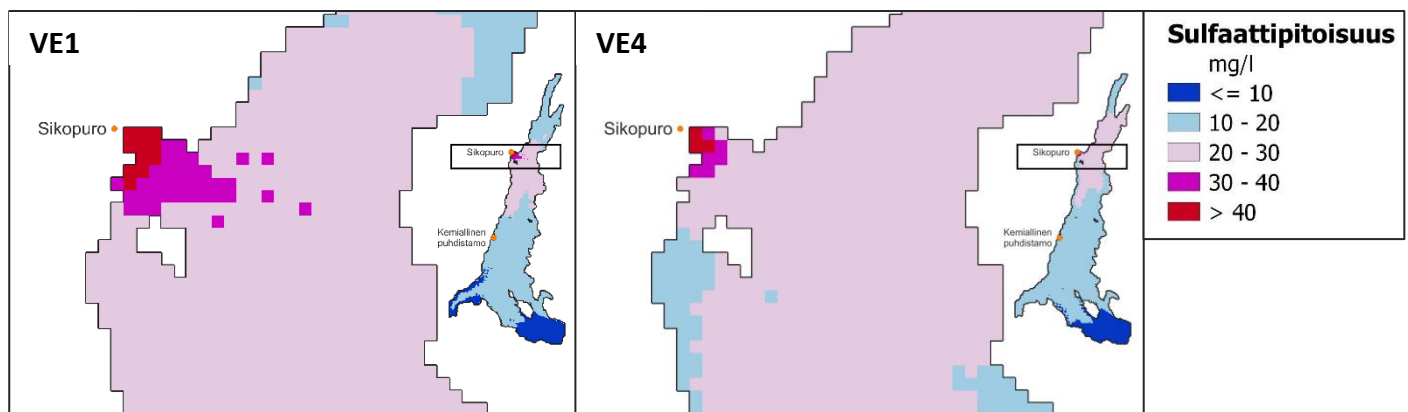
Loppukesän leviämiskartoista havaitaan, että sekä typpi-, fosfori- että suolapäästöt leviävät syvänteitä myötäillen sateisena vuotena kesäaikana Kuuslahden suualuetta kohti laimentuen (Kuva 14 ja liite 3). Syvänealueilla kaikkien yhdisteiden keskiarvopitoisuudet vesipatsaassa (pohjasta pintaan) ovat korkeammat kuin matalilla alueilla. Sekä suola- että ravinnepäästöt päätyvät näin syvänteisiin. Päästöjen leviämistä tapahtuu tuulten aiheuttamien virtausten mukana myös pohjoiseen. Pitoisuusnousut ovat kaikissa mallinnustilanteissa korkeammat Sikopuron pohjoispuolella kuin esimerkiksi tehtaiden tasolla. Laukansalon sivukivialueen päästöt vaihtoehdossa VE1 eivät sateisena vuotena näy merkittävästi poikkeavina arvoina päästölähteen läheisyydessä Kuuslahden eteläpäässä vaihtoehtoon VE4 verrattuna. Myös Yaran tehtaiden kemiallisen puhdistamon päästöjen merkitys suhteessa Sikopuroon jää vähäiseksi.

Ainepitoisuudet leviävät laajimmalle alueelle vaihtoehdoissa VE1 ja VE4 (liite 3). Myös vaihtoehdossa VE0 päästöt leviävät laajemmalle kuin nykytilassa. Suomen ympäristökeskuksen loppuvuodesta 2023 vuosikeskiarvona ehdottama sulfaatin ympäristölaatu­normitaso (39 mg/l) ylittyy elokuun lopussa Sikopuron edustalla 50–100 metrin etäisyydelle ulottuvalla vyöhykkeellä kaikissa vaihtoehdoissa (Kuva 15). Vaihtoehdossa VE1 tämä alue ulottui hieman laajemmalle, mutta erot vaihtoehtojen välillä olivat pieniä.



Kuva 14. Typpipäästön leviäminen sateisena vuotena koko vesipatsaan keskiarvona vaihtoehdoissa VE1 (vasen) ja VE4 (oikea) elokuun lopulla.





Kuva 15. Sulfaatin keskimääräinen pitoisuus sateisena vuonna koko vesipatsaassa vaihtoehtoisissa VE1 (vasen) ja VE4 (oikea) Kuuslahdessa elokuun lopussa.

### 8.2.3 YVA-vaihtoehdot VE2 ja VE3

Päästöjen leviämisen ja pitoisuusvaikutusten vaihteluväli märkänä vuotena **kaikissa YVA-vaihtoehtoisissa** pystyttiin ilmentämään hyvin toteutetuilla malliskenaarioilla VE1 ja VE4. Päästöjen leviäminen ja vaikutus sateisena vuonna Kuuslahdessa on kokonaisuutena YVA-vaihtoehdon VE2 osalta samansuuruinen, kuin mallinnetussa vaihtoehdossa VE4 ja vaihtoehdossa VE3 samansuuruinen kuin mallinnetussa vaihtoehdossa VE1.

## 8.3 Kuiva säävuosi

### 8.3.1 Aikasarjat

Veden lämpötila havaintopaikalla JV2 ei poikkea eri tilanteiden välillä. Vaihtoehtoisissa VE0, VE1 ja VE4 on lämpötila noin puoli astetta korkeampi kuin nykytilassa. Myös paikalla JV3 erot ovat pieniä.

Kuivana vuotena mallinnettujen yhdisteiden pitoisuudet ovat suurempia havaintopaikalla JV2 kuin paikalla JV3 sekä alusvedessä suurempia kuin päällyksivedessä (Liite 1). Päällys- ja välivedessä yhdisteiden pitoisuus tai pitoisuusnousu vaihtelee enemmän kuin alusvedessä. Talviaikana sulfaatin pitoisuus oli selkeästi matalampi väli- ja alusvedessä vaihtoehtoisissa VE0, VE1 ja VE4 kuin nykytilassa. Sulfaatin pitoisuus oli talviaikana vaihtoehtoisissa VE1 ja VE4 suurempi kuin vaihtoehdossa VE0. Päällyksiveden sulfaattipitoisuudet ovat sitä vastoin aina heinäkuun loppuun asti samansuuruiset eri vaihtoehtoisissa.

Syynä nykytilan hankevaihtoehtoja korkeampaan sulfaattipitoisuuteen selittyy talven ja loppukesän Sikopuron puhdistamon käyttökatoilla nykytilan ajoissa (liite 1b). Päästöt ovat näin ajoittuneet nykytila-ajoissa lyhyemmälle ajanjaksolle, mikä on korostanut vaikutusta. Mallinnetuissa vaihtoehtoisissa VE0, VE1 ja VE4 ei käyttökatoja ole, jolloin päästö jakautuu tasaisemmin ympäri vuoden. Suolana sulfaatti ei raskaana kulkeudu talviaikana helposti pois syvänteestä, mikä selittää sen, että sen pitoisuus laskee nykytilassa syvänteessä hitaasti. Koska virtaama on lisäksi nykytilassa pienempi ja pitoisuus suurempi, kerrostuu vesi väkevämpänä helpommin syvänteisiin. Saman trendin voi havaita myös poikkileikkauksista: Hankevaihtoehtoisissa talviaikainen sulfaattikerrostuminen on heikompaa kuin nykytilassa (liite 2).

**Kesäaikana väli- ja alusveden sulfaattipitoisuudet ovat yhtä suuria nykytilassa ja vaihtoehdossa VE0 (liite 1). Vaihtoehdoissa VE1 ja VE4 sulfaattipitoisuus on noin 2–5 mg/l suurempi kuin edellisissä.** Elokuussa sulfaattipitoisuudet vaihtoehdoissa VE0, VE1 ja VE4 nousevat jokaisessa kerroksessa selkeästi nykytilaa suuremmiksi, mitä selittää nykytilan ajossa heinäkuussa alkava Sikopuron puhdistamon käyttökato. Elokuussa hankevaihtoehtojen ja nykytilan heinäkuun (jolloin katkos ei vielä ollut alkanut) välillä ei ole kuitenkaan isoa eroa poikkileikkauskuviissa (Liite 2).

Sulfaattipitoisuustulosten numeerinen yhteenveto:

- erot pieniä vaihtoehtojen välillä
- Talviaika (marras-huhtikuu, ennen täyskiertoa):
  - JV2:
    - Nykytila: päällysvesi 10–20 mg/l ja väli- ja alusvesi 20–100 mg/l
    - VE0: päällysvesi 10–20 mg/l ja väli- ja alusvesi 25–40 mg/l
    - VE1: päällysvesi 10–20 mg/l, ja väli- ja alusvesi 30–80 mg/l
    - VE4: päällysvesi 10–20 mg/l ja väli- ja alusvesi 20–80 mg/l
  - JV3:
    - Nykytila: päällysvesi 5–10 mg/l ja väli- ja alusvesi 20–40 mg/l
    - VE0: päällysvesi 5–10 mg/l ja väli- ja alusvesi 15–30 mg/l
    - VE1: päällysvesi 5–10 mg/l ja väli- ja alusvesi 20–35 mg/l
    - VE4: päällysvesi 5–10 mg/l ja väli- ja alusvesi 10–35 mg/l
- Kesäaika (kesä-elokuu):
  - JV2:
    - Nykytila: päällysvesi 15 mg/l ja väli- ja alusvesi 15–20 mg/l
    - VE0: päällysvesi 15–20 mg/l ja väli- ja alusvesi 15–25 mg/l
    - VE1: päällysvesi 15–20 mg/l ja väli- ja alusvesi 20–40 mg/l
    - VE4: päällysvesi 15–20 mg/l ja väli- ja alusvesi 20–40 mg/l
  - JV3:
    - Nykytila: päällysvesi 7,5 mg/l ja väli- ja alusvesi 10–30 mg/l
    - VE0: päällysvesi 7–10 mg/l ja väli- ja alusvesi 10–30 mg/l
    - VE1: päällysvesi 7–10 mg/l ja väli- ja alusvesi 10–30 mg/l
    - VE4: päällysvesi 7–12 mg/l ja väli- ja alusvesi 10–30 mg/l

**Talviaikana ravinnepitoisuuksien lisäys on suurempi vaihtoehdoissa VE0, VE1 ja VE4 kuin nykytilassa molemmilla havaintopaikoilla (liite 1c). Vaihtoehdoissa VE1 ja VE4 ravinnepitoisuuksien lisäys on suurempi kuin vaihtoehdossa VE0.** Sama ero nykytilan ja vaihtoehtojen VE0, VE1 ja VE4 välillä säilyy myös kesäaikana. Talviaikana fosforin pitoisuusnousu alus- ja välivedessä on hieman suurempi vaihtoehdossa VE1 kuin vaihtoehdossa VE4, mutta kevättäyskierron jälkeen tilanne kääntyy päinvastaiseksi. Kesällä fosforin pitoisuuslisä väli- ja alusvedessä on pienempi kuin talvella. Syystäyskierron aikaan ravinnepitoisuuden lisäys nousee väli- ja alusvedessä havaintopaikalla JV2 ja välivedessä havaintopaikalla JV3 vaihtoehdoissa VE0, VE1 ja VE4, mutta vastaavaa nousua ei ilmene nykytilassa. Tämä selittyy nykytilan Sikopuron puhdistamon käyttökatoilla. Päällysvedessä fosforipitoisuuden nousu on suurimmillaan (JV2: n. 2 µg/l; JV3: 1–3

µg/l) kevättäyskierron aikana, ja eri vaihtoehtojen väliset erot ovat pienempiä kuin väli- ja alusvedessä.

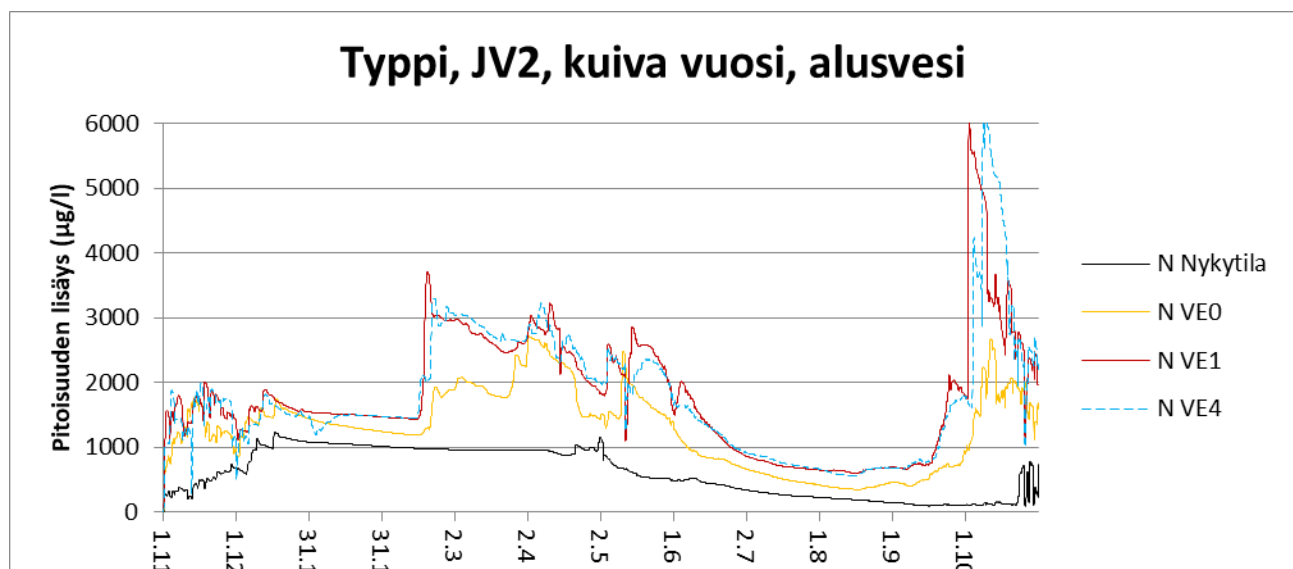
Fosforipitoisuuslisätulosten numeerinen yhteenveto:

- Talviaika (marras-huhtikuu, ennen täyskiertoa):
  - JV2:
    - nykytila: päänlysvesi 1 µg/l ja väli- ja alusvesi 2–5 µg/l
    - VE0: päänlysvesi 0,75–1,5 µg/l ja väli- ja alusvesi 2–7 µg/l
    - VE1: päänlysvesi 1–2,5 µg/l ja väli- ja alusvesi 7–10 µg/l
    - VE4: päänlysvesi 1–2,5 µg/l ja väli- ja alusvesi 6–9 µg/l
  - JV3:
    - nykytila: päänlysvesi 0,5 µg/l ja väli- ja alusvesi 1–3 µg/l
    - VE0: päänlysvesi 0,5 µg/l ja väli- ja alusvesi < 1–5 µg/l
    - VE1: päänlysvesi 0,5–2 µg/l ja väli- ja alusvesi 4–7 µg/l
    - VE4: päänlysvesi 0,5–1,5 µg/l ja väli- ja alusvesi 1,5–6 µg/l
- Kesäaika (kesä-elokuu):
  - JV2:
    - nykytila: päänlys-, väli- ja alusvesi 1–2 µg/l
    - VE0: päänlys-, väli- ja alusvesi 1–3 µg/l
    - VE1: päänlys-, väli- ja alusvesi 1–3 µg/l
    - VE4: päänlysvesi 1–3 µg/l, väli- ja alusvesi 1,5–4 µg/l
  - JV3:
    - nykytila: päänlysvesi 0,5 µg/ ja väli- ja alusvesi 0,2–3 µg/l
    - VE0: päänlysvesi 0,5 µg/l, väli- ja alusvesi 0,2–3 µg/l
    - VE1: päänlysvesi 0,5–1,5 µg/l, väli- ja alusvesi 1–5 µg/l
    - VE4: päänlysvesi 0,5–1,5 µg/l, väli- ja alusvesi 1–5 µg/l

Typen pitoisuusnousu oli koko vuoden vaihtoehtoissa VE1 ja VE4 nykytilan mallia suurempaa (liite 1c, Kuva 16). Sateisesta vuodesta poiketen typen talviaikainen pitoisuusnousu väli- ja alusvedessä kummallakin havaintopaikalla oli yhtä suuri vaihtoehtoissa VE1 ja VE4. Vaihtoehdossa VE0 pitoisuusnousu on suurempi kuin nykytilamallissa. Kesäkuukausien aikana pitoisuusnousu pienenee loppukesää kohti kaikissa vaihtoehtoissa kummallakin havaintopaikalla ja nousee uudestaan täyskierron alkaessa. Syy kesäaikaisiin pieniin pitoisuuksiin johtuu siitä, että veden pinta laskee nopeammin Kuuslahdella kuin Juurusvedellä. Veden virtaussuunta on tällöin Kuuslahteen päin, mikä laimentaa Kuuslahden vettä. Syyssateiden myötä pinnankorkeus nousee ja virtaussuunta kääntyy päinvastaiseksi. Erot VE1 ja VE4 vaihtoehtojen pitoisuuslisissä verrattuna vaihtoehdon VE0 pitoisuuslisään oli kesällä pienempi kuin talvella. Nykytilassa typpipitoisuuden nousun lyhytaikaiset vaihtelut olivat vähäisempiä kuin vaihtoehtoissa, johtuen todennäköisesti käyttökatoista. Päänlysvedessä typen pitoisuusnousu on fosforin tavoin suurimmillaan täyskiertojen aikana.

## Typipitoisuuslisätulosten numeerinen yhteenveto:

- Talviaika (marras-huhtikuu, ennen täyskiertoa):
  - JV2:
    - nykytila: päänlysvesi 250 µg/l ja väli- ja alusvesi 500–1000 µg/l
    - VE0: päänlysvesi 200–500 µg/l, väli- ja alusvesi 1200–2200 µg/l
    - VE1: päänlysvesi 200–600 µg/l, väli- ja alusvesi 1500–3500 µg/l
    - VE4: päänlysvesi 200–600 µg/l, väli- ja alusvesi 1500–3500 µg/l
  - JV3:
    - nykytila: päänlysvesi 100 µg/l ja väli- ja alusvesi 500–750 µg/l
    - VE0: päänlysvesi 100 µg/l, väli- ja alusvesi 500–1500 µg/l
    - VE1: päänlysvesi 100–400 µg/l, väli- ja alusvesi 700–1700 µg/l
    - VE4: päänlysvesi 100–400 µg/l, väli- ja alusvesi 700–1700 µg/l
- Kesäaika (kesä-elokuu):
  - JV2:
    - nykytila: päänlysvesi 250 µg/l ja väli- ja alusvesi 250–500 µg/l
    - VE0: päänlysvesi 300–1000 µg/l, väli- ja alusvesi 500–1000 µg/l
    - VE1: päänlysvesi 400–900 µg/l, väli- ja alusvesi 800–2000 µg/l
    - VE4: päänlysvesi 400–900 µg/l, väli- ja alusvesi 800–2000 µg/l
  - JV3:
    - nykytila: päänlysvesi 200 µg/l, väli- ja alusvesi 200–750 µg/l
    - VE0: päänlysvesi 200–500 µg/l, väli- ja alusvesi 200–1000 µg/l
    - VE1: päänlysvesi 200–500 µg/l, väli- ja alusvesi 400–1500 µg/l
    - VE4: päänlysvesi 200–500 µg/l, väli- ja alusvesi 400–1500 µg/l

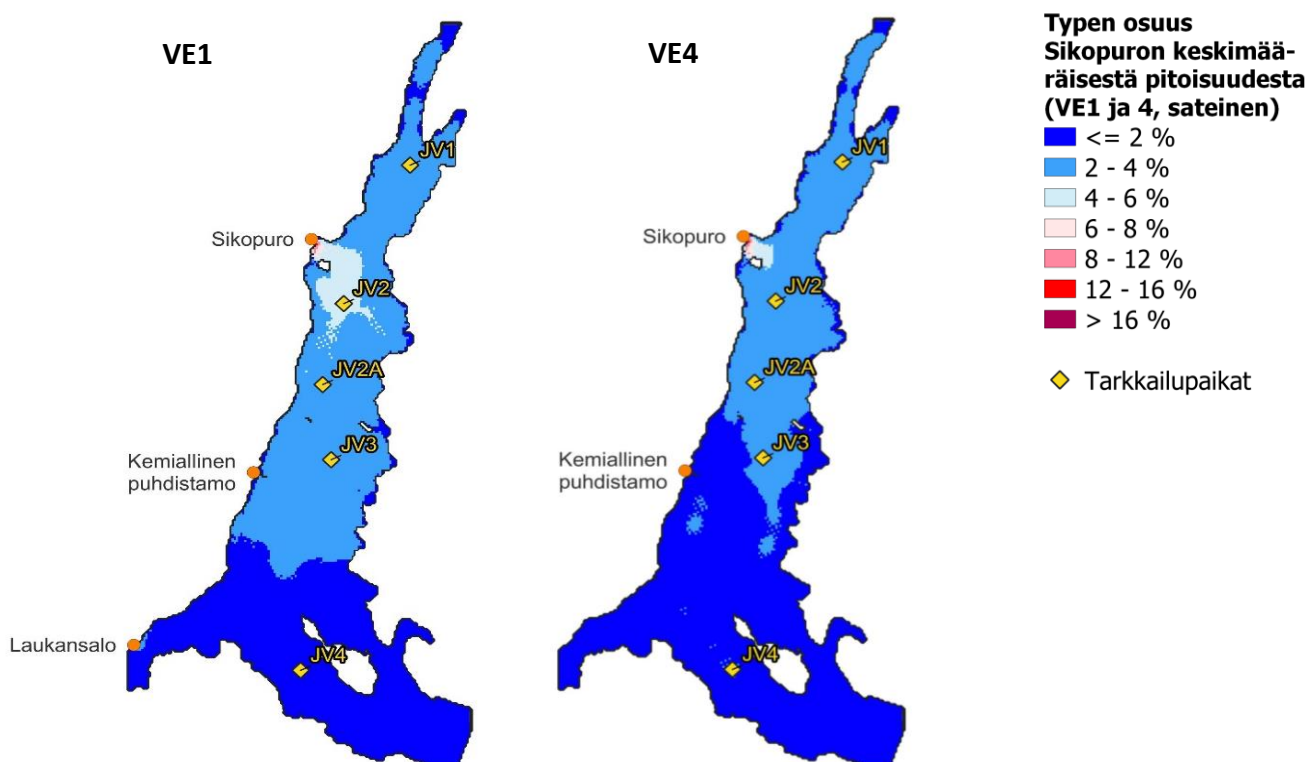


Kuva 16. Typpipitoisuuden lisäys kuivana vuotena JV2:n alusvedessä eri vaihtoehtoissa. Huomaa vaihtoehtoon VE0 (keltainen viiva) ja nykytilan (musta viiva) välinen ero, mikä johtuu nykytilan Sikopuron puhdistamon käyttökatkojen (heinäkuun loppu – syyskuun puoliväli) vaikutukset päästöjen kertymiseen alusvedessä.

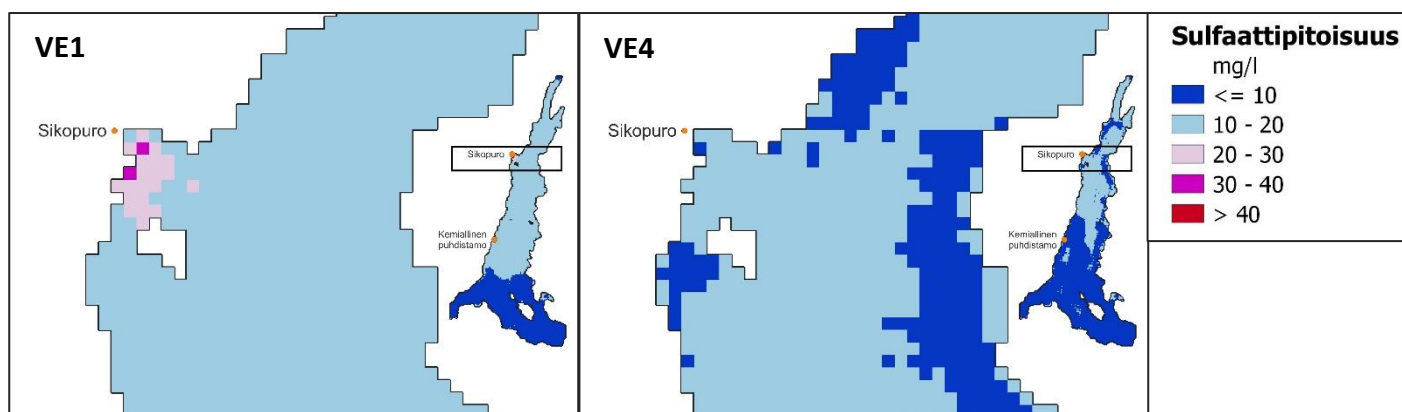
### 8.3.2 Päästöjen leviäminen loppukesällä

Sateisen vuoden tapaan myös kuivana vuonna päästöt leviävät syvänteitä myötäillen Nikinsaaren eteläpuolta kohti laimentuen (Kuva 17 ja liite 3). Sateisesta vuodesta poiketen kuivana vuotena loppukesällä Laukansalon päästöjen vaikutus näkyy Kuuslahden lounaisosassa Jynkänlahdella. Kuivana vuotena päästöjen leviäminen pohjoiseen oli selvästi vähäisempää.

Koko Kuuslahtea tarkasteltaessa sulfaatin, fosforin ja typen päästöjen alueellinen vaikutus oli suurempi vaihtoehdossa VE1 kuin VE4, kun sateisena vuotena näin oli ainoastaan typen osalta (liite 3). Yhdisteiden keskipitoisuudet ja -pitoisuusnousut vesipatsaassa (pohjasta pintaan) tehtaiden eteläpuolella olivat kuivana vuotena kuitenkin pienemmät kuin sateisena vuotena. Suomen ympäristökeskuksen (2023) ehdottama ympäristölaatunormin vuosikeskiarvotaso (39 mg/l) ylittyy elokuun lopussa ainoastaan vaihtoehdoissa VE1 ja VE0 Sikopuron edustalla, mutta enintään 50 metrin päässä (Kuva 18).



Kuva 17. Typpipäästön leviäminen kuivana vuotena koko vesipatsaan keskiarvona hankevaihtoehdoissa VE1 (vasen) ja VE4 (oikea) elokuun lopulla. Laukansalon sivukivialueen typpipäästöt vaihtoehdossa VE1 näkyvät Jynkänlahdessa, Kuuslahden lounaisosassa.



Kuva 18. Sulfaatin keskimääräinen pitoisuus kuivana vuonna koko vesipatsaassa Sikopuron edustalla elokuun lopussa vaihtoehdoissa VE1 (vasen) ja VE4 (oikea).

### 8.3.3 YVA-vaihtoehdot VE2 ja VE3

**Päästöjen pitoisuusvaikutusten vaihteluväli kuivana vuotena kaikissa YVA-vaihtoehdoissa pystyttiin ilmentämään hyvin toteutetuilla malliskenaarioilla VE1 ja VE4.** Päästöjen pitoisuusvaikutukset olivat kuivana vuotena Kuuslahdessa kokonaisuutena suorassa suhteessa kuormituseroihin (Taulukko 9). YVA-vaihtoehdon VE2 osalta sulfaattipäästöjen vaikutus oli noin 4 % pienempää, kuin mallinnetussa vaihtoehdossa VE1 ja noin 11 % suurempaa kuin vaihtoehdossa VE4. Vaihtoehdon VE3 osalta sulfaattipäästöjen vaikutus kuivana vuotena Kuuslahdessa oli noin 4 % suurempaa, kuin mallinnetussa vaihtoehdossa VE4 ja noin 10 % pienempää kuin vaihtoehdossa VE1.

Fosforipäästöjen pitoisuusvaikutus Kuuslahdessa kuivana vuotena oli kokonaisuutena sekä vaihtoehdossa VE2 ja VE3 keskenään samansuuruista. Pitoisuusvaikutus oli molemmissa vaihtoehdoissa noin 10 % pienempää kuin mallinnetussa vaihtoehdossa VE1 ja noin 13 % suurempaa kuin mallinnetussa vaihtoehdossa VE4. Typpipäästöjen vaikutus Kuuslahdessa kuivana vuotena oli vaihtoehdossa VE2 samansuuruista kuin vaihtoehdossa VE1. Vaihtoehdossa VE3 vaikutus oli noin 2 % suurempaa kuin vaihtoehdossa VE4 ja noin 13 % pienempää kuin vaihtoehdossa VE1.

## 8.4 Vaikutukset ekologiseen ja kemialliseen tilaan

Vesien ekologista ja kemiallista tilaa arvioidaan vertailemalla ravinnepitoisuuksia ympäristöhallinnon julkaisemiin luokkarajoihin ja muita kemiallisia yhdisteitä tai aineita niille määritettyihin ympäristölaatuunormeihin. Tarve vesien ekologiseen ja kemialliseen luokitteluun pohjautuu EU:n vesipuitedirektiivin vaatimuksiin, joiden mukaan kaikkien vesimuodostumien tilaluokkatavoite on hyvä. Ravinnepitoisuuden luokkarajat ovat erisuuruisia erityyppisille järville. Näitä ravinnepitoisuuksien luokkarajoja hyödynnetään osana järven ekologisen tilan arviointia. Ekologisen luokittelun asteikko on viisiportainen: erinomainen, hyvä, tyydyttävä, välttävä ja huono. Arvioinnissa painotetaan biologisia muuttujia, kuten kalaston, kasvillisuuden, kasviplanktonin ja pohjaeläinyhteisön rakennetta. Ravinnepitoisuudet täydentävät biologista arviointia. Luokittelussa hyödynnetään päänlyysiveden (0–2 m) analyysituloksia kasvukautta kuvaavilta kesäkuukausilta (1.6.–30.9.). Ravinnepitoisuuksille annetut luokkarajat on esitetty alla. Kuuslahti on luokiteltu vesimuodostumaksi, joka kuuluu keskikokoisen humusjärven luokkaan.

Ympäristölaatunormi puolestaan kuvaa pitoisuustasoa, jonka ylittyminen voi aiheuttaa haittaa vesieliöstölle. Ympäristölaatunormin avulla vesien kemiallinen tila arvioidaan hyväksi tai hyvää huonommaksi. Yhdenkin yhdisteen ympäristölaatunormin ylitys johtaa hyvää huonompaan kemialliseen tilaan. Ympäristölaatunormeja on asetettu ainoastaan sellaisille aineille, joiden tiedetään olevan vesieliöstölle haitallisia, ja joista on riittävästi tutkimustietoa haitattoman pitoisuustason määrittämiseksi. Nämä aineet on listattu liitteissä 1C ja 1D valtioneuvoston asetuksessa vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista. Ympäristölaatunormeja koskevaa lainsäädäntöä uudistetaan aika ajoin tutkimustiedon lisääntyessä. Suomen ympäristökeskus julkaisi marraskuussa 2023 esityksen, jossa ehdotetaan joidenkin aineiden lisäämistä liitteeseen 1D. Näille aineille on esitetty myös ympäristölaatunormit. Sulfaatti on esityksen mukaan yksi lisättävistä aineista, ja Suomen ympäristökeskus ehdottaa pehmeille vesille sovellettavaksi sallituksi sulfaatin **vuosikeskiarvoksi** (AA-EQS) pitoisuutta 39 mg/l ja sallituksi **enimmäispitoisuudeksi** (MAC-EQS) 279 mg/l.

Luokkarajojen (Taulukko 12) vertailua varten kaikista malliajoista (nykytila, VE0, VE1 ja VE4) tulostettiin ravinnepitoisuuslisäysten aikasarjat koko Kuuslahden alueelta mallihilan pintakerroksesta 0,25 m:n kerroksittain. Näistä tuloksista koottiin ravinteiden pitoisuuslisäys 0–2 m vesisyvyydessä kasvukaudelta (1.6.–30.9.).

Koska simuloinneissa laskettiin ainoastaan Yaran toiminnasta aiheutuva ravinteiden pitoisuuslisä, ei tuloksia voi suoraan verrata ekologisen luokittelun luokkarajoihin. Tämän vuoksi nykytilan mallinnettuja tuloksia verrattiin vastaavalta ajanjaksolta saatuihin vesinäytteiden analyysituloksiin. **Taustapitoisuus, eli muu kuin Yaran toiminnasta aiheutunut ravinnepitoisuus** Kuuslahdessa, laskettiin vähentämällä analyysituloksista nykytilan mallitulokset. Tämä taustapitoisuus lisättiin edellä mainittuun keskimääräiseen pitoisuuslisään, jolloin tulokset ovat vertailukelpoisia luokkarajojen kanssa.

Tulosten (Taulukko 13) perusteella konservatiivisesti laskettu fosforipitoisuus ilmentää kaikissa skenaarioissa hyvää tai erinomaista tilaa. Konservatiivisesti laskettu typpipitoisuus asettuu välttävään tilaan hankevaihtoehtojen sateisten vuosien malliskenaarioissa ja tyydyttävään tilaan muissa skenaarioissa. **Tuloksia on tulkittava suuntaa antavina, sillä mallinnuksessa ei otettu huomioon luonnonoloissa merkittävää typen ja fosforin poistumaa** esimerkiksi sedimentaation tai biologisten ja geokemiallisten prosessien kautta. Ottaen huomioon myös kuormituslaskennan varovaisuusperiaatteet, tulokset jossain määrin yliarvioivat pitoisuuslisäystä.



Taulukko 12. Kokonaistypen ja -fosforin ekologisen tilan luokkarajat keskikokoisille humusjärville. Vertailuololla tarkoitetaan saman järvityypin luonnontilaa vastaavaa järveä. Lyhenteet: erinomainen (E), hyvä (Hy), tyydyttävä (T), välttävä (V), huono (Hu).

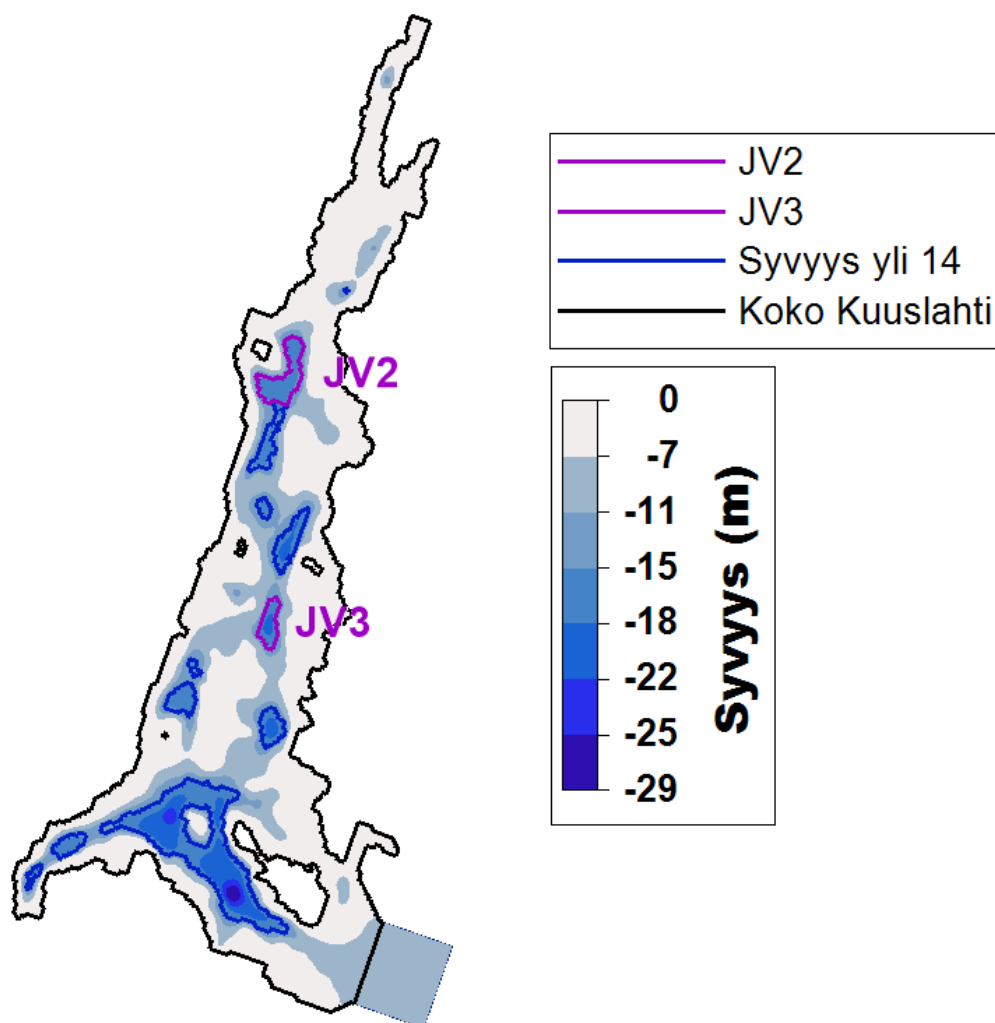
|                                                  | Vertailuolot | E/Hy | Hy/T | T/V  | V/Hu |
|--------------------------------------------------|--------------|------|------|------|------|
| <b>Kokonaisfosfori, 0–2 m (µg/l), 1.6.–30.9.</b> | 13           | 18   | 28   | 45   | 90   |
| <b>Kokonaistyyppi, 0–2 m (µg/l), 1.6.–30.9.</b>  | 400          | 540  | 660  | 1000 | 1500 |

Taulukko 13. Fosforin ja typen laskennalliset pitoisuudet, joissa on huomioitu Yaran toiminnan lisäksi alueen taustapitoisuus (YVA-vaihtoehdot VE0, VE1 ja VE4). Taulukossa on esitetty vertailun vuoksi vastaavat havaitut pitoisuudet nykytilassa erilaisina säävuosina. Ravinnepitoisuuden osatekijää vastaava ekologinen tilaluokka on merkitty soluun värikoodilla: erinomainen (sininen), hyvä (vihreä), tyydyttävä (keltainen), välttävä (oranssi) ja huono (punainen).

| Skenaario                           | Fosforipitoisuus | Typpipitoisuus |
|-------------------------------------|------------------|----------------|
|                                     | µg/l             | µg/l           |
|                                     | Havaittu         |                |
| <b>Nykytila, tavanomainen, 2016</b> | 24               | 780            |
| <b>Nykytila, sateinen, 2015</b>     | 23               | 860            |
| <b>Nykytila, kuiva, 2019</b>        | 17               | 610            |
|                                     | Laskettu         |                |
| <b>VE0, sateinen</b>                | 23               | 980            |
| <b>VE1, sateinen</b>                | 23               | 1000           |
| <b>VE4, sateinen</b>                | 23               | 1030           |
| <b>VE0, kuiva</b>                   | 17               | 680            |
| <b>VE1, kuiva</b>                   | 17               | 760            |
| <b>VE4, kuiva</b>                   | 18               | 840            |

Mallinnetut suolapitoisuudet muunnettiin sulfaattipitoisuudeksi, jotta pitoisuutta pystyttiin vertaamaan Suomen ympäristökeskuksen (2023) ehdottamiin ympäristölaatunormeihin (AA-EQS ja MAC-EQS). Sulfaattipitoisuus laskettiin useasta eri kohdasta maaliskuun lopulta ja elokuun lopulta koko vesipatsaan keskiarvopitoisuutena (Kuva 19). Koska Kuuslahti on talvisin kerrostunut lämpötilan mukaan. Koska suolainen vesi kertyy pohjalle, valittiin maaliskuun lopun tarkasteluun mukaan pohjakerroksen suolapitoisuus. Pohjakerroksen sulfaattipitoisuus laskettiin havaintopaikkojen JV2 ja JV3 ohella myös syvänealueille. **Syvänealueet kattavat Kuuslahden kaikki syvänealueet, joiden syvyys ylittää 14 m. Havaintopaikat JV2 ja JV3 käsittävät tässä laskelmassa myös havaintopaikkaa ympäröivät alueet, joiden syvyys on yli 14 m.** Lisäksi laskettiin vuoden keskimääräinen sulfaattipitoisuus koko vesipatsaassa.





Kuva 19. Sulfaattipitoisuuden laskentapaikat. Yli 14 m syvät alueet kattavat myös paikat JV2 ja JV3.

Sulfaattipitoisuus ei ylitä esitettyä suurinta sallittua pitoisuutta (MAC-EQS) potentiaalisimmissa sulfaattipäästön kertymissyvännteissä yhdessäkään skenaariossa (Taulukko 14). Myöskään esitetty ympäristölaatunormin vuosikeskiarvo (AA-EQS) ei ylity koko Kuuslahden vuosikeskiarvona (Taulukko 15). Eniten sulfaattia keräävässä syvänteessä JV2 (Taulukko 16) vuosikeskiarvona laskettava laatunormi ylittyy vähäisesti vaihtoehdossa VE4. Kuuslahden alueen koko vesimassan sulfaattipitoisuuden vuosikeskiarvo on kaikissa skenaarioissa sateisina vuosina suurempi kuin kuivina vuosina.

Taulukko 14. Sulfaatti- ja suolapitoisuus maaliskuun ja elokuun lopussa kerrostuneisuuskauden ”suurimman pitoisuuden tilanteessa” pohjakerroksessa ja koko vesipatsaassa koko Kuuslahdessa, syvänteissä (syvyys yli 14 m) tai havaintopaikkojen JV2 ja JV3 syvännealueella.

| Skenaario ja säävuosi       | Parametri Keskiarvo | Maaliskuun loppu      |       |       |                 |       |       | Elokuun loppu   |       |       |
|-----------------------------|---------------------|-----------------------|-------|-------|-----------------|-------|-------|-----------------|-------|-------|
|                             |                     | Pohjakerros, yli 14 m |       |       | Koko vesipatsas |       |       | Koko vesipatsas |       |       |
|                             |                     | Kuus-lahti            | JV2   | JV3   | Kuus-lahti      | JV2   | JV3   | Kuus-lahti      | JV2   | JV3   |
| Nykytila Tavanomaisen vuosi | Suola (ppt)         | 0.075                 | 0.128 | 0.095 | 0.061           | 0.096 | 0.065 | 0.065           | 0.076 | 0.064 |
|                             | Sulfaatti (mg/l)    | 14                    | 26    | 18    | 10              | 19    | 11    | 11              | 14    | 11    |
| Nykytila Sateinen vuosi     | Suola (ppt)         | 0.110                 | 0.187 | 0.151 | 0.078           | 0.134 | 0.120 | 0.064           | 0.075 | 0.066 |
|                             | Sulfaatti (mg/l)    | 22                    | 40    | 31    | 14              | 28    | 24    | 11              | 14    | 12    |
| Nykytila Kuiva vuosi        | Suola (ppt)         | 0.117                 | 0.200 | 0.181 | 0.070           | 0.133 | 0.124 | 0.049           | 0.055 | 0.053 |
|                             | Sulfaatti (mg/l)    | 23                    | 43    | 38    | 12              | 27    | 25    | 7.7             | 9.0   | 8.6   |
| VE0 Sateinen vuosi          | Suola (ppt)         | 0.11                  | 0.20  | 0.16  | 0.085           | 0.14  | 0.10  | 0.08            | 0.10  | 0.085 |
|                             | Sulfaatti (mg/l)    | 22                    | 53    | 33    | 16              | 29    | 20    | 14              | 20    | 16    |
| VE0 Kuiva vuosi             | Suola (ppt)         | 0.11                  | 0.19  | 0.15  | 0.067           | 0.12  | 0.11  | 0.055           | 0.069 | 0.059 |
|                             | Sulfaatti (mg/l)    | 21                    | 40    | 31    | 12              | 25    | 21    | 9.0             | 12    | 10    |
| VE1 Sateinen vuosi          | Suola (ppt)         | 0.12                  | 0.22  | 0.14  | 0.079           | 0.13  | 0.10  | 0.082           | 0.13  | 0.089 |
|                             | Sulfaatti (mg/l)    | 24                    | 61    | 30    | 15              | 27    | 20    | 15              | 26    | 17    |
| VE1 Kuiva vuosi             | Suola (ppt)         | 0.12                  | 0.21  | 0.17  | 0.073           | 0.14  | 0.12  | 0.063           | 0.088 | 0.070 |
|                             | Sulfaatti (mg/l)    | 25                    | 60    | 36    | 13              | 29    | 24    | 11              | 17    | 12    |
| VE4 Sateinen vuosi          | Suola (ppt)         | 0.13                  | 0.23  | 0.18  | 0.093           | 0.16  | 0.11  | 0.084           | 0.12  | 0.093 |
|                             | Sulfaatti (mg/l)    | 28                    | 69    | 39    | 18              | 33    | 22    | 16              | 25    | 18    |
| VE4 Kuiva vuosi             | Suola (ppt)         | 0.12                  | 0.21  | 0.17  | 0.072           | 0.14  | 0.12  | 0.062           | 0.080 | 0.067 |
|                             | Sulfaatti (mg/l)    | 24                    | 59    | 35    | 13              | 28    | 24    | 11              | 15    | 12    |

Taulukko 15. Mallinnetut suola- ja sulfaattipitoisuuksien vuosikeskiarvot koko vesipatsaassa Kuuslahdessa.

| Koko vuosi (1.11.–31.10.)  |                  | Tavanomainen | Kuiva | Sateinen |
|----------------------------|------------------|--------------|-------|----------|
| Kuuslahti, koko vesipatsas |                  | vuosi        | vuosi | vuosi    |
| Nykytila                   | Suola (ppt)      | 0.065        | 0.061 | 0.075    |
|                            | Sulfaatti (mg/l) | 11           | 10    | 14       |
| VE0                        | Suola (ppt)      |              | 0.061 | 0.081    |
|                            | Sulfaatti (mg/l) |              | 10    | 15       |
| VE1                        | Suola (ppt)      |              | 0.068 | 0.082    |
|                            | Sulfaatti (mg/l) |              | 12    | 15       |
| VE4                        | Suola (ppt)      |              | 0.067 | 0.089    |
|                            | Sulfaatti (mg/l) |              | 12    | 17       |

Taulukko 16. Mallinnetut suola- ja sulfaattipitoisuuksien vuosikeskiarvot JV2:n syvänteessä, yli 14 m syvyydessä. SYKE:n esittämän ympäristölaatu normin AA-EQS-arvon 39 mg/l ylitys on värjätty punaisella.

| Koko vuosi (1.11.–31.10.)  |                  | Tavanomainen | Kuiva | Sateinen |
|----------------------------|------------------|--------------|-------|----------|
| JV2, pohjakerros, yli 14 m |                  | vuosi        | vuosi | vuosi    |
| Nykytila                   | Suola (ppt)      | 0.10         | 0.13  | 0.14     |
|                            | Sulfaatti (mg/l) | 21           | 27    | 29       |
| VE0                        | Suola (ppt)      |              | 0.13  | 0.16     |
|                            | Sulfaatti (mg/l) |              | 26    | 33       |
| VE1                        | Suola (ppt)      |              | 0.16  | 0.17     |
|                            | Sulfaatti (mg/l) |              | 35    | 36       |
| VE4                        | Suola (ppt)      |              | 0.16  | 0.19     |
|                            | Sulfaatti (mg/l) |              | 33    | 40       |

## 9 YVA-MALLINNUKSEN YHTEENVETO

YVA-vaihtoehtojen mallinnustulosten yhteenvedona todetaan, että kaikissa YVA-vaihtoehtoissa mallinnettujen muuttujien kuormitusvaikutus Kuuslahdessa on suurempi kuin nykytilassa. Hankevaihtoehtoissa VE1-VE4 vaikutukset ovat selvästi suuremmat kuin vaihtoehdossa VE0. Vaikutukset kohdistuvat etenkin Sikopuron edustan alueelle ja päällysvettä syvempiin vesikerroksiin. Vaikutukset ovat suurimmillaan sateisena vuotena.

YVA-vaihtoehtojen laskennan 3D-malliennusteen tarkkuus riippuu erityisesti Kuuslahden kuormitustiedoista eri vaihtoehtoissa. Kuormitustiedot tulevat kaivoksen vesi- ja ainetasemallista, joka perustuu tämänhetkiseen käsitykseen ja hyvin konservatiiviseen arvioon kuormituslähteistä, niihin vaikuttavista muuttujista sekä niiden kehittymisestä vuoteen 2065 mennessä. Näin ollen on luonnollista, että Kuuslahden mallin tuloksia on tarkasteltava suuntaa antavina ja YVA-vaihtoehtojen välisiä eroja kuvaavana aineistona YVA-hankkeen vesistövaikutusarviointia varten. Niin ikään yksittäisille päiväarvoille tai hilaruututasen tuloksille ei tule tulkinnassa antaa painoarvoa. Sen sijaan jo kuukausi- ja vuodenaikatasolla tulokset ovat käyttökelpoisia ja antavat hyvän pohjan päätöksenteolle ja hankkeiden tarkemmalle suunnittelulle.

Vaikka ilmastonmuutoksen vaikutuksen laskenta perustuu yleisesti käytettyihin ilmastoskenaarioihin, on muistettava, että ilmastoskenaariot antavat vain suuntaa tulevista muutoksista. Käytetyssä ilmastonmuutosmallissa, kuten kaikissa malleissa, on jouduttu tekemään oletuksia ja yleistyksiä, jotta malli kuvaisi muutoksia riittävän hyvin useimmissa tilanteissa.

Etenkään ilmastonmuutoksen vaikutusta tuulen suuntiin ja voimakkuuksiin ei kyetä vielä nykyisin kunnolla arvioimaan. Tuulella on merkittävä vaikutus Kuuslahden virtauksiin ja vertikaaliseen sekoittumiseen. On arvioitu, että sään ääriolot ilmastonmuutoksen edetessä lisääntyvät. Näin ollen pitkien poutajaksojen mahdollisesti lisääntyessä kesällä lahden vedenlämpötila voi hyvinkin nousta joitakin asteita nyt laskettuja korkeammalle. Toisaalta tuulisuuden lisääntyminen voi johtaa nykyisiä arvioita pitempään avovesikauteen tuulen murtaessa heikkoa jääpeitettä syys- ja kevättalvella. Voimakkaat tuulet voivat muuttaa kesäkerrostuneisuusolosuhteita ja toimia mahdollisten lisääntyvien poutajaksojen pintalämpötilan nousujen vaimentajina.

Tulosten perusteella kolmidimensioinen Kuuslahden malli on erittäin hyvä työkalu kerrostuneen Kuuslahden vesiolojen tarkasteluun Siilinjärven kaivoksen laajennushankkeen tässä vaiheessa.

Mallisovellusta voidaan parantaa entisestään ottamalla huomioon Kuuslahtea ympäröivän maaston tuottama tuulikatte sekä kehittämällä lumen ja jään kuvausta mallissa. Lisäksi vedenlämpötilan ja virtausten mittaus itse Kuuslahdessa ja sen suulla parantaisi mallin tarkkuutta. Myös ravinnepitoisuuden mittaukset Kuuslahdessa parantavat mallin ennustekykä. Mahdollista mallin jatkokehitystä suunniteltaessa on syytä toteuttaa Kuuslahdella kattava mittaushanke.

## LÄHTEET

Envineer Oy 2023a. Siilinjärven ilmastonmuutosmalli. Yara Suomi Oy, 5.5.2023

Envineer Oy 2023b. Siilinjärven kaivoksen vesi- ja ainetasemallin raportti. Yara Suomi Oy, 5.12.2023.

Hubert ja Wolkesdorfer (2015). Establishing a conversion factor between electrical conductivity and total dissolved solids in South African mine waters. Water SA Vol. 41 No. 4 July 2015. <http://dx.doi.org/10.4314/wsa.v41i4.08>.

Huttula T. ja Sakkula J. 1985: Selvitys virtaustutkimuksista Siilinjärven Kuuslahdella kesällä 1984. Hydrologian toimisto. 15 s.

Ilmatieteen laitos 2022. Paikkatiedon latauspalvelu. Ilmatieteen laitoksen kuukauden keskilämpötilan ja sademäärän ennusteet. [www.csc.fi/paituli](http://www.csc.fi/paituli).

Ilmatieteen laitos 2023. Havaintojen latauspalvelu. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus>.

Ramboll Oy 2022. Siilinjärven kaivoksen laajennus, YVA-ohjelma. Yara Suomi Oy, 16.8.2022.

Savo-Karjalan Ympäristötutkimus Oy 2022. Juurusveden, Pieni-Sulkavan ja Siilinjärven yhteistarkkailun vuosiyhteenvedo 2021. 24.2.2022.

Suomen Ympäristökeskus (SYKE) 2023. Vesistömallijärjestelmä WSFS-Vemala.

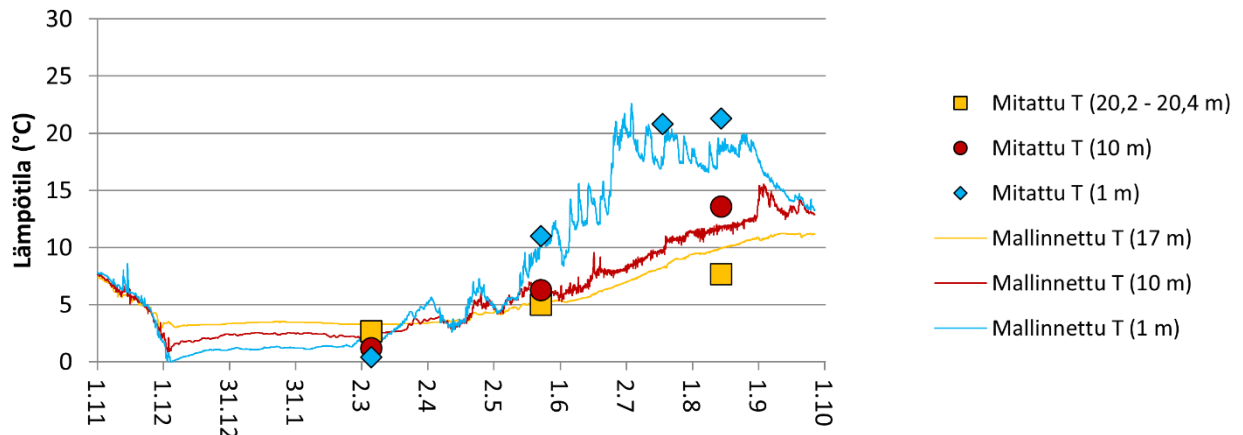
# LIITTEET



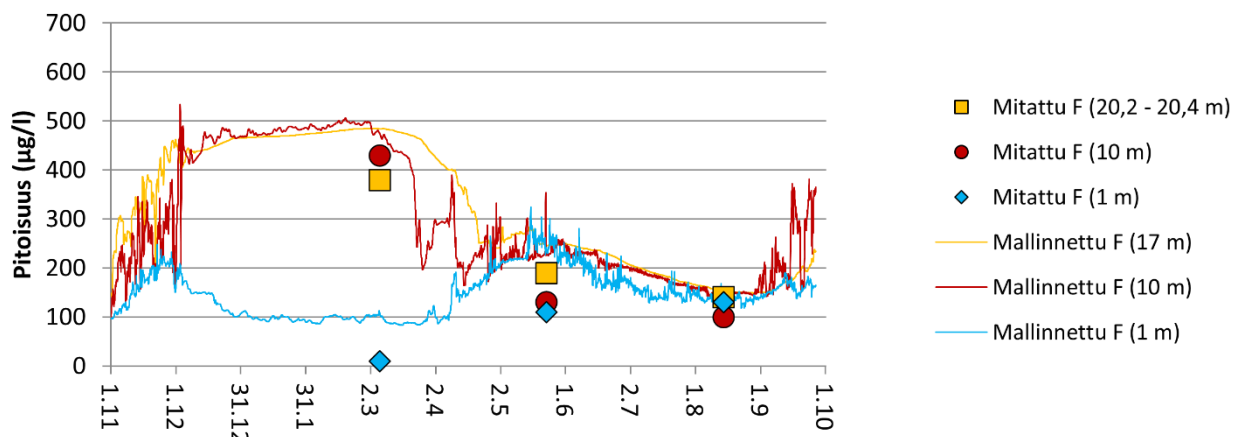
envineer.fi

# Kalibrointi, Juurusvesi 2

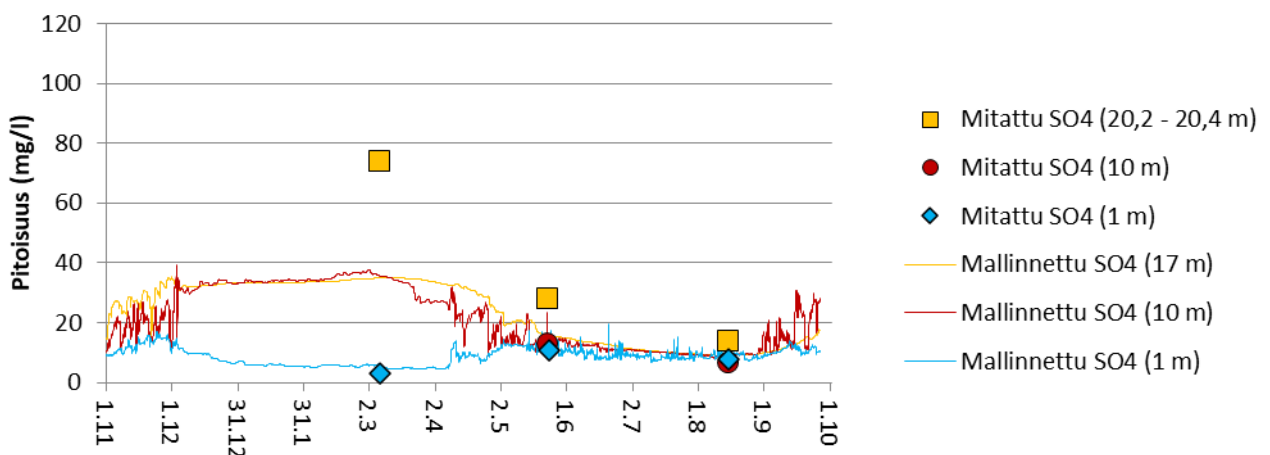
## Lämpötila JV2, kalibrointi 2021 - 2022



## Fluoridi JV2, kalibrointi 2021 - 2022

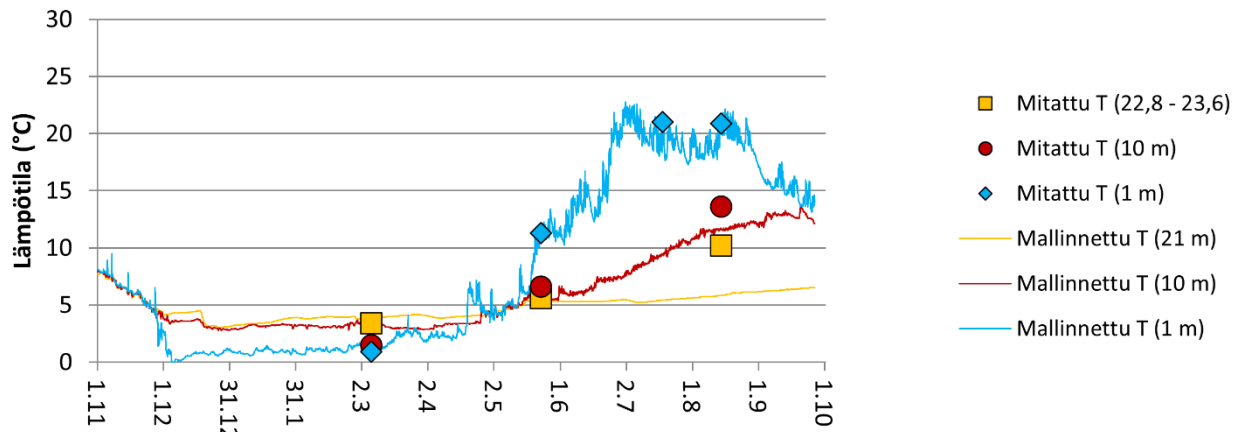


## Sulfaatti JV2, kalibrointi 2021 - 2022

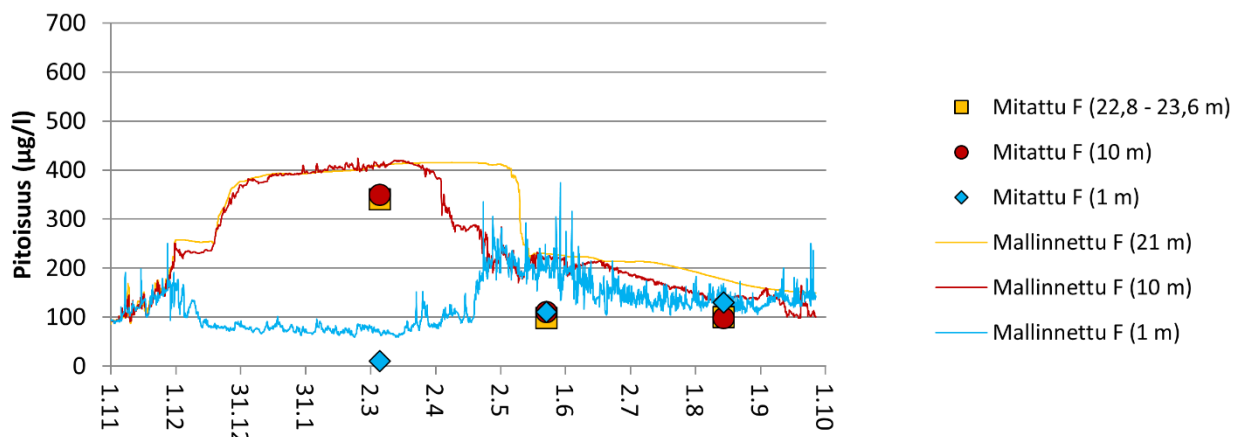


# Kalibrointi, Juurusvesi 3

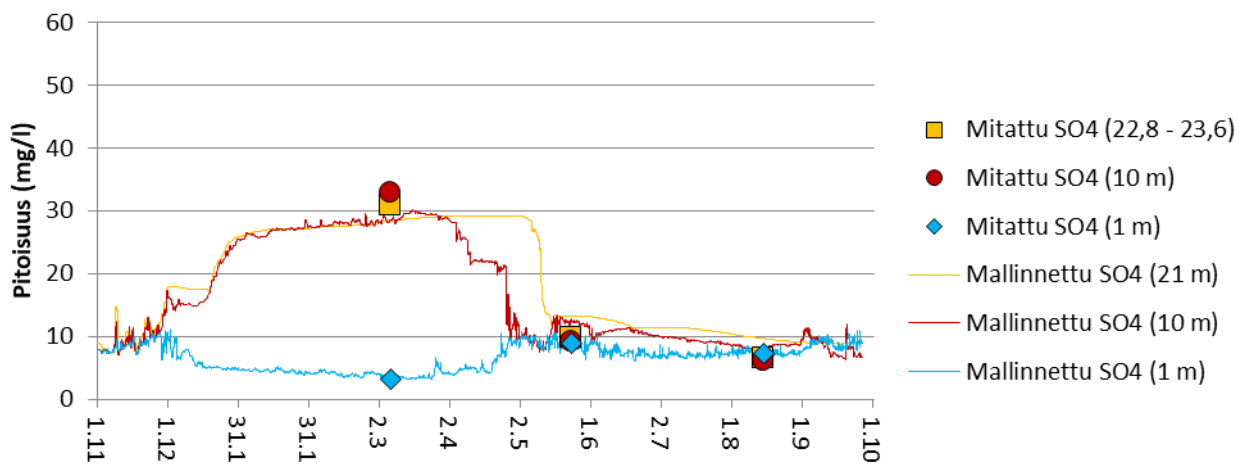
## Lämpötila JV3, kalibrointi 2021 - 2022



## Fluoridi JV3, kalibrointi 2021 - 2022



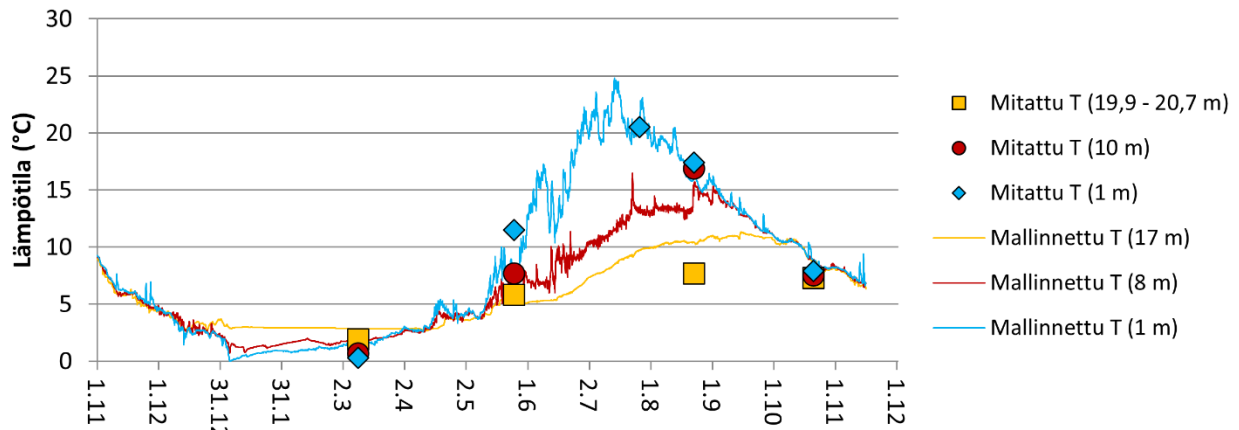
## Sulfaatti JV3, kalibrointi 2021 - 2022



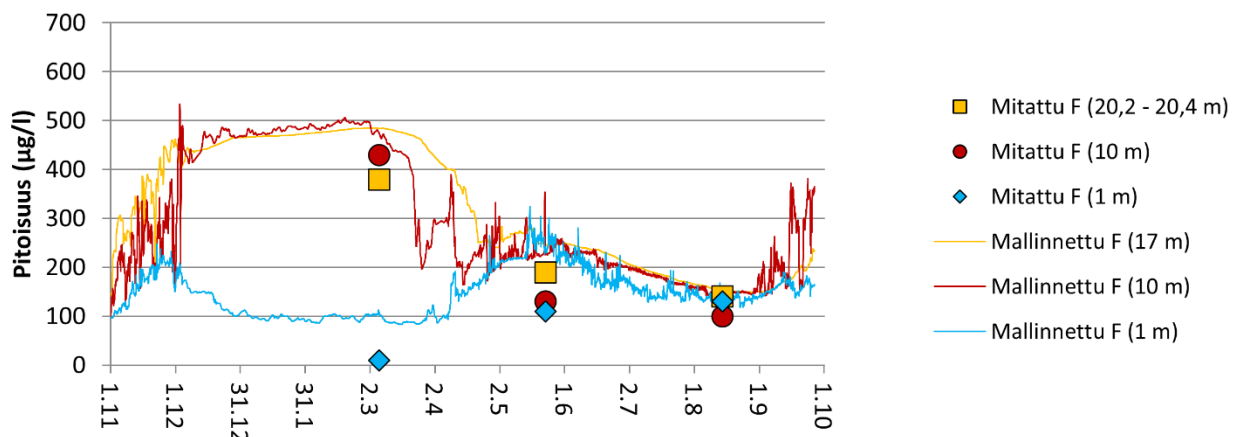


# Validointi 1, Juurusvesi 2

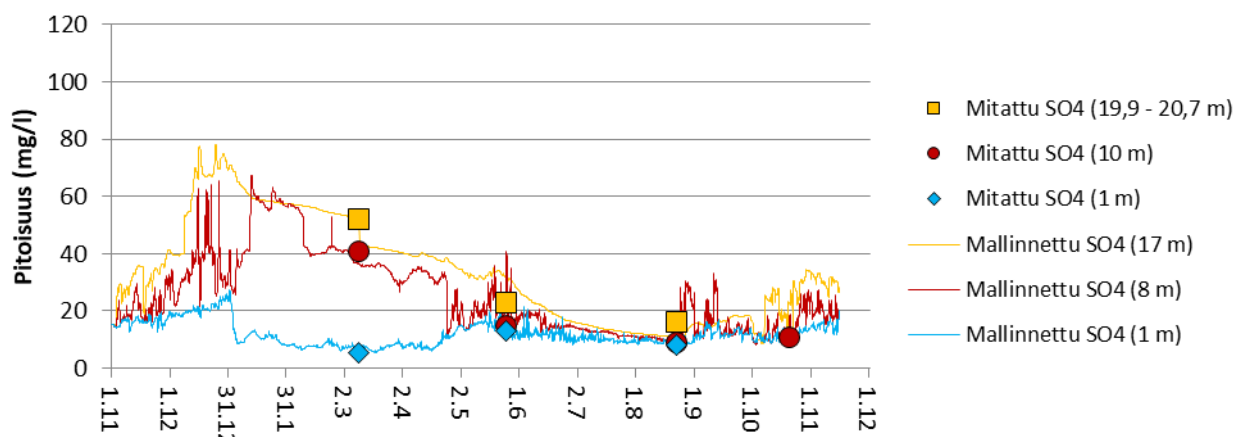
## Lämpötila JV2, validointi 2020 - 2021



## Fluoridi JV2, kalibrointi 2021 - 2022

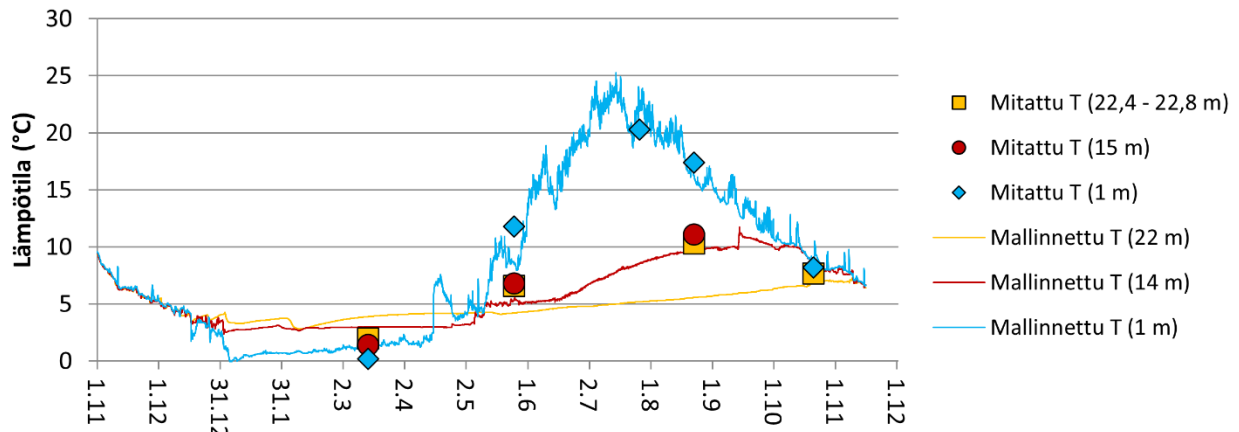


## Sulfaatti JV2, validointi 2020 - 2021

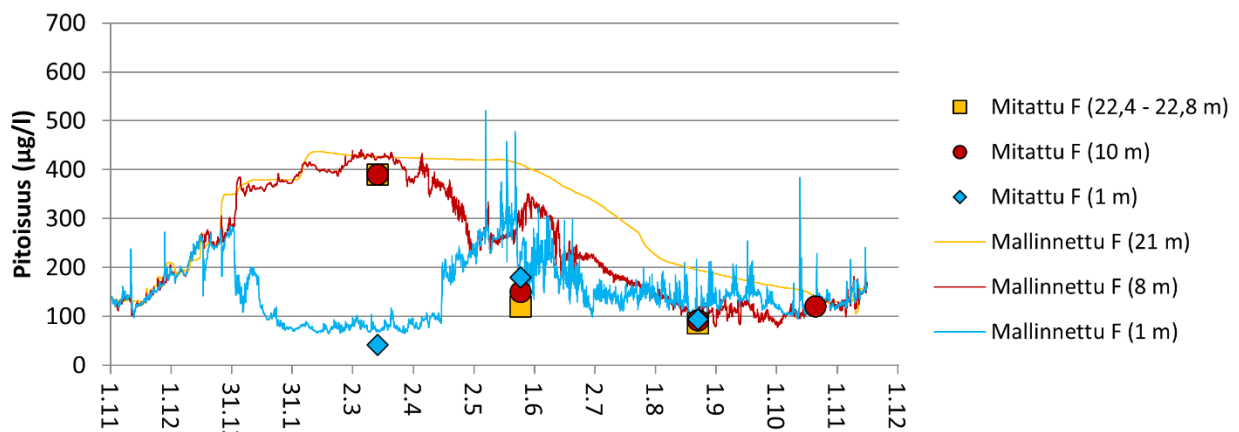


# Validointi 1, Juurusvesi 3

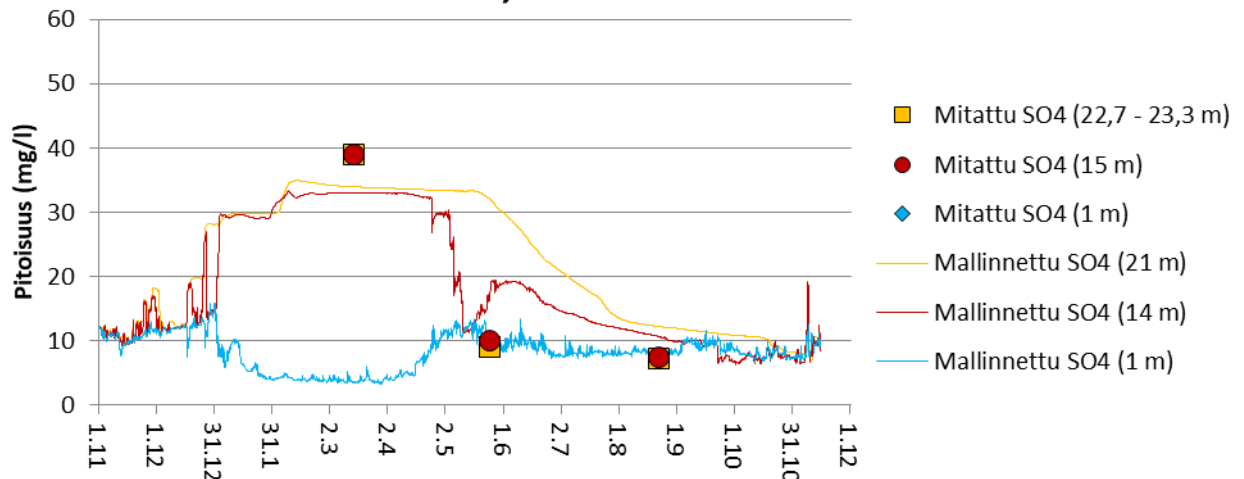
## Lämpötila JV3, validointi 2020 - 2021



## Fluoridi JV3, validointi 2020 - 2021

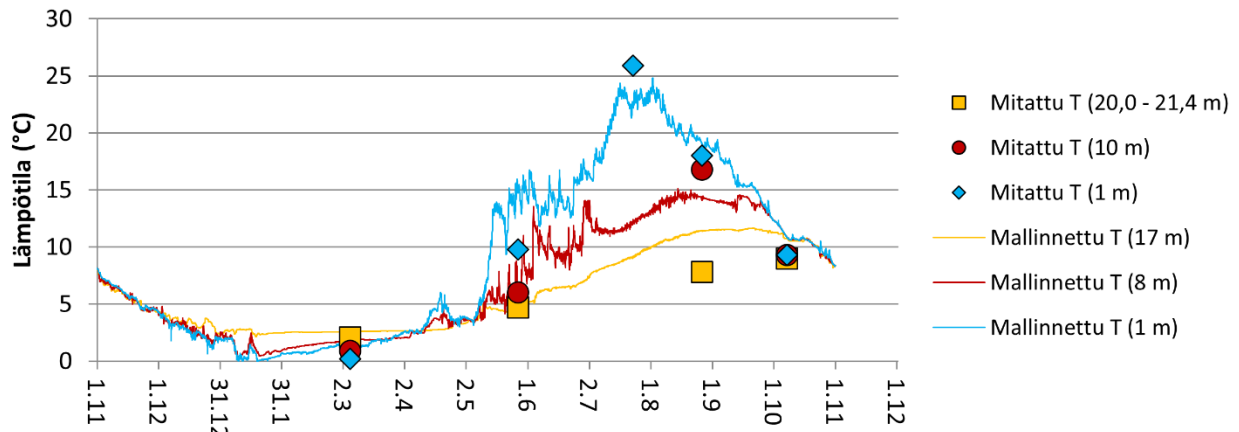


## Sulfaatti JV3, validointi 2020 - 2021

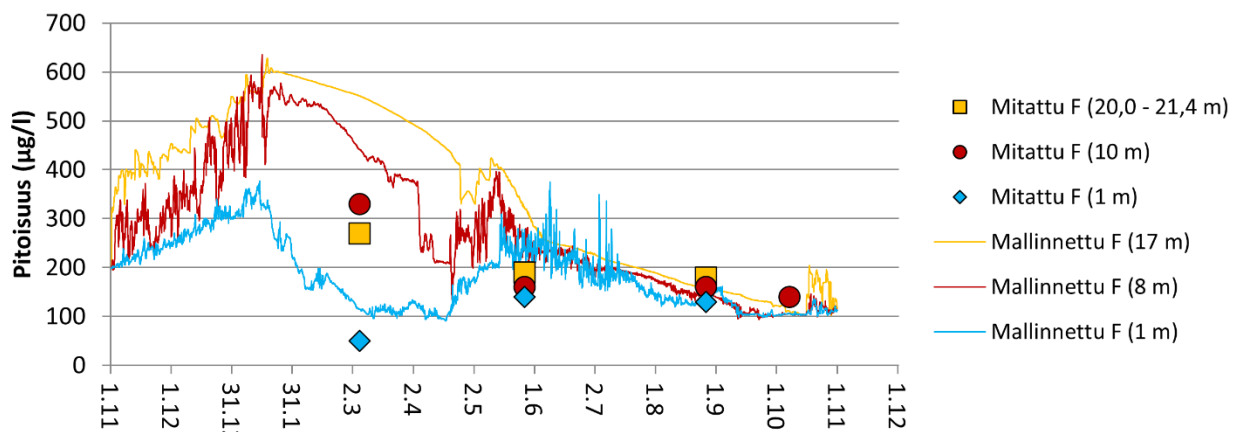


# Validointi 2, Juurusvesi 2

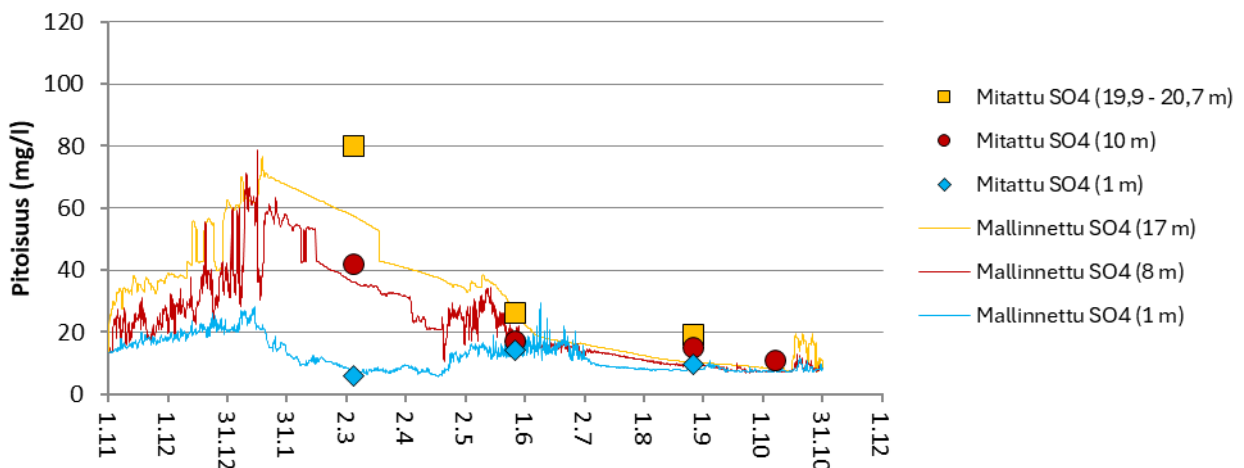
## Lämpötila JV2, validointi 2017 - 2018



## Fluoridi JV2, validointi 2017 - 2018

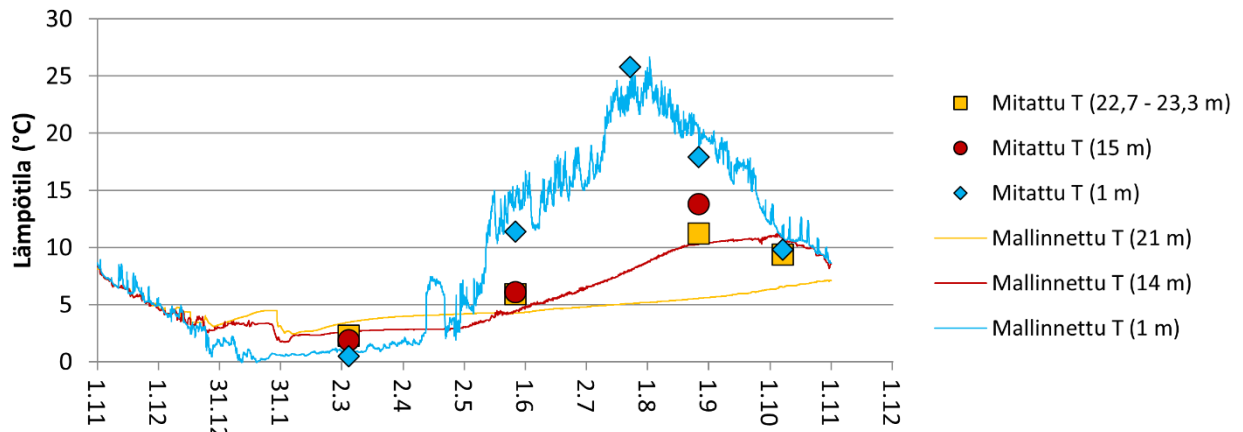


## Sulfaatti JV2, validointi 2017 - 2018

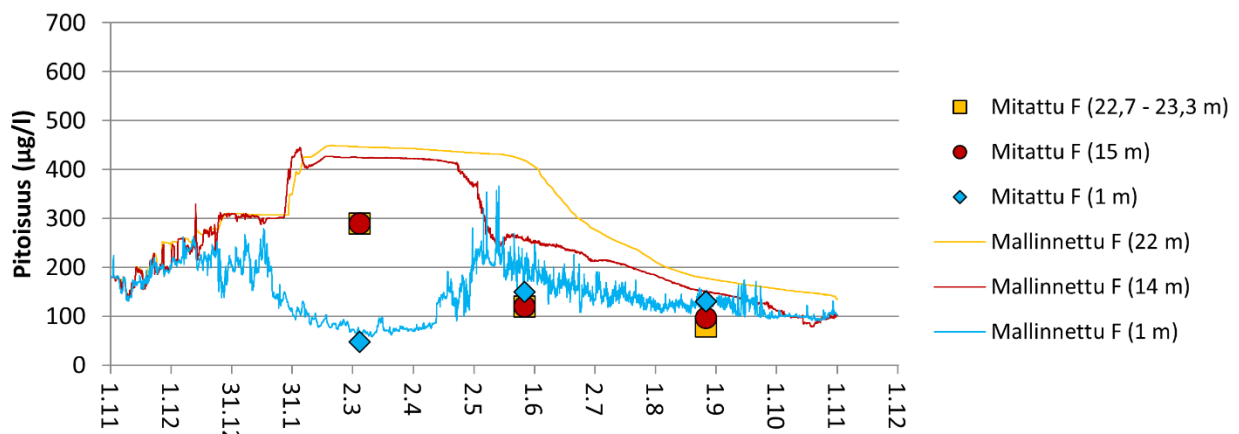


# Validointi 2, Juurusvesi 3

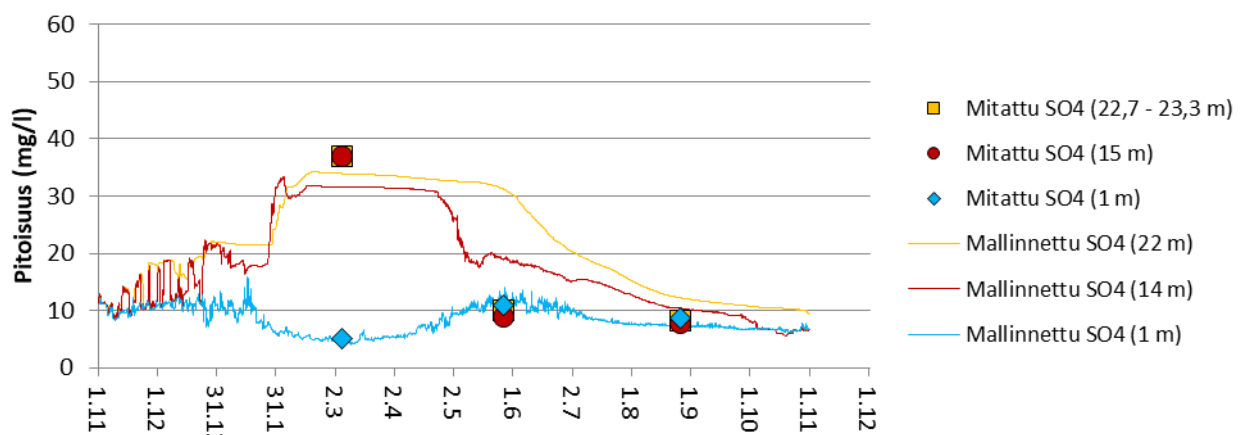
## Lämpötila JV3, validointi 2017 - 2018



## Fluoridi JV3, validointi 2017 - 2018

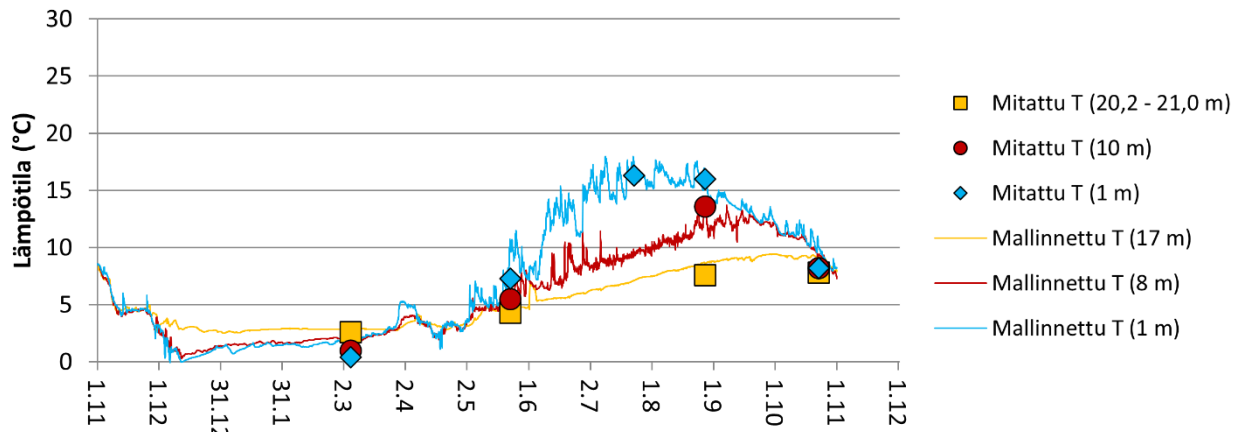


## Sulfaatti JV3, validointi 2017 - 2018

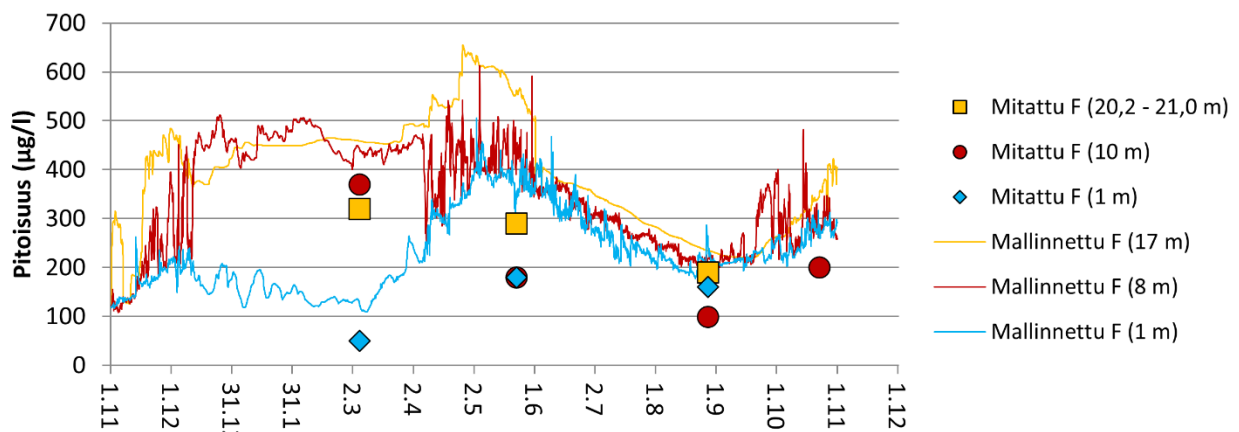


# Validointi 3, Juurusvesi 2

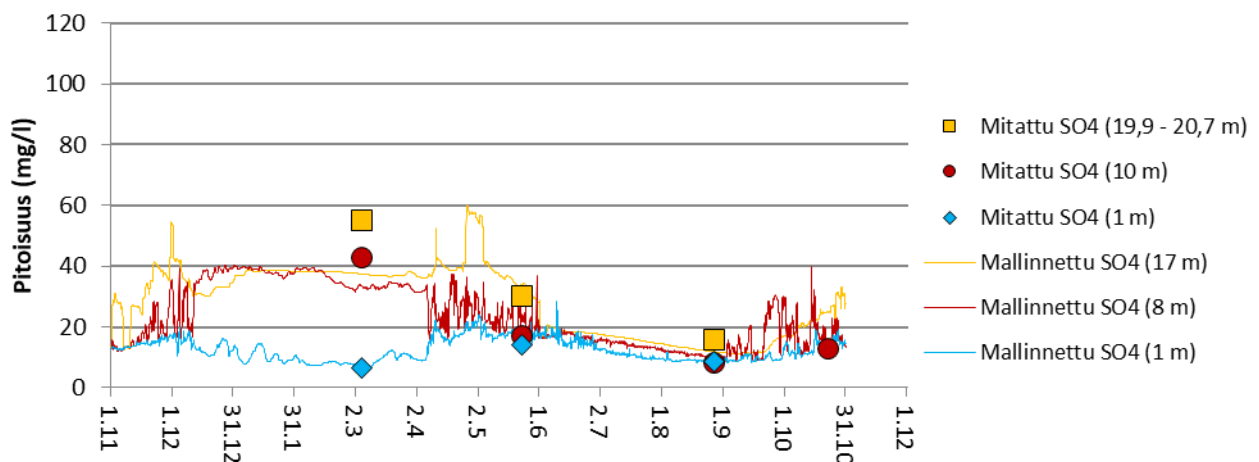
## Lämpötila JV2, validointi 2016 - 2017



## Fluoridi JV2, validointi 2016 - 2017

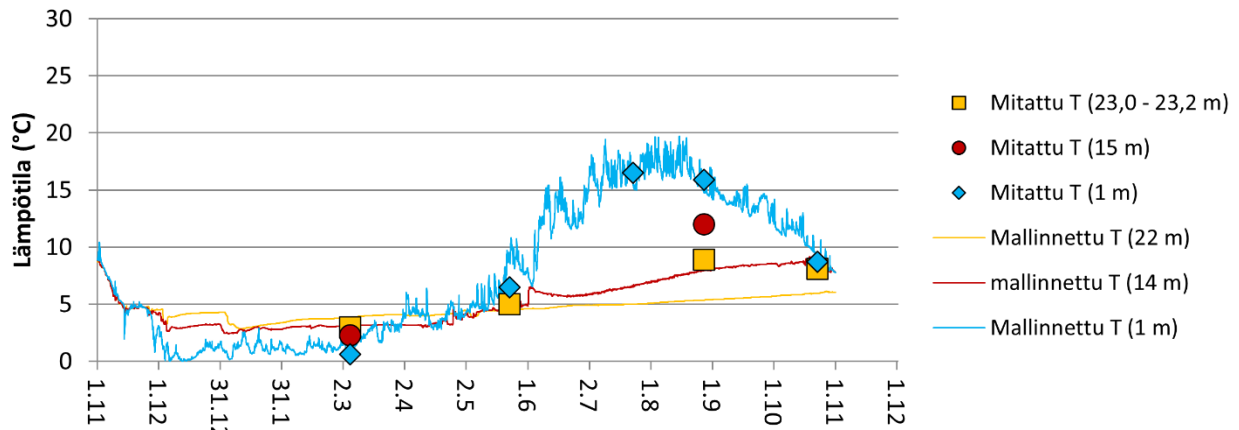


## Sulfaatti JV2, validointi 2016 - 2017

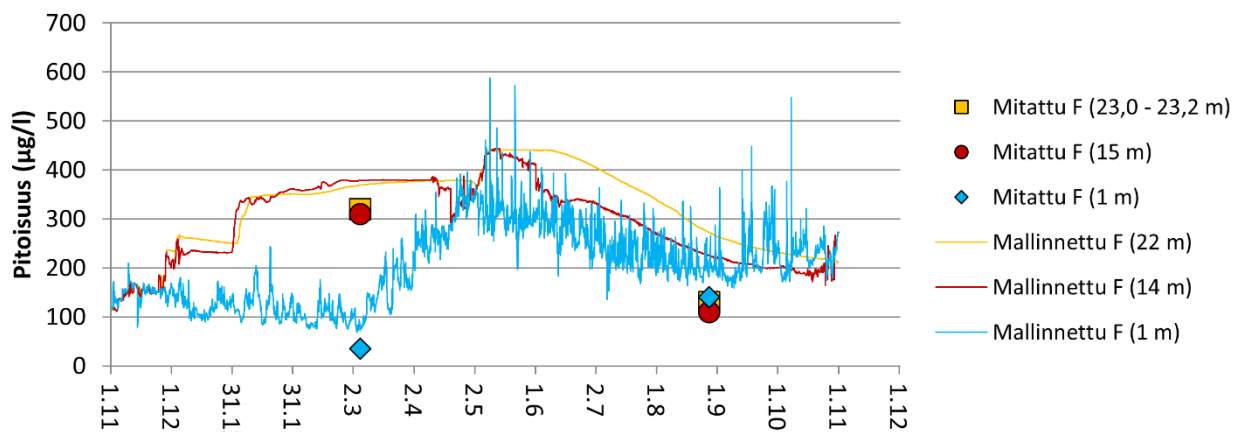


# Validointi 3, Juurusvesi 3

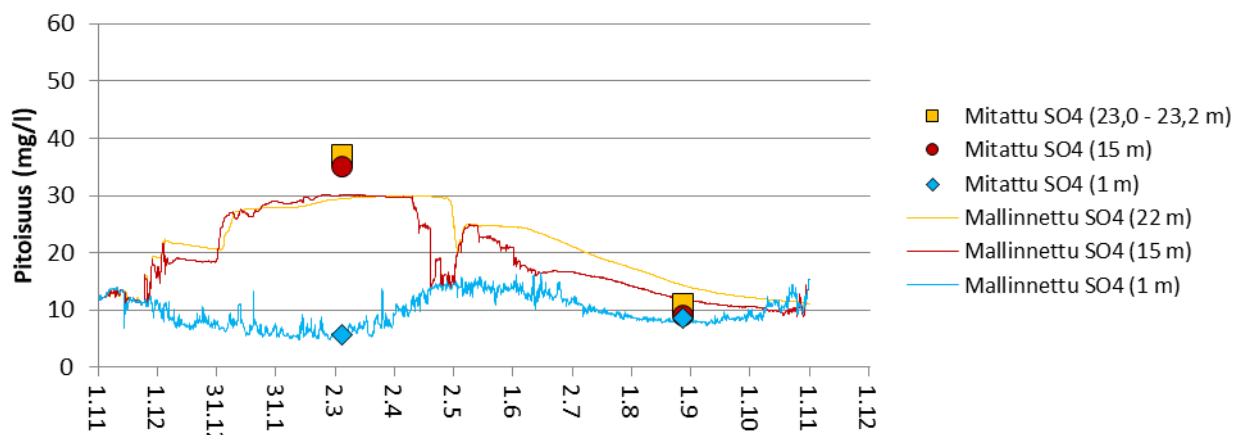
## Lämpötila JV3, validointi 2016 - 2017



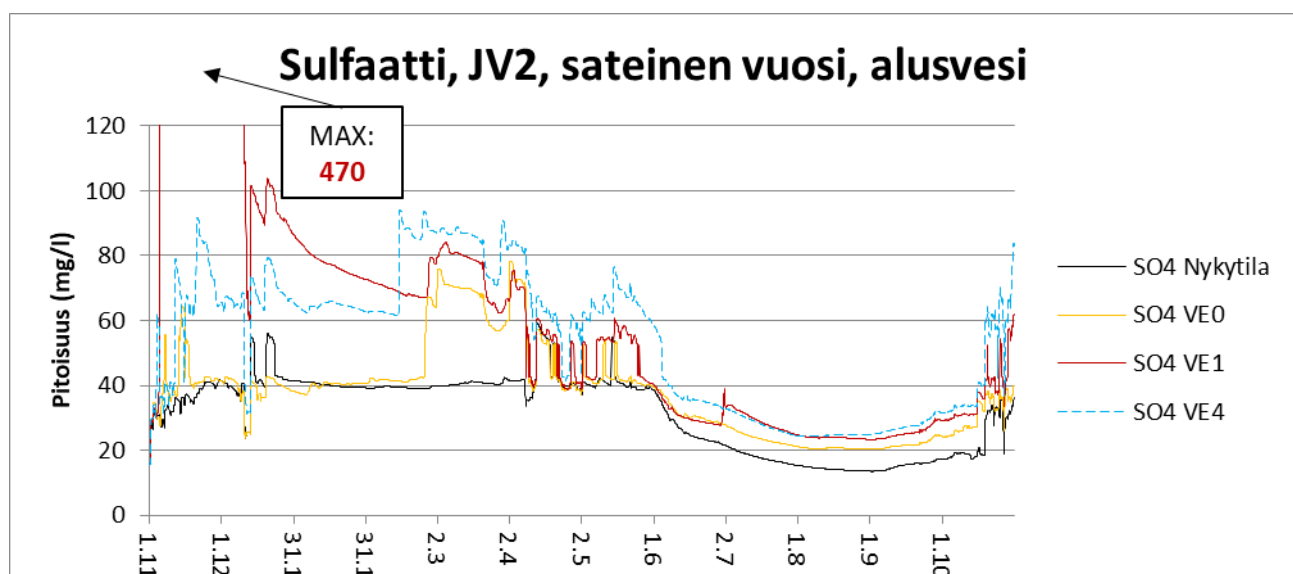
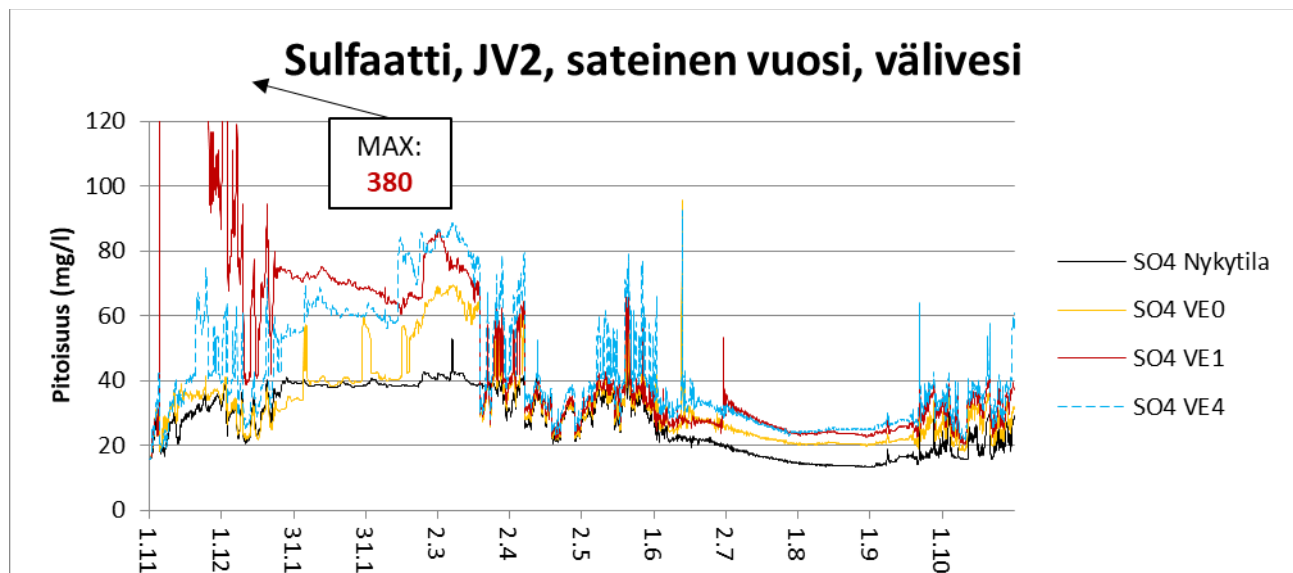
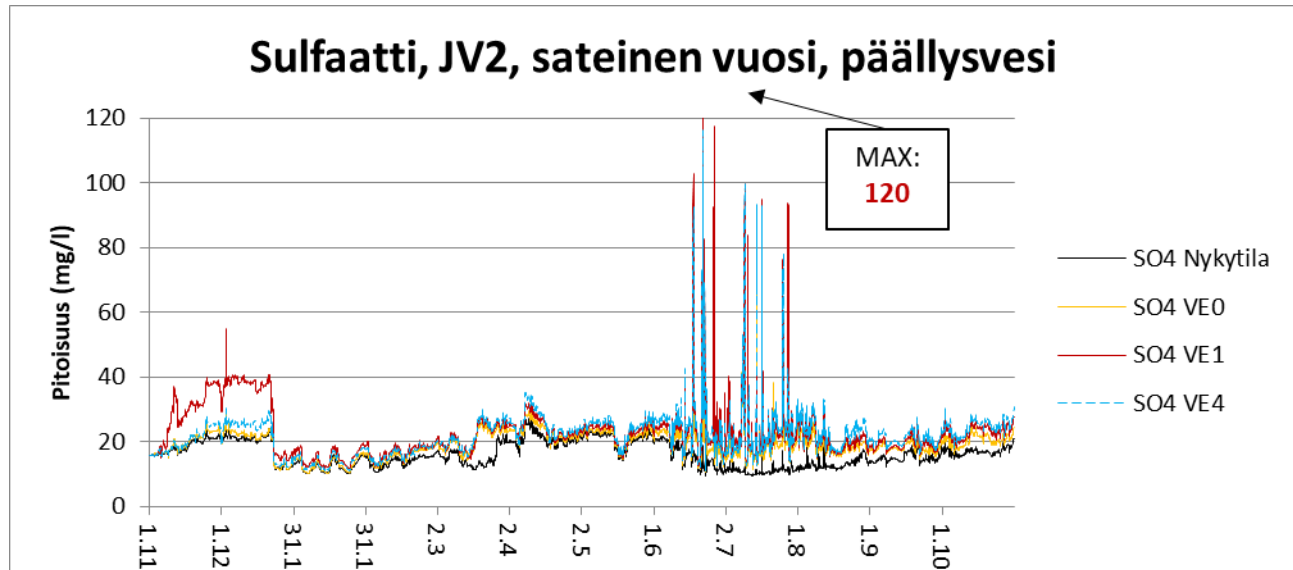
## Fluoridi JV3, validointi 2016 - 2017



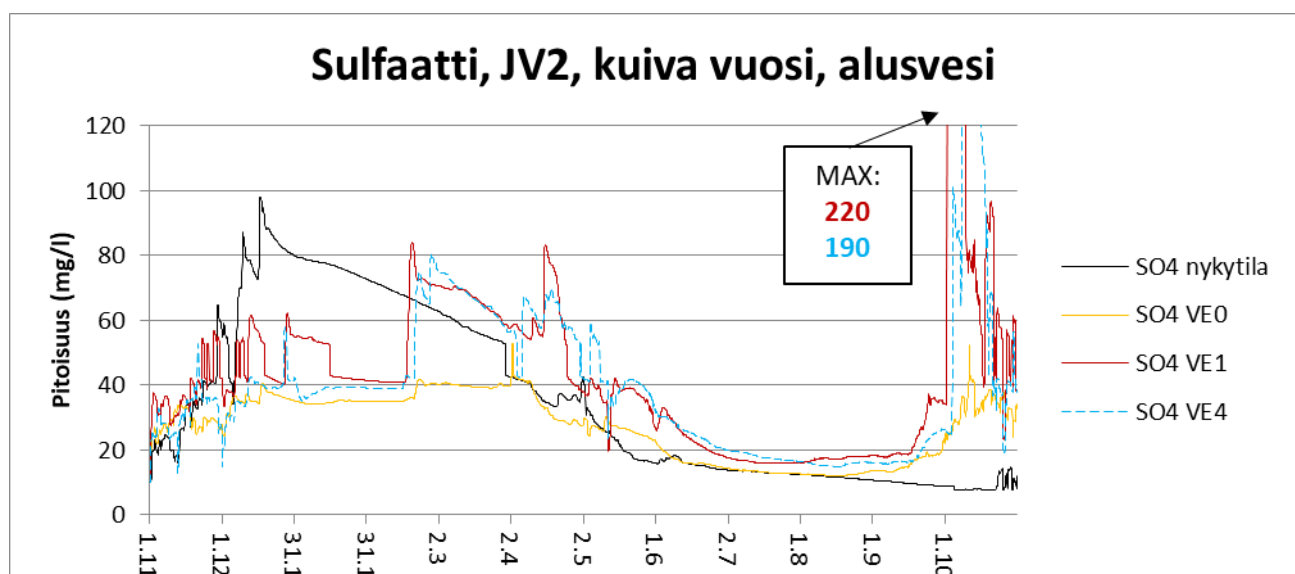
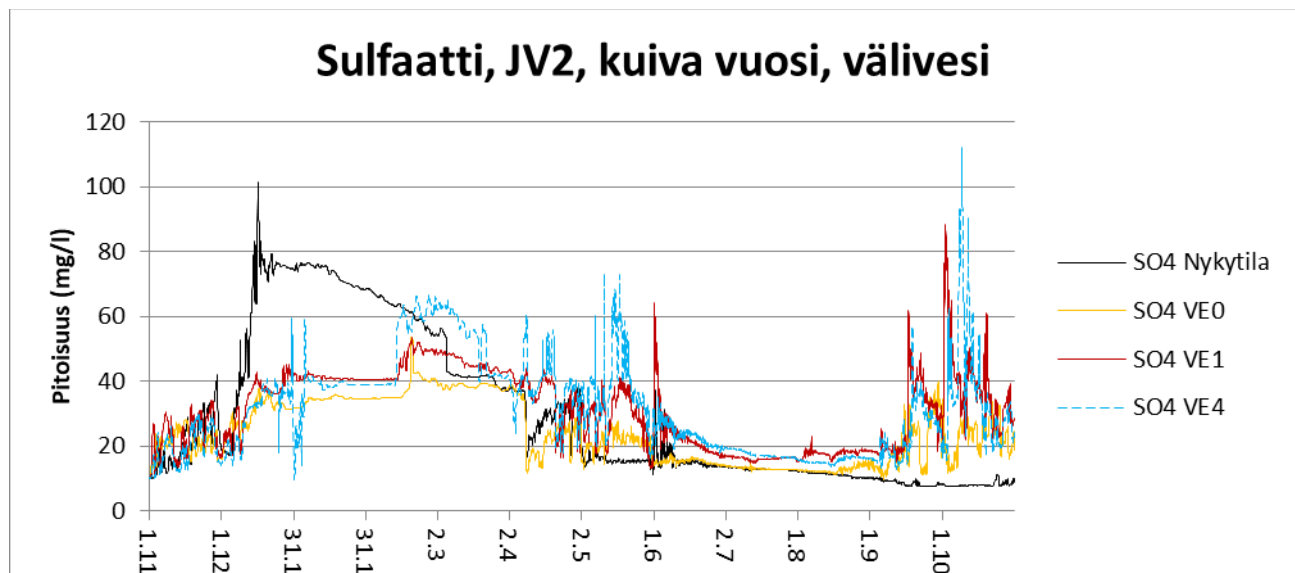
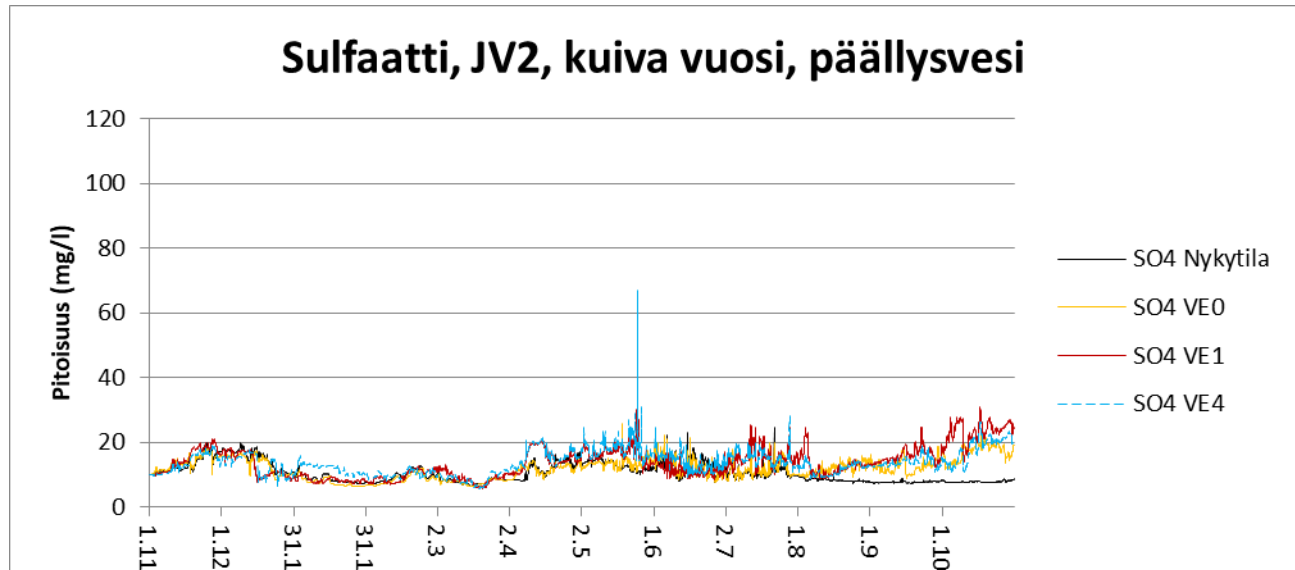
## Sulfaatti JV3, validointi 2016 - 2017



# JV2 sulfaatti, sateinen vuosi

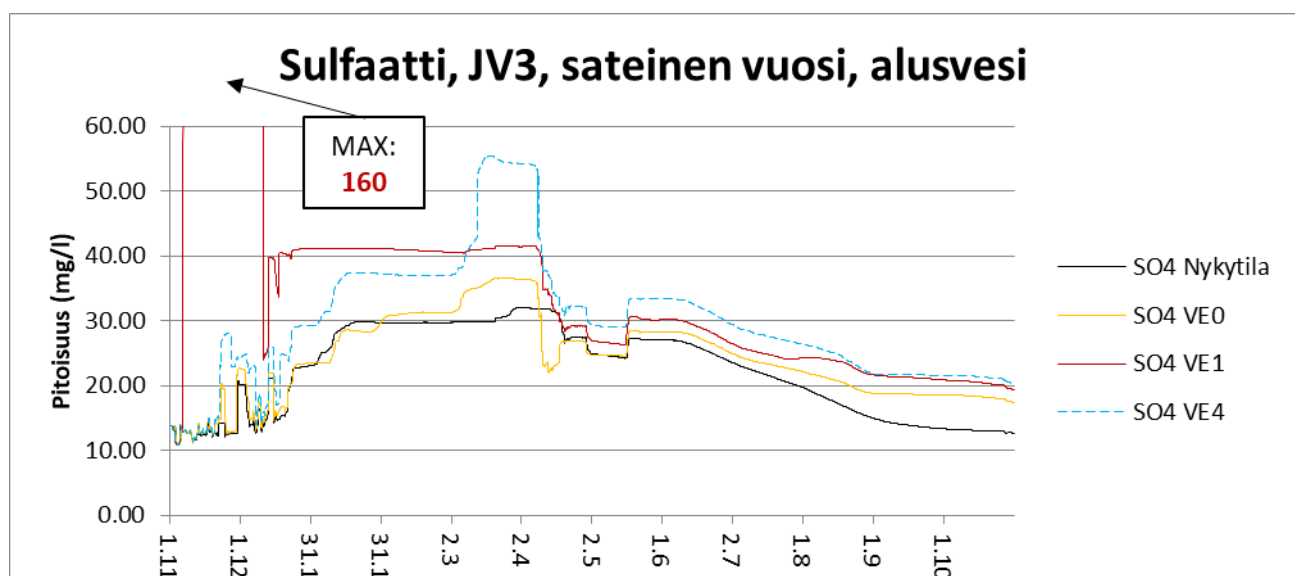
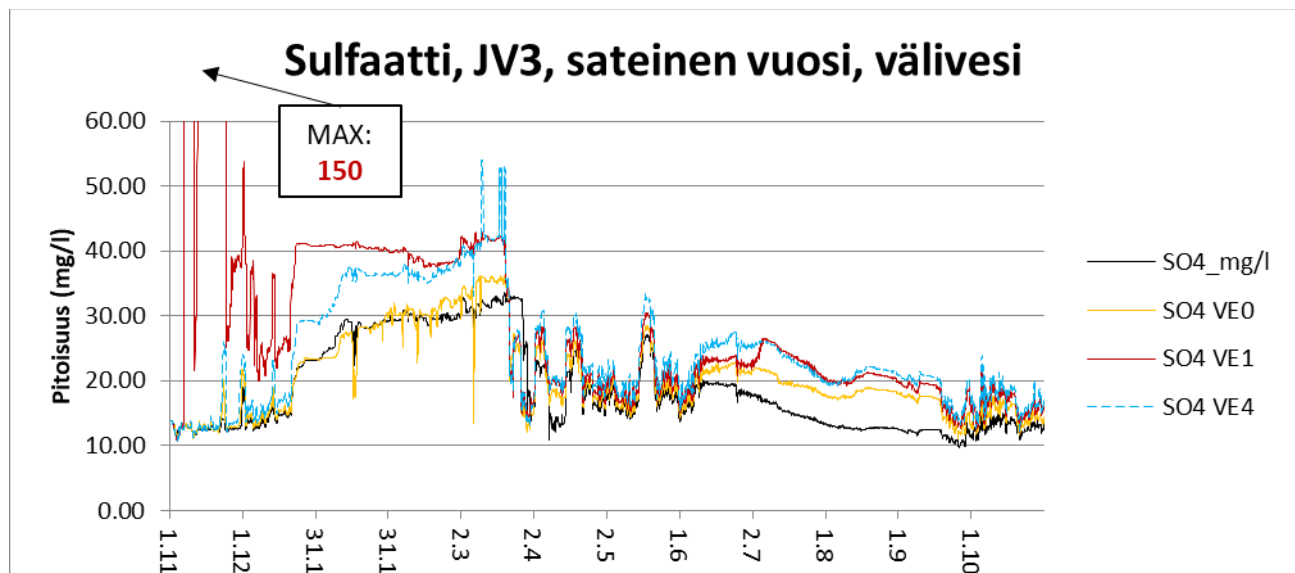
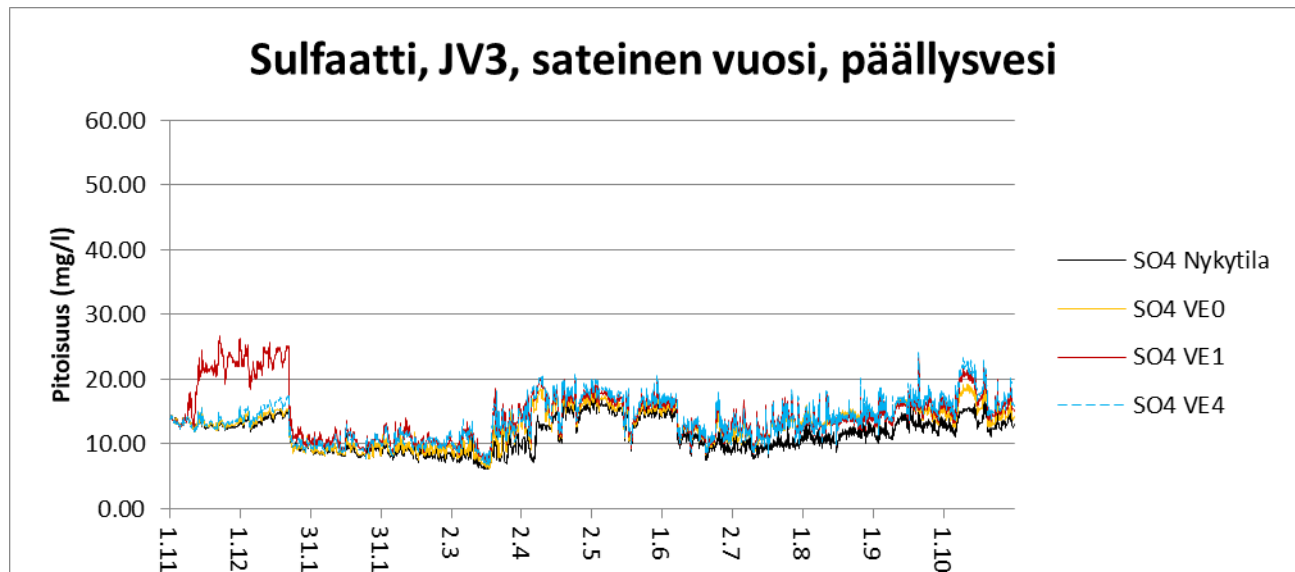


# JV2 sulfaatti, kuiva vuosi

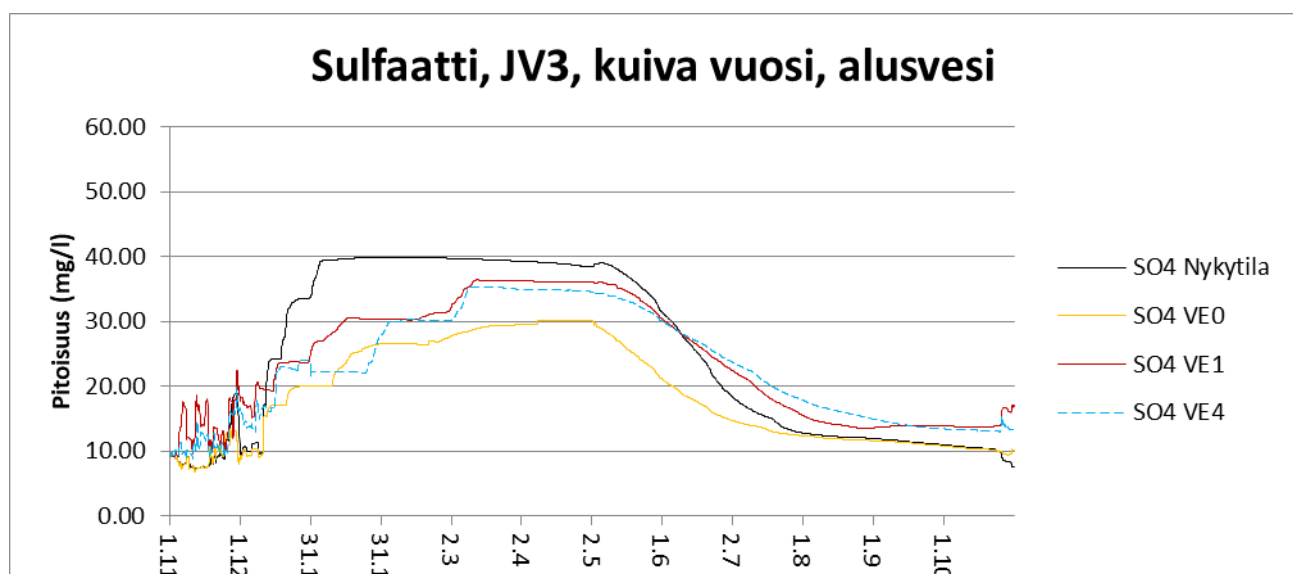
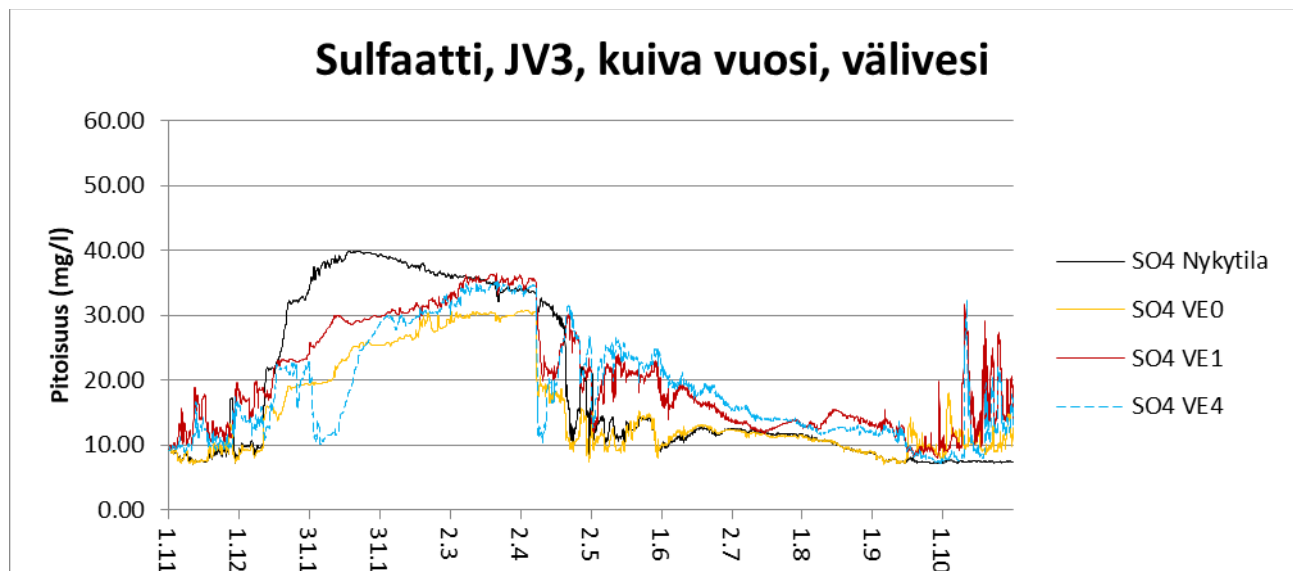
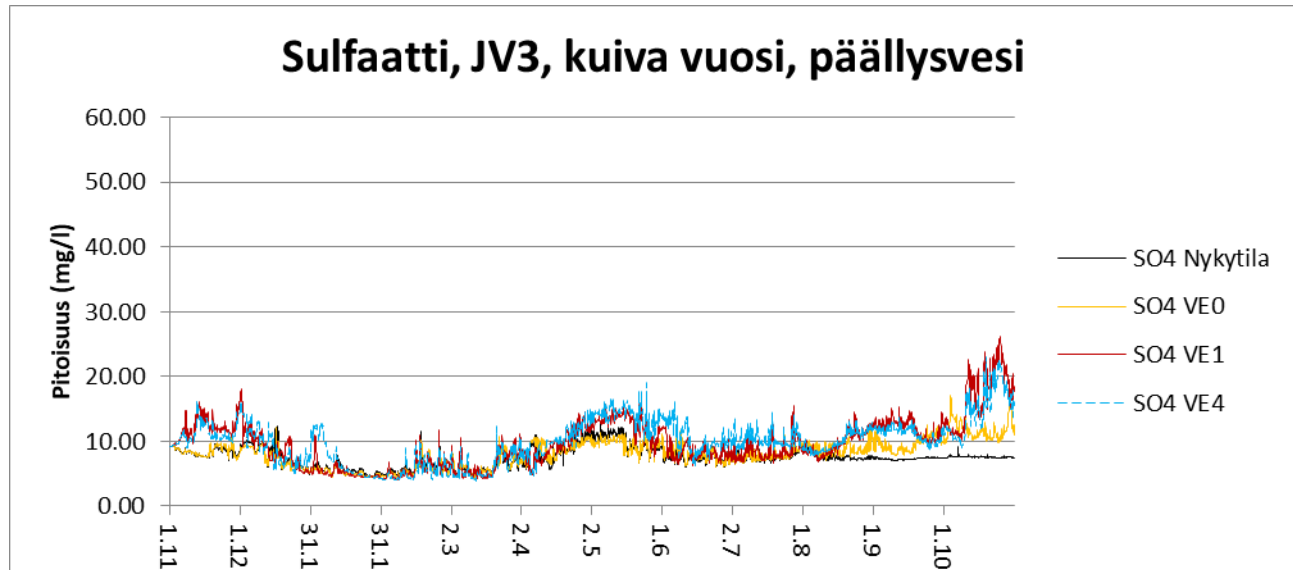




# JV3 sulfaatti, sateinen vuosi

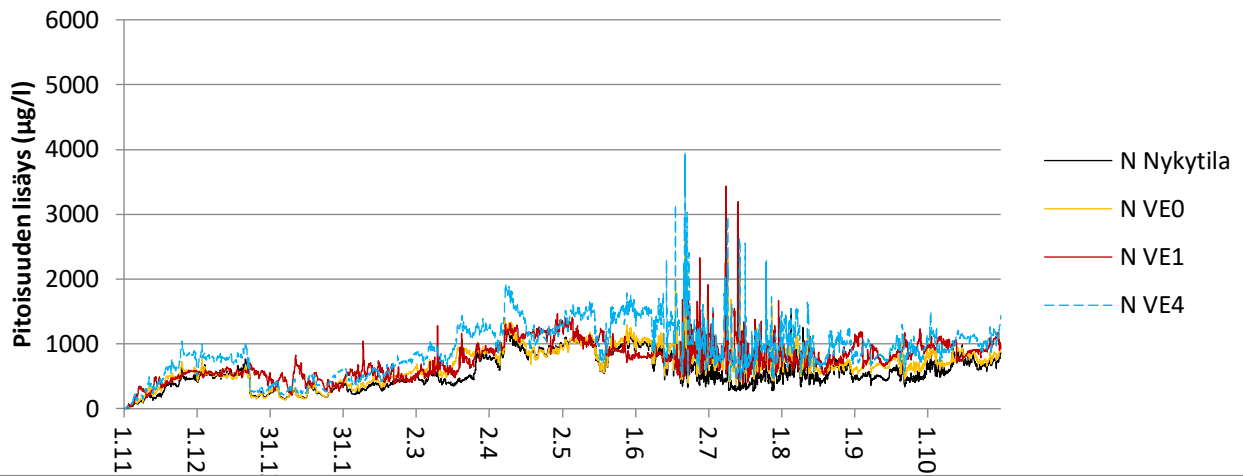


# JV3 sulfaatti, kuiva vuosi

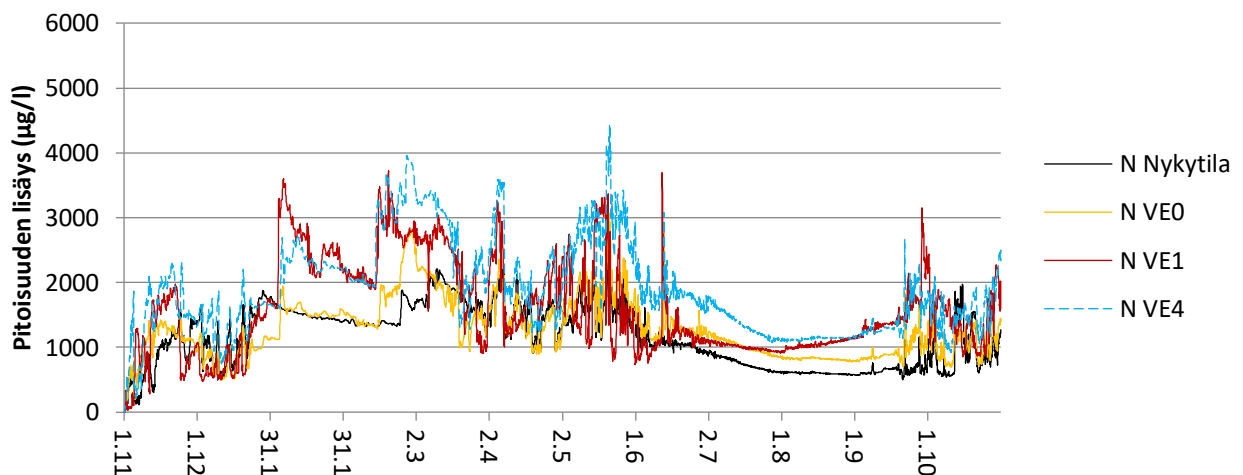


## JV2 typpipitoisuuden lisäys nykytilassa ja YVA-vaihtoehtoissa 0, 1 ja 4

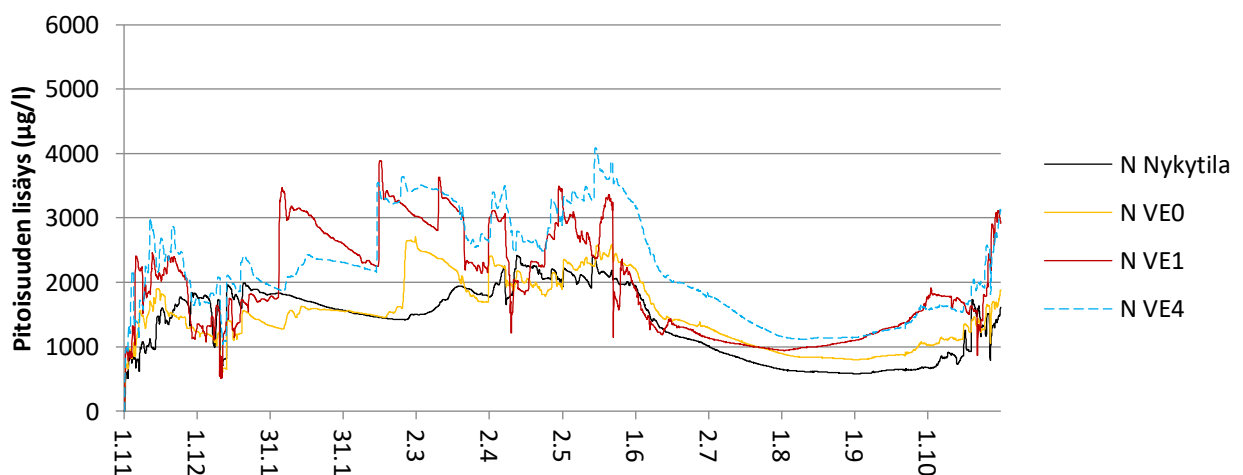
### Typpi, JV2, sateinen vuosi, päällysvesi



### Typpi, JV2, sateinen vuosi, välivesi

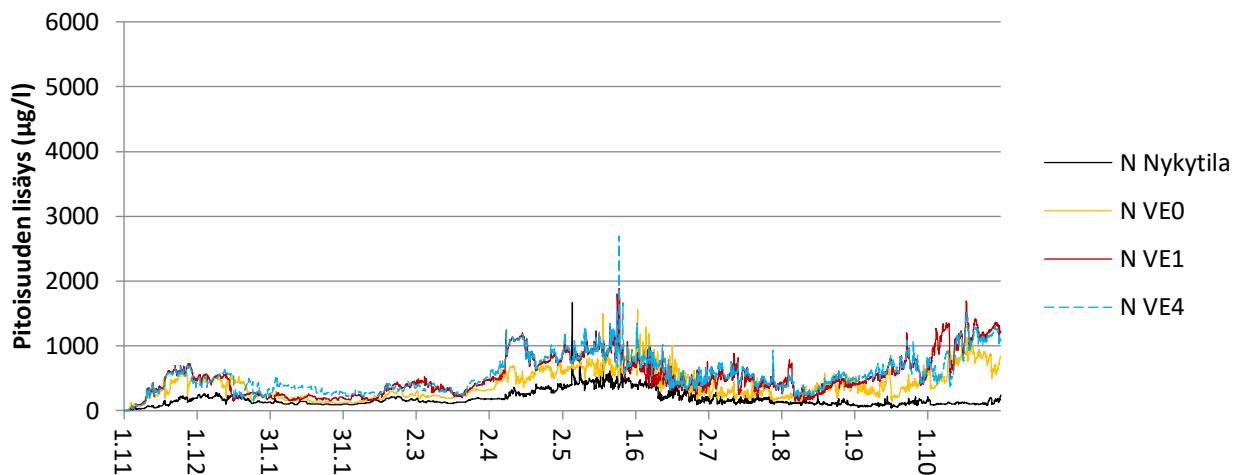


### Typpi, JV2, sateinen vuosi, alusvesi

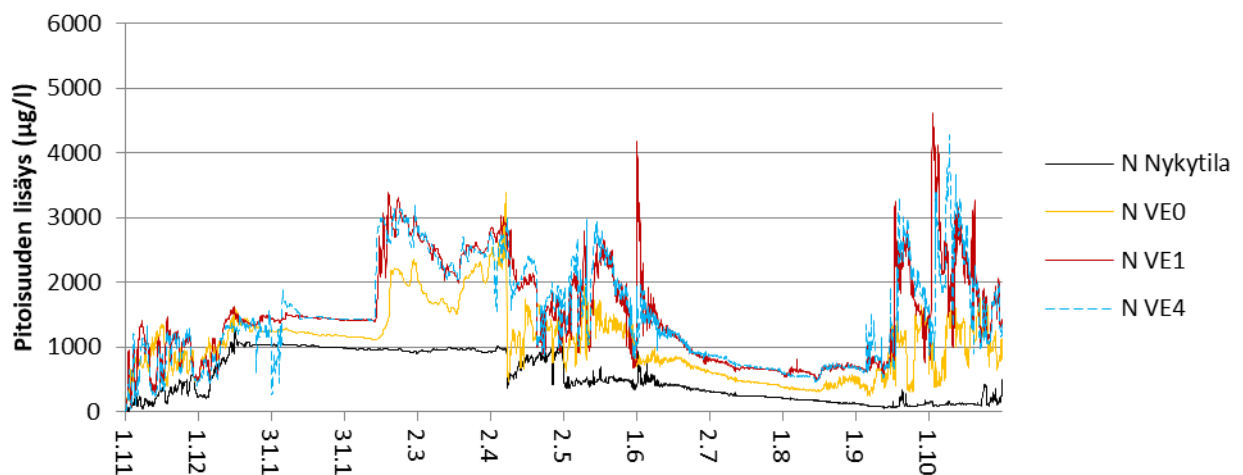


## JV2 typpipitoisuuden lisäys nykytilassa ja YVA-vaihtoehtoisissa 0, 1 ja 4

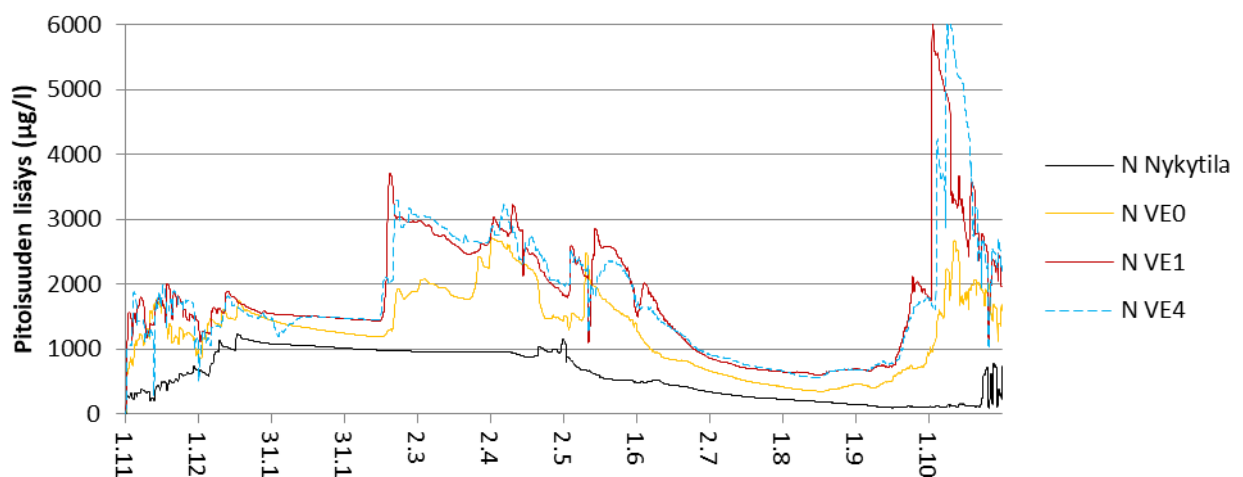
### Typpi, JV2, kuiva vuosi, päällysvesi



### Typpi, JV2, kuiva vuosi, välivesi

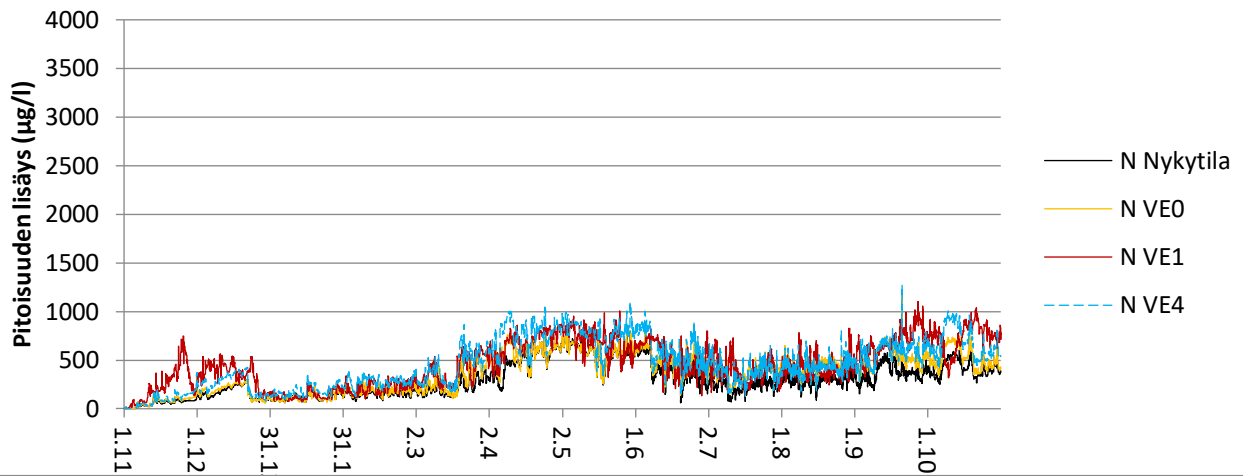


### Typpi, JV2, kuiva vuosi, alusvesi

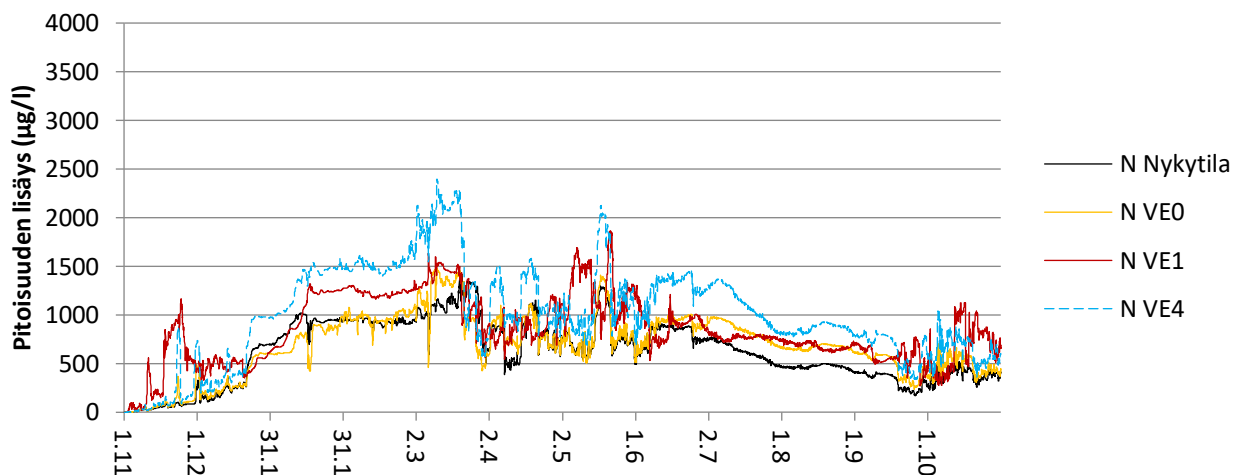


## JV3 typpipitoisuuden lisäys nykytilassa ja YVA-vaihtoehtoisissa 0, 1 ja 4

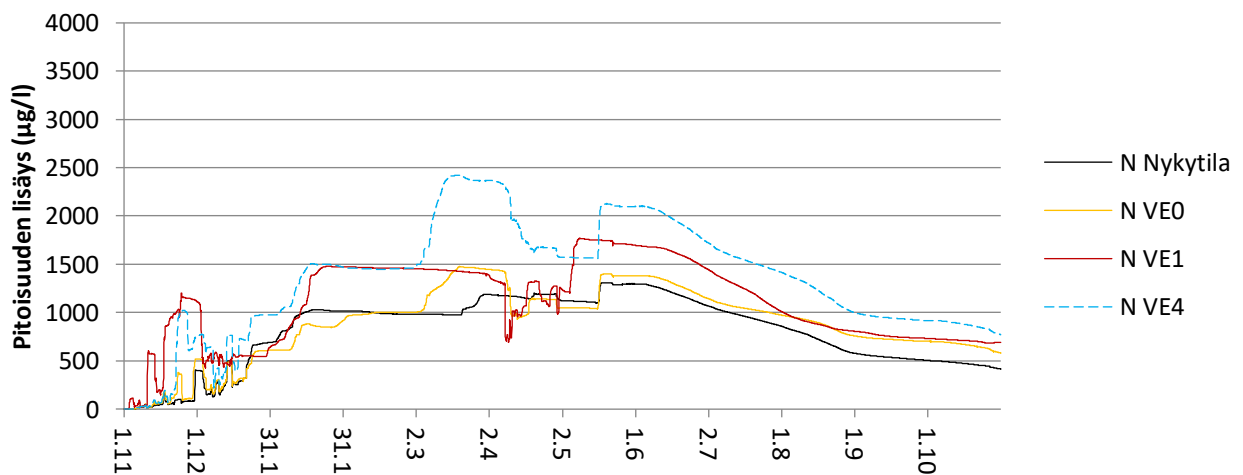
### Typpi, JV3, sateinen vuosi, päällysvesi



### Typpi, JV3, sateinen vuosi, välivesi

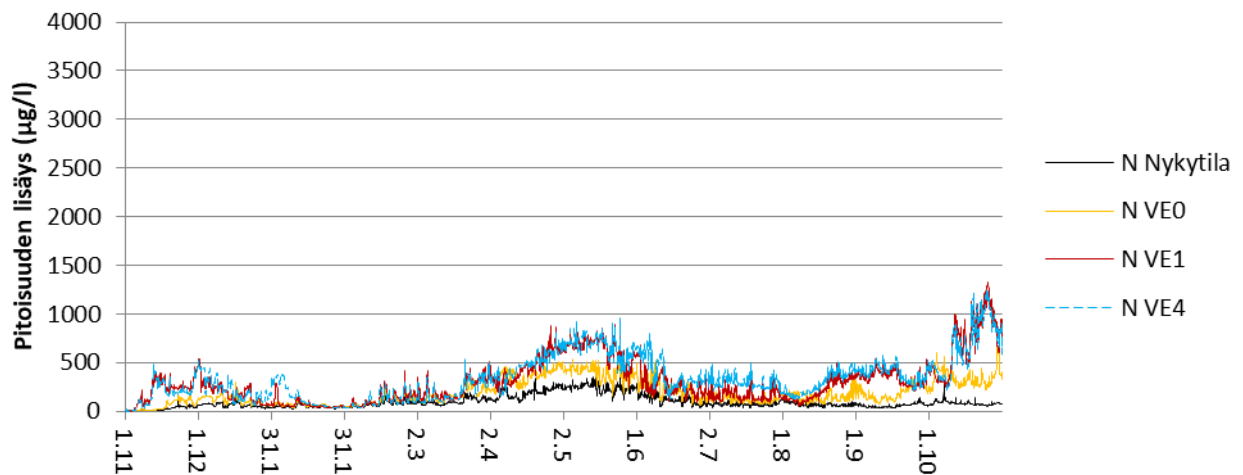


### Typpi, JV3, sateinen vuosi, alusvesi

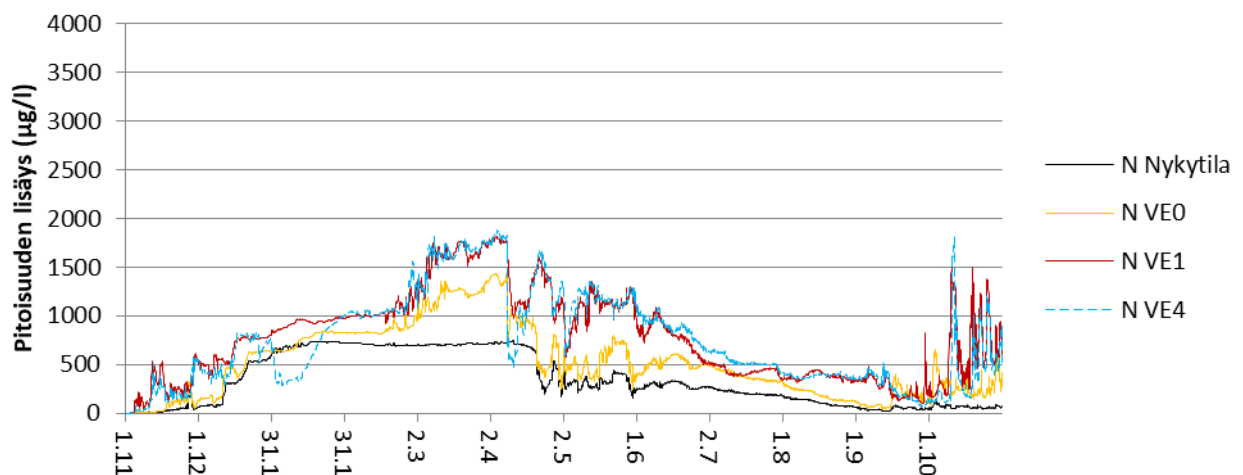


## JV3 typpipitoisuuden lisäys nykytilassa ja YVA-vaihtoehtoissa 0, 1 ja 4

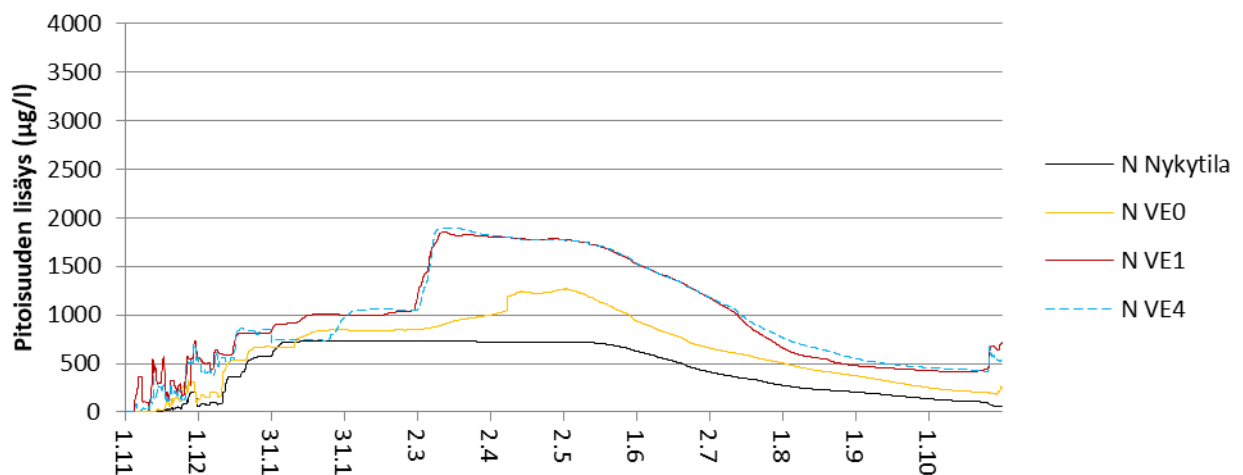
### Typpi, JV3, kuiva vuosi, päällysvesi



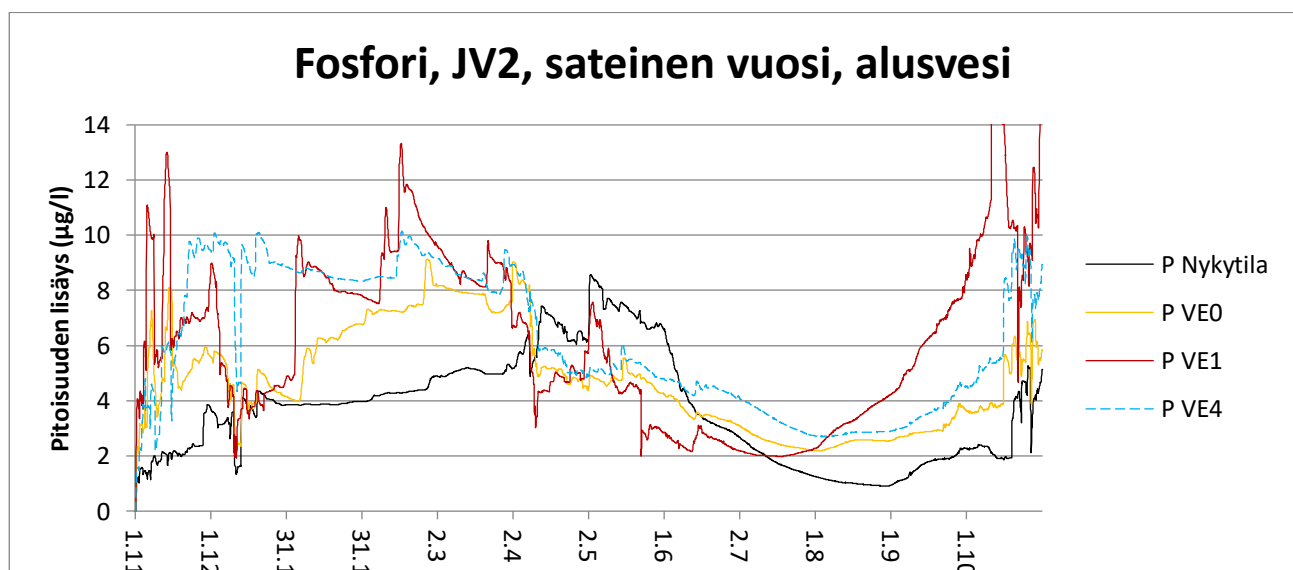
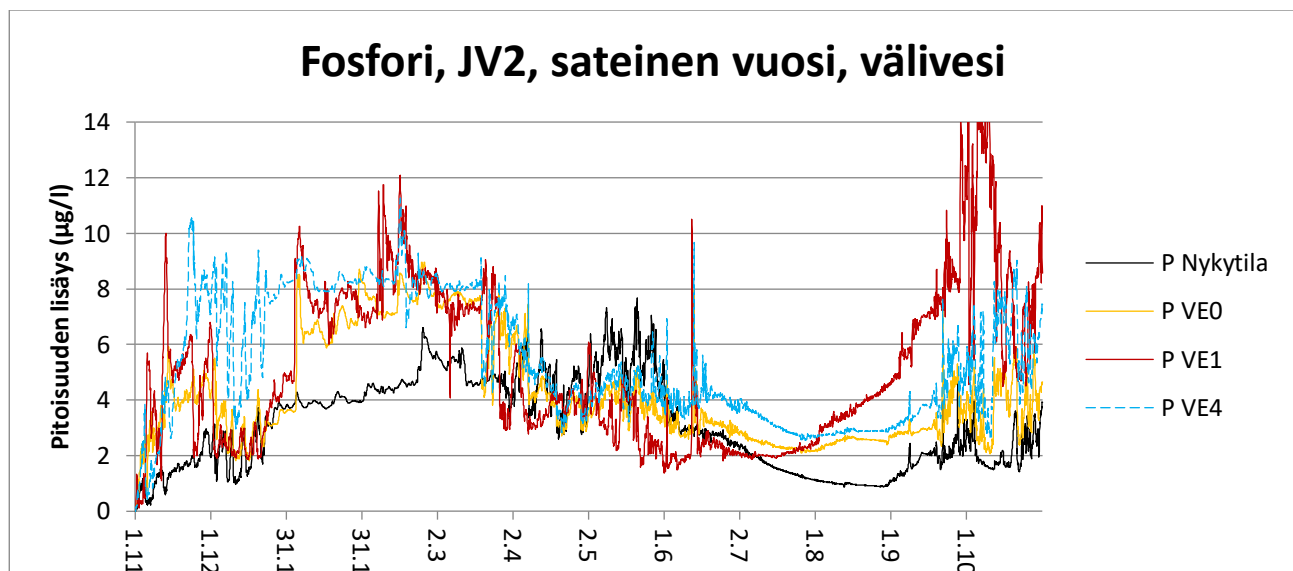
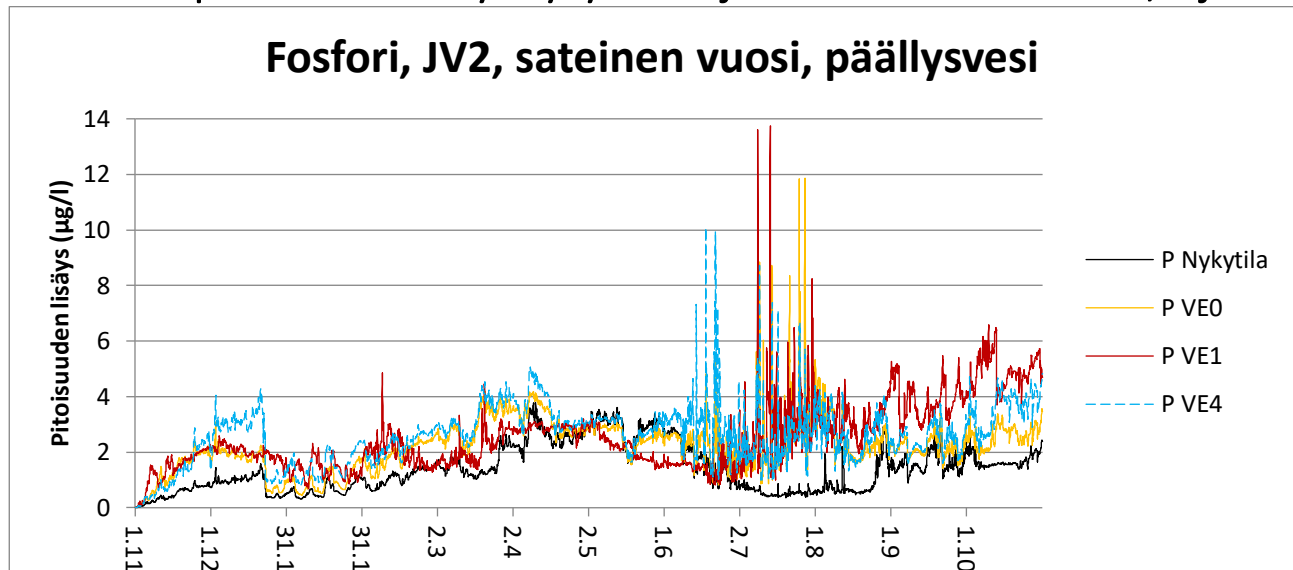
### Typpi, JV3, kuiva vuosi, välivesi



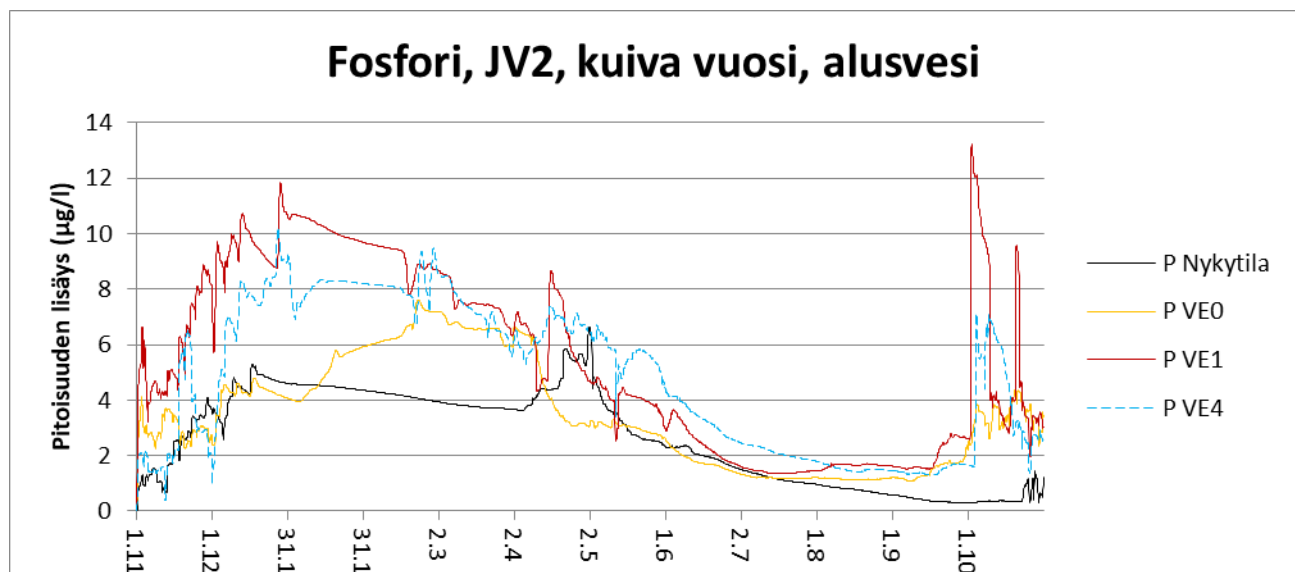
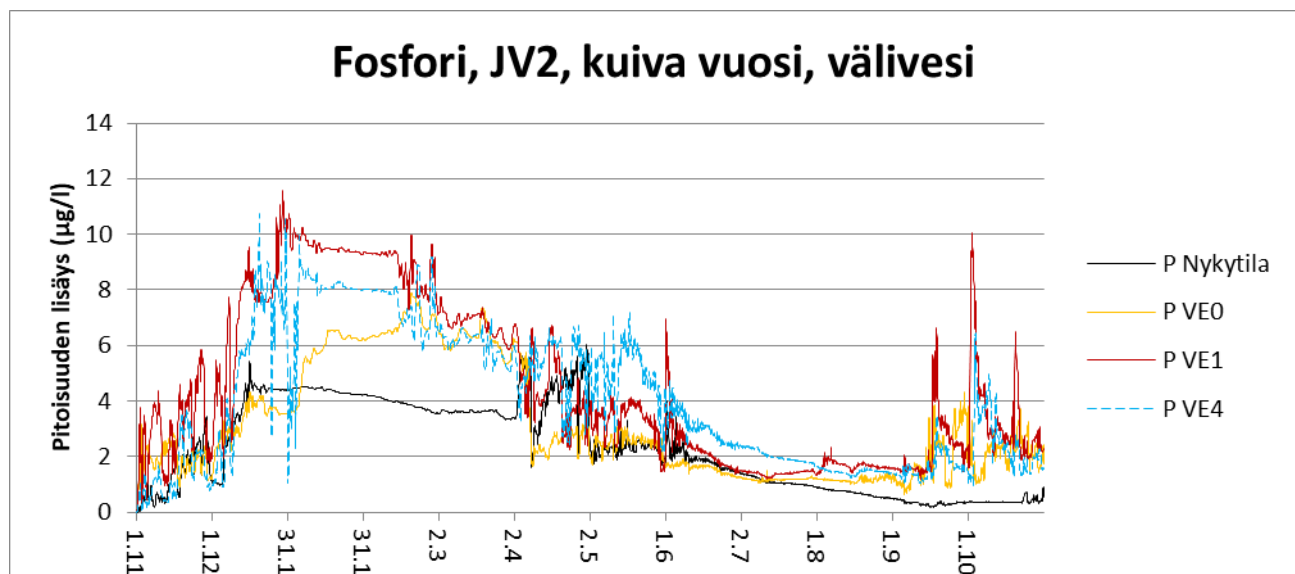
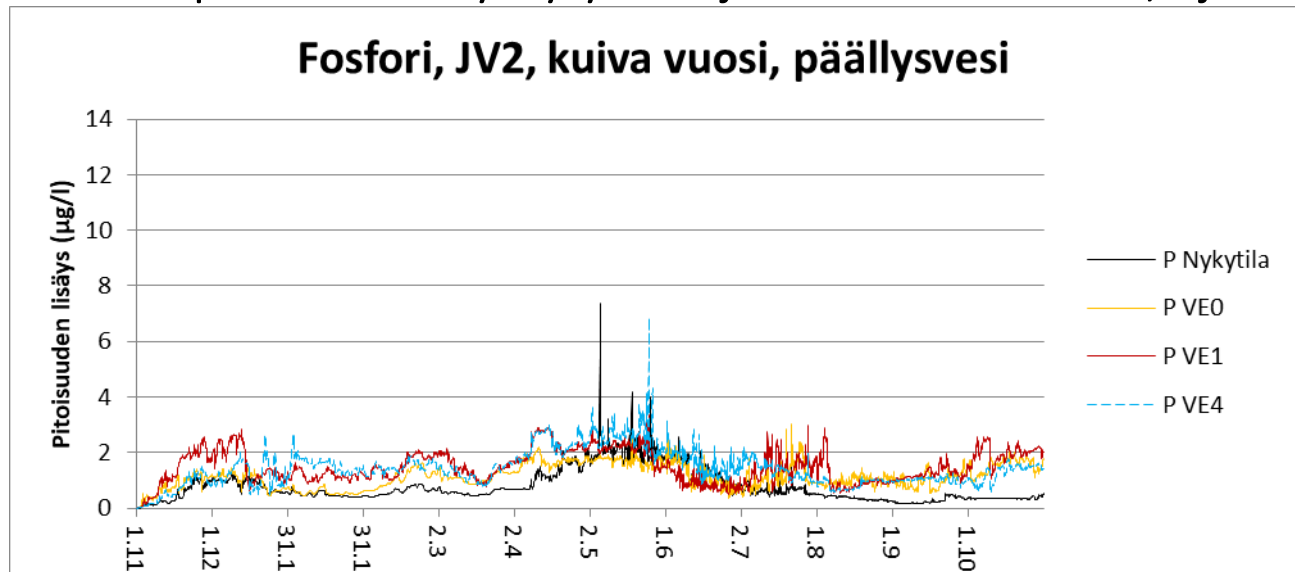
### Typpi, JV3, kuiva vuosi, alusvesi



## JV2 fosforipitoisuuden lisäys nykytilassa ja YVA-vaihtoehtoissa 0, 1 ja 4

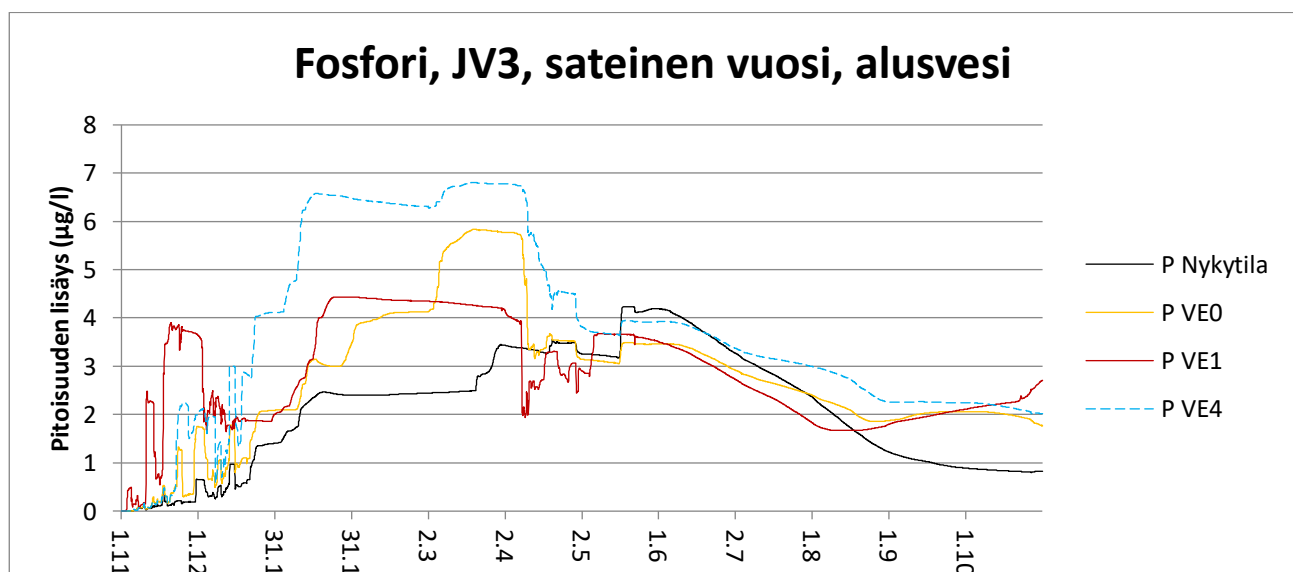
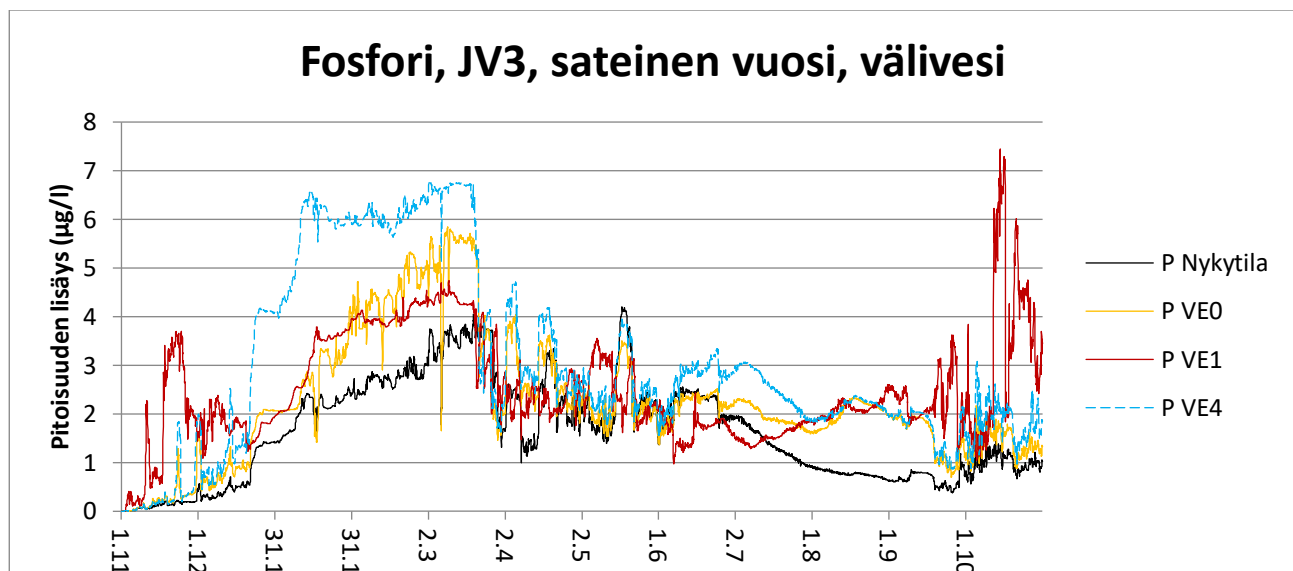
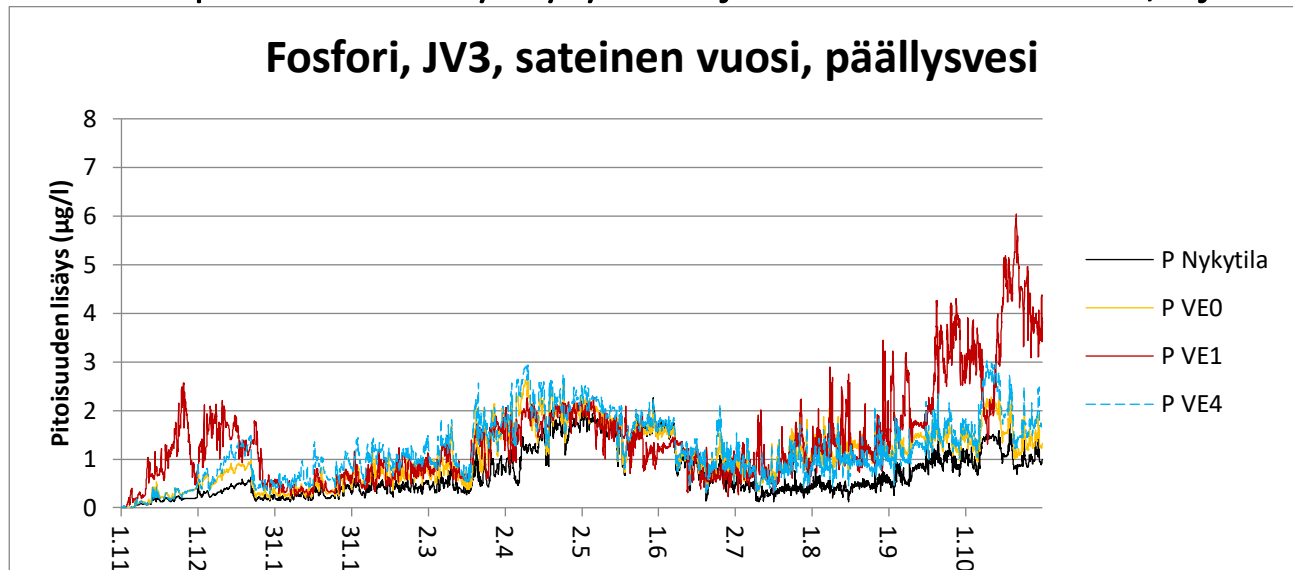


## JV2 fosforipitoisuuden lisäys nykytilassa ja YVA-vaihtoehtoissa 0, 1 ja 4

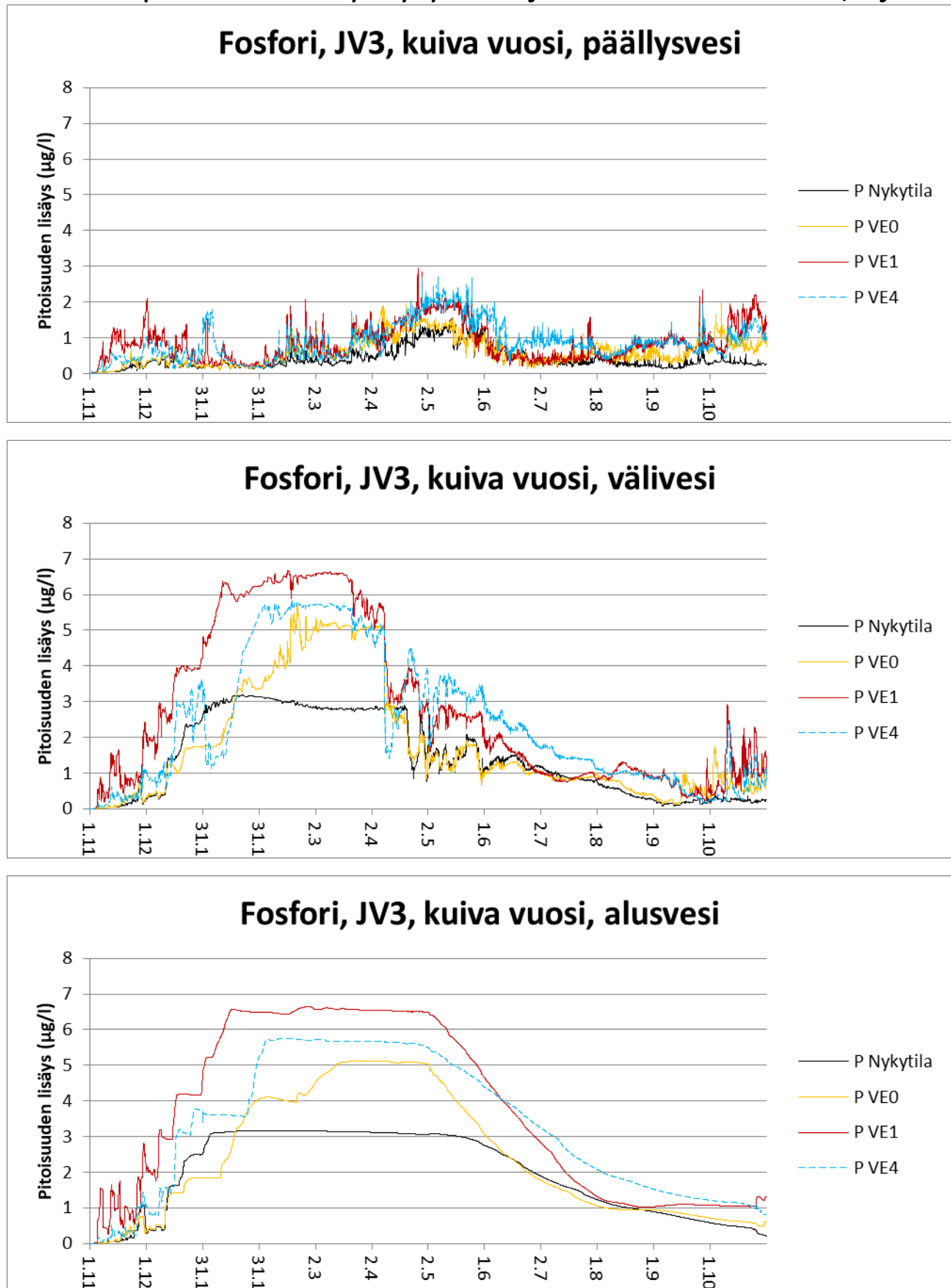




## JV3 fosforipitoisuuden lisäys nykytilassa ja YVA-vaihtoehtoissa 0, 1 ja 4



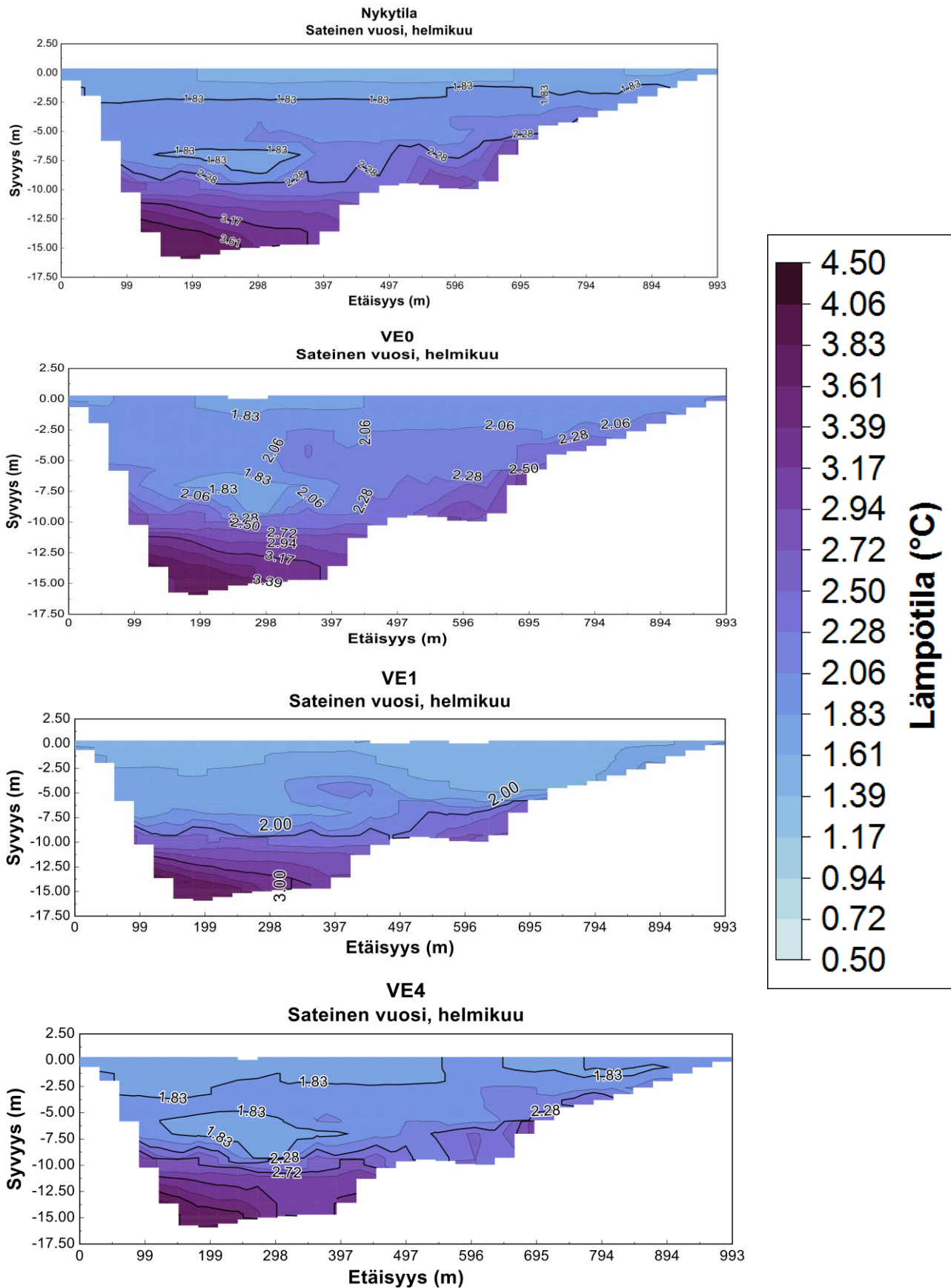
## JV3 fosforipitoisuuden lisäys nykytilassa ja YVA-vaihtoehtoissa 0, 1 ja 4



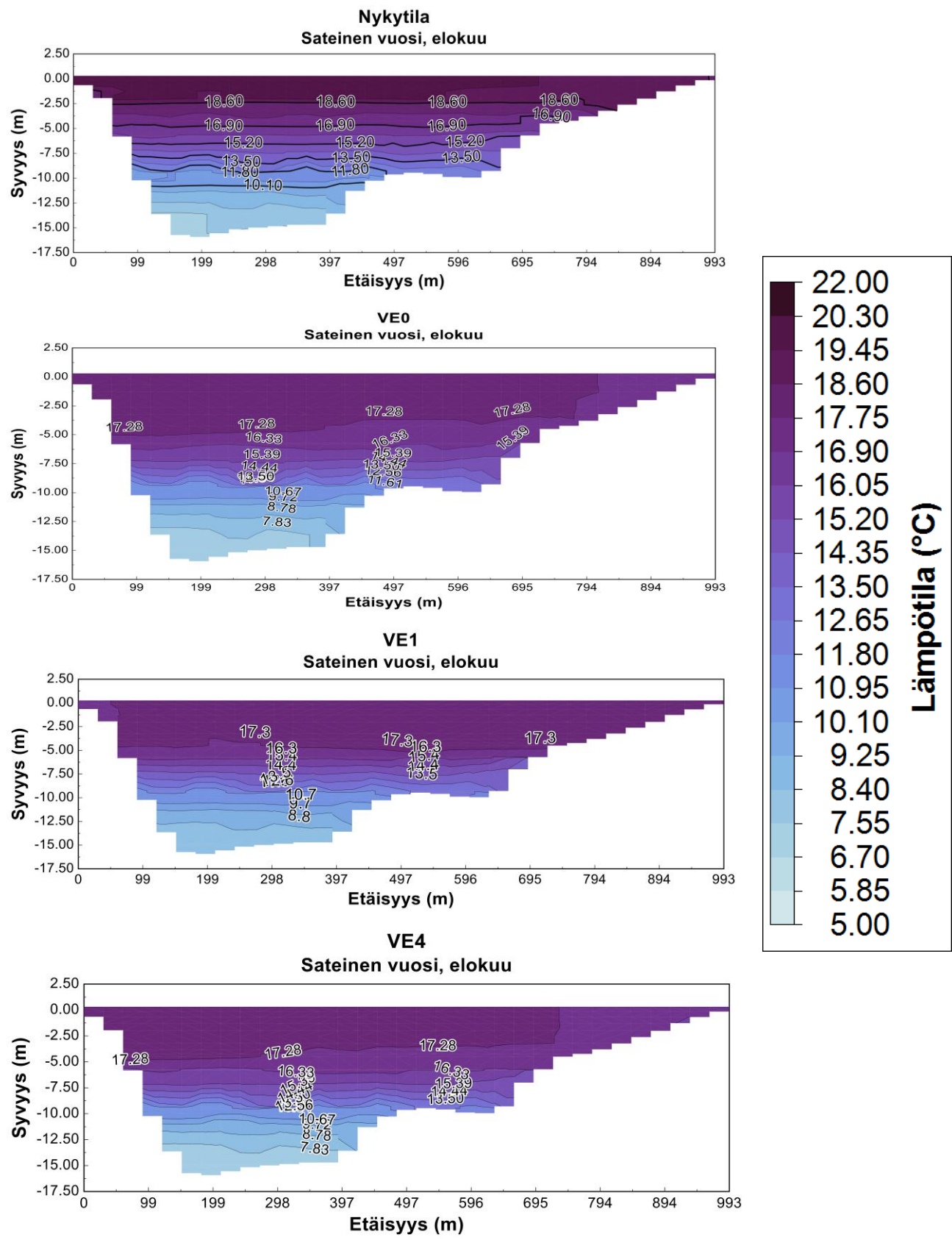
# LIITE 2

## 2DV-poikkileikkauskuvat

## Lämpötila, talviaika (helmikuu), sateinen vuosi

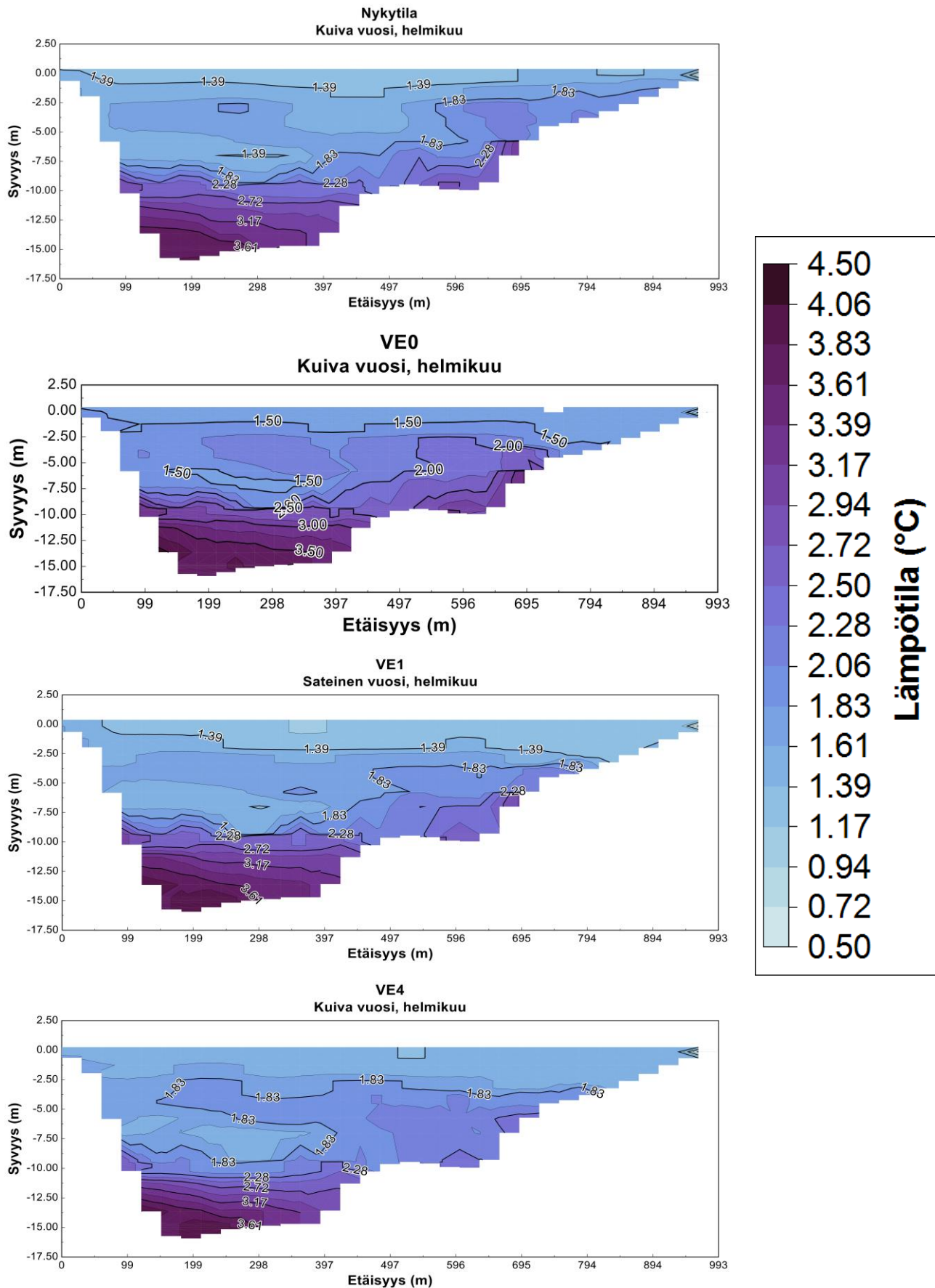


# Lämpötila, kesäaika (elokuu), sateinen vuosi



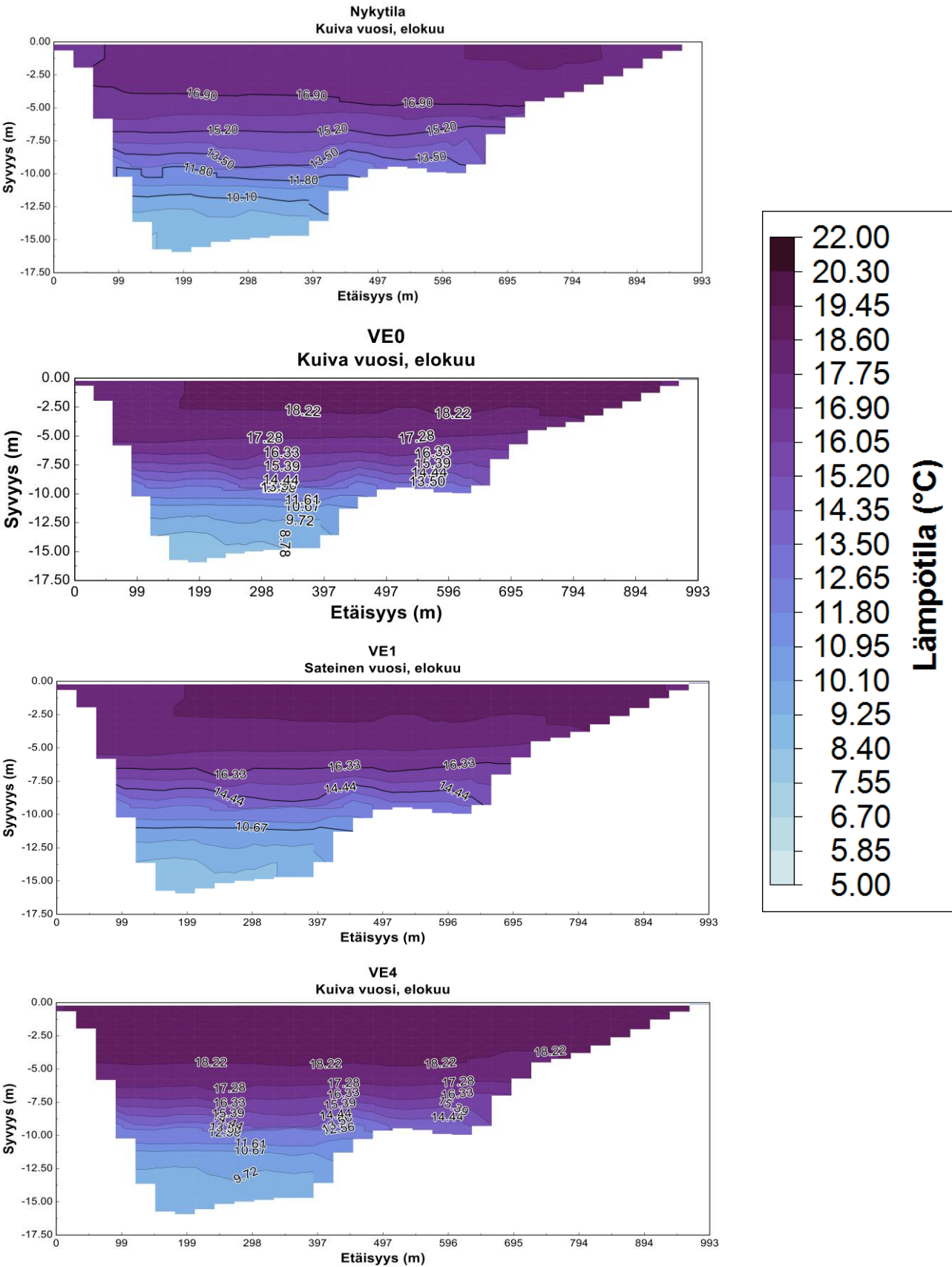
## Liite 2. Poikkileikkauskuvat

### Lämpötila, talviaika (helmikuu), kuiva vuosi



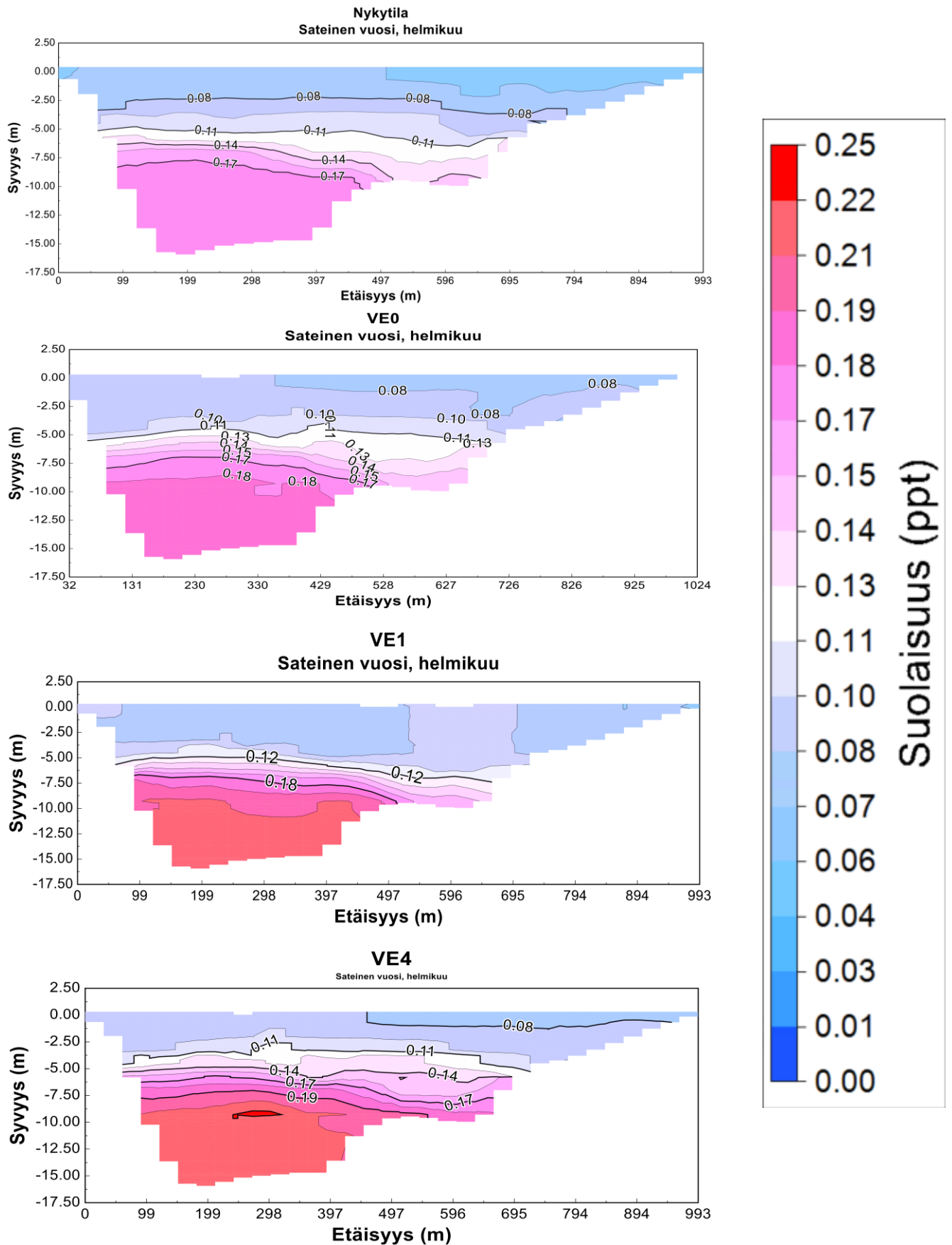


Lämpötila, kesäaika (elokuu), kuiva vuosi



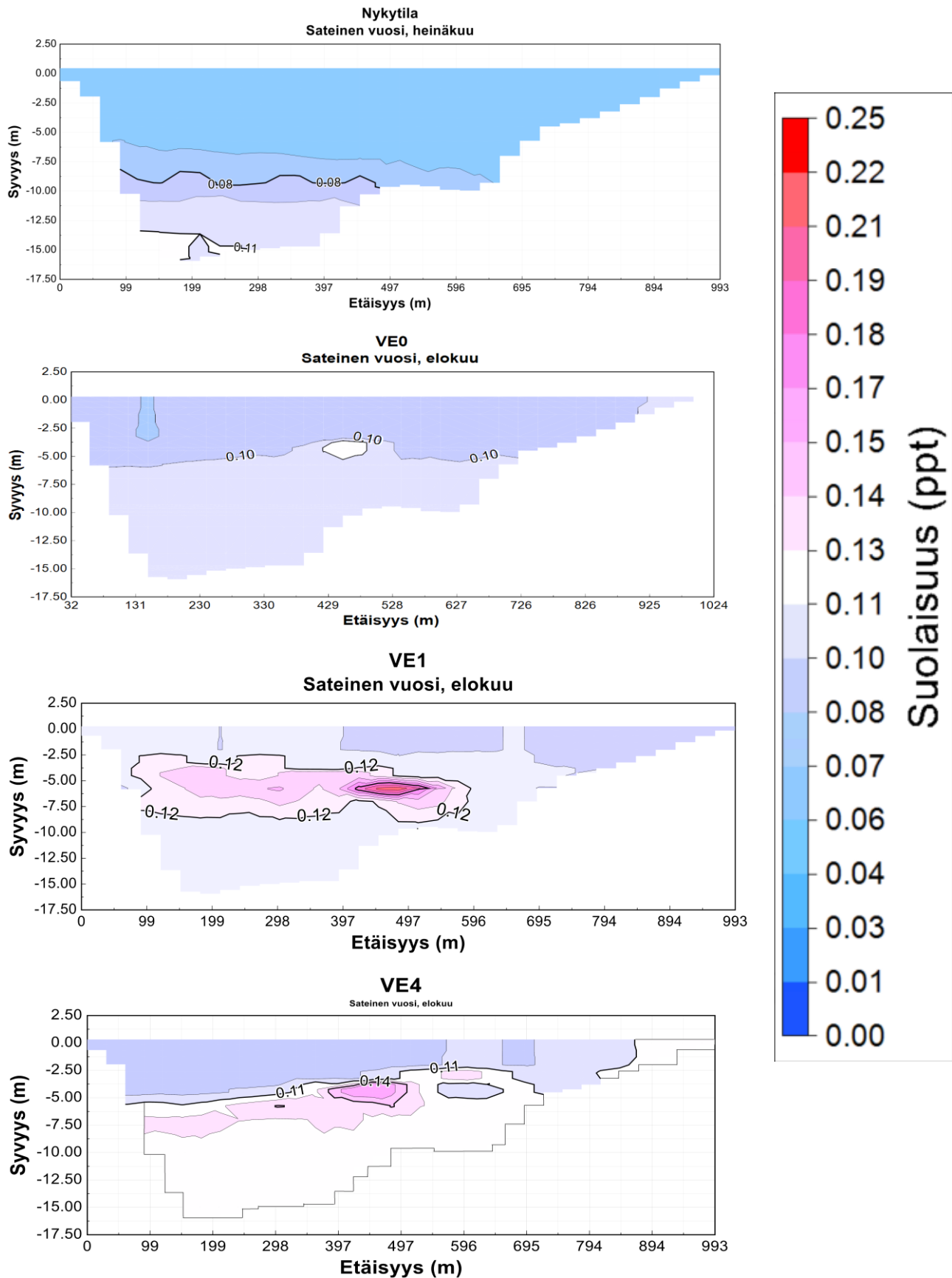
## Liite 2. Poikkileikkauskuvat

### Suolaisuus, talviaika (helmikuu), sateinen vuosi

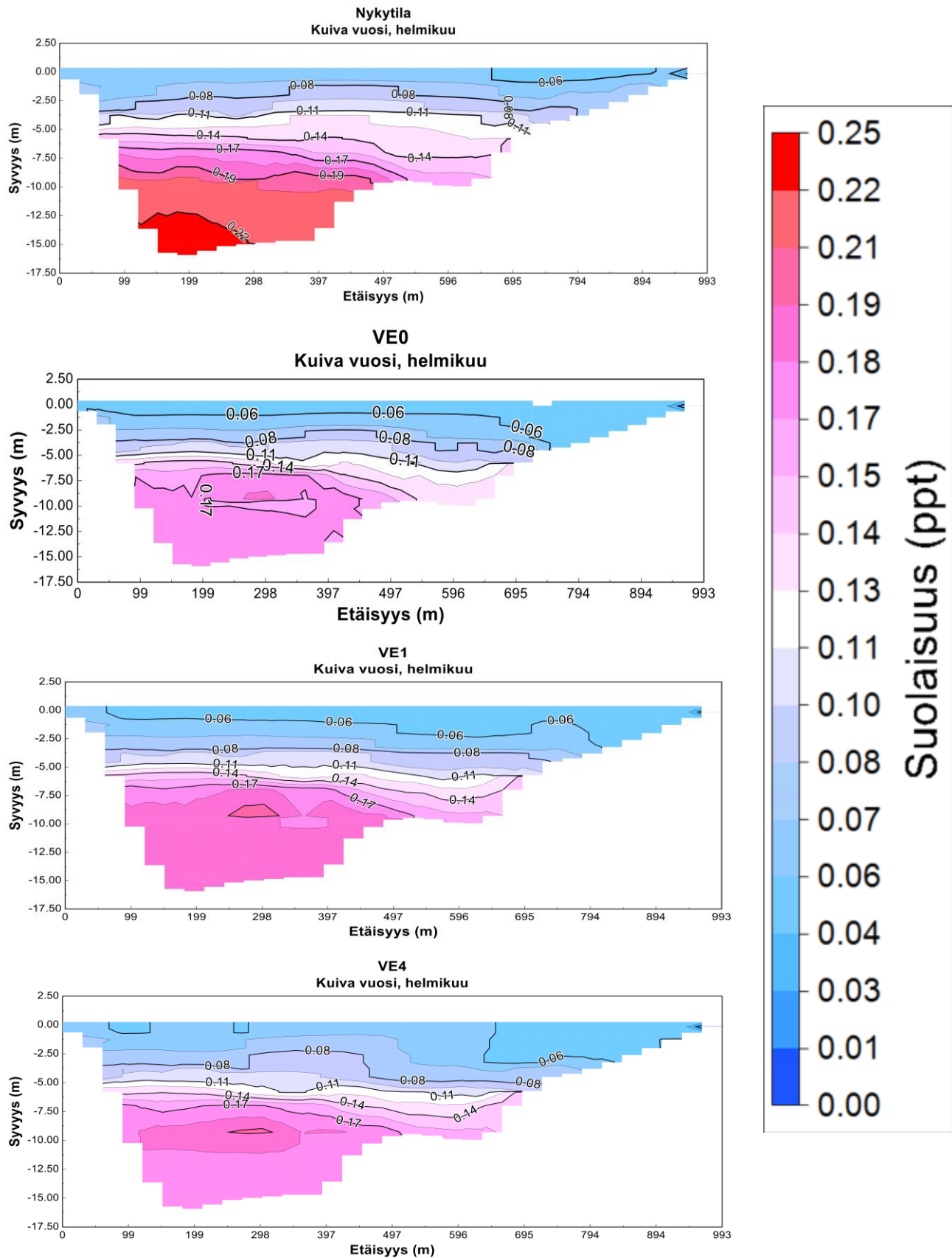




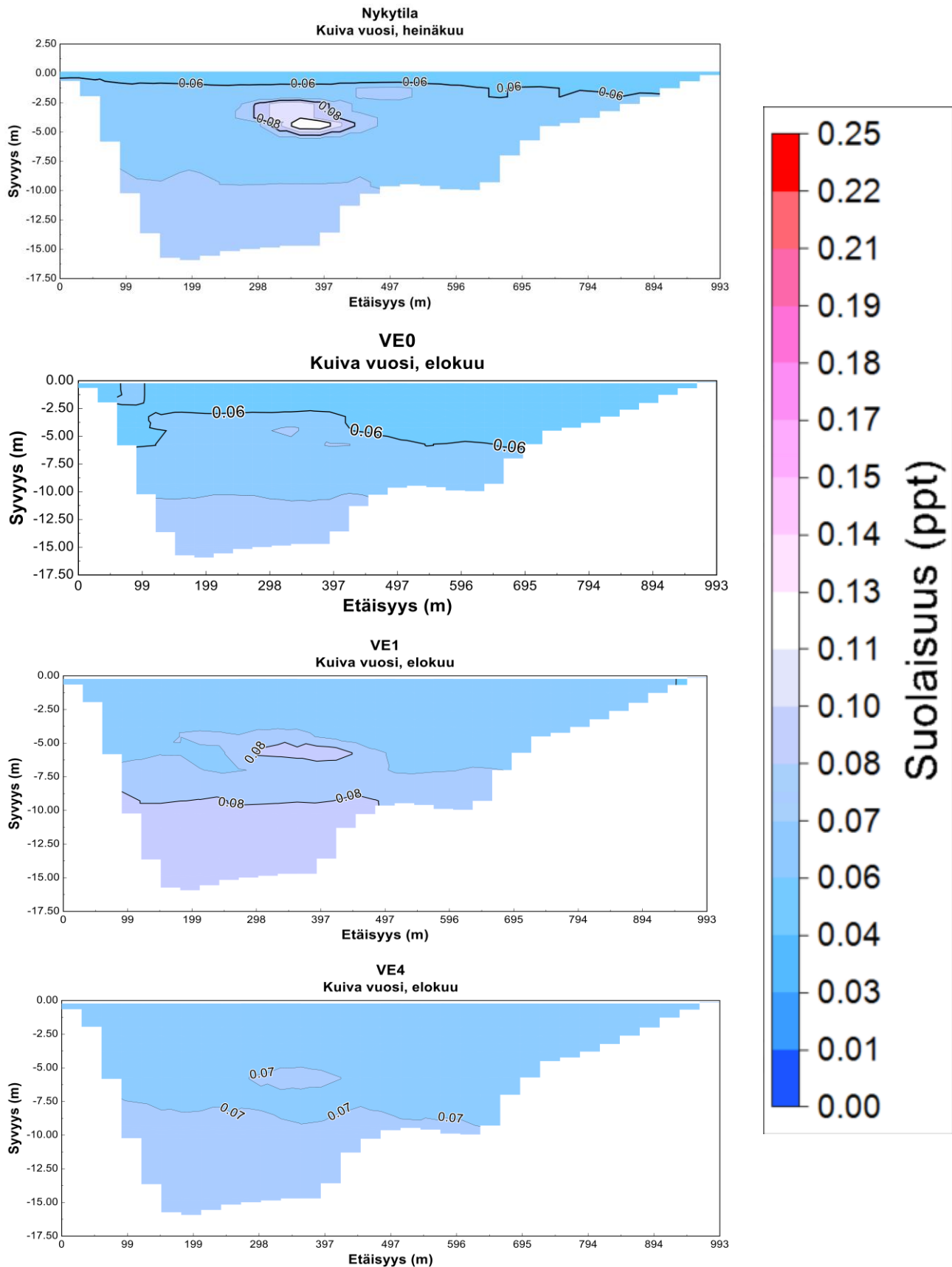
## Suolaisuus, kesäaika (elokuu), sateinen vuosi



## Suolaisuus, talviaika (helmikuu), kuiva vuosi



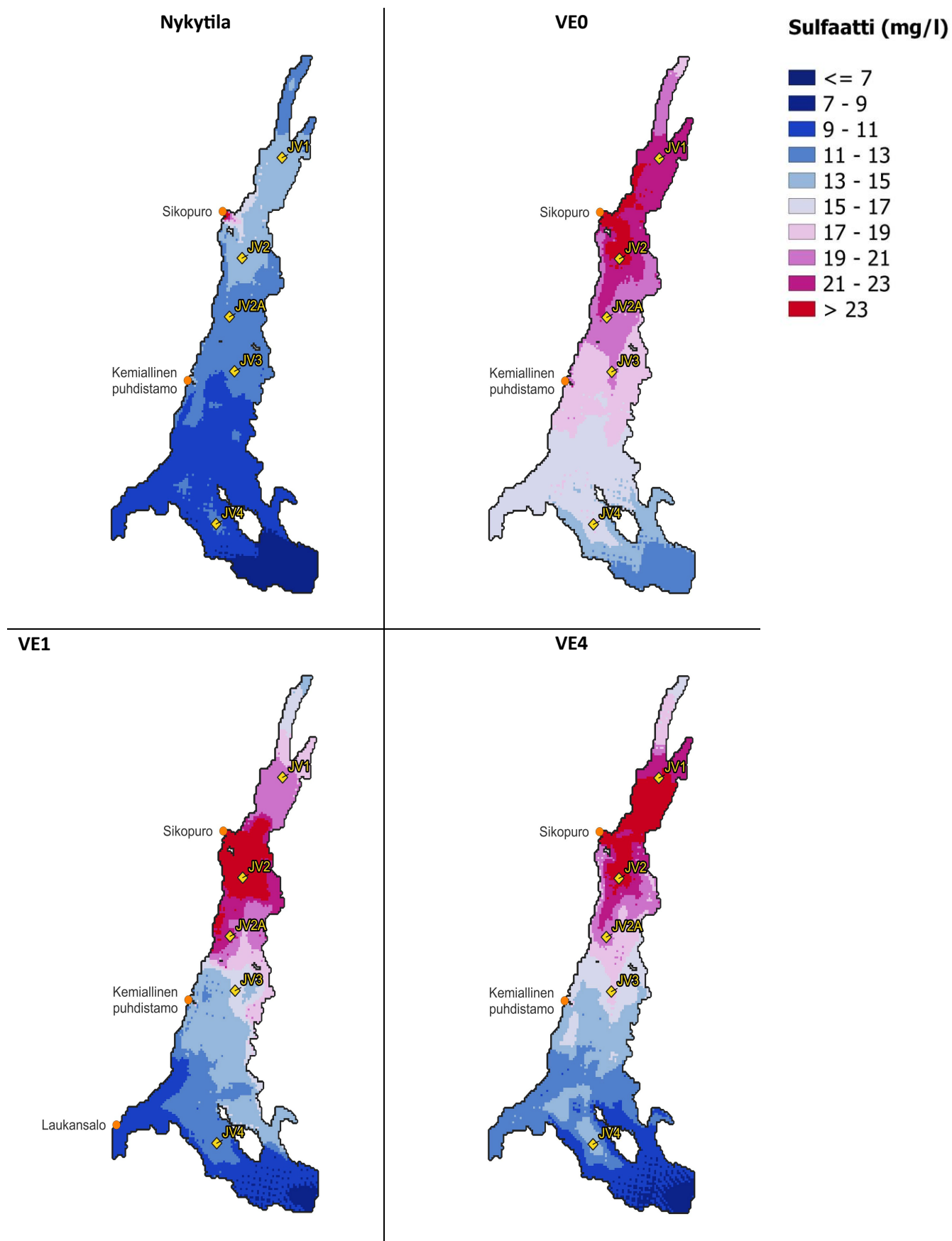
## Suolaisuus, kesäaika (helmi- ja elokuu), kuiva vuosi



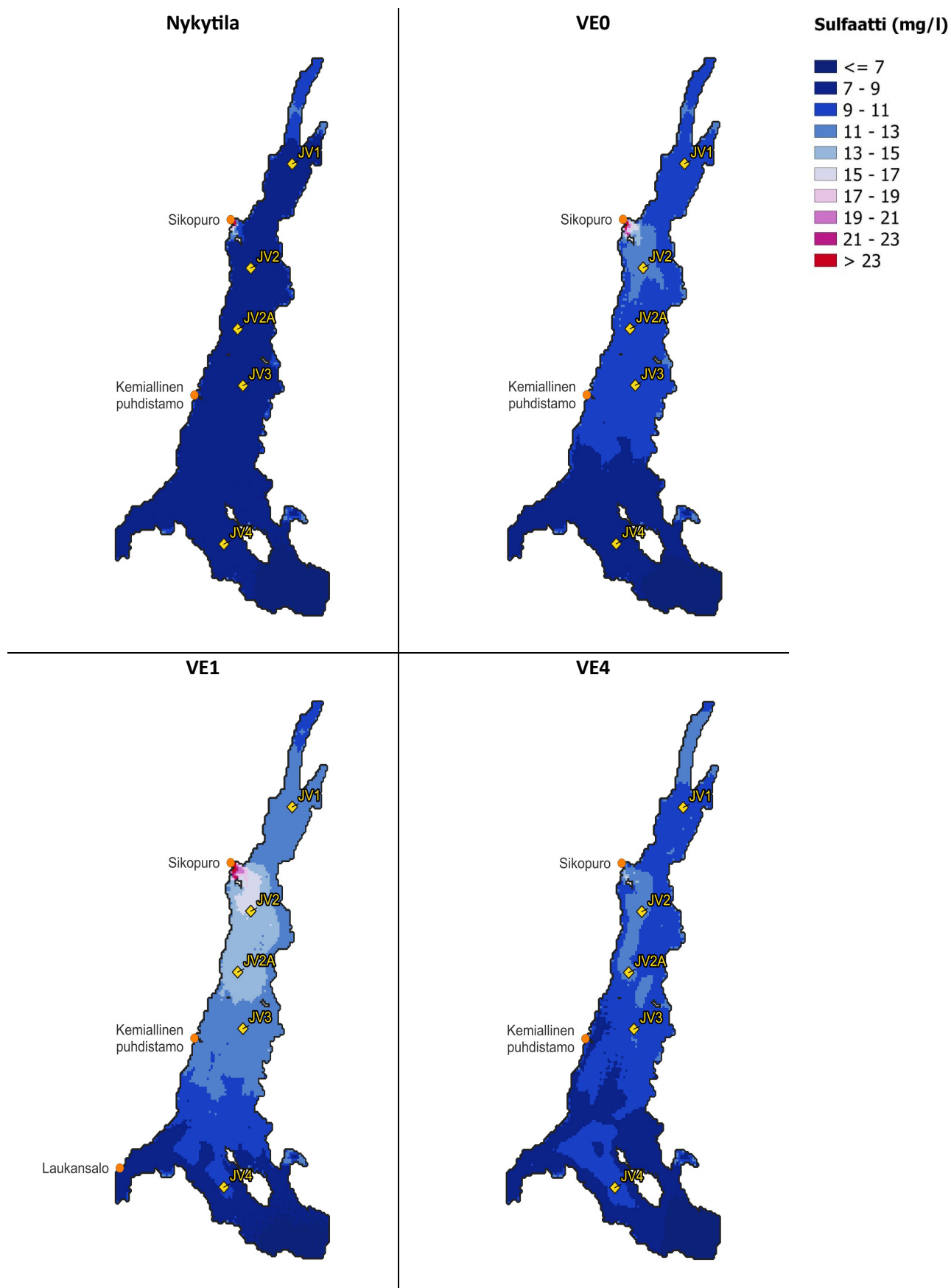
# LIITE 3A

## Sulfaattipitoisuuskartat

## Mallinnettu sulfaattipitoisuus, sateinen vuosi, elokuun loppu

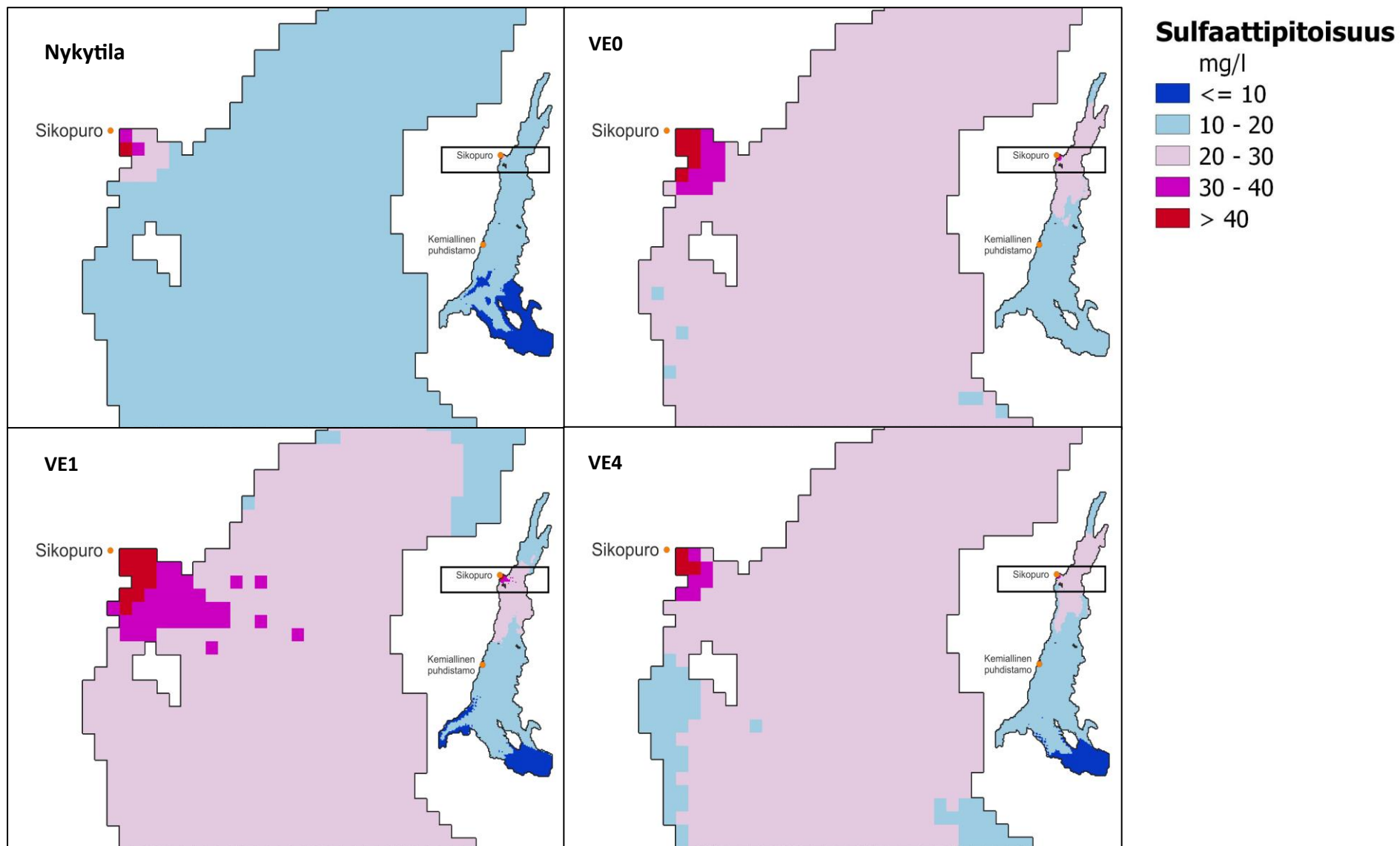


## Mallinnettu sulfaattipitoisuus, kuiva vuosi, elokuun loppu



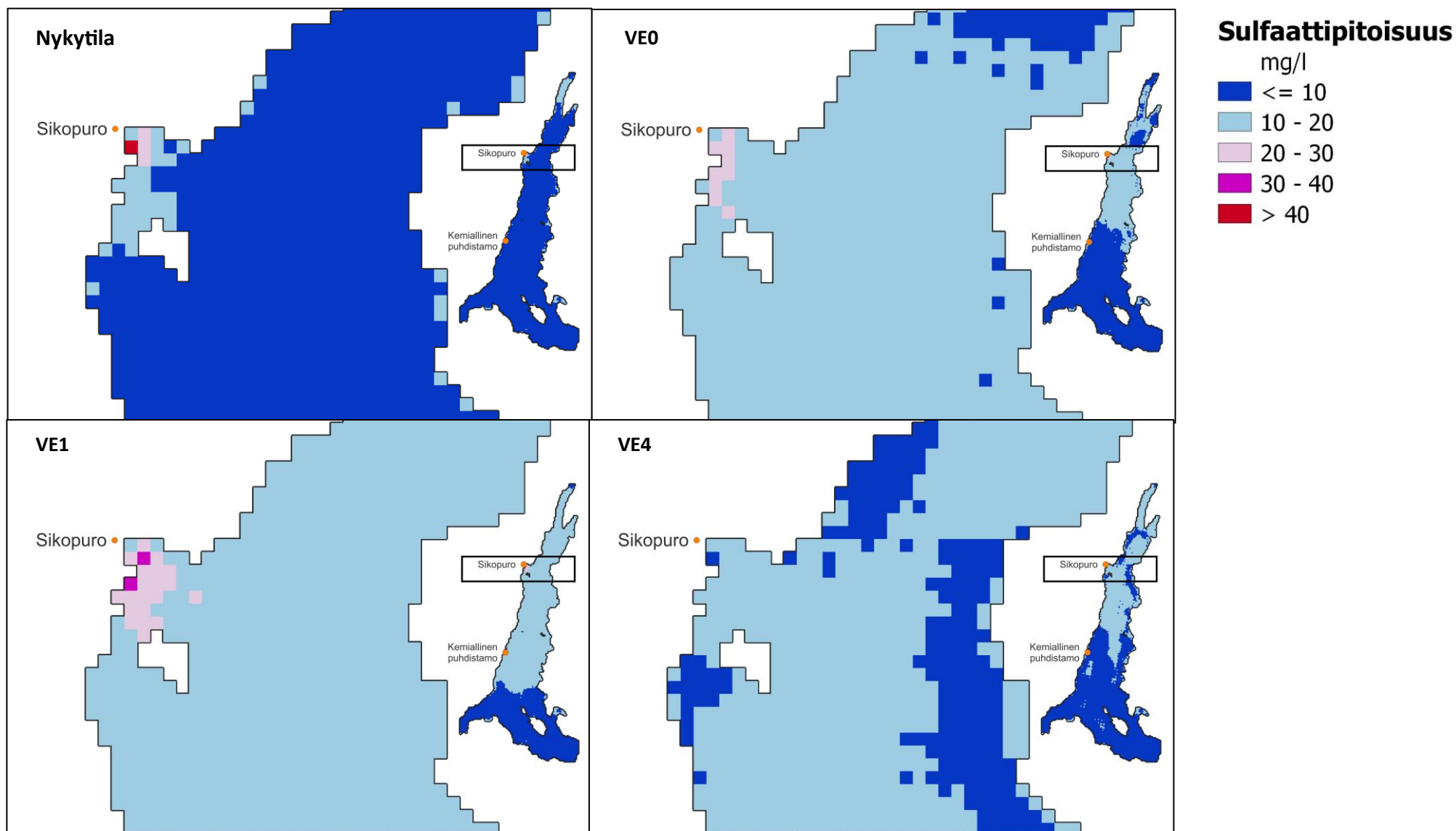
### Liite 3. Päästön leviämiskartat

#### Sulfaattipitoisuus Sikopuron edustalla sateisena vuotena elokuun lopussa



## Liite 3. Päästön leviämiskartat

### Sulfaattipitoisuus Sikopuron edustalla kuivana vuotena elokuun lopussa

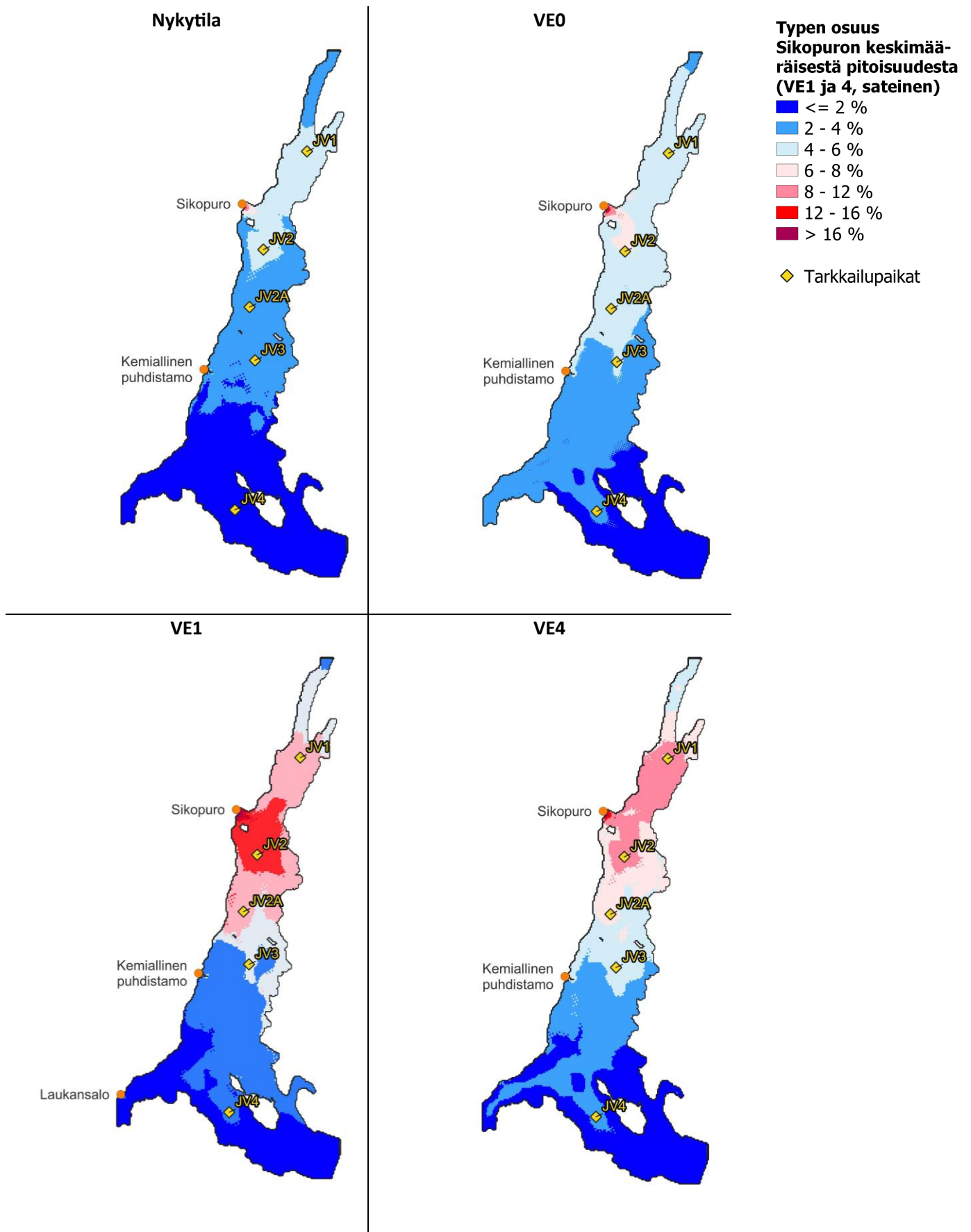




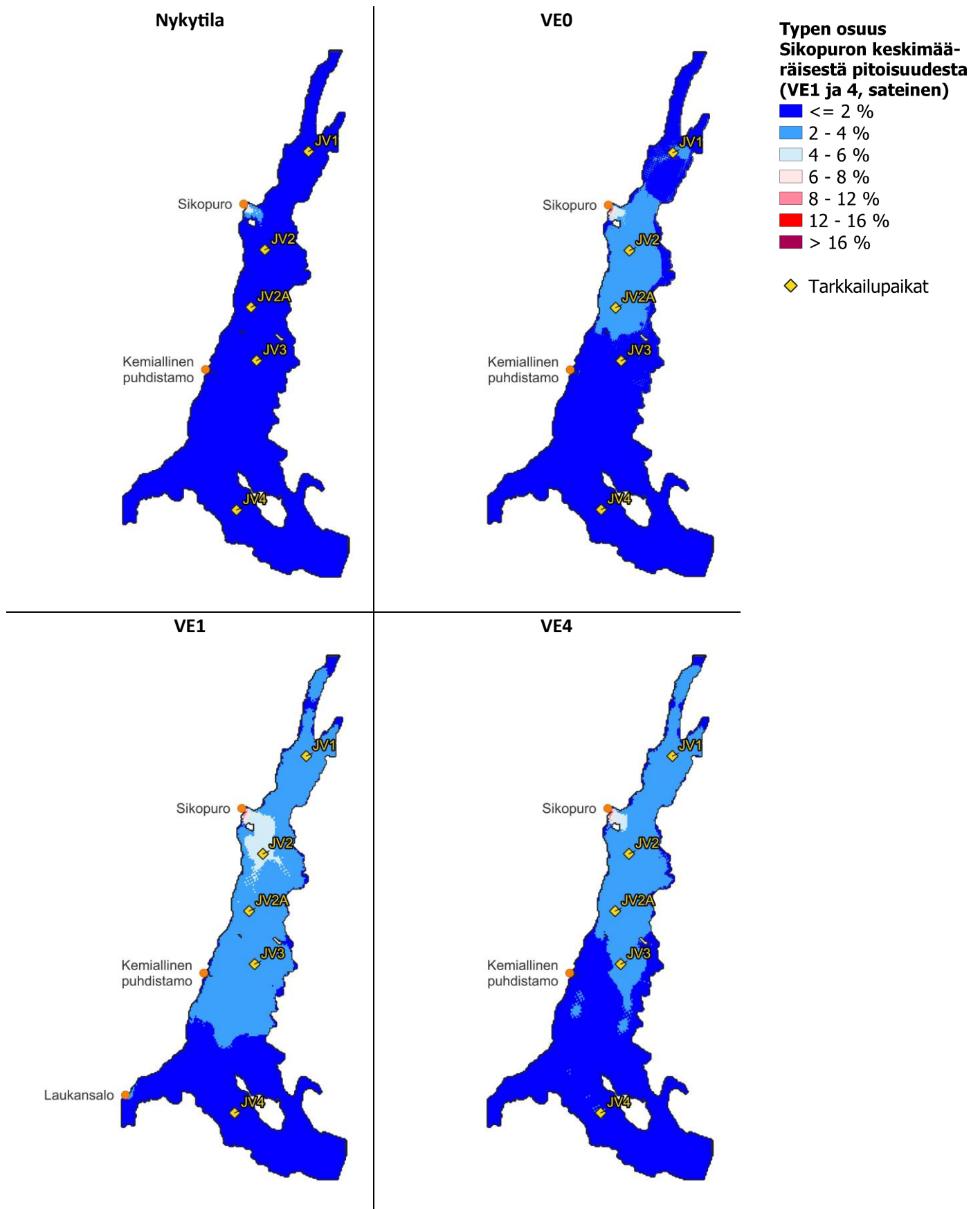
# LIITE 3B

## Ravinnepäästön leviämiskartat

## Typpipäästön leviäminen sateisena vuonna elokuun lopussa

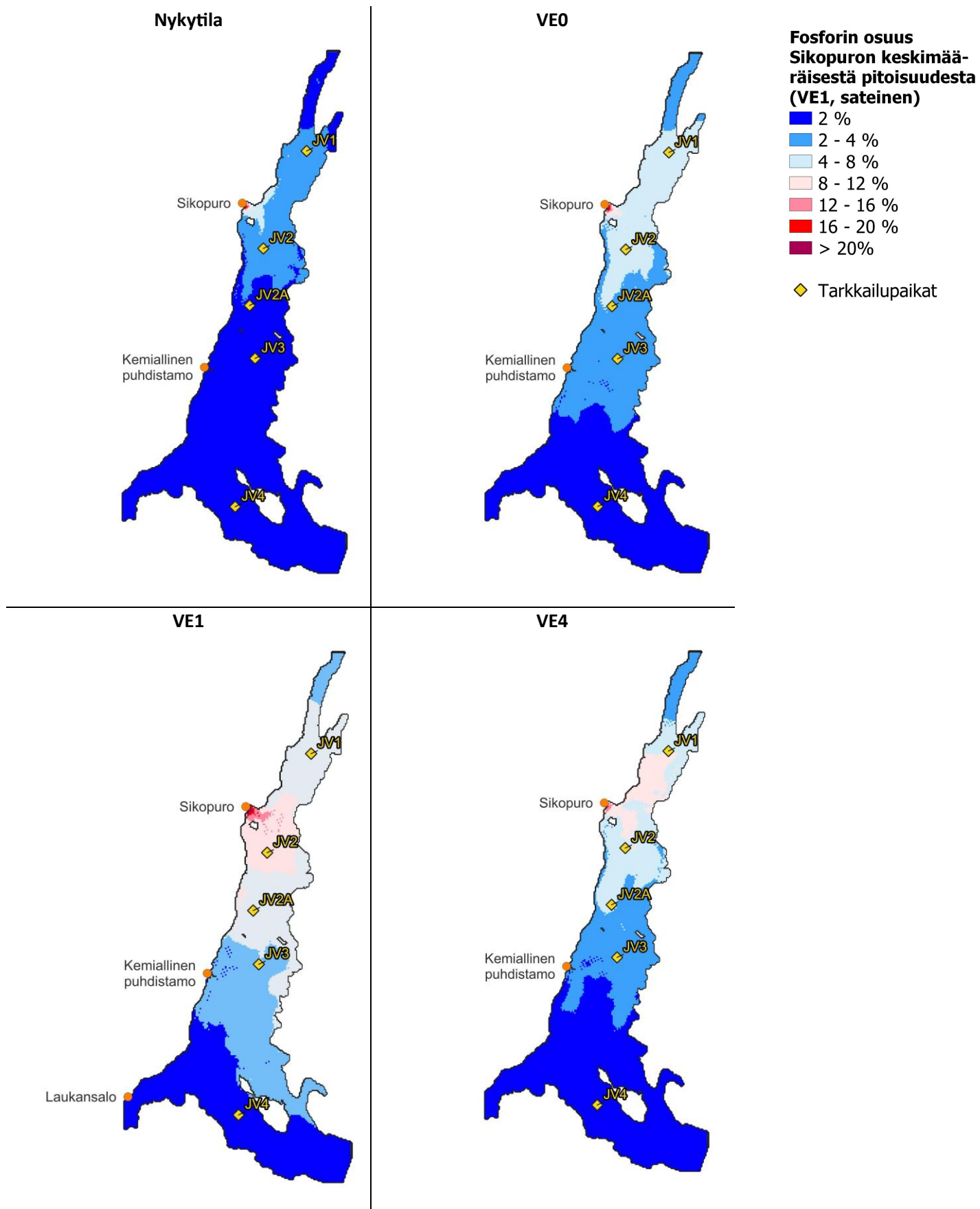


## Typpipäästön leviäminen kuivana vuonna elokuun lopussa



## Liite 3. Päästön leviämiskartat

### Fosforipäästön leviäminen sateisena vuonna elokuun lopussa



## Fosforipäästön leviäminen kuivana vuonna elokuun lopussa

