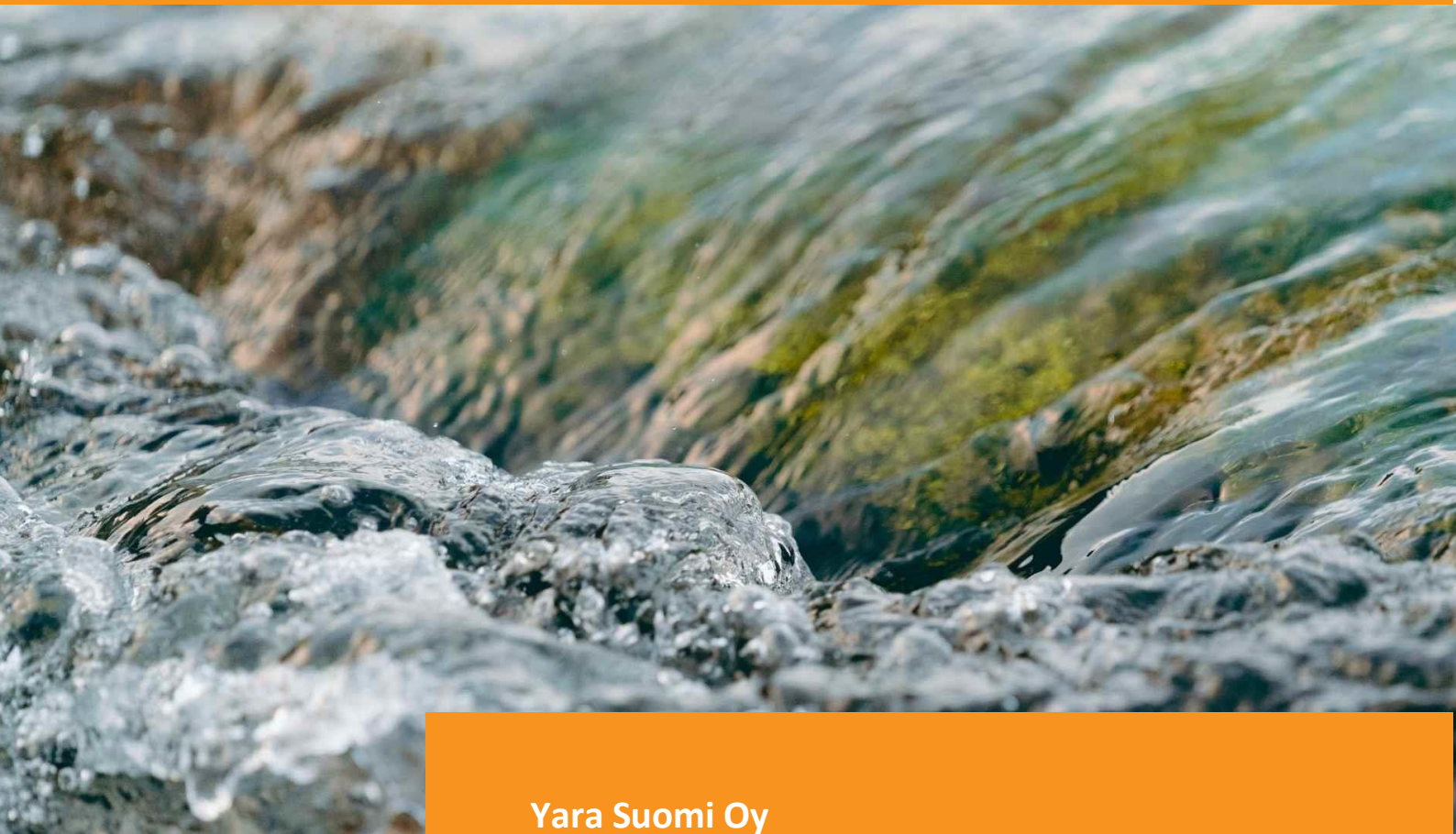




Yara Suomi Oy

SIILINJÄRVEN KAIVOKSEN ALAPUOLISEN KOLMISOPEN JA SULKAVANJÄRVEN VESISTÖMALLI

29.11.2023

Yara Suomi Oy

Hanna Luukkonen

Envineer Oy

Matias Viitasalo

Eeva Kauppinen

etunimi.sukunimi@envineer.fi

www.envineer.fi

Y-tunnus: 2850396–1

Projektinumero: 11759

Projektiikumppanit:

Vesi-Eko Oy Water-Eco Ltd

Erkki Saarijärvi

T:mi Timo Huttula Environmental Consulting

Timo Huttula

SISÄLLYSLUETTELO

1	Johdanto	1
2	Mallinnustyökalu	1
2.1	Mallinnusmenetelmän valinta	1
2.2	CSTR-mallinnus	1
2.3	Mallinnusohjelma	2
3	Mallinnusalue	3
3.1	Kolmisoppi	3
3.2	Sulkavanjärvi	4
4	YVA-vaihtoehdot	5
5	Tavoite ja rajaukset	7
6	Mallin konseptuaalinen kuvaus	7
7	Mallinnuksen lähtökohdat	9
7.1	Pinta-alat	9
7.2	Pinnankorkeus ja vesivaraston muutos	11
7.3	Valunta ja haihdunta	11
7.4	Rikastushiekka-alueen suotovedet	13
7.4.1	Mitatut suotovedet	13
7.4.2	Mittaamattomat suotovedet	13
7.4.3	Suotovesimäärät YVA-vaihtoehdoissa	14
7.4.4	Suotovesien laatu	15
7.5	Vedenlaatu	16
7.5.1	Kolmisopen valuma-alue	16
7.5.2	Sulkavanjärven valuma-alue	16
7.6	Retentio	18
7.7	Lähtöoletusten epävarmuustarkastelu	18
8	Validointi	20
8.1	Virtaama	20
8.1.1	Kolmisoppi	20
8.1.2	Sulkavanjärvi	21
8.2	Vedenlaatu	24

8.2.1	Kolmisoppi.....	24
8.2.2	Sulkavanjärvi.....	29
9	Simulointi ja tulokset.....	34
9.1	Simulaatioasetukset	34
9.2	Kolmisoppi.....	35
9.2.1	Nykytila.....	35
9.2.1	YVA-vaihtoehdot ja vertailu	37
9.3	Sulkavanjärvi	38
9.3.1	Nykytila.....	38
9.3.2	YVA-vaihtoehdot ja vertailu	42
9.4	Epävarmuustarkastelu	43
10	Yhteenveto.....	44
	Lähteet.....	45

Liitteet

1. Kolmisopen mallin lähtötietoliite
2. Sulkavanjärven lähtötietoliite
3. Suotovesien tarkkailupistekartta

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. GoldSim-mallikokonaisuudessa on neljä osaa: sää- ja ilmastomalli (Envineer Oy, 2023a), kaivoksen sisäinen vesi- ja ainetasemalli ja sivukivimalli (Envineer Oy, 2023b) ja tämä alapuolisten vesistöjen vesi- ja ainetasemalli (CSTR-malli). Mallit on yhdistetty toisiinsa yhdeksi monimuuttujamalliksi.

Tässä raportissa esitellään vesistömallin tulokset. Vesistömallin tarkoituksena on kuvata kaivoksen alapuolisten vesistöjen, Kolmisoppi ja Sulkavanjärvi, herkkyyttä kuormitukselle ja YVA-hankkeen eri vaihtoehtoihin sisältyville muutoksille, kuten kuormitukselle ja valuma-alueen pienenemiselle.

2 MALLINNUSTYÖKALU

2.1 Mallinnusmenetelmän valinta

Kolmisoppi ja Sulkavanjärvi todettiin monessakin mielessä haasteellisiksi mallinnuskohteiksi. Vaikka lähtötietoja järvien valuma-alueelta on tietyiltä osin runsaastikin olemassa, puuttuu etenkin Sulkavanjärven valuma-alueelta olennaista hydrologista tietoa, jonka avulla järveen tulevaa valuntaa ja sieltä lähtevää virtaamaa voitaisiin kovin yksityiskohtaisesti ja tarkasti mallintaa. Sekä Kolmisoppi että Sulkavanjärvi ovat säännösteltyjä järviä, minkä lisäksi Sulkavanjärven merkittävin tulouoma Pöljänjoki on säännöstelty. Säännöstelyjärjestelyt ovat pienimuotoisia, jolloin säännöstelyohjeita ja dokumentointia ei mallinnukseen tarvittavassa määrin ole ollut käytettävissä.

Merkittävien tulo- ja lähtöomien virtaama- sekä pitoisuustiedot ovat olennaisia onnistuneen mallin rakentamiseksi. Näiden tietojen kerääminen tulevana vuosina tehtävien mallinnusten tarkentamiseksi on aloitettu. Näissä tiedoissa tällä hetkellä olevat merkittävät epävarmuudet huomioon ottaen, on parhaaksi mallinnusmenetelmäksi kyseisille vesimuodostumille valittu CSTR-mallinnus. CSTR-mallinnus on kuvattu alla kohdassa 2.2.

2.2 CSTR-mallinnus

CSTR-malli tulee sanoista Continuously Stirred Tank Reactor, eli vapaasti suomennettuna jatkuvasti sekoittuneessa tilassa oleva tankki. CSTR-mallinnuksen avulla arvioidaan vesistön tilan muutosta hydrologia- ja kuormitusmuutostilanteissa.

Malli olettaa järven sisältämän ainemäärän sekoittuvan täydellisesti järven vesivarastoon. Mallin antama pitoisuustulos suuressa ja kerrostuneessa järvessä on näin ollen vain harvoin suoraan verrattavissa tietyllä ajan hetkellä järven yhdestä osasta mitattuihin pitoisuuksiin. Pidempää aikaväliä tarkasteltaessa dynaamisella CSTR-mallilla saadaan pelkistetty, mutta vastapainona hyvin luotettava yleiskuva järven kokemista kuormituspainesta yleistasoilla lähtötiedoilla. Mallin vahvuus on yksinkertaisuus ja luotettavuus, mikäli tausta-arvot ovat riittävän tarkkoja. Asiantuntija voi hyödyntää CSTR-mallin antamia tuloksia myös arvioidessaan vaikutuksia järven eri osissa ja syvyyksissä.

Laaditulla mallilla saadaan hyvä kokonaiskuva Kolmisopen ja Sulkavanjärven kokemien muutosten (esimerkiksi kuormituspainet ja valuma-alueiden tai viipymän muutokset) mahdollisesti aiheuttamista vaikutuksista ja niiden suuruudesta. Näitä kokonaisvaikutuksia voidaan peilata nykytilassa havaittuihin vaikutuksiin ja arvioida miten arvioidut kokonaisvaikutukset näkyvät järven sisällä. YVA-hankkeen vaihtoehtoista vesistöön kohdistuvat vaikutusmekanismit ovat samanlaisia, kuin jo pitkään jatkuneesta toiminnasta nykyisin vesistöihin ilmenevät ja tarkkailussa raportoidut vaikutukset. Tällöin perusta muutosten aiheuttamien vaikutusten YVA-lain mukaiseen arviointiin CSTR-mallinnuksen pohjalta on hyvä.

2.3 Mallinnusohjelma

Vesistöjen herkkyys kuormitukselle on mallinnettu GoldSim-ohjelmistolla. GoldSim on GoldSim Technology Group LLC:n kehittämä monimuuttujasysteemien dynaamiseen mallintamiseen tarkoitettu ohjelmisto. Sillä voidaan joustavasti ja visuaalisesti mallintaa vesi- ja ainetaseiden hallinnan ja vesistövaikutustenarvioinnin lisäksi monenlaisten fysikaalisten, kemiallisten, taloudellisten ynnä muiden matemaattisilla yhtälöillä kuvattavien ilmiöiden vuorovaikutuksia. GoldSim-mallilla voidaan vertailla vaihtoehtoja ja eri tekijöiden painoarvoja, simuloida tulevia muutoksia ja testata esimerkiksi vesistön herkkyyttä vastaanottaa kuormitusta. GoldSim-mallinnus on tehokas päätöksenteon apuväline, kun on vastattava kysymykseen: Mitä jos...?

GoldSimissä voidaan epävarmuuksien hallitsemiseen käyttää Monte Carlo -simulaatiota, jossa lähtöarvona olevien muuttujien tiedot syötetään malliin todennäköisyysjakauman mukaisena joukkona. Monte Carlo -simulaatiossa malli ajetaan läpi hyvin monta kertaa (tarpeesta riippuen kymmenistä aina tuhansiin) ja jokaisella ajolla lähtöarvot poimitaan todennäköisyysjakauman mukaisesti. Lopputuloksena on lukuisa määrä rinnakkaisia simulaatioita (realisaatioita), jotka kaikki perustuvat vaihtelua sisältävien lähtöarvojen erilaisiin yhdistelmiin. Tulokset voidaan esittää todennäköisyysjakaumana, joka sisältää kaikki syötettyjen lähtöarvojen mukaan mahdolliset vaihtoehdot mallinnetun systeemin käyttäytymisestä.

Lisätietoa GoldSim-ohjelmasta ja sen sovellusmahdollisuuksista on kuvattu kattavasti verkkosivustolla www.goldsim.com. GoldSim-ohjelmalla tuotetuista sovelluksista on kirjoitettu lukuisia artikkeleita ja teknisiä kuvauksia, joihin voi halutessaan tutustua osoitteessa www.goldsim.com/Web/Applications/TechnicalPapers.

3 MALLINNUSALUE

Mallinnus kohdistuu Siilinjoen valuma-alueeseen (04.65), joka sisältää Siilinjoen-Sulkavanjärven kolmannen jakovaiheen alueen (04.651), Pöljänjoen valuma-alueen (04.652) ja Koivusenjoen valuma-alueen (04.653).

Vesistömallinnus on tehty Koivusenjoen valuma-alueella sijaitsevaan Kolmisoppeen (04.653.1.009) sekä sen alapuoliseen Siilinjoen-Sulkavanjärven valuma-alueella sijaitsevaan Sulkavanjärveen (04.651.1.004).

3.1 Kolmisoppi

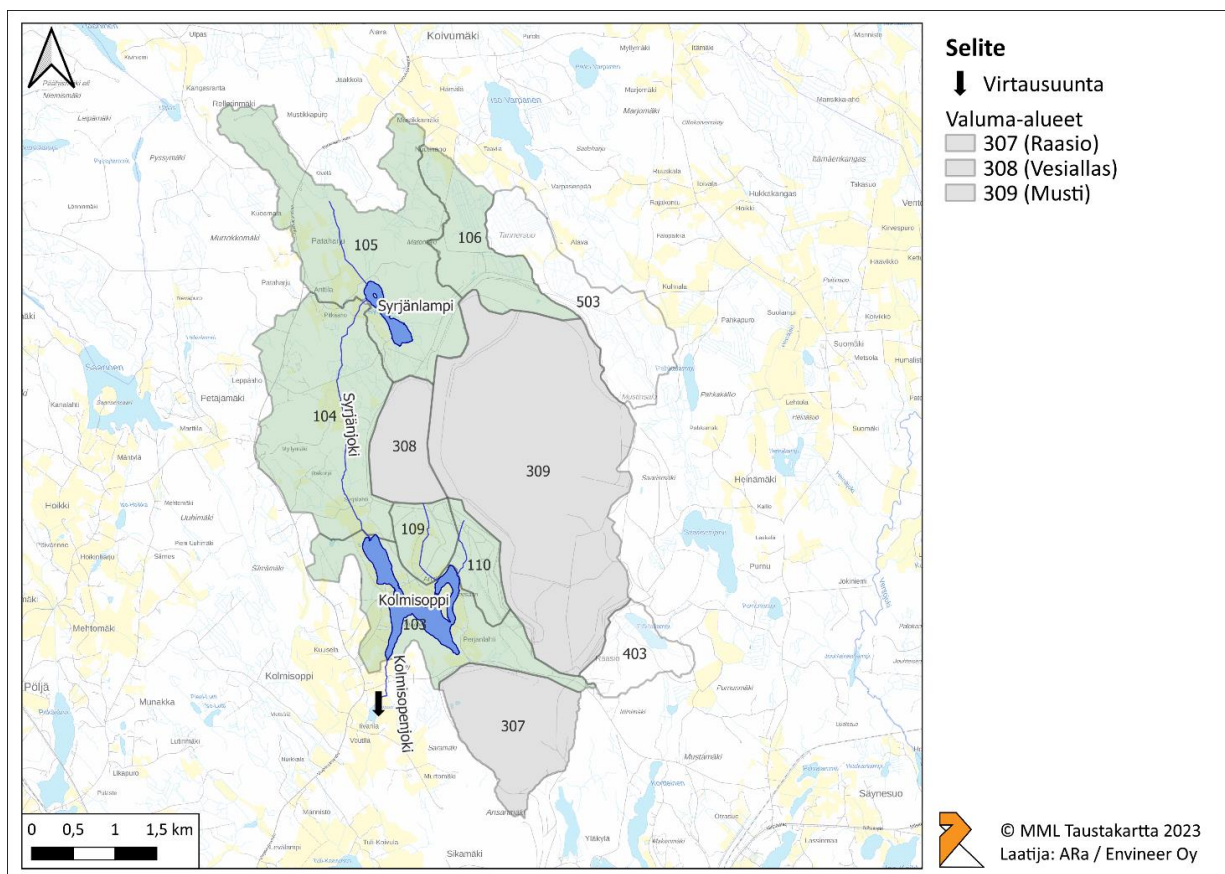
Kolmisopenjärvi (04.653.1.009) on pienehkö ja sokkeloinen noin 49 ha latvajärvi Koivusenjoen vesireitin (04.653) yläosassa. Kolmisopen valuma-alueen pohjoisosa on metsä- ja maatalouskäytössä olevaa aluetta, kun taas järven lähivaluma-alue on pääosin maatalousvaltaista aluetta. Järveen kohdistuu kaivostoiminnan vaikutusta. Mallia laadittaessa Kolmisopen valuma-alue on jaettu osavaluma-alueisiin, jotka on numeroitu SYKE:n laatiman Yara-osamallin valuma-aluenumerointia vastaavasti.

Kolmisopen itäpuolella on Yara Siilinjärven kaivostoimintaan liittyvä Mustin rikastushiekka-alue (jatkossa Mustin rh-alue), sekä Mustin vesiallas (jatkossa Vesiallas). Järven etelä-kaakkois puolella on Raasion rikastushiekka-alue (jatkossa Raasion rh-alue). Altaita rajaa suotavaksi suunniteltu pato. Järven valuma-alueesta merkittävä osa (45 %) on jäänyt Yara Siilinjärven toimipaikan rikastushiekka-alueiden alle (Kuva 1). Mustin rikastushiekka-alueen itäreuna on vedenjakajalla, joten Mustin rh-alueen suunnasta suotautuvat vedet painottuvat selvästi padon pohjois- ja länsipuolelle, kuormituksen kohdistuessa Kolmisoppeen.

Kolmisopen suurin tulouoma on pohjoisen suunnalta laskeva Syrjänpuro, muut tulo-uomat ovat pienehköjä oja. Rikastushiekka-alueiden suotovesien vaikutus on suurinta järven itäosan Rötikönlahdessa, joka on matalien ja kapeiden salmien saartama pieni vesialue.

Kolmisopesta lähtee Kolmisopenjoki, jonka nimi muuttuu pian Peltosenjoeksi. Tuli-Koivusen jälkeen, ennen kuin joki laskee Sulkavanjärveen, nimi muuttuu Koivusenjoeksi. Kolmisoppi on säännöstelty hieman järven luusuasta alavirtaan Kolmisopenjoessa olevan myllypadon (settipato) avulla. Kolmisopenjoen myllyllä on Kuopion lääninhallituksen 30.9.1911 päätöksellä myönnetty lupa. Myllypadon säännöstelylle ei ole ohjetta, eikä säännöstelystä ollut saatavilla kirjallisia muistiinpanoja. Vanha pato aiotaan korvata pohjapadolla kesäisten alivesien nostamiseksi. Pohjapadolle on myönnetty vesilain mukainen lupa (Dnro ISAVI/5663/2021, nro 70/2022). Kolmisopen viipymä on noin kolme kuukautta.

Kolmisopenjärvi on rehevä ja sen päällysveden kokonaisfosforipitoisuus on vaihdellut viimeisten vuosien aikana 20-60 µg/l välillä. Järven rehevyystaso nousi 2000-luvun alussa samalla kuin suotovesistä peräisin olevan sulfaatin pitoisuudet nousivat yli 20 mg/l tason.



Kuva 1. Kolmisoppi ja järven valuma-alue. Osavaluma-alueet on numeroitu Suomen ympäristökeskuksen Vesistömallijärjestelmän Yara-osamallissa käytettyjen osavaluma-alueiden mukaisesti.

3.2 Sulkavanjärvi

Sulkavanjärvi (04.651.1.004) on pinnanmuodoiltaan hyvin rikkonainen ja monisyvänteinen noin 310 ha järvi Siilinjoen - Sulkavanjärven valuma-alueella (3. jakovaiheen alue 04.651). Järveen tulevista uomista merkittävin on Pöljänjoki, jonka valuma-alue (3. jakovaiheen alue 04.652) on noin 68 % mallinnuksessa käytetystä Sulkavanjärven valuma-alueesta. Pohjoisesta laskevan Koivusenjoen valuma-alue kattaa noin 21 % valuma-alueesta. Lähivaluma-alueen osuus on 11 %. Sulkavanjärven valuma-alue on metsä- ja maatalousvaltaista aluetta. Järveen kohdistuu kaivostoiminnan vaikutusta.

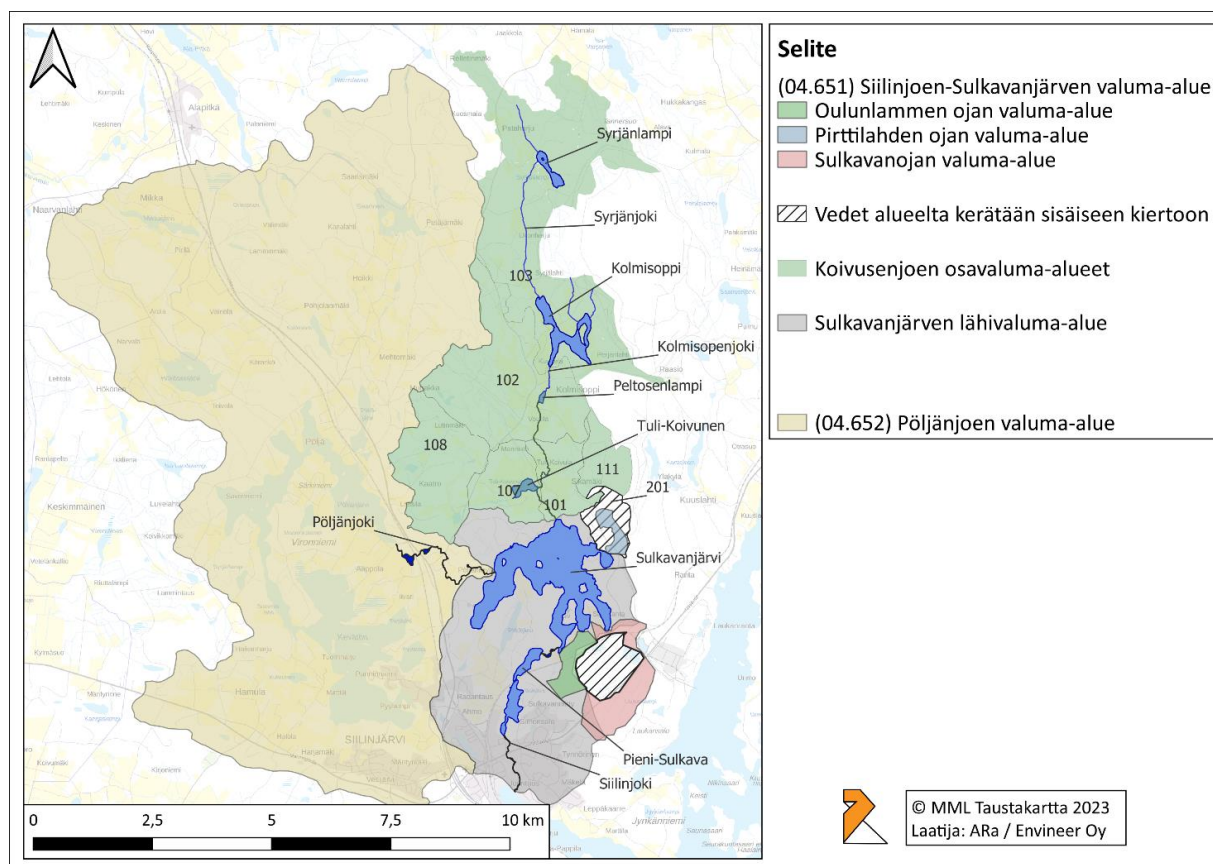
Järven yläpuolella olevien Mustin ja Raasion rikastushiekka-alueiden suotovedet kulkeutuvat Sulkavanjärveen Koivusenjoen kautta. Sulkavanjärveen kohdistuu kaivostoiminnan kuormitusvaikutusta Koivusenjoen lisäksi Ansanmäen sivukivialueen suunnasta (Kuva 2) Osavaluma-alue 111). Järveen laskee lisäksi oja rikastamon piha-alueelta sekä Yaran tehdastoimintojen suunnalta, kipsikasan ja kemiantehtaiden alueelta.

Sulkavanjärvi toimii rikastamon raakavesilähteenä. Vedenotto on noin 200-300 m³/h (4800-7200 m³/d).

Sulkavanjärveä säännöstellään alapuolisessa Siilinjoessa olevan säännöstelypadon avulla. Siilinjoen padon kohdalla on sähkövoimalaitos, jonka turbiinille johdetaan vettä Siilinjoen padon yläpuolelta. Padon säätely ja turbiinin käyttö perustuvat Sulkavanjärven pinnankorkeuteen sidottuun karkeaan

säännöstelyohjeeseen. Sulkavanjärven pinnankorkeutta seurataan jatkuvatoimisesti Yaran Siilinjärven toimipaikan toimesta. Siilinjoen padon ja turbiinin alapuolista virtaamaa ei tarkkailla. Sulkavanjärven vesitaseeseen vaikuttavat merkittävästi myös yläpuolella olevien Pöljänjoen sekä Kolmisopenjoen säännöstelypadot. Sulkavanjärven viipymä on noin 4 kuukautta.

Sulkavanjärvi on luokiteltu pieneksi humusjärveksi (Ph). Kolmannella vesienhoidon suunnittelukaudella sen ekologinen tila on luokiteltu tyydyttäväksi (2. kausi välttävä, 1. kausi tyydyttävä). Luokittelussa kokonaisfosforipitoisuus (34 µg/l) ja kokonaistyyppipitoisuus (920 µg/l) sekä biologiset muuttujat oli arvioitu hyvää huonommaksi. Fosforin keskipitoisuus on samaa tasoa kuin edellisellä luokittelukaudella, typen keskipitoisuus on hieman laskenut edellisestä luokittelukaudesta.



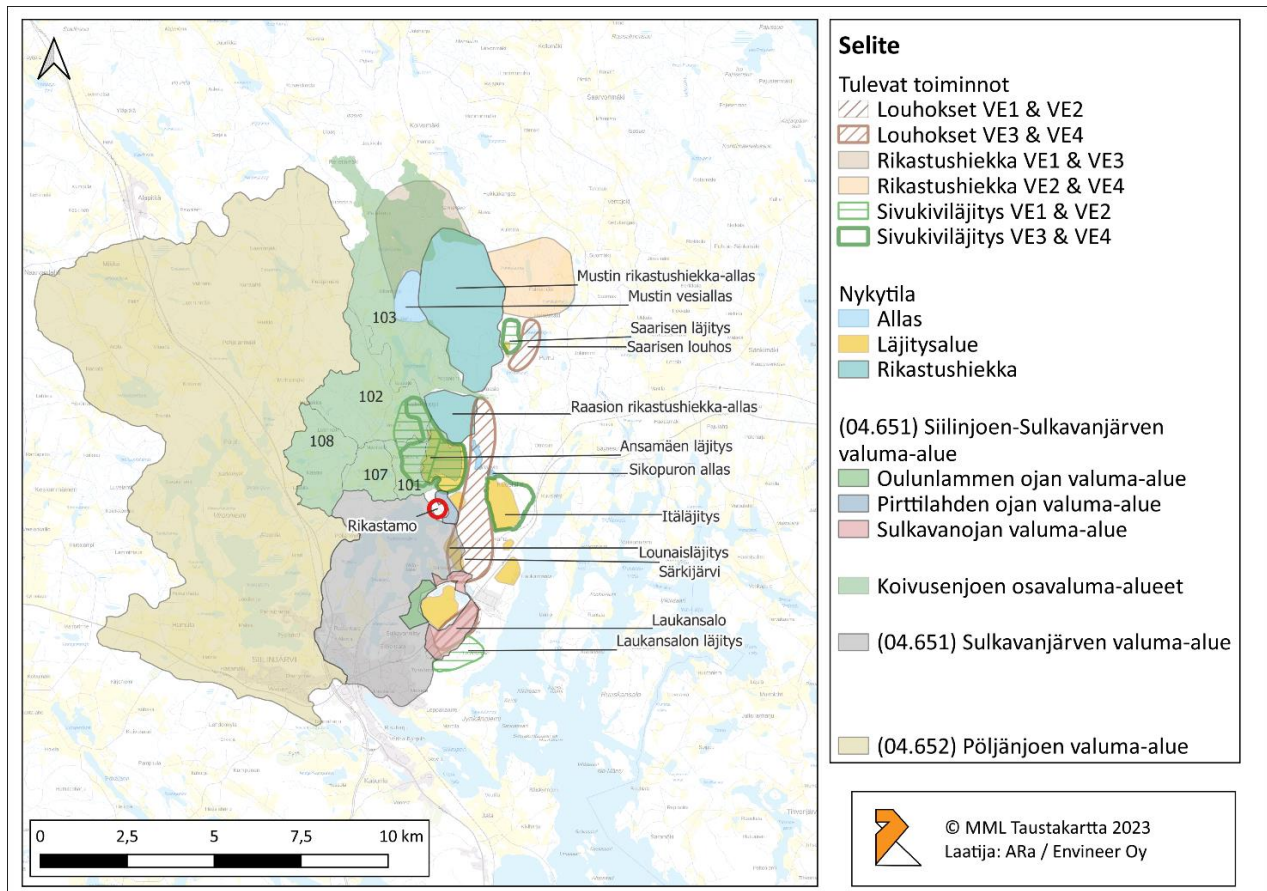
Kuva 2. Sulkavanjärvi ja sen valuma-alue. Mallissa Pieni-Sulkava ja Tuli-Koivunen, sekä Tuli-Koivusen alapuolinen osa Koivusenjokea ovat osa Sulkavanjärven vesipinta-alaa. Osavaluma-alue 111 on Ansanmäen sivukivialue.

4 YVA-VAIHTOEHDOT

Kolmisopen ja Sulkavanjärven tulovirtaamiin, kuormitukseen sekä järvien vedenlaatuun vaikuttavat YVA-vaihtojen VE1-VE4 mukaiset muutokset on esitetty taulukossa (Taulukko 1). Taulukossa on lisäksi esitetty vaihtoehto VE0, joka on ns. vertailuvaihtoehto, jossa hanke jätetään toteuttamatta, ja toiminta jatkuu nykyisten lupien mukaisesti. Mallissa vaihtoehtojen VE0 vaikutukset on arvioitu samalla tarkkuudella kuin varsinaisten toteuttamisvaihtoehtojen, jotta tuotettu tieto ympäristövaikutuksista on tasapuolista ja vertailukelpoista.

Taulukko 1. TULE-hankkeen mukaiset YVA-vaihtoehdot

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



Kuva 3. YVA-vaihtoehtojen mukaiset aluerajaukset ja Kolmisopen ja Sulkavanjärven valuma-alueet

Kolmisopen kannalta merkittävin muutos liittyy Mustin rikastushiekka-alueen pohjoislaajennukseen vaihtoehtoisissa VE1 ja VE3. Laajennus pienentää Kolmisopen valuma-aluetta. Kolmisopen valuma-alueella tapahtuvat muutokset heijastuvat myös Sulkavanjärveen. YVA-vaihtoehtojen vaikutukset Kolmisopen ja Sulkavanjärven valuma-alueilla on esitetty kartalla (Kuva 3).

Sulkavanjärven lähialueella merkittävimmät muutokset liittyvät Ansanmäen sivukivialueen laajennukseen vaihtoehtoisissa VE1-VE2 (pienempi korotus, suurempi laajennus) sekä vaihtoehtoisissa VE3-VE4 (suurempi korotus ja pienempi laajennus). Lisäksi Sulkavanjärven valuma-alueeseen vaikuttaa esitetty Laukansalon louhos, joka toteutuisi vaihtoehtoisissa VE1 ja VE2 hieman laajempina kuin vaihtoehtoisissa VE3 ja VE4.

5 TAVOITE JA RAJAUKSET

Vesistömallin tavoitteena on tuottaa virtaamia, kuormitusta ja vesistöissä havaittavia pitoisuuksia kuvaavaa tietoa. Mallilla tarkastellaan YVA-hankkeen mukaisten hankevaihtoehtojen valuma-alueella aiheuttamien muutosten vaikutusta vesistöissä.

Merkittävimmät tunnistetut Siilinjärven kaivoksen kuormitustekijät alapuolisia vesistöjä ajatellen ovat sulfaatti ja typpi. Sulfaatti on peräisin rikastamolla käytettävästä rikkihaposta, sekä jossain määrin myös sivukivistä sekä maisemointiin käytettävistä maamassoista. Sulfaattia kulkeutuu rikastamolta rikastushiekan mukana Mustin ja Raasion rh-alueille sekä Vesialtaalle, ja edelleen patojen läpi suodautuvan veden mukana alapuolisiin vesistöihin. Sivukiviä läjitetään sivukivialueille, mutta kiviainesta käytetään myös maarakentamisessa. Typpi on peräisin toiminnan aikana käytetyistä räjähdettäineistä, joista jää typpijäämiä sivukiven pinnoille. Kaivosteollisuuden lisäksi molempiin järviin kohdistuu myös maa- ja metsätalouden hajakuormitusta.

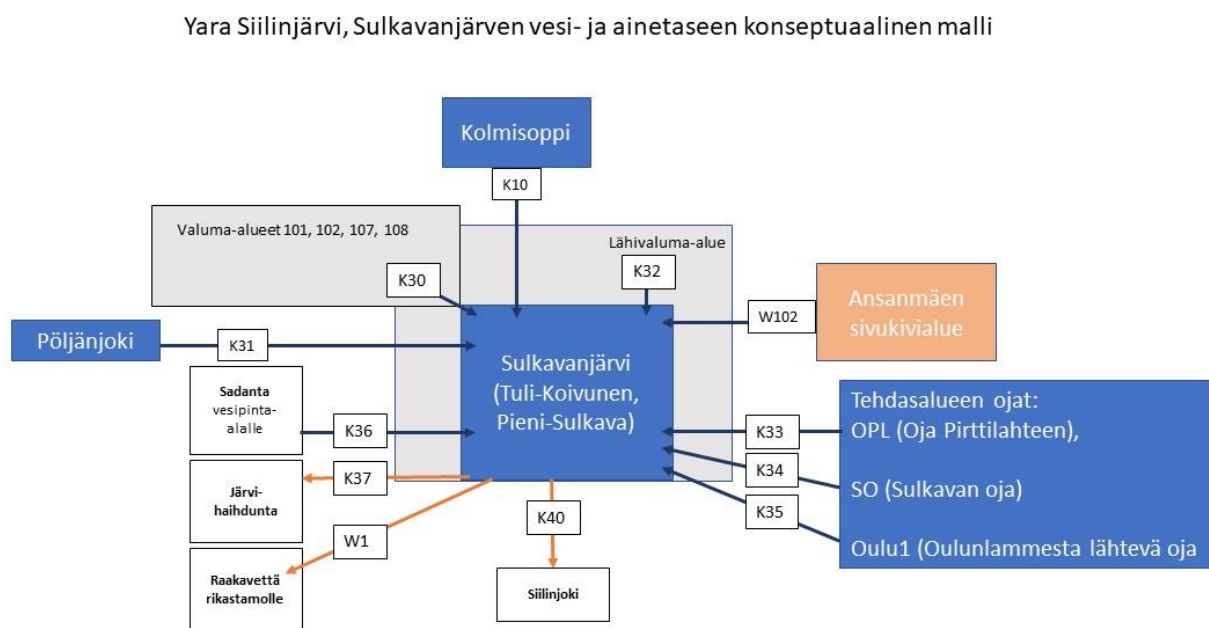
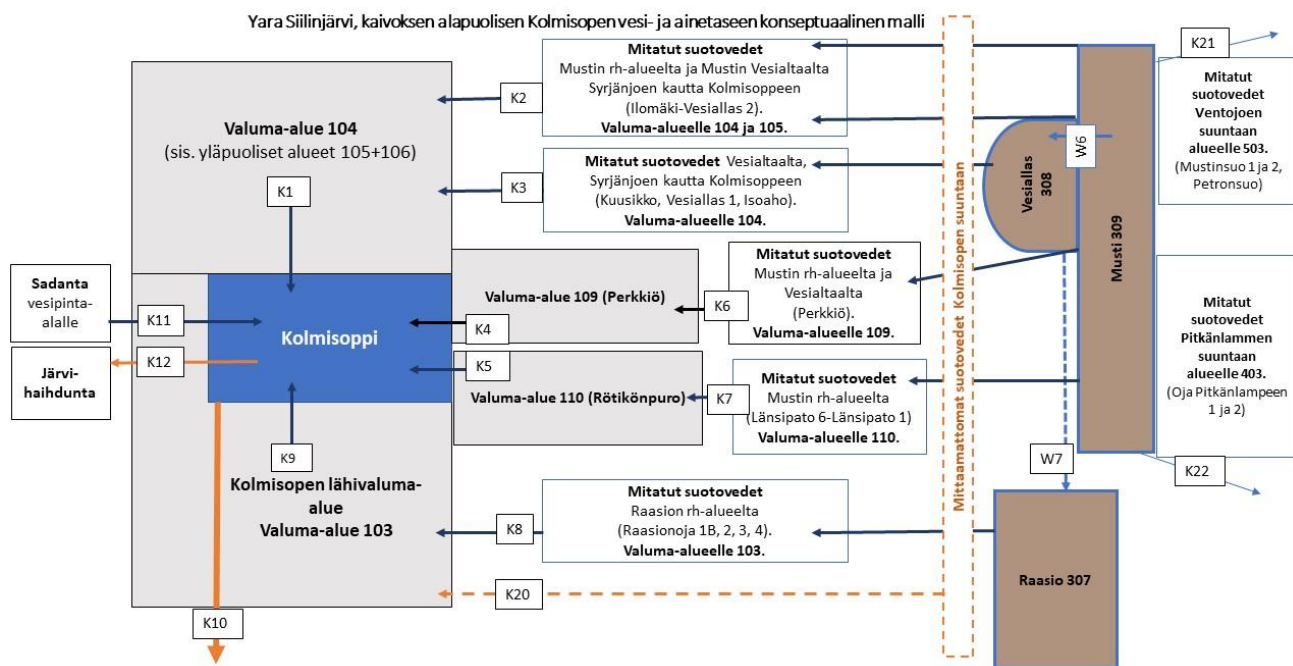
Mallitarkastelu on tehty kokonaistypelle (Tot N) ja sulfaatille, sekä sisävesien kannalta merkittävimmälle perustuotantoa rajoittavalle minimiravinteelle, fosforille (Tot P). Fluoridi on ollut mallissa mukana erityisesti kalibrointitarkoituksessa.

Mallinnuksen aika-askel on yksi vuorokausi, mutta tulokset esitetään vuosikeskiarvoina.

Mallinnuksessa vesimassan oletetaan olevan täydellisesti sekoittunut (CSTR=continuously stirred tank reactor), jolloin poistuvan veden pitoisuus on sama kuin järven vesimassan keskipitoisuus. Fosforin ja typen poistuma järviältäissa on huomioitu kohdassa (Kappale 7.6) esitetyn mukaisesti.

6 MALLIN KONSEPTUAALINEN KUVAUS

Konseptuaalinen malli on laaditun vesistömallin yleistasoinen kaavioesitys. Se kuvaa mallinnuksessa käytettyjä Kolmisoppeen ja Sulkavaan tulevia ja sieltä lähteviä vesi- ja ainevirtoja (Kuva 4 ja Kuva 5).



7 MALLINNUKSEN LÄHTÖKOHDAT

Mallinnuksissa joudutaan aina tekemään oletuksia ja yleistyksiä, jotka eivät kaikissa tilanteissa vastaan sitä, miten ympäristö käyttäytyy. Tässä työssä lähtötietoihin ja oletuksiin aina liittyviä epävarmuuksia hallitaan asettamalla oletukset mahdollisuuksien mukaan sellaisiksi, että ne eivät aliarvioi, mutta voivat yliarvioida mallinnettavaa vaaraa vesistön tilan heikkenemisestä. Merkittävin lähtöaineisto kuormitusmuutoksille on Siilinjärven kaivoksen vesi- ja ainetasemalli (Envineer Oy, 2023b), jossa on ajettu vastaavat malliskenaariot kuin tässä vesistöjä kuvaavassa mallinnuksessa ja saatu niistä vesistöihin kohdistuvat kuormitusmäärät tämän mallin lähtötiedoiksi.

Mallissa käytetyt aineistot on esitetty liitteessä 1 (Kolmisoppi) ja liitteessä 2 (Sulkavanjärvi).

7.1 Pinta-alat

Mallinnuksessa käytetty valuma-aluejako perustuu osavaluma-alueiden 101-110 osalta Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) Vesistömallijärjestelmän Yara-osamalliin (Kuva 1 ja Kuva 2). Osavaluma-alueiden pinta-alatiedot on saatu SYKE:ltä.

Tiedot järvien vesipinta-aloista perustuvat SYKE:n Hertta-ympäristötietojärjestelmässä esitettyihin järviakohtaisiin tietoihin. Tiedot kolmannen jakovaiheen mukaisten valuma-alueiden pinta-aloista on haettu SYKE:n Vesistömallijärjestelmästä.

Ennusteajoissa käytetyt tiedot YVA-vaihtoehtojen aiheuttamista muutoksista pinta-aloihin perustuvat YVA-ohjelmassa (Ramboll Finland Oy, 2022) esitettyihin tietoihin. Ansanmäenpuron valuma-alue on määritetty kartalta, samoin kuin tehdasalueen ojien (Oja Pirttilahteen, Sulkavanoja, Oulunlammesta lähtevä oja). Rikastushiekka-alueilta ja Vesialtaalta Kolmisoppeen päätyvät suotovedet on huomioitu mallissa. Niitä ei ole laskettu mukaan Kolmisopen osavaluma-alueiden pinta-aloihin.

Taulukossa (Taulukko 2) on esitetty mallissa käytetyt osavaluma-alueiden ja vesistöjen pinta-alat nykytilassa ja YVA-hankevaihtoehtoissa. Sarakkeissa VE0-VE4 esitetty arvot ovat pinta-aloja YVA-vaihtoehtojen toiminta-aikojen lopussa. Tyhjät solut sarakkeissa VE0-VE4 tarkoittavat, ettei pinta-aloihin tule muutosta nykytilaan verrattuna.

Taulukko 2. Mallissa käytetyt valuma-alueiden ja vesistöjen pinta-alat (ha).

Hehtaaria (ha)		Sim. vuosi	2035	2065	2065	2065	2065
		Nykytila	VE0	VE1	VE2	VE3	VE4
Osavaluma-alueet 106, 105, 104 yht.		904	904	474	904	474	904
Osavaluma-alue 109 (Perkkiö)		61					
Osavaluma-alue 110 (Rötikkö)		59					
Kolmisopen lähivaluma-alue (osavaluma-alue 103)		189					
Kolmisopen valuma-alue yhteensä		1 212	1 212	782	1 212	782	1 212
Kolmisoppi	vesiala	49					
Kolmisopen ja Sulkavanjärven välinen alue (osavaluma-alueet 101, 102, 107, 108)	*	1 372	1 372	892	892	964	964
Sulkavanjärvi	vesiala	308					
Tuli-Koivunen	vesiala	10					
Koivusenjoen alaosa	vesiala	0,6					
Pieni-Sulkava	vesiala	35					
Mallinnuksessa käytetty Sulkavanjärven vesiala yhteensä	vesiala	355					
Sulkavanjärven lähivaluma-alue		1 011					
Ansanmäen sivukivialue (Ansanmäenpuron valuma-alue)		130	130	349	349	277	277
Oja Pirttilahteen (OPL) (tehdasalueen oja)		29					
Sulkavanoja (SO) (tehdasalueen oja)		173					
Oulunlammesta lähtevä oja (Oulu1) (tehdasalueen oja)		59					
Pöljänjoen valuma-alue (04.652)		8 448					
Sulkavanjärven valuma-alue yhteensä**		12 484	12 484	12 054	12 484	12 054	12 484

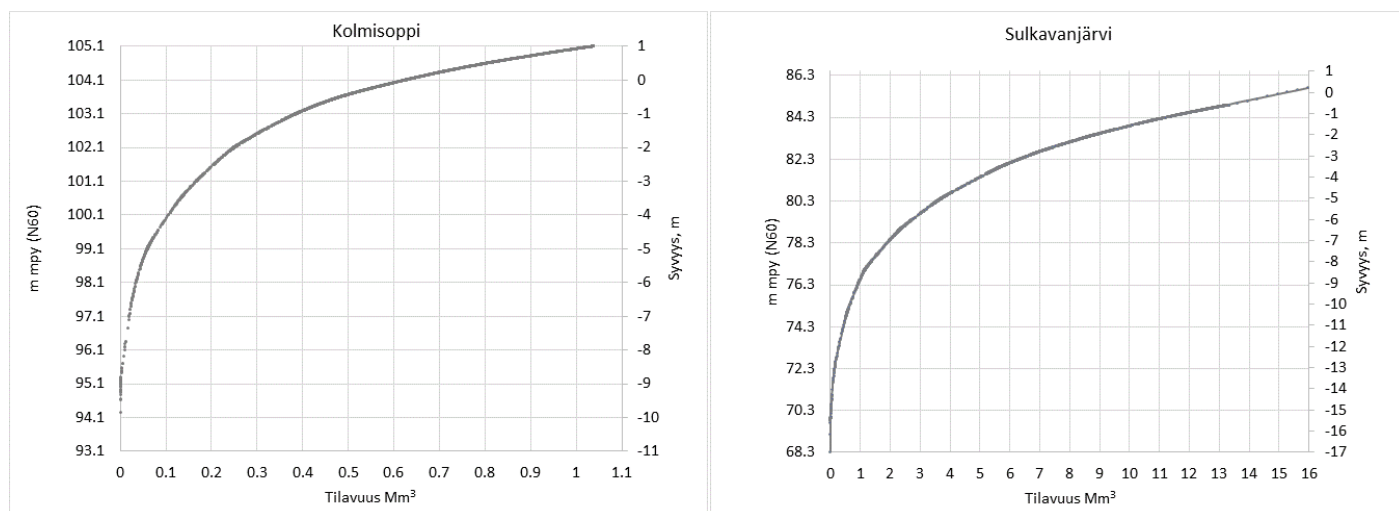
*Ei sisällä Tuli-Koivusta ja Koivusenjokea, jotka ovat mallissa osa Sulkavanjärven allasta. **Mallissa Sulkavan vesipinta-alaan kuuluvat myös Tuli-Koivunen, Tuli-Koivusen alapuolinen osa Koivusenjokea sekä Pieni-Sulkava, jolloin myös Pieni-Sulkavan valuma-alue kuuluu mallissa Sulkavan valuma-alueeseen.

7.2 Pinnankorkeus ja vesivaraston muutos

Kolmisopen pinnankorkeutta seurataan jatkuvatoimisesti Yara Suomi Oy:n Siilinjärven toimipisteen Latvavesien tarkkailuohjelman mukaisesti. Sulkavanjärven pinnankorkeutta seurataan jatkuvatoimisesti Yara Suomi Oy:n toimesta, Sulkavanjärven raakavedenottoon ja säännöstelyyn liittyen.

Kolmisopen ja Sulkavanjärven osalta tilavuus ja tilavuuden muutos on laskettu pinnankorkeushavaintoihin sekä hypsograafiseen täyttökäyrään perustuen. Täyttökäyrä kuvaa vedenpinnankorkeuden ja vesitilavuuden suhdetta (Kuva 6). Täyttökäyrä on laadittu maastokartan syvyystietojen perusteella. Täyttökäyrässä on oletettu, että vedenpinnan noustessa maastokartan syvyystietojen yläpuolelle ns. tulva-alueelle, jatkuu tilavuuden kasvu syvyystietojen jälkeen lineaarisesti pinnankorkeuden suhteen.

Sulkavanjärven täyttökäyrässä on huomioitu myös Tuli-Koivunen ja Pieni-Sulkava, jotka oletettiin mallissa osaksi Sulkavanjärveä hyvin pienien pinnankorkeuserojen takia (Tuli-Koivunen ja Sulkavanjärvi 84,9 m, Pieni-Sulkava 84,8 m). Vuonna 2022 tehtyjen virtaamamittausten mukaan, Koivusenjoen virtaama Tuli-Koivusesta Sulkavanjärveen oli ajoittain pienempi kuin yläpuolisesta Kolmisopenjoesta Tuli-Koivuseen tuleva mitattu virtaama, mikä viittaa Sulkavanjärven pinnankorkeuden ajoittain padottavan vettä Tuli-Koivuseen.



Kuva 6. Kolmisopen ja Sulkavanjärven tilavuuden suhde pinnankorkeuteen ja syvyyteen.

7.3 Valunta ja haihdunta

Mallissa tulovirtaamat on mallinnettu valuma-alueelle mallinnettuun valuntaan perustuen muilta osin, paitsi rikastushiekka-alueiden suotovesien ja ns. tehdasalueen ojien (K33-K35) osalta.

Valunta perustuu sää- ja ilmastomuutosmallin tuottamaan sadantaennusteeseen ja lumena sataneen veden sulantaennusteeseen. Sää- ja ilmastomuutosmallia on kuvattu tarkemmin raportissa Siilinjärven kaivoksen sää- ja ilmastomuutosmalli (Envineer Oy, 2023a).

Vesipinta-alalta tapahtuva haihdunta perustuu Vesistömallijärjestelmän simuloituun aineistoon jaksolta 1.1.1989-27.11.2022 (04.651), josta laskettiin kuukausikohtaiset keskiarvot. Maa-alueilta tapahtuva haihdunta on huomioitu suoraan valuntakertoimissa.

Valunta on kalibroitu jaksolle 2017–2022 (1.11.2017-1.11.2022) siten, että mallinnettu virtaama kuvaa tarkkailutulosten mukaista virtaamaa kalibroitipisteissä mahdollisimman hyvin kullakin ajanhetkellä, muokkaamalla valuntakertoimia sekä valunnan viivettä. Lisäksi valunnan kalibroinnissa huomioitiin hidas maaperässä tai pohjavedessä kulkeutuva valunta omana kalibroitiparametrinä. Kalibroitipisteinä käytetyt havaintopaikat on esitetty taulukossa (Taulukko 3).

Kolmisopen valuma-alueella tarkkaillaan Kolmisopesta lähtevän Kolmisopenjoen (K10) virtaamaa Yara Siilinjärven toimipaikan Latvavesien tarkkailuohjelman (11.2.2019) mukaisesti. Jatkuvatoimisesti mitattua virtaamatietoa on vuodesta 2008 lähtien. Kalibroitijakson 2017-2022 keskivirtaama Kolmisopenjoessa on 0,197 m³/s.

Sulkavanjärven valuma-alueella Pöljänjoen virtaaman osalta mittaustuloksia on vain vuodelta 2022, minkä vuoksi kalibrointi tehtiin näiden mittausten lisäksi myös SYKE:n Vesistömallijärjestelmän VEMALA-mallin virtaamia vasten. Vuoden 2022 mittauseroilla Pöljänjoen virtaama vaihteli välillä 0,36-2,82 m³/s. Siilinjoen virtaamaa on niin ikään mitattu viisi kertaa vuoden 2022 aikana. Havaintokerroilla Siilinjoen virtaama oli 0,5-4,54 m³/s. Virtaaman mittaukset on toteuttanut Vesi-Eko Oy Water-Eco Ltd. Siilinjoen virtaamatuloksia ei käytetty Sulkavanjärven kalibrointiin, vaan mittaustuloksia ainoastaan verrattiin (validoitiin) Siilinjoen mallinnettuun virtaamaan.

Taulukko 3. Kolmisopen ja Sulkavanjärven valuma-alueen virtaamien kalibroitipisteet.

Kalibroitipiste	Virtaama (kalibroitu mitattua virtaamaa vasten)	Lisätieto mitatusta virtaamatiedosta	Virtaama (kalibroitu VEMALA-mallia vasten)
Kolmisopenjoki	x	jatkuvatoiminen mittaus 1.1.2008-31.10.2022	
Pöljänjoki	x	n=5 (2.3.-21.10.2022)	x

Sulkavanjärven valuma-alueella tarkkaillaan rikastamon, Laukansalon ja kipsikasan suunnalta Sulkavanjärveen laskevien, ns. tehdasalueen ojien virtaamia (Oja Pirttilahteen, Sulkavanoja ja Oulunlammesta laskeva oja) (Taulukko 4). Virtaamia seurataan Yaran Siilinjärven toimipaikan päästöjen ja vaikutusten tarkkailuohjelman mukaisesti (12.12.2021). Mitattua virtaamatietoa on vuodesta 2010 lähtien. Sulkavanojassa virtaaman mittaus on jatkuvatoimista.

Taulukko 4. Sulkavanjärven valuma-alueen virtaaman tarkkailupisteiden keskivirtaamat 2017-2022.

ID-koodi	Virtaaman tarkkailupisteet	Lisätieto mitatusta virtaamatiedosta	Keskivirtaama m ³ /s
K33	Oja Pirttilahteen (OPL)		0,008
K34	Sulkavanoja (SO)	jatkuvatoiminen	0,012
K35	Oulunlammesta laskeva oja (Oulu 1)		0,003

7.4 Rikastushiekka-alueen suotovedet

7.4.1 Mitatut suotovedet

Kolmisoppeen purkautuu suotovesiä Mustin ja Raasion rikastushiekka-alueilta sekä Mustin vesialtaalta. Suotovesien virtaamia tarkkaillaan kuukausittain Yara Siilinjärven toimipaikan Latvavesien tarkkailuohjelman (11.2.2019) mukaisesti. Suotovesivirtaamien tarkkailu on alkanut 2009, ja sitä on laajennettu vuosina 2013 ja 2017. Nykyisin havaintopaikkoja on 24 (Kolmisopen suuntaan suotautuvat vedet). Suotovesihavaintopaikat on esitetty liitteessä 3. Konseptuaalisen mallin mukaisesti jaoteltujen suotovesipisteiden ryhmäkohtaiset keskivirtaamat on esitetty taulukossa (Taulukko 5).

Rikastushiekka-alueiden suotovesien osalta virtaamana on käytetty vuosien 2017-2022 havaintojen keskivirtaamaa, ja tehdasalueen ojien osalta virtaamahavaintojen (2010-2022) kuukausikohtaisia keskiarvoja.

Taulukko 5. Suotovesien keskivirtaamat 2017-2022.

Konseptuaalisen mallin ID-koodi	Suotovesien tarkkailupisteet	Suotovesien tarkkailupisteet, kpl	Suotovesimäärä m ³ /a	Keskivirtaama m ³ /s	Lisätieto
K2	Ilomäki-Vesiallas 2	8	156 859	0,0049	Virtaamia tarkkaillaan kuukausittain
K3	Kuusikko, Vesiallas 1, Isoaho	3	11 480	0,0004	
K6	Perkkiö	1	64 932	0,0020	
K7	Länsipato 6 - Länsipato 1	8	285 000	0,0090	
K8	Raasionoja 1B, 2, 3 ja 4	4	41 462	0,0013	

7.4.2 Mittaamattomat suotovedet

Mittaamattomien suotovesien (K20) osalta mallissa on käytetty vakiovirtaamaa 0,025 m³/s. Näiden rikastushiekka-alueilta Kolmisoppeen mittapisteiden ohi virtaavien suotovesien määrä laskettiin vuosien 2019-2022 Kolmisopen vesitaseesta, hyödyntäen Kolmisopen valuma-alueelle laadittua valuntamallia. Kolmisopen vesitase laskettiin kaavalla

$$Q_{\text{sisään}} = Q_{\text{tausta}} + Q_{\text{suotomit}} + Q_x + P = Q_{\text{ulos}} + E$$

missä

$Q_{\text{sisään}}$ = Kolmisoppeen tulevien valumavesien kokonaismäärä (6,3 Mm³/a)

Q_{tausta} = Kolmisopen maa- ja metsätalousvaltaiselta valuma-alueelta tuleva valumavesien määrä, tausta (5,0 Mm³/a),

Q_{suotomit} = Kolmisoppeen tulevien mitattujen suotovesien määrä 0,5 Mm³/a),

P = suoraan järveen kohdistuva sademäärä (0,3 Mm³/a),

Q_{ulos} = Kolmisopenjoen virtaama (6,4 Mm³/a) ja

E = järvihaihdunta (0,3 Mm³/a).

Vesitaseen kaavasta laskettiin edelleen mittaamattomien suotovesien määrä kaavalla:

$$Q_x = Q_{ulos} + E - Q_{tausta} - Q_{suotomit} - P,$$

josta mittaamattomien suotovesien määräksi (Q_x) saatiin 0,87 Mm³/a.

Mittaamattomien suotovesien määrä laskettiin myös fluoriditaseeseen perustuen. Fluoriditase perustuu oletukseen, että järveen tuleva ($F_{sisään} = F_{tausta} + F_{suotomit} + F_x$) ja järvestä lähtevä fluoridimäärä (F_{ulos}) on sama, eikä järvestä tapahdu fluoridin pidättymistä. Mittaamattomista suotovesistä tuleva fluoridikuorma (F_x) saatiin taseesta laskemalla:

$$F_x = F_{ulos} - F_{tausta} - F_{suotomit}$$

missä F_{tausta} = Kolmisoppeen muualta, kuin rikastushiekka-alueelta tuleva fluoridikuormitus ja $F_{suotomit}$ = Kolmisoppeen suotovesien tarkkailupisteiden kautta päätyvä fluoridikuormitus.

Kolmisopesta lähtevän fluoridikuormituksen (F_{ulos}) keskiarvo (vuosina 2019-2021 1574 kg/a), laskettiin perustuen Kolmisopenjoen määritettyyn keskipitoisuuteen 248 µg/l ja virtaamamittauksiin (Q_{ulos}). Kolmisopen maa- ja metsätalousvaltaiselta valuma-alueelta tuleva fluoridin taustakuorma (F_{tausta}) 380 kg/a laskettiin Syrjänpurosta määritettyjen fluoridipitoisuuksien keskiarvon (v. 2009-2022) 76 µg/l ja kalibroidun valuntamallin alueelta tulevan valumavesimäärän (Q_{tausta}) avulla. Syrjänpuron valuma-alueelta tulevien vesien fluoridipitoisuuden arvioitiin edustavan riittävässä määrin Kolmisopen valuma-alueen luontaista fluoridipitoisuutta. Kolmisoppeen tulevien suotovesien fluoridipitoisuutta on tutkittu edellä mainitussa Latvavesitarkkailussa. Kultakin suotovesipisteeltä mitattujen suotovesien keskimääräisten fluoridipitoisuuden ja virtaaman perusteella laskettiin Kolmisoppeen tuleva mitattujen suotovesipisteiden kautta tuleva fluoridikuorma ($F_{suotomit}$) on 468 kg/a).

Mittaamattomien suotovesien määräksi saatiin fluoriditaseen avulla laskettuna 0,83 Mm³/a. Määrä laskettiin jakamalla fluoriditaseesta laskettu mittaamattomien suotovesien fluoridikuormitus (F_x) 726 kg/a mitattujen suotovesien keskimääräisellä fluoridipitoisuudella (870 µg/l), jonka arvioitiin edustavan mittaamattomien suotovesien keskimääräistä pitoisuutta.

Ero kahden edellä esitetyn mittaamattomien suotovesimäärien laskentatavan välillä oli 40 000 m³/a. Ero on 0,6 % Kolmisoppeen tulevasta kokonaisvesimäärästä ($Q_{sisään}$). Mallissa Kolmisoppeen päätyvien suotovesien kokonaismäärä on 1,35 Mm³/a (0,043 m³/s), josta mittaamattomien suotovesien (Kolmisopen konseptuaalisessa mallissa ID K20) osuus on 0,87 Mm³/a (0,025 m³/s) mikä on noin 58 % kokonaissuotovesimäärästä.

7.4.3 Suotovesimäärät YVA-vaihtoehtoissa

YVA-vaihtoehtoissa VE0, VE2 ja VE4 suotovesimäärä Kolmisopen suuntaan tulee pienenemään, kun läjityksen painopiste siirtyy idemmäksi ja vedet ohjataan Mustin altaan nykyistä eteläistä sisäistä vesireittiä. Koska suotovesimäärän pienenemisen suuruutta on vaikea luotettavasti ennustaa, mallissa on tehty konservatiivinen oletus, että suotovesimäärä Kolmisopen suuntaan pysyy nykyisellä tasolla.

YVA-vaihtoehtoissa VE1 ja VE3 suotovesien määrä voi todellisuudessa jopa pienentyä, vaikka Mustin rikastushiekka-alue laajenee suunnitelmien mukaan n. 430 ha Kolmisopen valuma-alueelle.

Laajennuksen yhteydessä noin 2,5 kilometrin pätkä nykyisin Kolmisoppeen suotovesiä johtavaa patoa jää laajennusalueen sisälle.

YVA-vaihtoehtojen VE1 ja VE3 mukaisessa rikastushiekka-alueen laajennussuunnitelmassa rikastushiekkapastaa ei läjitetä suoraan patoa vasten, vaan läjitysalueen ja patopenkereen väliseen pohjamaahan kaivetaan osin louhimalla syvä kanaali, johon pastaläjityksen suotovedet kerätään. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että laajennusalueen patoa vasten lepäävää vettä tulee vain vesivarastoalueen kohdalle noin 2-2,5 km matkalle. Syvien kanaalien ansiosta jollakin osalla aluetta vettä voi suotautua vähäisiä määriä padon ulkopuolelta läjitysalueen sisäpuolelle. Kanaaliin johdetaan myös pastalaitoksen ylitevesi. Kanaalista vesi johdetaan uuteen vesialtaaseen ja edelleen rikastamon vesikiertoon.

Mustin rikastushiekka-alueen laajennuksen vaikutus suotovesien määrään arvioitiin patokilometreihin perustuvana suhdelukuna konservatiivisella oletuksella, että edellä kuvatussa suotovesikanaalista huolimatta Kolmisoppeen päätyy jatkossakin Mustin alueelta ja vesialtaalta suotovettä jokaiselta patokilometritä yhtä paljon kuin nykyisin yhtä patokilometriä kohti. Nykyistä Mustin rikastushiekka-alueen tai vesialtaan patoa on Kolmisopen valuma-alueella noin 7,5 kilometriä. Laajennuksen alle jää noin 2,5 km patoa. Laajennuksen alle jäävältä alueelta mitattujen suotovesien määrä on nykyisin keskimäärin 0,006 m³/s Mittaamattomia suotovesiä ei ole jyvitetty eri alueille, mutta osa niistä varmasti nykyisin suotautuu suunnitellun laajennuksen alle jäävälle alueelle. Uutta patoa, jonka läpi suotautuvat vedet voisivat teoriassa päätyä Kolmisoppeen rakennettaisiin 2,5 km. Näin ollen Kolmisoppeen päin mahdollisesti suotavien patokilometrien määrä pysyisi samana kuin nykyisin.

7.4.4 Suotovesien laatu

Kolmisoppeen kohdistuu suotovesikuormitusta Mustin ja Raasion rikastushiekka-alueilta sekä Mustin vesialtaalta. Suotovesien laatua tarkkaillaan Yara Suomi Oy Siilinjärven toimipaikan Latvavesien tarkkailuohjelman (21.12.2021) mukaisesti.

Suotovesien laatuna mallissa on käytetty Kolmisopen suuntaan purkavien suotovesihavaintopaikkojen vuosien 2017-2022 havaintojen kuukausikohtaisia keskipitoisuuksia. Puuttuvilta osin pitoisuutena on käytetty edellisen ja seuraavan kuukauden keskipitoisuutta tai kaikkien jakson havaintojen keskiarvoa. Käytettyjen pitoisuuksien vaihteluvälit (min...max) fosforin, typen, sulfaatin ja fluoridin osalta on esitetty taulukossa (Taulukko 6).

Suotovesien laadussa on havaintopaikkakohtaisia eroja. Korkeimmat pitoisuudet on havaittu Mustin rikastushiekka-alueen eteläosassa, havaintopaikoilla Länsipato 6 – Länsipato 1, joiden vedet purkavat Kolmisopen Rötikönlahden suuntaan.

Kolmisopen konseptuaalisessa mallissa K20 edustaa mittaamatta jääviä suotovesiä, jotka päätyvät ojiin maaperästä tihkumalla mittapisteiden alapuolella tai suoraan Kolmisoppeen. Mittaamatta jääneiden suotovesien laatuna mallissa on käytetty Kolmisopen suuntaan purkavien suotovesihavaintopaikkojen vuosien 2017-2022 tuloksista laskettuja kuukausikohtaisia keskipitoisuuksia.

Taulukko 6. Suotovesien kuukausikeskipitoisuuksien vaihteluväli (min...max) jaksolla 2012-2022.

ID-koodi	Suotovesihavaintopaikat*	Tot P µg/l	Tot N µg/l	SO ₄ mg/l	F µg/l
K2	Ilomäki-Vesiallas 2	35...97	611...733	66...89	240...550
K3	Kuusikko, Vesiallas 1, Isoaho	10...30	387...1524	86...120	286...407
K6	Perkkiö	29...115	556...648	80...120	470...826
K7	Länsipato 6 -Länsipato 1	62...86	3927...5978	123...156	1350...1750
K8	Raasionoja 1B, 2, 3 ja 4	12...23	451...575	41...87	418...655
K20	Mittaamattomat suotovedet**	41...64	1914...2740	86...127	764...1080

*Kolmisopen suuntaan purkavat suotovesien havaintopaikat on esitetty järjestyksessä pohjoisesta etelään.

**Suotovesien mittapisteiden kuukausikohtaiset keskipitoisuudet jaksolla 2017-2022

7.5 Vedenlaatu

Lähtötiedot mallissa käytettyjen pitoisuuksien ja kuormituksen osalta lähtötiedot on esitetty liitteessä 1 (Kolmisoppi) ja liitteessä 2 (Sulkavanjärvi).

7.5.1 Kolmisopen valuma-alue

Mallissa Kolmisoppeen Syrjänjoen kautta (K1), lähivaluma-alueelta (K9) sekä osavaluma-alueilta 109 (K4) ja 110 kautta (K5) tulevien vesien laatu perustuu SYKE:n VEMALA-kuormituslaskentamallin Koivusenjoen valuma-alueen (04.653) pelto- ja metsäalueiden ominaiskuormitusarvoihin jaksolla 1.1.2013-31.12.2022, sekä jakson keskivaluntaan (385,34 mm/vuosi), tarkasteltaville osavaluma-alueille suhteutettuna. Metsäalueiden ominaiskuormitusarvoa on käytetty kuvaamaan muilta kuin peltoalueilta tulevaa kuormitusta. **Ominaiskuormitusarvoja kalibroitiin painottamalla sateen aiheuttamaa vaikutusta kuormituksen intensiteettiin. Kalibrointi tehtiin saattamalla järvestä lähtevä mallinnettu kuormitus ja Kolmisopenjoen virtaamiin ja vesinäytetuloksiin perustuva kuormituslaskenta pitkällä aikavälillä mahdollisimman lähelle toisiaan.**

Sulfaatin ja fluoridin osalta mallissa Kolmisoppeen Syrjänjoen kautta (K1), lähivaluma-alueelta (K9) sekä osavaluma-alueilta 109 (K4) ja 110 kautta (K5) tulevien vesien laatuna on käytetty Syrjänpuron vuosien 2012-2022 havaintotulosten kuukausikohtaisia keskipitoisuuksia (SO₄ 3,3...8,7 mg/l ja F 49...94 µg/l). Syrjänpuron laatua tarkkaillaan Yara Suomi Oy Siilinjärven toimipaikan Latvavesien tarkkailuohjelman (21.12.2021) mukaisesti tammi-, maalisi-, huhti-, touko-, elo- ja lokakuussa. Puuttuvilta osin on käytetty edellisen kuukauden keskipitoisuutta. Syrjänjoen kautta tulevia veden pitoisuuksia on kalibroitu valunnan huomioivilla kertoimilla siten, että jaksolla 1.11.2017-1.11.2022 mallinnettu Syrjänjoen kautta tuleva kumulatiivinen kuormitus vastaisi mitattua kumulatiivista kuormitusta.

7.5.2 Sulkavanjärven valuma-alue

Sulkavanjärveen Koivusenjoen kautta tulevan veden laatu perustuu mallinnettuun Kolmisopenjoen vedenlaatuun (K10), ja osavaluma-alueiden 101, 102, 107, 108 (K30) sekä Sulkavan lähivaluma-alueen osalta (K32) edellä mainittuihin VEMALA-kuormituslaskentamallin Koivusenjoen valuma-alueen (04.653) pelto- ja metsäalueiden fosforin ja typen sateen intensiteetillä painotettuihin

ominaiskuormitusarvoihin, sekä kuten Kolmisopen valuma-alueella, Syrjänpuron fluoridi- ja sulfaattimäärityksiin.

Sulkavanjärveen Pöljänjoen kautta (K31) tulevan veden laatuna on käytetty Pöljänjoki 17 havaintopaikan vuosien 2000-2022 tarkkailutulosten kuukausikohtaisia keskipitoisuuksia. Puuttuvilta osin on käytetty edellisen kuukauden keskipitoisuutta. Keskipitoisuuksien vaihteluvälit on esitetty taulukossa 5.

Sulkavaan tulee vesiä myös Yaran rikastamon suunnalta (Oja Pirttilahteen OPL), Laukansalon suunnasta (Sulkavanoja SO) sekä Oulunlammesta (Oulu 1). Tehdasalueen ojien vesien laatua ja virtaamaa tarkkaillaan Yara Suomi Oy Siilinjärven toimipaikan tarkkailuohjelman mukaisesti. Malliennusteissa on käytetty tarkkailupisteiden vuosien 2020-2022 havaintotulosten kuukausikohtaisia keskipitoisuuksia. Keskipitoisuuksien vaihteluvälit on esitetty taulukossa (Taulukko 7).

Ansanmäen sivukivialueelta Ansanmäenpuron kautta Sulkavaan tulevien vesien laatu on mallinnettu. Ansanmäen sivukivimalli on osa kaivoksen vesi- ja ainetasemallia, joka on raportoitu erikseen (Envineer Oy, 2023b).

Taulukko 7. Mallissa käytettyjen virtavesien kuukausikeskipitoisuusennusteiden vaihteluväli (min...max).

ID-koodi	Havaintopaikka	Tot P µg/l	Tot N µg/l	SO ₄ mg/l	F µg/l
K31	Pöljänjoki 17	23...49,5	645...1300	5,7...9,2	72...94
K33	Oja Pirttilahteen, OPL	49...182	373...3850	75...135	no data
K34	Sulkavanoja, SO	52...343	970...4550	64...163	400...1160
K35	Oulunlammesta lähtevä oja, Oulu1	122...547	67...1925	52...95	200...610

Mallissa Sulkavanjärvestä lähtevä sulfaattikuormitus saatettiin kalibroinnin avulla vastaamaan mitattuihin pitoisuuksiin perustuvaa kuormituslaskentaa. Tämä tehtiin lisäämällä järven tulokuormitukseen 54 tSO₄/a, minkä avulla järven sulfaattitase saatiin tasapainoon. Tämä tarkoittaa sitä, että mallin alkuperäiset oletukset järveen tulevien vesien Syrjänpuroon perustuvasta sulfaattipitoisuudesta Pöljänjoen, Koivusenjoen tai ojien kautta ovat olleet liian pieniä tai on olemassa muita suoraan järveen kohdistuvia sulfaatin kuormituslähteitä, joita ei mallissa ole huomioitu. Yksi tällainen tunnistettu kuormituslähte on kemiantehtaiden toimintojen alueelta mahdollisesti maaperän kautta järveen päätyvät suotovedet. Vastaavasti fluoridin ja fosforin taseita tasapainotettiin samasta syystä seuraavilla lisäkuormilla: 709 kgF/a ja 14 kgP/a.

Tämän lisäksi, jotta Sulkavanjärvestä lähtevä kuormitus ja Sulkavanjärven ainetase (Pieni-Sulkavan mitattujen pitoisuuksien ja Sulkavanjärven taseesta poistuvaan vesimäärään perustuen) saatiin tasapainoon, oli vuosille 2020-2022 lisättävä ylimääräistä sulfaattia 320 tSO₄/a ja ylimääräistä fluoridia 1 582 kgF/a. Tämä viittaa johonkin Sulkavanjärven sulfaatti- ja fluoridikuormituksessa tapahtuneeseen Pieni-Sulkavan velvoitetarkkailutulosten sulfaatti- ja fluoridipitoisuuksia havaittavasti nostaneeseen muutokseen vuoden 2020 tienoilla.

Edellä mainittujen lisäkuormitusten lähdettä ei pyritty mallissa erittelemään virhetulkintojen välttämiseksi. Lisäkuormituslähteiden yksilöiminen vaatisi lisätutkimuksia. Lisäykset on kohdistettu mallissa Sulkavanjärveen vakiokuormituksena.

7.6 Retentio

Mallissa fosforin ja typen pidätyminen eli retentio järvioltaisiin otettiin huomioon. Fosforin ja typen retentio laskettiin SYKE:n kehittämällä LLR-mallilla (Lake Load Response), joka retention osalta perustuu Chapran malliin (1975). Lisäksi fosforin retentio laskettiin myös Lappalaisen ja Friskin mallilla (Frisk, 1978). Retentiolaskelmista LLR-mallilla vastasivat yhteistyössä T:mi Timo Huttula Environmental Consulting ja Suomen ympäristökeskus (Niina Kotamäki). Retentiolaskelmista Lappalaisen ja Friskin mallilla vastasi Erkki Saarijärvi Vesi-Eko Oy Water-Eco Ltd.

Chapran mallin retentiolaskenta pohjautuu järvioltaan morfologian sekä hydrologian huomioimiseen. Lappalaisen/ Friskin mallissa on myös huomioitu järveen tulevan kuormituksen määrä: suuremmilla kuormituksilla retentio kasvaa pienempiin verrattuna, vaikka hydrologia olisi sama. LLR-mallinnuksessa Chapran mallia on edelleen kehitetty ja laskennasta saadaan ulos todennäköisyysjakaumat järvipitoisuudelle.

Sekä Kolmisopen että Sulkavanjärven tapauksissa mallien rakentamisvaiheessa havaittiin, että lähtötiedoissa oli puutteita ilmeisesti hajakuormituksen osalta. Järvien retentiot olisivat olleet epätavallisen pieniä, ellei ulkoisen kuormituksen arvioita olisi korjattu 15-20% laskennallisia arvoja suuremmiksi. Sekä Kolmisoppi että Sulkavanjärvi ovat molemmat perustilaansa verrattuna rehevöityneitä, mutta kuitenkin selvästi nettoretentiot (sedimentaatiota) tapahtuu.

Kolmisopen osalta mallissa käytettiin typen retentiona 43 % (LLR) ja fosforin retentiona 20 % (Lappalainen & Frisk). Sulkavanjärven osalta typen retentiona käytettiin 22 % (LLR) ja fosforin 19 % (Lappalainen & Frisk). Fosforin osalta mallissa käytettiin Lappalaisen ja Friskin mallin antamaa tulosta retentiolle, koska se oli pienempi kuin LLR-mallin antama. Pienempi R-arvo on konservatiivisempi ja siten varovaisempi arvio järveen pidätyvästä fosforimäärästä.

Sulfaatin ja fluoridin osalta mallissa ei huomioitu aineiden mahdollista pidäytymistä, vaan järveen tulevan kuormituksen oletettiin poistuvan järvestä vasta purkuvesien mukana.

7.7 Lähtöoletusten epävarmuustarkastelu

Pinta-aloihin liittyvät epävarmuudet arvioidaan lähtötietojen osalta kaiken kaikkiaan pieniksi. Suurempi epävarmuus sisältyy hankesuunnitelmien pinta-aloihin, jotka voivat jossain määrin muuttua hankesuunnittelun edetessä. Laukansalon louhoksen perustaminen vaihtoehtoisissa VE1-VE4, sekä Särkijärven kaivoksen toiminnan jatkuminen nykyisten lupien puitteissa, pienentää Sulkavanjärven lähivaluma-aluetta, sekä Sulkavanojan valuma-aluetta. Kyseisten ojien vesimäärien vähenemisellä on Sulkavanjärven kuormitusta pienentävä vaikutus. Tämä muutos on arvioitu kuitenkin pieneksi ja vaikutusten aliarvioinnin välttämiseksi muutosta ei ole huomioitu mallissa.

Ansanmäen sivukivialueen laajennus vaihtoehtoisissa VE1-VE4 kohdistuu Sulkavanjärven valuma-alueille 101 ja 102, pienentäen niitä. Laajennusten myötä osa Ansanmäen sivukivialueen kuormituksesta kulkeutuisi siten todellisuudessa Sulkavanjärveen Peltosenjoen ja Tuli-Koivusen kautta. Mallissa Ansanmäen sivukivialueen laajennusosilta tulevat vedet ja kuormitus kulkeutuvat Sulkavanjärveen yhtä reittiä Ansanmäenpuron kautta, jolloin sivukivialueen kokonaisvaikutuksen

esittäminen on selkeämpää. Sulkavanjärveä ajatellen kokonaistulovirtaama ja kokonaiskuormitus ovat kuitenkin yhtä suuret riippumatta käytetystä kuormituksen kulkeutumisreitistä.

Järvien syvyystietoina käytetty maastokartan syvyyskäyrästä on tarkkuustasoltaan karkea, mikä aiheuttaa epävarmuutta vesivaraston tilavuuden arviointiin ja tilavuuden ja pinnankorkeuden korrelaatioon perustuvan hypsografiseen käyrän tarkkuuteen. Myös puuttuvat korkeustiedot tulvavyöhykkeeltä aiheuttavat epävarmuutta tulvatilanteen tilavuuden kehittymisen laskennassa.

Säännöstelyllä (Kolmisopenjoki, Pöljänjoki ja Siilinjoki) on merkittävä vaikutus järvien vesivarastoon. Säännöstelyssä järvessä vesivaraston ja virtaamien muutokset eivät korreloi järveen kohdistuvan valunnan kanssa. Näin ollen järvestä lähtevää virtaamaa, ei voida mallissa pinnankorkeustasoon pohjautuen luotettavasti laskea. Säännöstelytietojen puutteellisuus aiheuttaa epävarmuutta vesivaraston suuruudelle kullakin ajanhetkellä.

Vesivaraston suuruuteen liittyvät epävarmuudet ovat mallin merkittävimpiä epävarmuuksia. Vesivaraston suuruus vaikuttaa CSTR-mallinnuksessa olennaisesti kunkin ajanhetken laskennalliseen järvipitoisuuteen. Pitoisuus muodostuu tulevasta kuormituksesta, vesivaraston pitoisuudesta ja vesivaraston suuruudesta. Epävarmuuden määrä pienenee pidentämällä tarkastelun aikayksikköä, koska pitkällä aikavälillä mahdollinen virhe vesivaraston tilavuudessa tasoittuu. Tässä työssä tätä epävarmuutta hallitaan esittämällä tulokset vuoden mallinnusjakson keskiarvona.

Sulkavanjärveen tulevien Pöljänjoen ja Koivusenjoen sekä järvestä lähtevän Siilinjoen virtaama eivät kuulu säännöllisen tarkkailun piiriin. Mallissa Siilinjoen virtaama on laskettu vähentäen mallinnetusta tulovirtaamasta haihdunta, rikastamolle otettava raakavesimäärä sekä tilavuuden muutos. Tilavuuden muutos on laskettu Sulkavanjärven pinnankorkeuden tarkkailutulosten sekä täyttökäyrän perusteella. Sulkavanjärveen tulevien jokien virtaamiin ja Siilinjokeen lähtevään virtaamaan liittyy merkittäviä epävarmuustekijöitä mm. jokien vähäisistä mittaustiedoista, Sulkavanjärven hypsografisen käyrän karkeudesta ja Sulkavanjärven säännöstelystä johtuen. Pöljänjoesta on mitattua virtaamatietoa vain vuodelta 2022 (n=5). Kalibroinnissa käytettävä vertailuaineisto on siten varsin niukka.

Kolmisopen, Koivusenjoen ja Sulkavanjärven lähivaluma-alueen sulfaatin ja fluoridin taustakuormituksen laskemisessa on käytetty valuma-alueen ainoan kaivoskuormituksen ulkopuolisen Syrjänpurossa sijaitsevan tarkkailupisteen pitoisuuksia. Pisteen yläpuolinen valuma-alue on vain 150 hehtaaria. Pisteen edustavuuteen valuma-alueiden taustapitoisuuksien osalta sisältyy epävarmuutta. Kuormituslaskennan pohjana olevia vesinäytteitä ei ole otettu kattavasti eri vuodenaikoina, jolloin erityisesti tuloksista puuttuvien vuodenaikojen kuormitukseen sisältyy epävarmuutta. Sama epävarmuus sisältyy jossain määrin kaikkiin tuloksiin, joissa lähtötietoina on käytettyihin vesinäytetuloksia. Epävarmuutta pystytään hallitsemaan CSTR-mallin kalibroinnilla vesistöistä havaittuja pitoisuuksia vasten.

Fosforin ja typen taustakuormituksen laskemisessa käytetyt ominaiskuormitusarvot perustuvat valtakunnallisen VEMALA-mallin laskentaan. VEMALA-mallia ei ole kalibroitu erikseen Sulkavanjärven valuma-alueelle, mikä aiheuttaa näihin arvoihin epävarmuutta. Epävarmuutta pystytään hallitsemaan CSTR-mallin kalibroinnilla vesistöistä havaittuja pitoisuuksia vasten.

Edellä esitetyt kuormituksen lähtötietoihin liittyvät epävarmuudet johtavat epävarmuuteen kuormituslähteiden keskinäisissä osuuksissa. Kolmisopen ja Sulkavanjärven ainetaseet kalibroitiin tasapainoon järvistä lähtevien ainemäärien avulla, mikä pienentää merkittävästi järvistä lähtevien vuosikuormitustulosten epävarmuutta. Myös järvien mallinnetut vuosikeskiarvona esitetyt laskennalliset järvipitoisuudet sisältävät edellä mainitusta syystä vain verrattain vähän epävarmuutta.

Mustin ja Raasion rh-alueilta sekä Mustin Vesialtaalta suotautuvien vesien tarkkailupisteitä on perustettu kohtiin, joissa padon alapuolella on havaittu selvää pintavaluntaa. Virtaamat eivät kuitenkaan kaikissa havaintopaikoissa edusta pelkkää suotovettä, vaan joidenkin havaintopaikkojen selvästi vaihtelevan vedenlaadun perusteella on arvioitu, että osalle havaintopaikoista virtaa myös muita kuin rikastushiekka-alueen suotovettä (Holopainen ym., 2020). Vastaavasti Mustin ja Raasion rikastushiekka-alueilta sekä Mustin Vesialtaalta itse asiassa suotautuvien vesien laadun on kenttämittausten perusteella havaittu vaihtelevan tosiasiallisesti varsin vähän.

8 VALIDOINTI

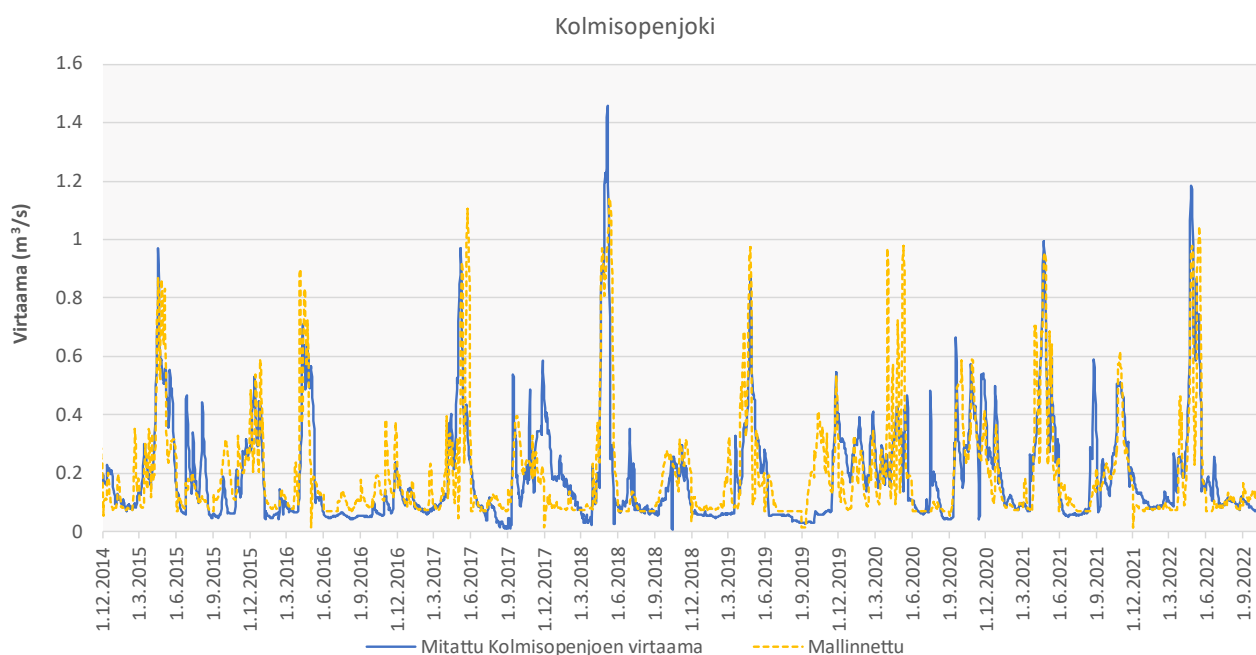
Kolmisopesta ja Sulkavanjärvestä lähtevälle mallinnetulle virtaamalle sekä vedenlaadulle tehtiin validointivertailu Kolmisopenjoen jatkuvatoimisen virtaamamittauksen tuloksia ja vedenlaadun tarkkailutuloksia vasten jaksolla 1.12.2014-1.12.2022.

8.1 Virtaama

8.1.1 Kolmisoppi

Erot mallinnetuissa ja mitatuissa virtaamissa (Kuva 7) aiheutuvat todennäköisesti Kolmisopen säännöstelyn vaikutuksista Kolmisopen pinnankorkeuteen. Kolmisopenjoen virtaama perustuu mallissa järven pinnankorkeuden ja virtaaman välille laadittuihin vuodenaikojen mukaan vaihteleviin yhtälöihin. Yhtälöissä on pyritty huomioimaan Kolmisopen säännöstely mahdollisimman ennustettavasti. Kolmisopella ei ole selkeää säännöstelyohjetta tai dokumentointia säännöstelyn toteutuksesta, jotka olisivat olleet edellytys säännöstelyn virheettömään ennustamiseen mallissa.

Osa eroista mitatun ja mallinnetun virtaaman välillä johtuu mallissa hyödynnetyn Ilmatieteenlaitoksen Maaningan sääaseman ja mallinnusalueen 20 km etäisyydestä, jolloin sääaseman kaikki sadetapahtumat eivät toistu mallinnusalueella samalla intensiteetillä. Näistä tekijöistä huolimatta, malli antaa melko hyvän kokonaiskuvan Kolmisopen virtaamien vaihteluvälistä ja vesitaseen osatekijöistä vuositason.



Kuva 7. Kolmisopenjoen mallinnettu ja mitattu virtaama 1.12.2014-31.10.2022. Viimeinen mitattu virtaamatiieto on päivältä 31.10.2022.

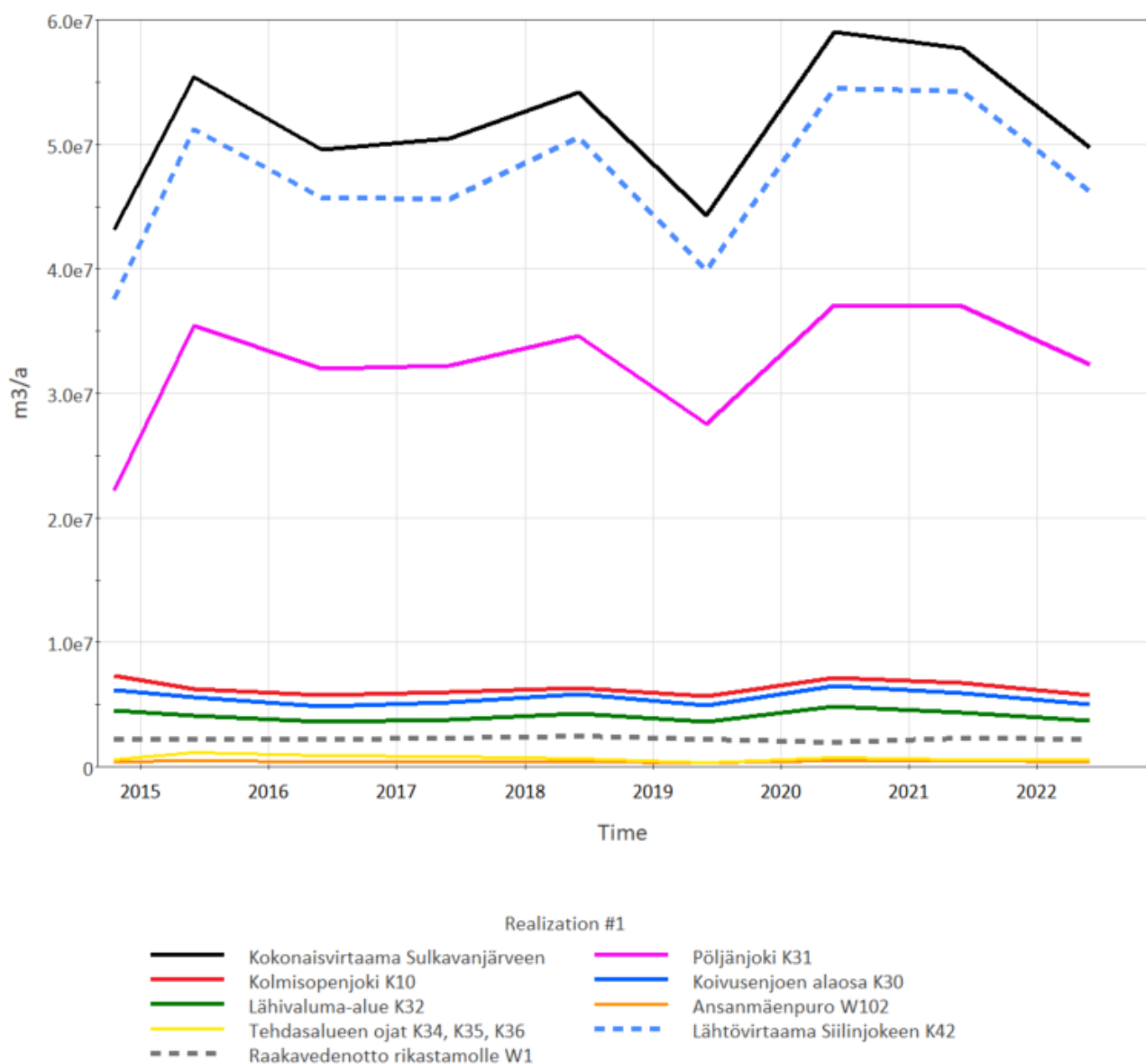
8.1.2 Sulkavanjärvi

Sulkavanjärven tulovirtaama on mallinnettu. Pääosa järven tulovirtaamasta tulee Pöljänjoen ja Koivusenjoen kautta (Kuva 8). Pöljänjoen virtaama on kalibroitu vuonna 2022 tehtyjä mittauksia sekä Vemalan simuloitua alueelta lähtevää virtaamaa vasten (Kuva 9). Koivusenjoen virtaamasta noin puolet koostuu Kolmisopenjoen mallinnetusta virtaamasta, joka on kalibroitu Kolmisopenjoen jatkuvatoimisen virtaaman mittauksen tuloksia vasten (Kuva 7). Koivusenjoen alaosan virtaaman mallintamisessa on samantyyppisen maankäytön johdosta käytetty samoja valuntakertoimia kuin Kolmisopen osalta.

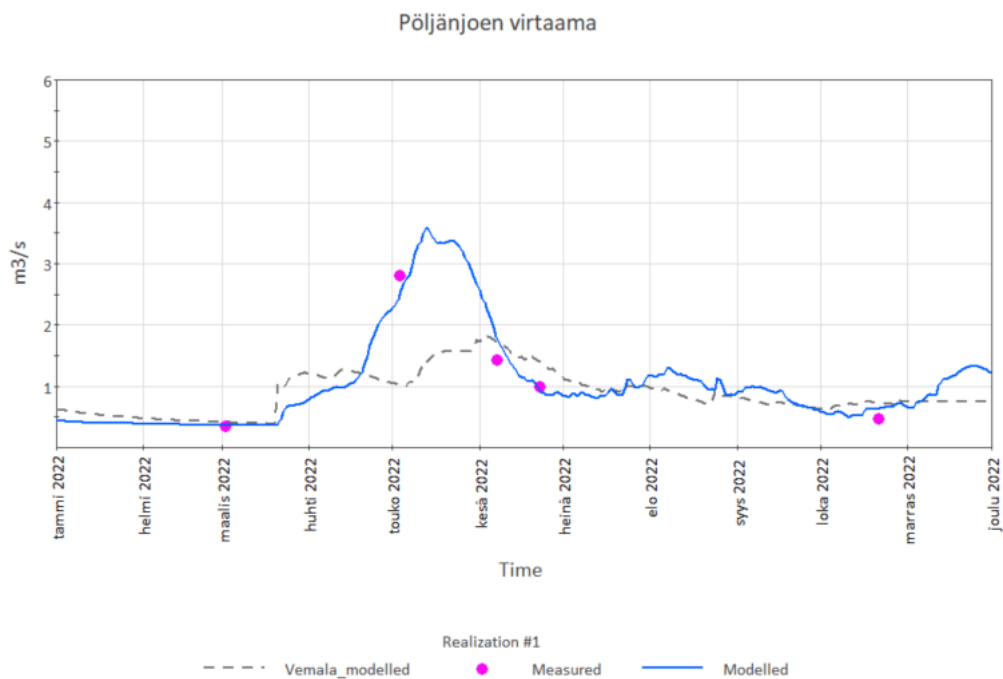
Sulkavanjärvestä lähtevä virtaama on laskennallinen (Kuva 8): Sulkavanjärven mallinnetusta tulovirtaamasta on vähennetty haihdunta, raakavedenotto sekä pinnankorkeuden tarkkailutulosten ja hypsografisen täyttökäyrän avulla laskettu tilavuuden muutos. Ajalta, jolloin pinnankorkeuden tarkkailutietoa ei ole (ennen 1.10.2017), ei Sulkavanjärven tilavuuden muutosta ole laskennassa otettu huomioon (Järven tilavuus vaihtelee tulevan ja lähtevän vesimäärän mukaan vain vähän vakioarvon ympärillä). Mallinnettua virtaamaa on verrattu Siilintoesta vuonna 2022 tehtyihin mittaustuloksiin ($n=5$) (Kuva 10). Vertailuna on mukana Vemala-mallin tuloksista Sulkavanjärven valuma-alueelle suhteutettu lähtövirtaama. Vemala-malli ei huomioi Siilintoen säännöstelyä. Virtaamamittauksissa säännöstelyn vaikutus näkyy.

Erot mallinnetuissa ja mitatuissa virtaamissa ovat lähtökohdat huomioon ottaen melko pieniä. Siilintoen osalta säännöstely vaikuttaa selvästi mallin kykyyn toistaa mitattuja virtaamia. Vuositasolla tarkasteltuna virtaamatilanteiden ajalliset erot pienenevät huomattavasti. Kalibrointia ajatellen mittaustietoa Sulkavanjärveen tulevasta ja sieltä lähtevästä Siilintoesta on varsin vähän.

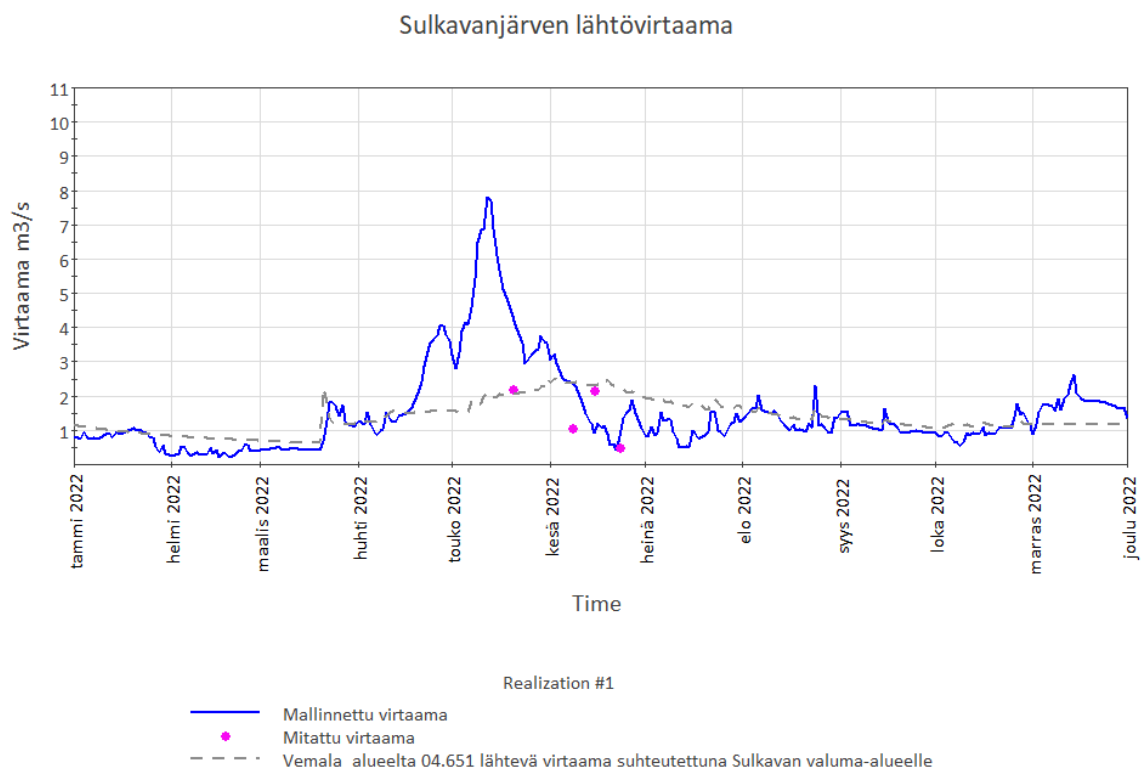
Sulkavanjärven tulo- ja lähtövirtaamat



Kuva 8. Sulkavanjärven tulo- ja lähtövirtaama (vuosikeskivirtaamat). Y-akselin ylin arvo $6.0e7 = 60\,000\,000\text{ m}^3$ vuodessa.



Kuva 9. Pöljänjoen mitattu ja tässä työssä mallinnettu, sekä vemalan mallinnettu virtaama.



Kuva 10. Sulkavasta lähtevä mallinnettu virtaama, Siilinjoen mitattu virtaama ja Sulkavanjärven valuma-alueelle suhteutettu alueelta 04.651 (Siilinjoen valuma-alue) lähtevä virtaama (Vemala) vuonna 2022.

8.2 Vedenlaatu

Mitattuja ja simuloituja vedenlaatutuloksia vertailtaessa on tärkeää muistaa, että CSTR-mallin pitoisuustulos edustaa järven sisältämän ainemäärän täydellistä sekoittumista sen koko vesivarastoon. Mallin antama tulos suuressa ja kerrostuneessa järvessä ei näin ollen pitäisikään olla jokaisella ajan hetkellä verrattavissa järven yhdestä osasta mitattuihin pitoisuuksiin. Lähimmäksi vertailua päästään tarkastelemalla pidempiä aikajaksoja (1 vuosi) ja järvestä lähtevää vettä (laskujoki tai -puro) tai vesinäytettä, joka edustaa mahdollisimman suurta osaa järven vesitilavuudesta. Verifiointissa käytetyt vesinäytepisteet on pyritty valitsemaan mahdollisimman hyvin edellä mainitut seikat huomioiden.

8.2.1 Kolmisoppi

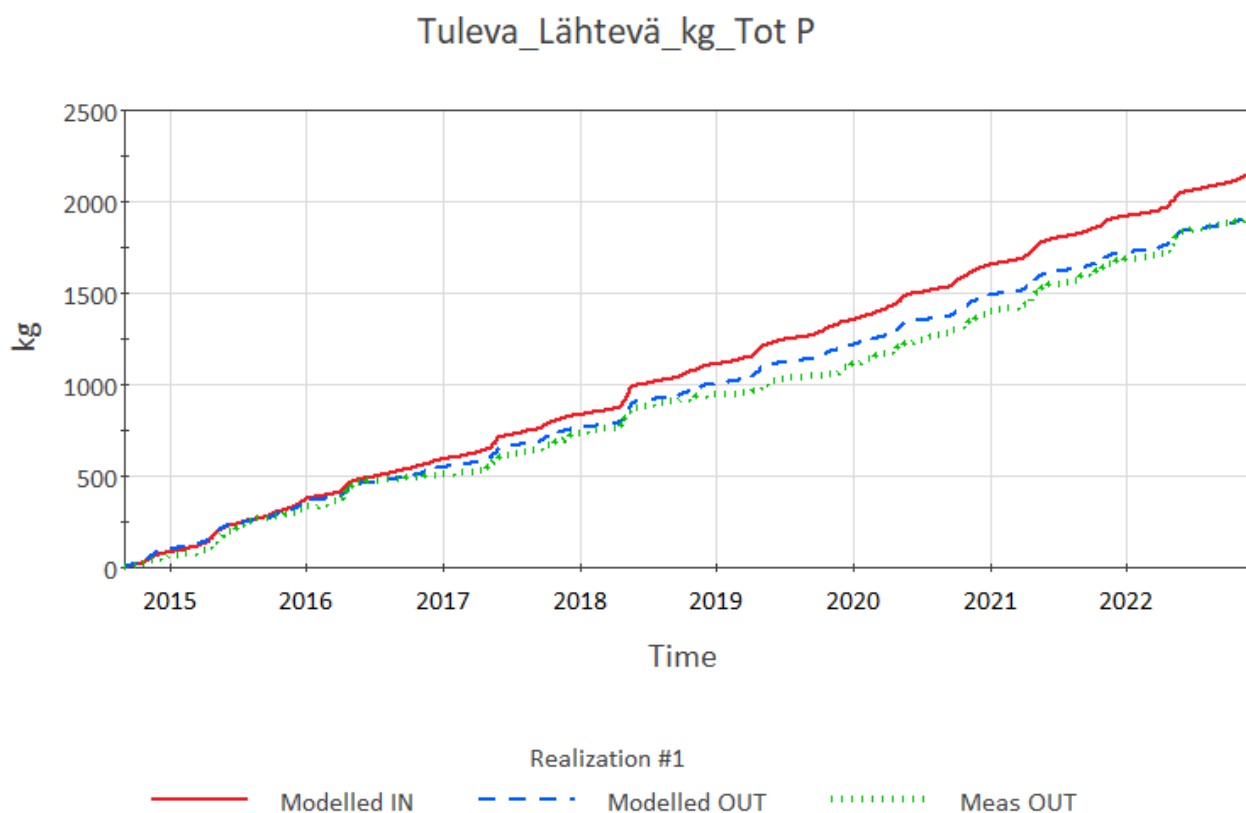
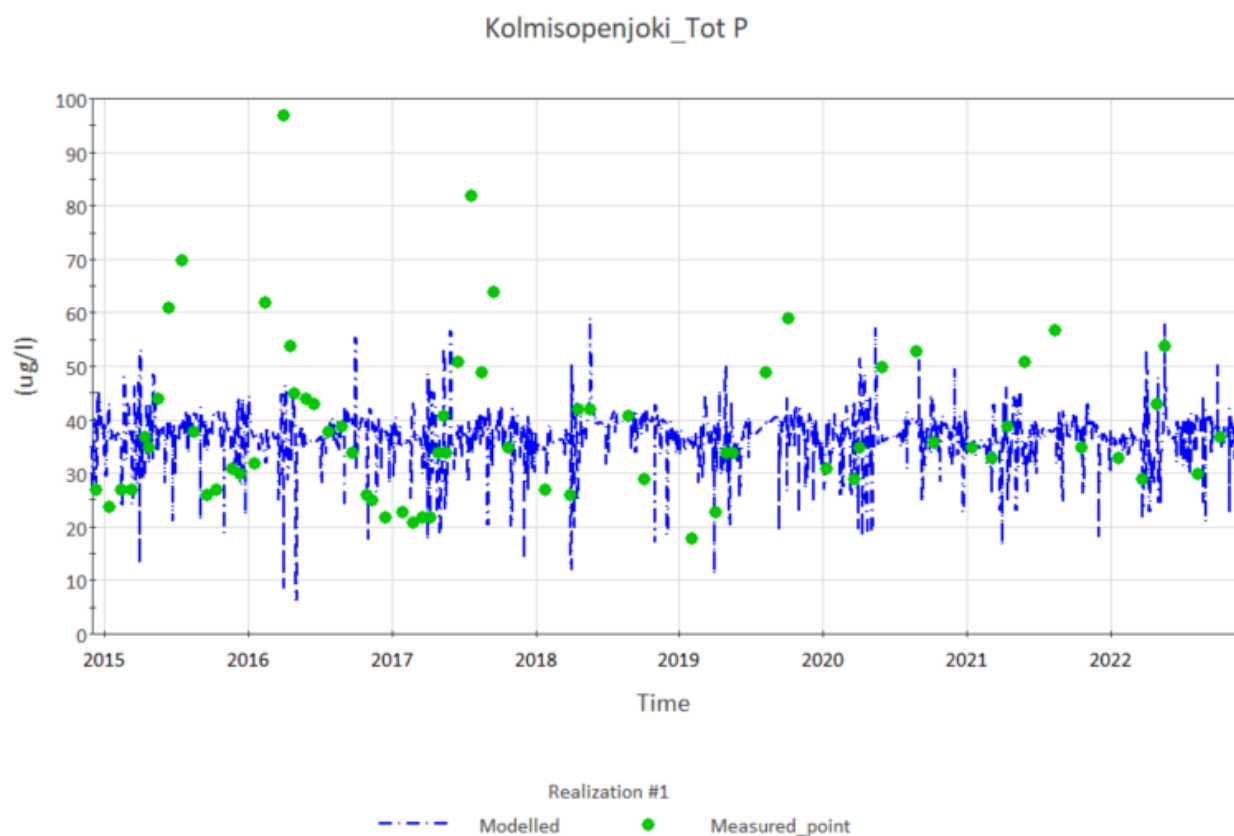
Kolmisopen osalta validointipisteinä käytettiin Kolmisopenjoki 1-havaintopaikkaa, joka sijaitsee hieman Kolmisopen luusuasta alavirtaan, Raasiontien kohdalla. Kolmisopenjoen vedenlaadun arvioidaan edustavan kohtalaisen hyvin Kolmisopen keskimääräistä pitoisuutta.

Keskimääräinen kokonaisfosforipitoisuus on onnistuttu toistamaan mallissa kohtalaisen hyvin (Kuva 11). Aivan äärimmäisiä yksittäisiä pitoisuuksia on vaikea mallissa tavoittaa, koska mallin pitoisuus edustaa koko Kolmisopen vesimassan keskimääräistä pitoisuutta ja malli pyrkii ensisijaisesti laskemaan taseet pidemmällä aikavälillä oikein.

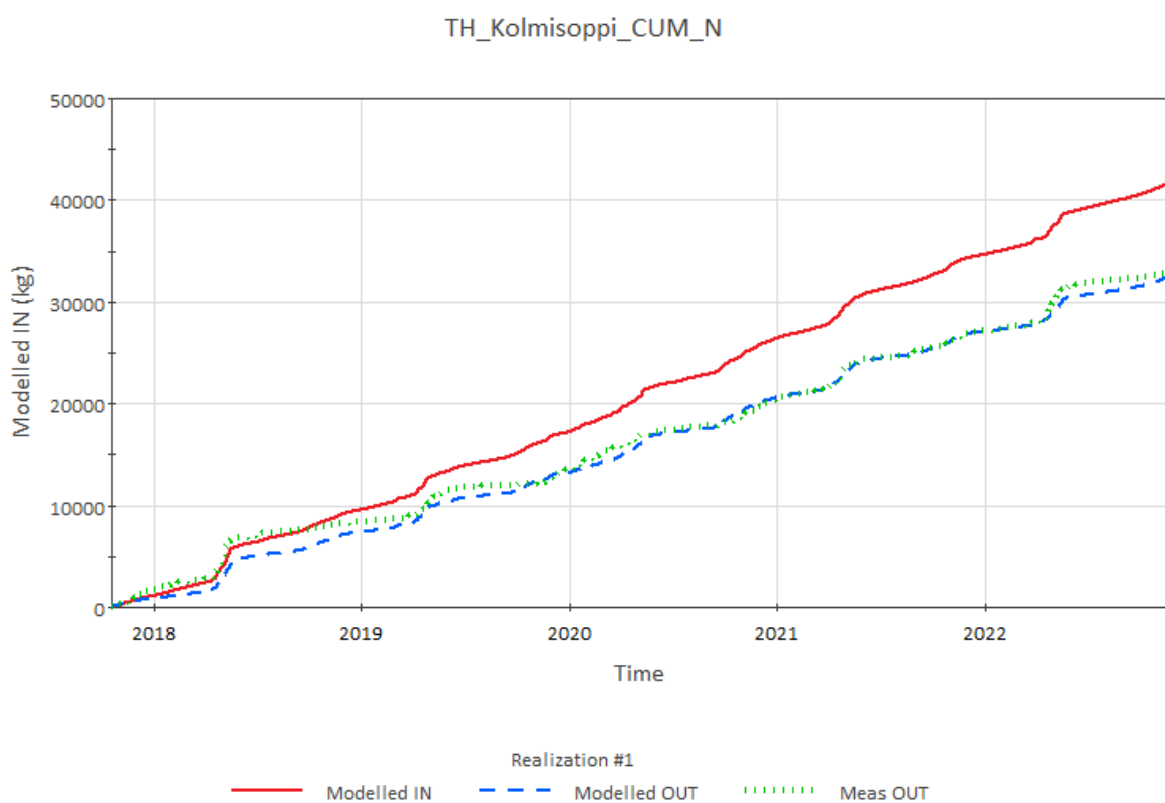
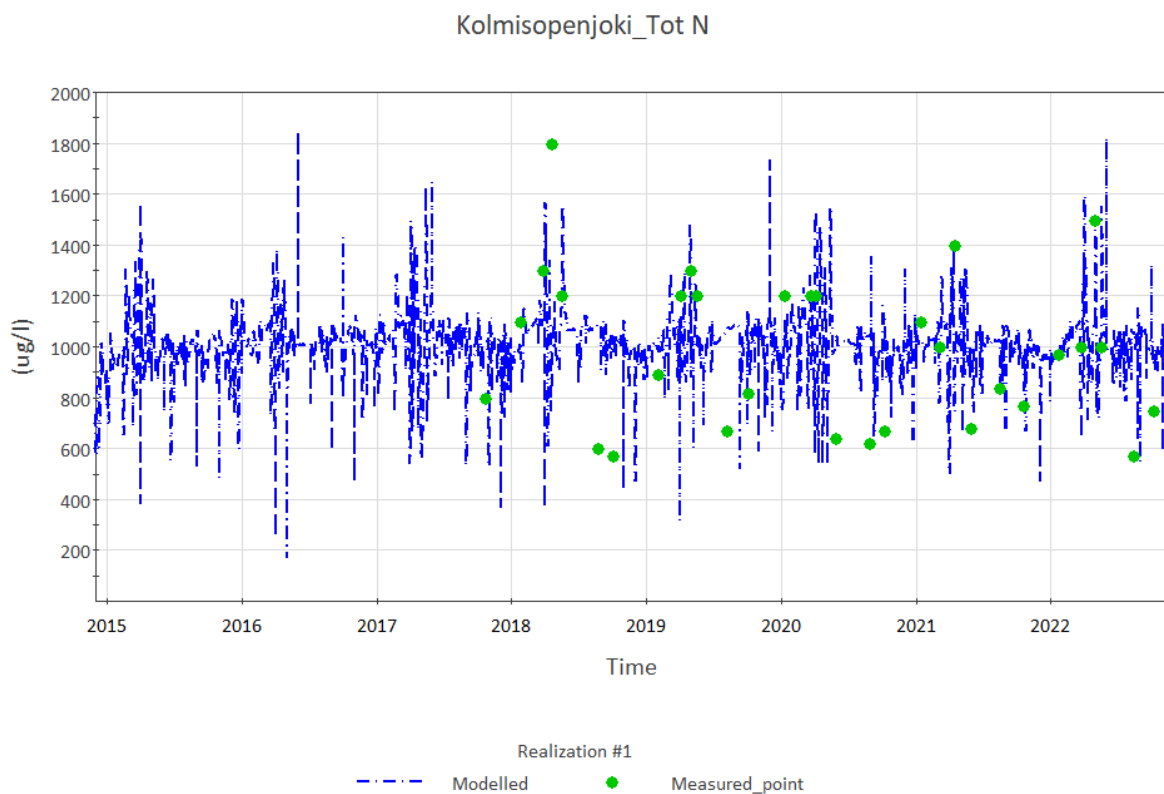
Kolmisopen ainetasetta kuvaava kumulatiivinen kuormitus kehittyy mitattua tietoa vastaavalla tavalla (Kuva 11, alempi kuva). Kumulatiivisessa esitystavassa mitataan alkuhetkestä alkaen järveen virtaavan ja sieltä lähtevän aineen kokonaismäärää ajan kuluessa. Mitä loivempi käyrä on, sitä vähemmän ainetta virtaa ja täysin vaakasuora käyrä tarkoittaisi että vettä ei virtaa lainkaan tai virtaavan veden ainepitoisuus on 0.

Tavallista kuivempana vuonna 2019, malli jossain määrin yliarvioi Kolmisopen fosforikuormitusta. Kuivana vuotena suotovesien vaikutus korostuu, joten yliarvio voi johtua mallioletusten hieman todellisuutta korkeammasta Mustin suotovesien fosforikuormituksesta. Tulevan ja lähtevän fosforikuormituksen erotus kuvaa Kolmisoppeen pidättyvän (retentio) fosforin määrää.

Kokonaistypen määrittäminen vesinäytteistä on Kolmisopenjoessa aloitettu vasta lokakuussa 2017. Sen jälkeisellä aikajaksolla malli tavoittaa hyvin Kolmisopenjoesta keskimäärin havaitut kokonaistyyppipitoisuudet sekä pidemmän aikavälin edustavuudesta kertovan kumulatiivisen Kolmisopenjoen typpikuormituksen kehittymisen (Kuva 12). Tulevan ja lähtevän typpikuormituksen erotus kuvaa Kolmisopessa pidättyvän sekä denitrifikoituvan (retentio) typen kokonaismäärää.

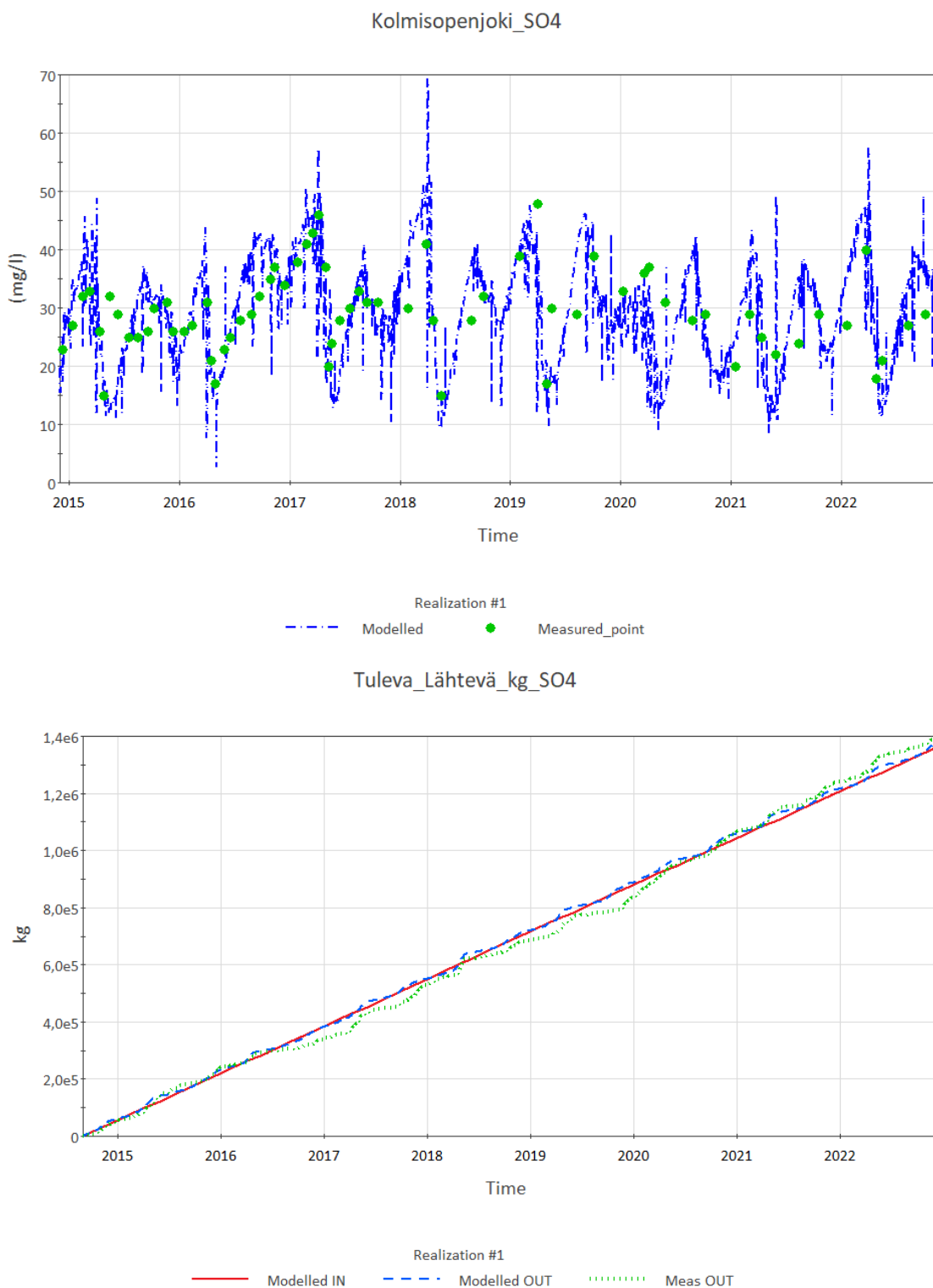


Kuva 11. Kolmisopenjoen mallinnettu (Modelled) ja mitattu (Meas) kokonaisfosforipitoisuus sekä kumulatiivinen järveen tuleva (IN) ja järvestä lähtevä (OUT) kuormitus 1.12.2014-1.12.2022. Tulevan ja lähtevän erotus johtuu retentiosta (ks. 7.6)

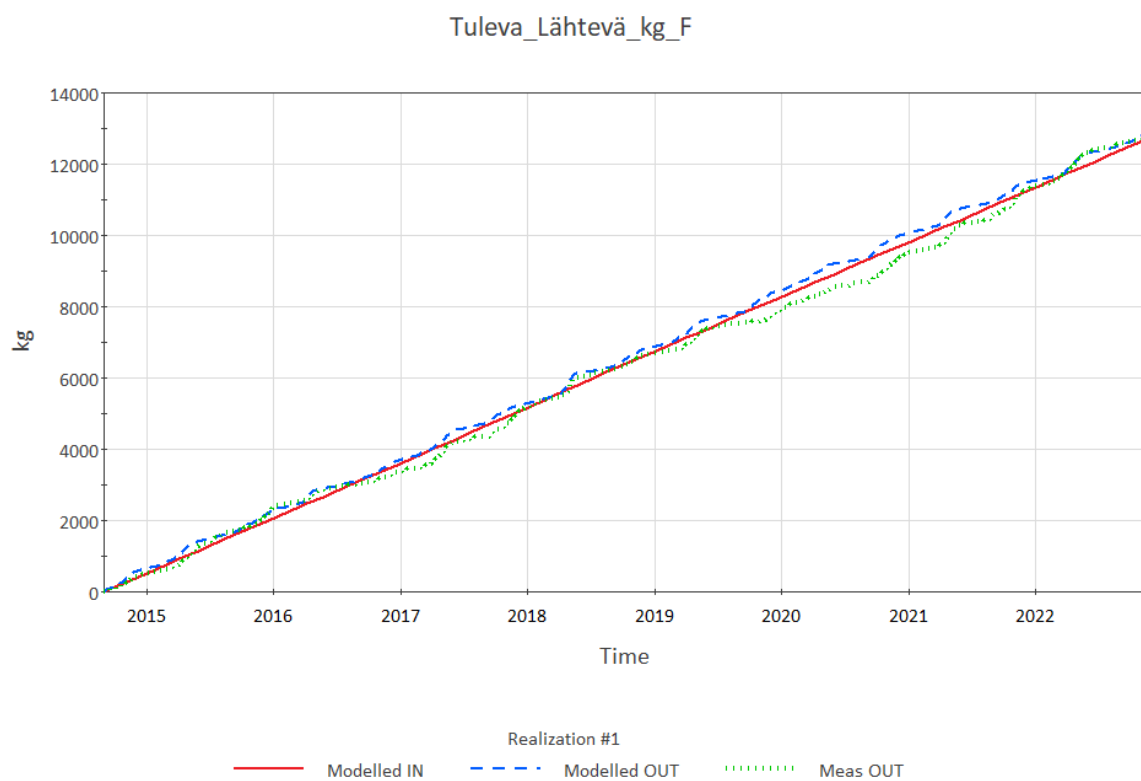
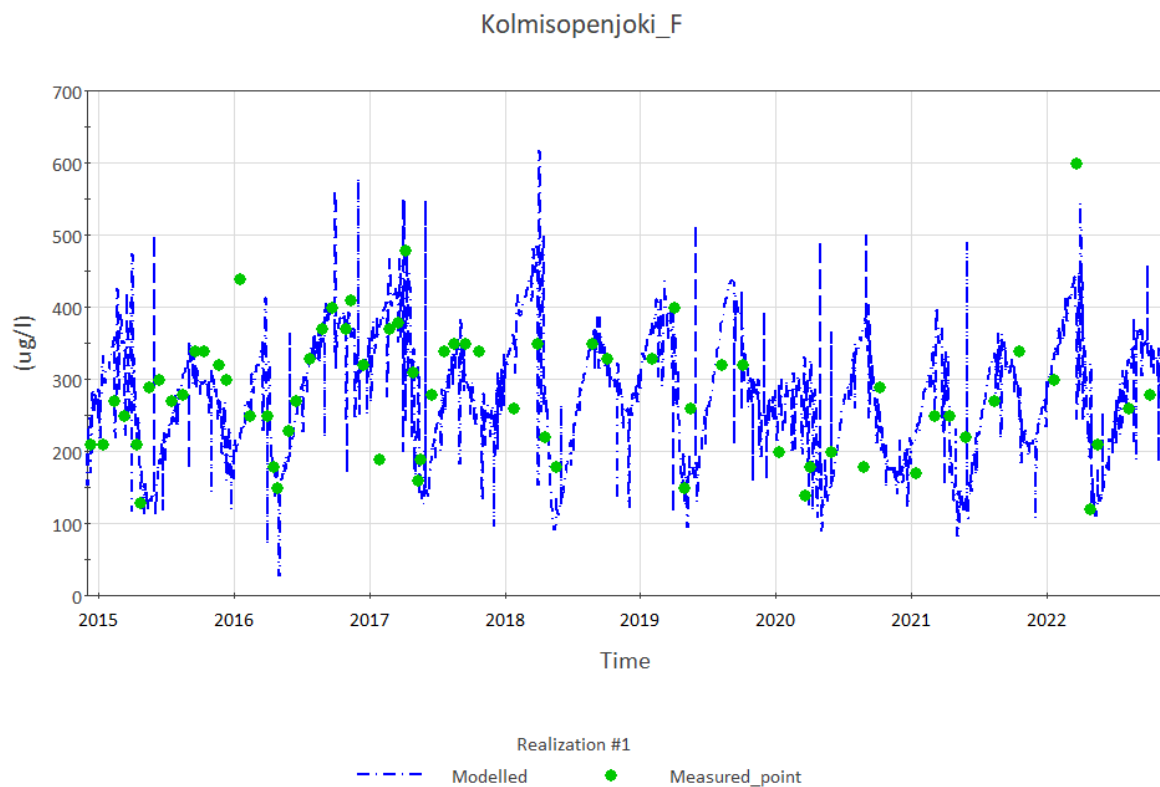


Kuva 12. Kolmisopenjoen mallinnettu (Modelled) ja mitattu (Meas) kokonaistypipitoisuus 1.12.2014-1.12.2022 sekä kumulatiivinen järveen tuleva (IN) ja sieltä lähtevä (OUT) kuormitus 17.10.2017-1.12.2022. Kolmisopenjoen kokonaistypipitoisuutta on tarkkailtu lokakuusta 2017 alkaen. Tulevan ja lähtevän erotus johtuu retentiosta (ks. 7.6)

Sulfaatti- ja fluoridikuormitukset toistuvat validointijaksolla mallissa valtaosin todella hyvin (Kuva 13 ja Kuva 14). Sekä sulfaatti, että fluoridi ovat ravinnepitoisuuksiin verrattuna veteen liuenneina suhteellisen hyvin sekoittuvia ja inertejä aineita, jolloin niiden ilmeneminen on myös helpompi saada mallilla toistettua.



Kuva 13. Kolmisopenjoen mallinnettu (Modelled) ja mitattu (Meas) sulfaattipitoisuus sekä kumulatiivinen järveen tuleva (IN) ja lähtevä (OUT) kuormitus 1.12.2014-1.12.2022.

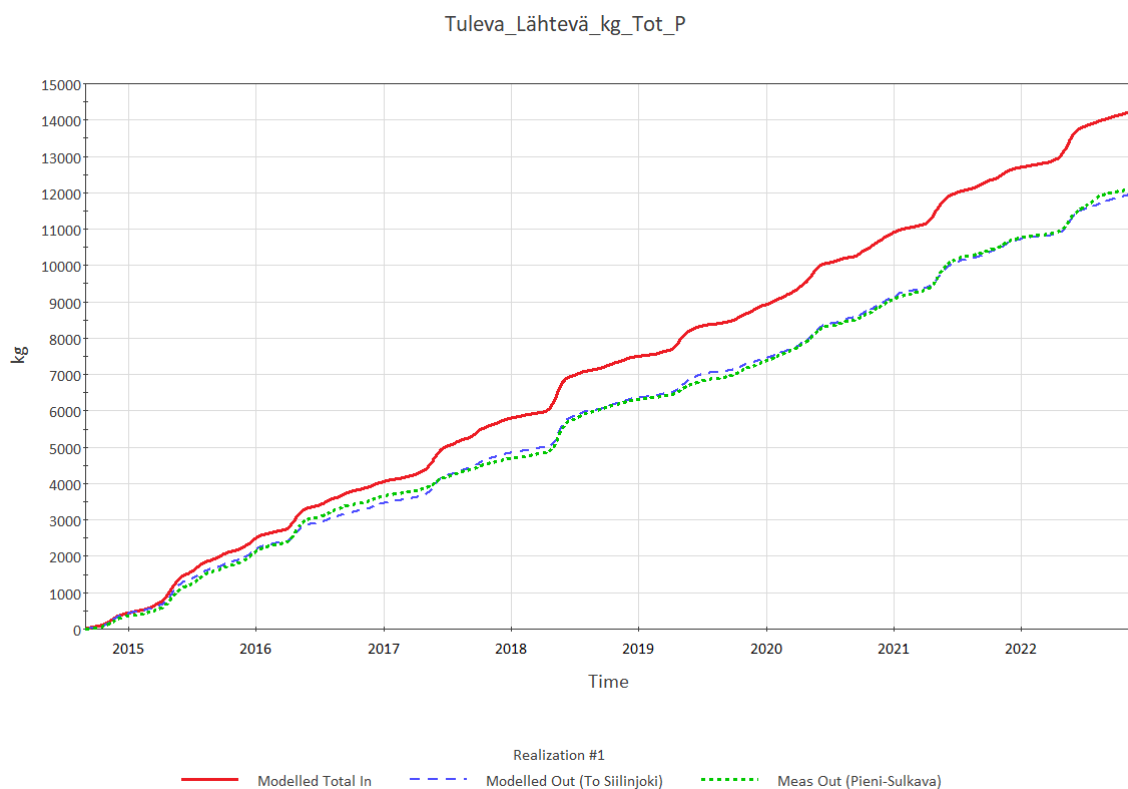
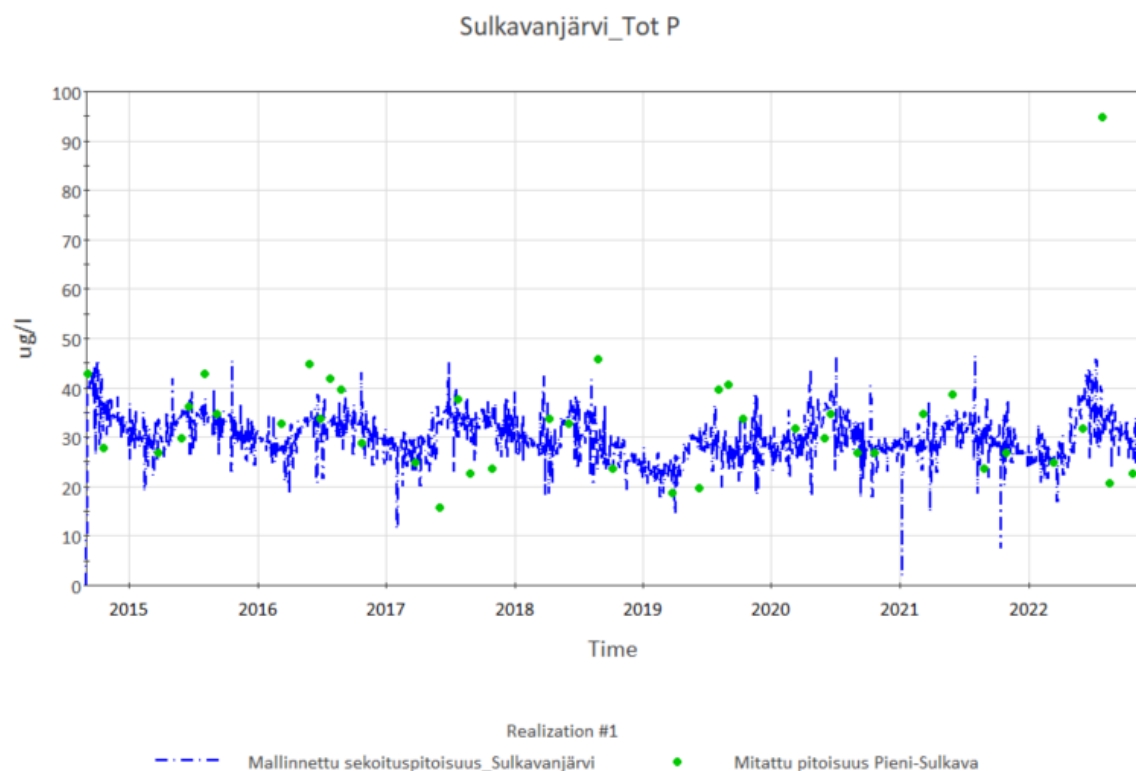


Kuva 14. Kolmisopenjoen mallinnettu (Modelled) ja mitattu (Meas) fluoridipitoisuus sekä kumulatiivinen järveen tuleva (IN) ja sieltä lähtevä (OUT) kuormitus 1.12.2014-1.12.2022.

8.2.2 Sulkavanjärvi

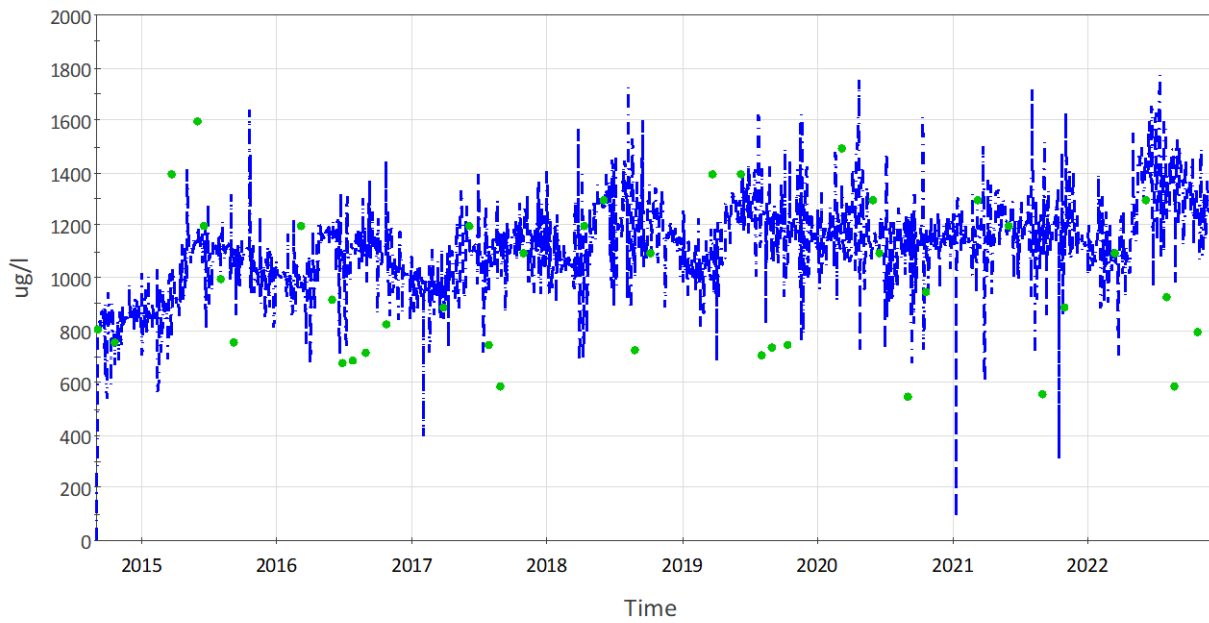
Sulkavanjärven osalta vertailu- ja kalibrointipisteenä käytettiin järven alaosassa sijaitsevaa Pieni-Sulkava 20-havaintopaikkaa, jonka vedenlaadun arvioidaan olevan lähimpänä koko Sulkavanjärven vesimassan sekoittunutta ja järvestä lähtevän veden keskimääräistä vedenlaatua.

Keskimääräinen kokonaisfosforipitoisuus toistuu mallissa kohtalaisen hyvin (Kuva 15 ja Kuva 16) oletettuun Sulkavanjärven keskimääräiseen pitoisuuteen (Pieni-Sulkava 20) nähden. Mallin antama kokonaistyyppipitoisuuden vaihteluväli on hieman suurempi, kuin Pieni-Sulkavasta otetuissa vesinäytteissä. Sulkavanjärven ainetasetta kuvaava kumulatiivinen kuormitus kehittyy Pieni-Sulkavan mitattuihin pitoisuuksiin ja mallinnettuun virtaamaan perustuvaa kuormituslaskentaa vastaavalla tavalla. Sulkavanjärveen tulevan ja Siilinjokeen lähtevän kuormituksen erotus kuvaa Sulkavanjärveen pidättyvän (retentio) fosforin ja typen kokonaismäärää.

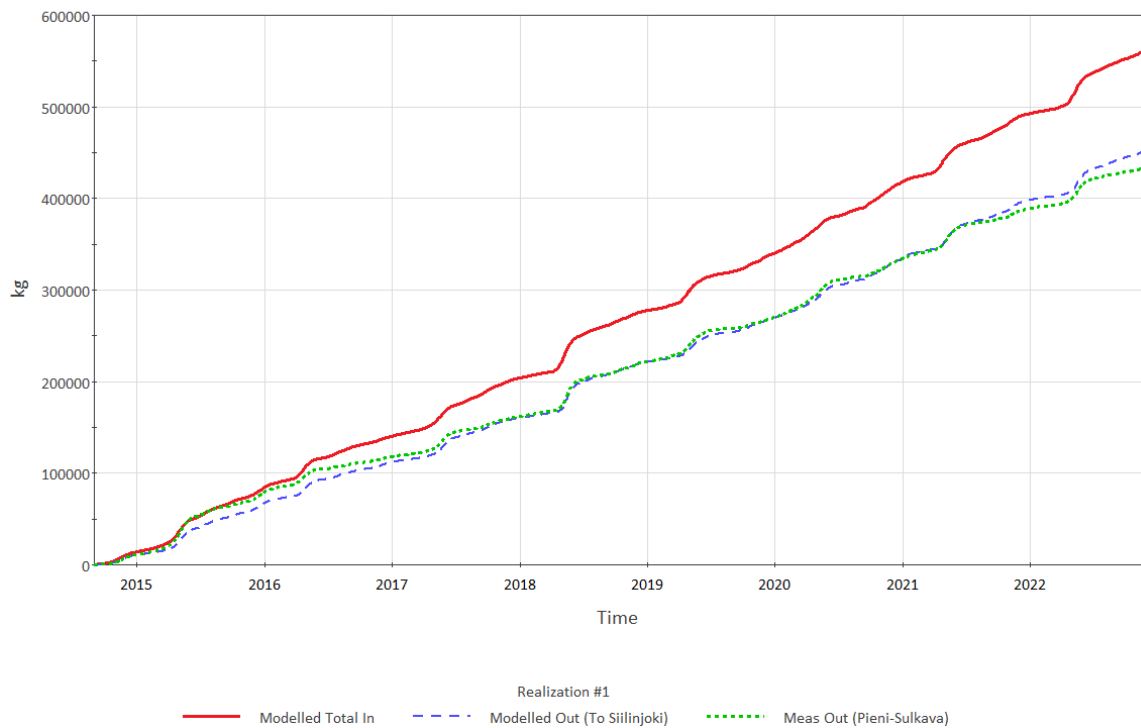


Kuva 15. Sulkavanjärven mallinnettu (Modelled) ja mitattu (Meas) kokonaisfosforipitoisuus sekä kumulatiivinen järveen tuleva (IN) ja sieltä lähtevä (OUT) kuormitus 1.12.2014-1.12.2022. Tulevan ja Siilinjokeen lähtevän erotus johtuu raakavedenotosta rikastamolle ja retenttiosta (ks. 7.6).

Sulkavanjärvi_Tot N

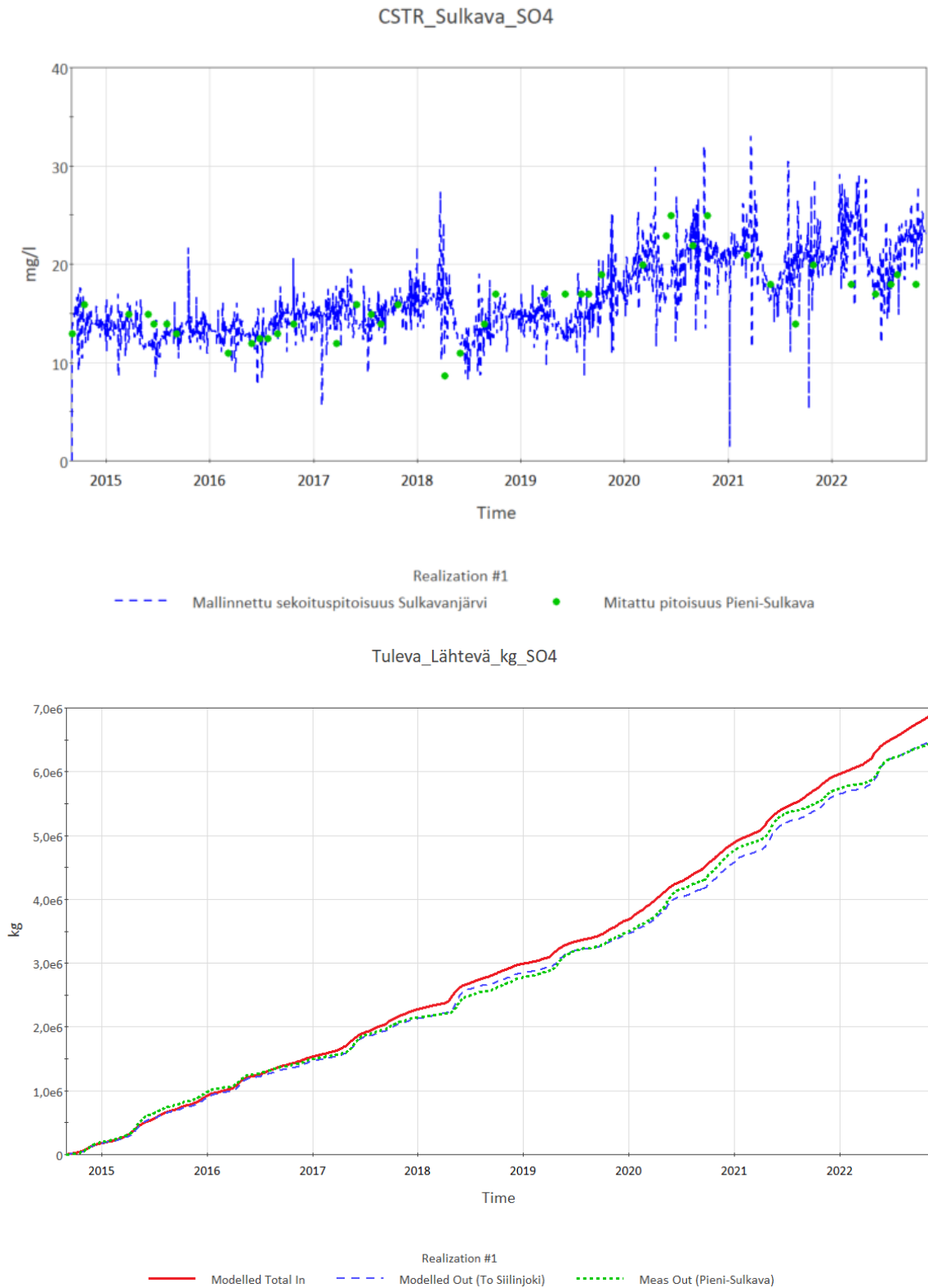


Tuleva_Lähtevä_kg_Tot_N

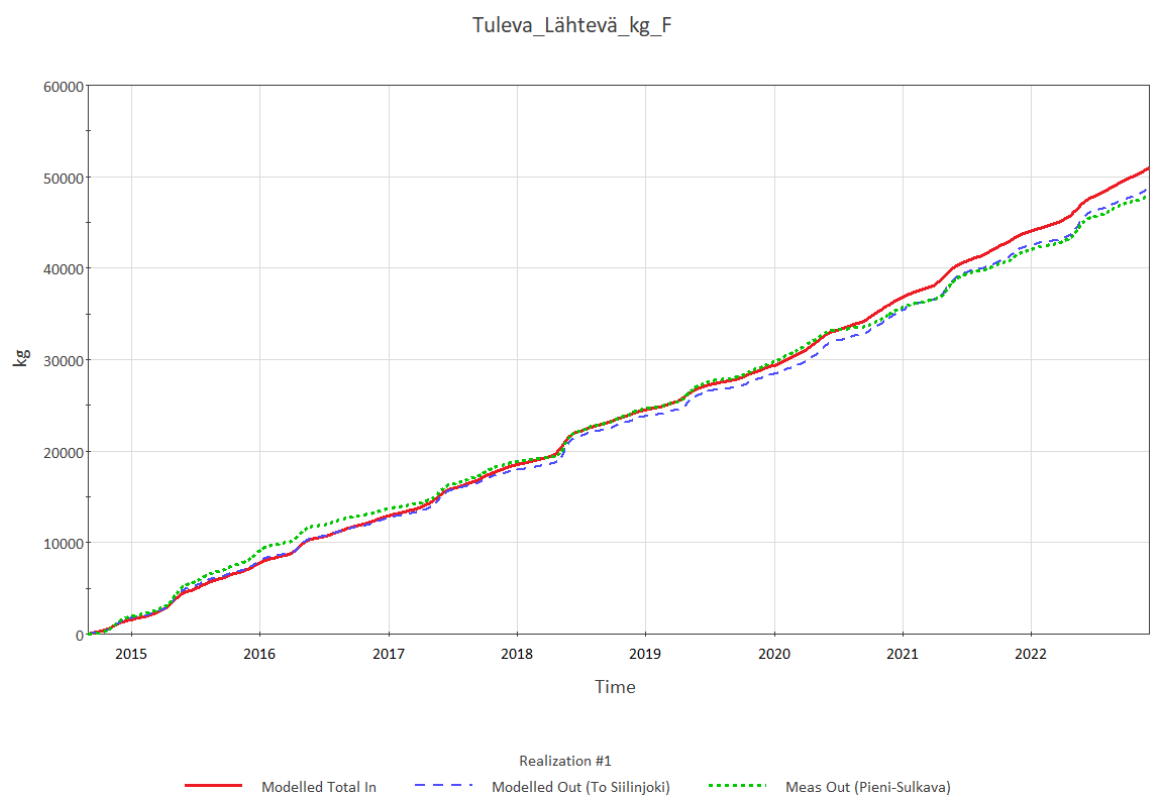
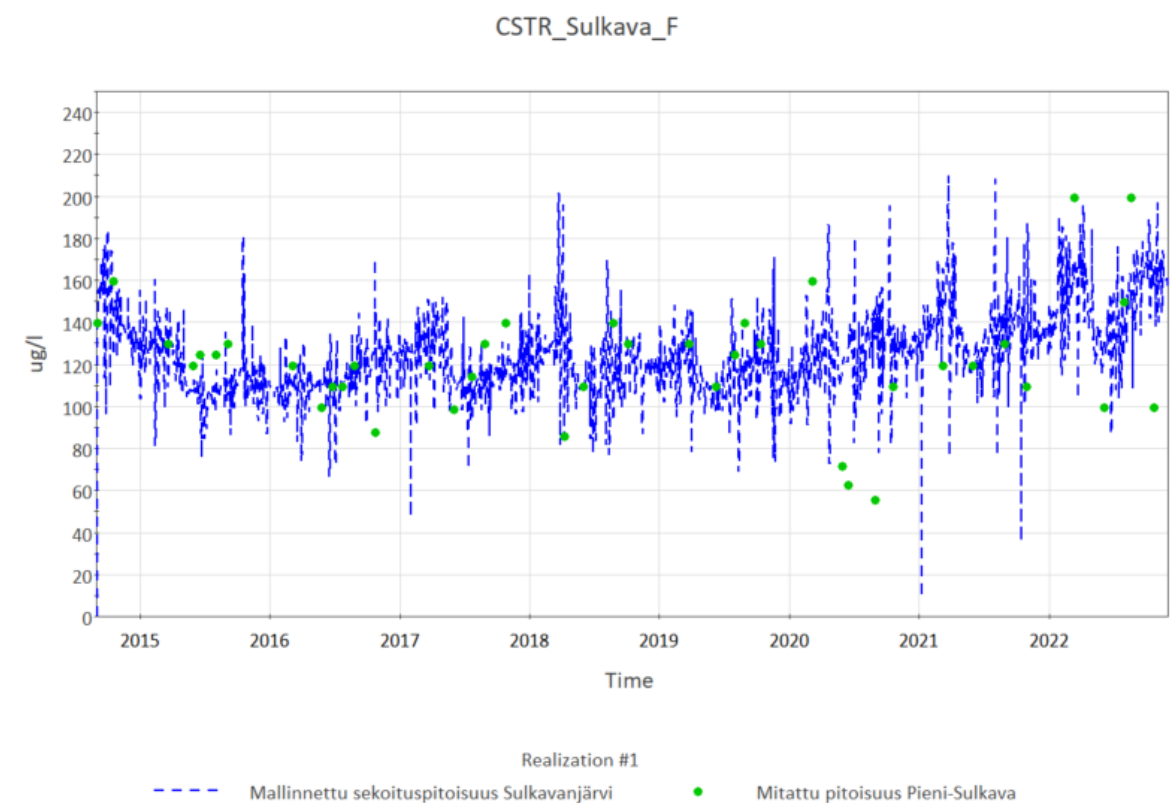


Kuva 16. Sulkavanjärven mallinnettu (Modelled) ja mitattu (Meas) kokonaistyyppipitoisuus sekä kumulatiivinen järveen tuleva (IN) ja sieltä lähtevä (OUT) kuormitus 1.12.2014-1.12.2022. Tulevan ja Siilinjokeen lähtevän erotus johtuu raakavedenotosta rikastamolle ja retentiosta (ks. 7.6).

Sulfaatti- ja fluoridikuormitukset toistuvat validointijaksolla mallissa hyvin (Kuva 17 ja Kuva 18). Etenkin sulfaattikuivissa (Kuva 17) on nähtävissä vuoden 2020 tienoilla pitoisuuksissa tapahtunut nousu (ks. 7.5.2). Järveen tulevan ja Siilinjokeen lähtevän kuormituksen erotus kuvaa rikastamon vedenoton mukana järvestä poistuvan sulfaatin ja fluoridin määrää.



Kuva 17. Sulkavanjärven mallinnettu (Modelled) ja mitattu (Meas) sulfaattipitoisuus sekä kumulatiivinen järveen tuleva (IN) ja sieltä lähtevä (OUT) kuormitus 1.12.2014-1.12.2022. Tulevan ja Siilinjokeen lähtevän erotus johtuu raakavedenotosta rikastamolle.



Kuva 18. Sulkavanjärven mallinnettu (Modelled) ja mitattu (Meas) fluoridipitoisuus sekä kumulatiivinen järveen tuleva (IN) ja sieltä lähtevä (OUT) kuormitus 1.12.2014-1.12.2022. Tulevan ja Siilinjokeen lähtevän erotus johtuu raakavedenotosta rikastamolle.

9 SIMULOINTI JA TULOKSET

9.1 Simulaatioasetukset

Simuloinnin aika-askel on yksi vuorokausi. Simulointijakso alkaa tarkasteluvuotta edeltävänä vuotena 1.12. klo 0:00 ja päättyy tarkasteluvuonna 1.12. klo 0:00. Tarkastelujaksoa edeltää 1.9. alkava kolmen kuukauden ns. tasaantumisjakso, jonka tarkoituksena on tasata mallissa mahdollisesti sen käynnistymisen yhteydessä ilmenevä tuloksiin vaikuttava kohina. Lisäksi tasausjakson avulla voidaan varmistaa, että ennen joulukuuta mahdollisesti satanut lumivarasto tulee huomioiduksi.

Mitattua historiaa kuvaava ns. nykytilan simulaatio ja YVA-skenaarioita kuvaavat ennustesimulaatiot on ajettu sateisuudeltaan erilaisten vuosien (keskimääräinen 2016, sateinen 2015, kuiva 2019) säätietoihin perustuen samalle edellä mainitulle 1.12-1.12. jaksolle. Säävuodet on valittu vertailukelpoisuuden vuoksi samoiksi, joita on käytetty Kuuslahden virtausmallissa. Mallinnuksessa käytettyyn, sateisuudeltaan keskimääräiseen vuoteen 2016 verrattuna, sadanta oli vuonna 2015 noin 17 % suurempi ja kuivana vuotena 2019 puolestaan noin 10 % pienempi (2015: 686 mm/v, 2016: 571 mm/v ja 2019: 517 mm/v).

Simuloinneissa YVA vaihtoehto VE0 edustaa tilannetta vuonna 2035 ja vaihtoehtojen VE1-VE4 simuloinnit on ajettu vuodelle 2065. Näissä simuloinneissa on huomioitu YVA-ohjelmassa (Ramboll Finland Oy, 2022) esitettyjen kaivoksen elinkaaren vaiheisiin liittyvien muutosten lisäksi ilmastonmuutos. Tuleva ilmastonmuutos perustuu Siilinjärven kaivokselle laadittuun erilliseen ilmastonmuutosmalliin (Envineer Oy, 2023a). Ilmastonmuutosta on kuvattu tässä mallissa IPCC:n ilmastonmuutoskenaariolla RCP4.5 (RCP=Representative Concentration Pathway), joka kuvaa kohtalaisia päästörajoituksia. IPCC kuvailee RCP4.5-skenaariota keskitason skenaarioksi, jossa kasvihuonekaasupäästöt ovat suurimmillaan vuonna 2040 ja kääntyvät sen jälkeen laskuun. RCP-skenaariot on nimetty vuonna 2100 mahdollisesti toteutuvien säteilypakotteiden mukaisesti ($4,5 \text{ W/m}^2$).

Tulokset on esitetty vuosikeskiarvoina. CSTR-mallin pitoisuustulos edustaa järven sisältämän ainemäärän täydellistä sekoittumista koko vesivarastoon. Tällöin aika-askeleen tulos ei edusta pitoisuutta järven missään yksittäisessä osassa. CSTR-mallilla saadaan hyvä kokonaiskuva järven kokeman muutoksen mahdollisesti aiheuttamista kokonaisvaikutuksista pidemmällä aikavälillä (noin 1 vuosi).

9.2 Kolmisoppi

9.2.1 Nykytila

Kolmisopen nykyisellä maankäytöllä ja valuma-alueen koolla (1212 ha), Kolmisopen viipymä vaihtelee kolmen sateisuudeltaan erilaisen vuoden vertailun perusteella välillä 2,5-2,9 kk (Taulukko 8). Taulukossa esitetty vesivaraston tilavuuden muutos on vesivaraston tilavuus malliajon lopussa miinus vesivaraston tilavuus malliajon alussa. Järven tilavuus vaihtelee säätekijöistä johtuen vuodesta toiseen, joten varaston muutos ei johdu YVA-hankkeen aiheuttamista muutoksista. Vesivaraston muutos on esitetty taustatietona tulkinnan avuksi, koska varaston erilainen muutos kahdessa eri skenaariossa vaikuttaa hieman joihinkin tuloksiin ja selittää niiden mahdollista epälineaarisuutta.

Vertailun perusteella vuosikeskikuormituksessa (Kolmisoppeen tuleva) tapahtuvat muutokset ovat max 10 % luokkaa. Kuormitus kasvaa valunnan kasvaessa, näkyen etenkin fosfori- ja typpikuormituksen kasvuna. Sulfaatin ja fluoridin osalta hydrologisissa olosuhteissa tapahtuvilla muutoksilla on korkeintaan vähäinen vaikutus tulokuormitukseen (Taulukko 9).

Kuormituksesta ja vesivaraston muutoksesta johtuvat laskennallisen järvipitoisuuden muutokset ovat ka. 5 % (max noin 15 %) sateisuudeltaan ja kuormitukseltaan erilaisten vuosien välillä: Sateisena vuotena fosforin, typen, sulfaatin ja fluoridin keskipitoisuudet ovat pienempiä kuin keskimääräisenä vuotena. Laimenemisolosuhteiden ollessa heikommat, kuten kuivana vuotena, sulfaatin ja fluoridin pitoisuudet nousevat hieman (noin 5 %) keskimääräiseen vuoteen verrattuna. (Taulukko 10)

Taulukko 8. Kolmisopen tulovirtaama, lähtövirtaama, vesivaraston tilavuuden muutos 1.12.-30.11. ja viipymä nykytilassa sekä vaihtoehtoissa VEO-VE4.

KOLMISOPPI	Tulo- virtaama m ³ /s			Lähtö- virtaama m ³ /s			Tilavuuden muutos m ³			Viipymä kk		
	kuiva	keski- määräinen	sateinen	kuiva	keski- määräinen	sateinen	kuiva	keski- määräinen	sateinen	kuiva	keski- määräinen	sateinen
Mitattu				0.130	0.144	0.204						
Mallinnettu (nyky)	0.189	0.188	0.209	0.179	0.183	0.198	36 665	-70 000	94 000	2.9	2.6	2.5
VE0	0.196	0.183	0.207	0.185	0.177	0.197	108 000	-55 000	54 000	2.6	2.6	2.3
VE1	0.145	0.136	0.153	0.135	0.129	0.143	57 155	-26 286	38 611	3.3	3.4	3.0
VE2	0.197	0.183	0.207	0.185	0.176	0.197	112 842	-47 000	61 000	2.6	2.6	2.3
VE3	0.145	0.136	0.153	0.135	0.129	0.143	57 155	-26 286	38 611	3.3	3.4	3.0
VE4	0.197	0.183	0.207	0.185	0.176	0.197	112 842	-47 000	61 000	2.6	2.6	2.3
Muutos nykytilaan verrattuna												
VE0	4 %	-3 %	-1 %	3 %	-3 %	-1 %	195 %	-21 %	-43 %	-9 %	1 %	-7 %
VE1	-23 %	-28 %	-27 %	-25 %	-29 %	-28 %	56 %	-62 %	-59 %	14 %	32 %	23 %
VE2	4 %	-3 %	-1 %	3 %	-4 %	-1 %	208 %	-33 %	-35 %	-9 %	1 %	-7 %
VE3	-23 %	-28 %	-27 %	-25 %	-29 %	-28 %	56 %	-62 %	-59 %	14 %	32 %	23 %
VE4	4 %	-3 %	-1 %	3 %	-4 %	-1 %	208 %	-33 %	-35 %	-9 %	1 %	-7 %

Taulukko 9. Kolmisoppeen tuleva ja järvestä lähtevä kuormitus nykytilassa sekä vaihtoehdoissa VE0-VE4.

KOLMISOPPI	Tot P kg/d			Tot N kg/d			SO ₄ kg/d			F kg/d		
TULEVA KUORMITUS	kuiva	keski-määräinen	sateinen	kuiva	keski-määräinen	sateinen	kuiva	keski-määräinen	sateinen	kuiva	keski-määräinen	sateinen
Mallinnettu (nyky) tuleva	0.65	0.66	0.72	21	21	22	447	449	451	4.20	4.21	4.25
VE0	0.68	0.64	0.71	21	20	22	447	447	447	4.20	4.20	4.20
VE1	0.65	0.61	0.68	19	18	20	427	427	427	3.79	3.79	3.79
VE2	0.68	0.64	0.71	22	20	22	447	447	448	4.20	4.20	4.20
VE3	0.65	0.61	0.68	19	18	20	427	426	427	3.79	3.78	3.79
VE4	0.68	0.64	0.71	22	20	22	447	447	447	4.20	4.20	4.20
Muutos nykytilaan verrattuna												
VE0	4 %	-3 %	-1 %	3 %	-3 %	-1 %	0 %	0 %	-1 %	0 %	0 %	-1 %
VE1	0 %	-7 %	-6 %	-8 %	-13 %	-12 %	-5 %	-5 %	-5 %	-10 %	-10 %	-11 %
VE2	4 %	-3 %	-1 %	3 %	-3 %	-1 %	0 %	0 %	-1 %	0 %	0 %	-1 %
VE3	0 %	-7 %	-5 %	-8 %	-14 %	-12 %	-5 %	-5 %	-5 %	-10 %	-10 %	-11 %
VE4	5 %	-3 %	-1 %	4 %	-3 %	-1 %	0 %	0 %	-1 %	0 %	0 %	-1 %
KOLMISOPPI	Tot P kg/d			Tot N kg/d			SO ₄ kg/d			F kg/d		
LÄHTEVÄ KUORMITUS	0.39	0.55	0.68	12	no data	no data	360	316	468	3.06	3.41	4.44
Mallinnettu (nyky) lähtevä	0.57	0.58	0.64	16	16	17	452	433	435	4.24	4.06	4.15
VE0	0.58	0.56	0.62	16	15	17	452	423	436	4.25	3.98	4.10
VE1	0.53	0.51	0.56	13	13	14	423	392	408	3.77	3.50	3.64
VE2	0.58	0.56	0.62	16	15	17	452	422	435	4.25	3.97	4.10
VE3	0.53	0.51	0.56	13	13	14	423	392	408	3.78	3.50	3.64
VE4	0.58	0.56	0.62	16	15	17	452	422	435	4.25	3.97	4.10
Muutos nykytilaan verrattuna												
VE0	2 %	-4 %	-3 %	2 %	-4 %	0 %	0 %	-2 %	0 %	0 %	-2 %	-1 %
VE1	-7 %	-12 %	-12 %	-16 %	-21 %	-18 %	-6 %	-9 %	-6 %	-11 %	-14 %	-12 %
VE2	2 %	-4 %	-3 %	2 %	-4 %	0 %	0 %	-2 %	0 %	0 %	-2 %	-1 %
VE3	-7 %	-12 %	-12 %	-16 %	-21 %	-18 %	-6 %	-9 %	-6 %	-11 %	-14 %	-12 %
VE4	2 %	-4 %	-3 %	2 %	-4 %	0 %	0 %	-2 %	0 %	0 %	-2 %	-1 %

Taulukko 10. Kolmisopen keskipitoisuus (mallissa vesimassa täydellisesti sekoittunut) nykytilassa sekä vaihtoehdoissa VE0-VE4.

CSTR-mallin mukainen keskipitoisuus järvessä												
KOLMISOPPI	Tot P µg/l			Tot N µg/l			SO ₄ mg/l			F µg/l		
	kuiva	keski-määräinen	sateinen	kuiva	keski-määräinen	sateinen	kuiva	keski-määräinen	sateinen	kuiva	keski-määräinen	sateinen
Mitattu	37	44	37	941	no data	no data	35	28	28	308	312	270
Mallinnettu (nyky)	38	39	38	1039	1055	985	33	31	27	308	290	267
VE0	38	38	38	1025	1046	1024	31	31	27	296	292	259
VE1	47	47	47	1159	1161	1166	39	38	35	349	340	313
VE2	38	38	38	1027	1046	1024	31	31	27	296	292	259
VE3	47	47	47	1159	1161	1166	39	38	35	349	340	313
VE4	38	38	38	1027	1047	1024	31	31	27	296	292	259
Muutos nykytilaan verrattuna												
VE0	-1 %	-1 %	-1 %	-1 %	-1 %	4 %	-4 %	0 %	2 %	-4 %	1 %	-3 %
VE1	24 %	21 %	24 %	12 %	10 %	18 %	19 %	23 %	30 %	13 %	17 %	17 %
VE2	-1 %	-1 %	-1 %	-1 %	-1 %	4 %	-4 %	0 %	2 %	-4 %	1 %	-3 %
VE3	24 %	21 %	24 %	12 %	10 %	18 %	19 %	23 %	30 %	13 %	17 %	17 %
VE4	-1 %	-1 %	-1 %	-1 %	-1 %	4 %	-4 %	0 %	2 %	-4 %	1 %	-3 %

Kuivana vuotena suotovesien kokonaisvirtaaman ($0.043 \text{ m}^3/\text{s}$) osuus Kolmisopen tulovirtaamasta on 47 %, kun taas sateisena ja keskimääräisenä sadantavuotena osuus on pienempi, noin 35 %. Suotovesien suhteellisen osuuden kasvu kuivana vuotena Kolmisoppeen tulevasta tulovirtaamasta selittää simuloinnissa havaittavan, valtaosin suotovesistä peräisin olevien sulfaatin ja fluoridin järvipitoisuuden nousun. Fluoridi- ja sulfaattikuormitus ei kuitenkaan juurikaan muutu sateisuuden mukaan, kuten käy ravinnekuormituksen kohdalla. Ravinnekuormitus on sitä suurempaa, mitä enemmän sataa. Toisaalta suuresta vesimäärästä johtuen ravinnepitoisuudet jäävät sateisina vuosina pienemmiksi.

Sademäärän lisäys ei lisää rikastushiekka-alueella muodostuvien suotovesien määrää samalla tavoin kuin se vaikuttaa Kolmisopen muulla valuma-alueella muodostuvien valumavesien määrään. Tämä johtuu hyvin paksusta ja tiiviiksi painuneesta rikastushiekkakerroksesta, jonka vedenjohtokyky on hyvin rajallinen. Satava vesi muodostaa rikastushiekka-alueelle valtaosin pintavaluntaa, joka ohjataan rikastamon vesikiertoon.

Mallissa sulfaatille ja fluoridille ei ole retentiota, eli pidättymiskerrointa. Simuloitu lähtevä fluoridi- ja sulfaattikuormitus voivat kuitenkin erota toisistaan, johtuen vesivaraston pitoisuuden ja tilavuuden muutoksesta simuloitavan jakson aikana.

9.2.1 YVA-vaihtoehdot ja vertailu

Hydrologia

YVA-vaihtoehdoissa VE1 ja VE3 Kolmisopen valuma-alue pienenee n 35 % Mustin rikastushiekka-alueen laajentuessa pohjoiseen. Vaihtoehdoilla VE0, VE2 ja VE4 ei ole vaikutusta Kolmisopen valuma-alueen kokoon.

Valuma-alueen pieneneminen vaihtoehdoissa VE1 ja VE3 pienentää Kolmisopen tulovirtaamaa hydrologisilta olosuhteiltaan erilaisina vuosina 20-30 % mallinnettuun nykytilaan verrattuna. Tulovirtaaman pienentyessä viipymä pitenee 3,3-3,4 kuukauteen (muutos 15-30 %) (Taulukko 8).

Vaihtoehdossa VE0, VE2 ja VE4 tulovirtaama ei juurikaan muutu nykytilasta. Pienet muutokset johtuvat valtaosin ilmastonmuutoksen aiheuttamista vaikutuksista valunnan muodostumistekijöihin sekä siitä, että suotovesivirtaamien laskenta historiajaksolla ja tulevien vuosien ennustejaksolla eroaa hieman toisistaan. Edellisen lisäksi viipymän pieneen lyhenemiseen nykytilaan nähden vaikuttavat erot järven vesivaraston tilavuuden muutoksissa, mikä vaikuttaa simulointijaksolla järvestä poistuvaan vesimäärään.

Kuormitus ja pitoisuudet

Vaihtoehdoissa VE1 ja VE3 Kolmisopen tulokuormitus pienenee (Taulukko 9). Tämä johtuu valtaosin valuma-alueen pienenemisen johdosta pienentyneestä järveen valuvien vesien määrästä. Kuormitus pienenee seuraavasti: fosfori 5-10 %, typpi 10-15 %, sulfaatti 5 % ja fluoridi 10 %.

Sen sijaan Kolmisopen keskipitoisuudet mallin sisältämien aineiden osalta kasvavat vaihtoehdoissa VE1 ja VE3 (Taulukko 10). Fosforin keskipitoisuus nousee 20-25 % nykytilaan verrattuna. Typen osalta keskipitoisuus kasvaa 10-20 %, sulfaatin osalta 20-30 % ja fluoridin 15-20 %. Edellä mainitut pitoisuuden muutokset ovat seurausta suotovesikuormituksen suhteellisen osuuden kasvusta Kolmisopen kokonaiskuormitukseen nähden. Pitoisuudet kasvavat vaikka kuormitus pienenee,

koska valuma-alueen pienentyessä, järveen tuleva ja sieltä lähtevä vesimäärä vastaavasti pienenevät.

Vaihtoehdossa VE0, VE2 ja VE4 kuormituksessa ja keskipitoisuuksissa tapahtuvat muutokset ovat pieniä (<5 %) nykytilaan verrattuna (Taulukko 9 ja Taulukko 10). Pienet muutokset johtuvat valtaosin ilmastomuutoksen aiheuttamista vaikutuksista valunnan muodostumistekijöihin ja Kolmisopen järvioltaan vesivaraston, ja sen sisältämän ainemäärän, muutoksiin simulointijakson aikana.

9.3 Sulkavanjärvi

9.3.1 Nykytila

Sulkavanjärven nykyisellä maankäytöllä ja valuma-alueen koolla (12 484 ha), järven viipymä vaihtelee kolmen sateisuudeltaan erilaisen vuoden vertailun perusteella välillä 3,5-4,3 kk (Taulukko 11), ollen pisin kuivana vuotena. Pöljänjoen osuus Sulkavanjärven tulovirtaamasta on kolmen sateisuudeltaan erilaisen vuoden vertailun perusteella 65-67 %, Koivusenjoen 22-25 % ja lähivaluma-alueen 8-9 %. Ansanmäen sivukivialueelta tulee 0,8-0,9 % tulovirtaamasta. Tehdasalueen ojien osuus kokonaistulovirtaamasta on niin ikään pieni (0,1-1,5 %), Sulkavan ojan virtaaman ollessa tehdasalueen ojista suurin.

Kuten kohdassa 7.5.2 on kuvattu, Sulkavanjärven sulfaatti- ja fluoridikuormituksessa on tapahtunut vuoden 2020 paikkeilla tarkkailutulosten perusteella muutos. Märän (2015), keskimääräisen (2016) ja kuivan (2019) säävuodet osuvat kaikki vuotta 2020 edeltävään aikaan, jolloin ei ole perusteltua verrata YVA-vaihtoehtojen aiheuttamia muutoksia suoraan vuosina 2015, 2016 tai 2019 vallinneeseen kuormitukseen. Sulkavanjärven vertailukohtaisena nykytilana on tästä johtuen pidetty muilta osin vuosien 2015, 2016 ja 2019 lähtöoletuksia ja tilannetta, mutta sulfaattikuormitukseen on lisätty 320 tSO₄/a ja fluoridikuormitukseen 1582 kgF/a kohdassa 7.5.2 kuvatusti. Ilman tätä lisäystä tulisivat nämä kuormitusluvut näkymään tuloksissa muutoksena nykytilan ja YVA-vaihtoehtojen välillä.

Alla esitetyt kuormitusluvut perustuvat edellä esitettyyn Sulkavanjärven vertailukohtaiseen nykytilaan. Kolmen sateisuudeltaan erilaisen vuoden vertailun perusteella Sulkavanjärven tulokuormitus on sateisena vuotena suurempi kuin keskimääräiseen verrattuna (P +14 %, N +10 %, SO₄ +4 % ja F +7 %). Kuivana vuotena fosforin kuormitus on 19 % ja fluoridin 9 % pienempi kuin keskimääräisenä vuotena. Typen ja sulfaatin osalta kuivan vuoden ero keskimääräiseen on hyvin pieni (N +1 % ja SO₄ +1 %). (Taulukko 12).

Sulkavanjärveen tulevasta fosforikuormituksesta noin 63 % tulee Pöljänjoen kautta. Koivusenjoen kautta sekä lähivaluma-alueelta tulevan kuormituksen osuus on 31 %, mistä 14 % tulee Kolmisopesta. Tehdasalueen ojien osuus on 5 % ja Ansanmäen sivukivialueen 1 %. Esitetyt kuormituslähteiden osuudet ovat viitteellisiä, sillä mallissa kemiantehtaiden alueelta ei tule fosforin suotovesikuormitusta. Ansanmäen sivukivialueen suotovesien fosforipitoisuudet ovat tarkkailussa vastanneet muulta lähivaluma-alueelta tulevien vesien fosforipitoisuuksia. Lisäksi kalibroinnin yhteydessä Sulkavanjärven fosforitaseen tasapainottamiseksi tulokuormaan on lisätty 14 kg/a fosforia (Kappale 7.5.2), mikä vastaa 1 % Sulkavanjärven kokonaiskuormituksesta. Sen arvioidaan olevan peräisin lähivaluma-alueen tunnistamattomista hajapäästöistä. Ansanmäen sivukivialueen

muutoksilla ei arvioida tarkkailutulosten perusteella olevan havaittavaa roolia fosforikuormituksessa.

Typpikuormituksesta 46 % tulee Pöljänjoen kautta. Koivusenjoen kautta sekä lähivaluma-alueelta tulevan typpikuormituksen osuus on 21 %, mistä 9 % tulee Kolmisopesta. Ansanmäen sivukivialueelta tulevan typpikuormituksen osuus on 31 % ja tehdasalueen ojien osuus 2 %.

Sulkavanjärven sulfaattikuormituksesta Pöljänjoen kautta tulee 22 %, Ansanmäen sivukivialueelta 20 %, tehdasalueen ojista 6 % ja Koivusenjoen kautta sekä lähivaluma-alueelta 16 %, josta mallissa käytännössä kaikki kuormitus tulee Kolmisopesta. Esitetyt kuormituslähteiden osuudet ovat viitteellisiä, sillä kalibroinnin yhteydessä malliin on lisätty 374 t/a sulfaattia (Kappale 7.5.2), joka vastaa 35 % tulokuormituksesta. Tämän kuormituksen lähde ei pyritty yksilöimään virhetulkintojen välttämiseksi. On kuitenkin selvää, että merkittävä osa tästä kuormituksesta tulee lähivaluma-alueen hajapäästöistä, joiden osuus mallissa muutoin olisi vain 0,005 %.

Fluoridikuormituksesta 40 % tulee Pöljänjoen kautta, 22 % Kolmisopesta, 4 % tehdasalueen ojista ja 3 % Ansanmäen sivukivialueelta. Esitetyt kuormituslähteiden osuudet ovat viitteellisiä, sillä mallissa Koivusenjoen oman alueen ja lähivaluma-alueen osuus kuormituksesta on 0,01 %, eikä mm. kemiantehtaiden alueelta tule fluoridin suotovesikuormitusta. Kalibroinnin yhteydessä malliin onkin lisätty 2 291 kg/a fluoridia (Kappale 7.5.2), joka vastaa 32 % Sulkavanjärveen nykytilassa tulevasta kuormituksesta. Tämän lisäkuormituksen lähde ei pyritty yksilöimään virhetulkintojen välttämiseksi. On kuitenkin selvää, että merkittävä osa tästä kuormituksesta tulee lähivaluma-alueen hajapäästöistä. Ansanmäen sivukivialueen muutoksilla ei arvioida tarkkailutulosten perusteella olevan havaittavaa roolia fluoridikuormituksessa. Taulukossa (Taulukko 13) on esitetty Sulkavanjärvestä Siilinjokeen lähtevä kuormitus, joka eroaa järveen tulevasta kokonaiskuormituksesta. Siilinjokeen lähtevän kuormituksen lisäksi fosforia, typpeä, sulfaattia ja fluoridia poistuu Sulkavanjärvestä rikastamon raakavedenoton kautta ja fosforia ja typpeä pidättyy Sulkavanjärven retentioiden mukaisesti (kohta 7.6).

Simuloinnin perusteella nykytilassa Sulkavanjärven keskipitoisuudessa (vesimassan ollessa simuloinnissa täydellisesti sekoittunut) tapahtuvat muutokset ovat sateisuudeltaan ja kuormitukseltaan erilaisina vuosina pieniä, pääsääntöisesti $\leq \pm 10$ %. Fosforin pitoisuus kasvaa sateisena vuotena noin 4 % keskimääräiseen vuoteen verrattuna. Typen ja sulfaatin pitoisuudet puolestaan kasvavat (N +7, SO₄ +11%) kuivana vuotena. Muutokset kuvaavat fosforin olevan enimmäkseen peräisin hajakuormituksesta, kun taas sulfaattia ja typpeä tulee Sulkavanjärveen myös rikastushiekka-alueiden ja sivukivialueiden suotovesien mukana, joiden määriin sademäärän pieneneminen ei vaikuta yhtä voimakkaasti kuin valtaosin pintavaluntana tulevaan hajakuormitukseen. (Taulukko 14)

Taulukko 11. Sulkavanjärven tulovirtaama, lähtövirtaama, vesivaraston tilavuuden muutos 1.12.-30.11. ja viipymä nykytilassa sekä vaihtoehtoissa VEO-VE4.

SULKAVANJÄRVI	Tulovirtaama m ³ /s			Lähtövirtaama m ³ /s (Siilinjokeen)			Tilavuuden muutos m ³			Viipymä kk		
	kuiva	keski- määräinen	sateinen	kuiva	keski- määräinen	sateinen	kuiva	keski- määräinen	sateinen	kuiva	keski- määräinen	sateinen
Mitattu												
Mallinnettu nykytila (reaali)	1.4	1.6	1.8	1.3	1.4	1.6	390 000	-190 000	140 000	4.3	3.7	3.5
VE0	1.4	1.5	1.7	1.3	1.4	1.6	140 000	-130 000	60 000	4.4	3.7	3.3
VE1	1.4	1.4	1.6	1.3	1.3	1.5	130 000	-100 000	60 000	4.6	3.9	3.5
VE2	1.4	1.5	1.7	1.3	1.4	1.6	160 000	-110 000	70 000	4.5	3.8	3.4
VE3	1.4	1.4	1.6	1.3	1.3	1.5	130 000	-100 000	70 000	4.6	3.9	3.5
VE4	1.4	1.5	1.7	1.3	1.4	1.6	150 000	-110 000	80 000	4.4	3.8	3.3
Muutos nykytilaan verrattuna												
VE0	3 %	-4 %	-3 %	4 %	-4 %	-3 %	-64 %	-32 %	-57 %	1 %	2 %	-6 %
VE1	-3 %	-9 %	-7 %	-1 %	-8 %	-6 %	-67 %	-47 %	-57 %	7 %	8 %	-1 %
VE2	1 %	-6 %	-4 %	3 %	-4 %	-3 %	-59 %	-42 %	-50 %	4 %	4 %	-4 %
VE3	-2 %	-8 %	-7 %	0 %	-8 %	-6 %	-67 %	-47 %	-50 %	6 %	7 %	-2 %
VE4	1 %	-5 %	-4 %	4 %	-4 %	-3 %	-62 %	-42 %	-43 %	3 %	4 %	-5 %

Taulukko 12. Sulkavanjärveen tuleva kuormitus nykytilassa (reaali = 2014-2019; vertailukohta = reaali + vuosina 2020-2022 kasvanut sulfaatti- ja fluoridikuormitus) ja vaihtoehtoissa VEO-VE4.

SULKAVANJÄRVI	Tot P kg/d			Tot N kg/d			SO ₄ kg/d			F kg/d		
	kuiva	keski- määräinen	sateinen	kuiva	keski- määräinen	sateinen	kuiva	keski- määräinen	sateinen	kuiva	keski- määräinen	sateinen
Mallinnettu nykytila (reaali)	4.06	4.60	5.25	165	164	181	1822	1791	1905	13.1	14.8	16.1
Mallinnettu nykytila (vertailukohta)	4.06	4.60	5.25	165	164	181	2 698	2 667	2 781	17.4	19.1	20.4
VE0	4.22	4.36	4.92	127	131	147	3 109	3 108	3 220	18.2	18.6	19.6
VE1	4.10	4.24	4.79	121	122	142	2 429	2 409	2 600	17.9	18.3	19.3
VE2	4.15	4.30	4.85	124	125	144	2 452	2 433	2 620	18.2	18.6	19.6
VE3	4.13	4.26	4.81	117	119	137	2 333	2 331	2 480	17.9	18.3	19.3
VE4	4.18	4.31	4.87	120	122	139	2 354	2 354	2 501	18.2	18.6	19.6
Muutos nykytila (reaali) vs nykytila (vertailukohta)												
	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	48 %	49 %	46 %	33 %	29 %	27 %
Muutos nykytila (vertailukohta) vs skenaariot												
VE0	4 %	-5 %	-6 %	-23 %	-20 %	-19 %	15 %	17 %	16 %	4 %	-3 %	-4 %
VE1	1 %	-8 %	-9 %	-26 %	-26 %	-22 %	-10 %	-10 %	-7 %	3 %	-4 %	-5 %
VE2	2 %	-7 %	-8 %	-25 %	-24 %	-20 %	-9 %	-9 %	-6 %	4 %	-3 %	-4 %
VE3	2 %	-7 %	-8 %	-29 %	-27 %	-24 %	-14 %	-13 %	-11 %	3 %	-4 %	-5 %
VE4	3 %	-6 %	-7 %	-27 %	-26 %	-23 %	-13 %	-12 %	-10 %	4 %	-3 %	-4 %

Taulukko 13. Sulkavanjärvestä lähtevä kuormitus nykytilassa (reaali = 2014-2019; vertailukohta = reaali + vuosina 2020-2022 kasvanut sulfaatti- ja fluoridikuormitus) ja vaihtoehdossa VE0-VE4.

SULKAVANJÄRVI	Tot P kg/d			Tot N kg/d			SO ₄ kg/d			F kg/d		
	kuiva	keski-määräinen	sateinen	kuiva	keski-määräinen	sateinen	kuiva	keski-määräinen	sateinen	kuiva	keski-määräinen	sateinen
Mitattu lähtevä	2.73	4.56	4.44	129	no data	no data	1901	1541	2032	14	14	18
Mallinnettu nykytila (reaali)	3.36	3.80	4.48	126	133	143	1613	1676	1819	12	14	16
Mallinnettu nykytila (vertailukohta)	3.36	3.80	4.48	126	133	143	2409	2454	2551	16	18	20
VE0	3.30	3.46	4.00	99	104	119	2 774	3 088	2 944	17	17	18
VE1	3.19	3.35	3.88	94	97	115	2 215	2 167	2 427	16	16	18
VE2	3.25	3.41	3.95	97	95	118	2 261	2 204	2 464	17	17	18
VE3	3.21	3.37	3.90	91	95	111	2 126	2 102	2 333	16	16	18
VE4	3.27	3.43	3.98	94	89	114	2 170	2 139	2 369	17	17	18
Muutos nykytila (reaali) vs nykytila (vertailukohta)	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	49 %	46 %	40 %	32 %	28 %	22 %
Muutos nykytila (vertailukohta) vs skenaariot												
VE0	-2 %	-9 %	-11 %	-21 %	-22 %	-17 %	15 %	26 %	15 %	2 %	-6 %	-7 %
VE1	-5 %	-12 %	-13 %	-25 %	-26 %	-20 %	-8 %	-12 %	-5 %	-1 %	-8 %	-9 %
VE2	-3 %	-10 %	-12 %	-23 %	-28 %	-18 %	-6 %	-10 %	-3 %	2 %	-6 %	-7 %
VE3	-5 %	-11 %	-13 %	-28 %	-28 %	-22 %	-12 %	-14 %	-9 %	-1 %	-8 %	-9 %
VE4	-3 %	-10 %	-11 %	-26 %	-33 %	-20 %	-10 %	-13 %	-7 %	2 %	-7 %	-7 %

Taulukko 14. Sulkavanjärven laskennallinen järvipitoisuus (vesimassa on täydellisesti sekoittunut) nykytilassa (reaali = 2014-2019; vertailukohta = reaali + vuosina 2020-2022 kasvanut sulfaatti- ja fluoridikuormitus) ja vaihtoehdossa VE0-VE4.

CSTR-mallin mukainen keskipitoisuus järvessä												
SULKAVANJÄRVI	Tot P µg/l			Tot N µg/l			SO ₄ mg/l			F µg/l		
	kuiva	keski-määräinen	sateinen	kuiva	keski-määräinen	sateinen	kuiva	keski-määräinen	sateinen	kuiva	keski-määräinen	sateinen
Mitattu	27	36	32	1115	no data	no data	17.44	12.47	14.46	128	112	134
Mallinnettu nykytila (reaali)	31	31	32	1141	1062	998	14.99	13.50	13.05	117	112	117
Mallinnettu nykytila (vertailukohta)	31	31	32	1141	1062	998	21.71	19.31	17.70	152	140	146
VE0	29	30	30	889	883	875	25	24	22	150	143	136
VE1	30	30	30	866	857	879	21	19	19	152	145	138
VE2	29	29	29	858	851	872	20	19	19	150	143	136
VE3	30	30	30	835	839	847	20	19	18	152	145	138
VE4	29	29	29	829	833	840	20	19	18	150	143	136
Muutos nykytila (reaali) vs nykytila (vertailukohta)	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	45 %	43 %	36 %	30 %	25 %	25 %
Muutos nykytila (vertailukohta) vs skenaariot												
VE0	-5 %	-4 %	-7 %	-22 %	-17 %	-12 %	16 %	22 %	25 %	-2 %	2 %	-7 %
VE1	-4 %	-3 %	-7 %	-24 %	-19 %	-12 %	-4 %	1 %	7 %	0 %	3 %	-6 %
VE2	-6 %	-5 %	-8 %	-25 %	-20 %	-13 %	-6 %	-1 %	5 %	-1 %	2 %	-7 %
VE3	-4 %	-3 %	-6 %	-27 %	-21 %	-15 %	-8 %	-2 %	2 %	0 %	3 %	-6 %
VE4	-5 %	-4 %	-8 %	-27 %	-22 %	-16 %	-10 %	-4 %	0 %	-2 %	2 %	-7 %

9.3.2 YVA-vaihtoehdot ja vertailu

Hydrologia

YVA-vaihtoehdoissa VE1 ja VE2 Sulkavanjärven valuma-alueella oleva Ansanmäen sivukivialue laajenee 185 hehtaaria ja vaihtoehdoissa VE3 ja VE4 noin 115 hehtaaria. Muutos ei vaikuta Sulkavanjärven valuma-alueen kokoon, sillä Ansanmäen sivukivialue on osa Sulkavanjärven valuma-aluetta. Hankevaihtoehdoissa Ansanmäen suotovesillä korvataan rikastamon raakavedenottoa, mikä pienentää Sulkavanjärveen tulevaa suotovesimäärää, mutta vähentää samassa määrin Sulkavanjärvestä pumpattavan raakaveden määrää. Raakavedeksi pumpataan suotovettä YVA-skenaariosta, vuodenajasta ja säävuodesta riippuen vuonna 2065 keskimäärin 20-25 l/s, mikä pidentää Sulkavanjärven viipymää.

YVA-vaihtoehdoissa VE1 ja VE3 Mustin rikastushiekan laajeneminen Kolmisopen valuma-alueella pienentää myös Sulkavanjärven valuma-aluetta. Tämä vaikuttaa vain vähän Sulkavanjärveen tulevaa virtaamaa pienentävästi ja viipymää pidentävästi. Virtaamien ja viipymän erot nykytilan ja vuotta 2035 tilaa kuvaavan vaihtoehdon VE0 sekä 2065 (VE1-VE4) kuvaavien YVA-skenaarioiden välillä ovat alle 10 %. Vaihtoehdoissa VE1 ja VE3 viipymä pitenee hieman enemmän kuin vaihtoehdoissa VE2 ja VE4.

Fosfori ja fluoriidi

YVA-vaihtoehdoissa VE0-VE4 Sulkavanjärveen tuleva fosfori- ja fluoridikuormitus muuttuu -9 – 4 % nykytilaan (vertailukohta) verrattuna (Taulukko 12). Kaikissa YVA-vaihtoehdoissa fosforikuormitus kasvaa sateisuuden lisääntyessä, ollen sateisena vuotena noin 10 % suurempi kuin kuivana vuotena. Fluoridikuormitus on sateisena vuotena 8 % suurempi kuin kuvana vuonna. YVA-vaihtoehtojen (VE0-VE4) väliset fosfori- ja fluoridikuormituserot samoina säävuosina ovat pieniä: Vaihteluväli fosforilla on 3 % ja fluoridilla 1 %).

Fosforikuormitus on hieman (1-3 %) suurempaa vaihtoehdossa VE0, verrattuna vaihtoehtoihin VE1-VE4. Syynä tähän on kaikissa hankevaihtoehdoissa Ansanmäen suotovesien pumppaaminen rikastamolle raakavedeksi ja vaihtoehdoissa VE1 ja VE3 Mustin rikastushiekka-alueen pohjoisen laajennuksen pienentämä Kolmisopen valuma-alue. Valuma-alueen pieneneminen pienentää valumavesimäärää ja edelleen kuormitusta. Erot ovat kuitenkin kaiken kaikkiaan vaihtoehtojen välillä hyvin pieniä.

Vaihtoehdoissa VE0-VE4 Sulkavanjärven laskennallisessa järvipitoisuudessa havaittavat muutokset fosforin ja fluoridin osalta ovat pieniä nykytilaan (vertailukohta) verrattuna (alle $\pm 10\%$). Fosforipitoisuudet pysyvät samalla tasolla tai laskevat 1-2 $\mu\text{g/l}$ ja fluoridipitoisuudet laskevat tai nousevat hydrologisesti erilaisina vuosina vähäisesti -10 $\mu\text{g/l}$ – +5 $\mu\text{g/l}$ (Taulukko 14). Muutokset johtuvat samoista edellä kuvatuista tekijöistä, jotka vaikuttavat Sulkavanjärven kuormituksen muutoksiin.

Pitoisuuserot kuivan, keskimääräisen ja sateisen vuoden välillä ovat pienehköjä ja niihin vaikuttavat merkittävästi kuormituksen, laimentavien valumavesimäärien ja vesivaraston muutokset.

Typpi ja sulfaatti

Kaikissa vaihtoehdoissa VE0-VE4 typen kuormitus Sulkavanjärveen nykytilaan (vertailukohta) verrattuna pienenee kaikkina säävuosina (Taulukko 12). Vuoteen 2035 mallinnetussa vaihtoehdossa VE0 tämä johtuu läjityksen selvästä pienenemisestä tulevana vuosina. Sulkavanjärveen kohdistuva sulfaattikuormitus sen sijaan kasvaa vaihtoehdossa VE0 nykytilaan (vertailukohta) verrattuna, mikä liittyy Ansanmäen sivukivialueen laajenemiseen ja konservatiiviseen oletukseen Ansanmäen nykyisen sulfaattikuormituksen suurenemiseen tulevana vuosina (Envineer Oy, 2023b).

Vuoden 2035 jälkeen läjitysmäärät Ansanmäkeen kasvavat selvästi ja typpi- ja sulfaattikuormitus Ansanmäen suotovesissä kasvaa. Vuonna 2065 hankevaihtoehdoissa VE1-VE4 typpi- ja sulfaattikuormitus Sulkavanjärveen kuitenkin pienenee nykytilaan ja vaihtoehtoon VE0 nähden. Tämä johtuu siitä, että hankesuunnitelmien mukaan Ansanmäen suotovesiä aloitetaan pumppaamaan raakavedeksi rikastamolle, mikä vähentää merkittävästi Sulkavanjärveen päätyvien suotovesien määrää. Erot hankevaihtoehtojen VE1-VE4 välillä ovat pieniä: Erot vaikutuksessa Sulkavanjärven kuormitukseen ovat alle 5 %.

Sulkavanjärven typen laskennallinen järvipitoisuus on kaikissa vaihtoehdoissa VE0-VE4 800-900 µg/l, mikä on noin 100-300 µg/l pienempi kuin laskennallisesti nykytilassa. Erot vaihtoehtojen ja säävuosien välillä ovat pieniä.

Sulkavanjärven sulfaatin laskennallinen järvipitoisuus nousee noin 4 mg/l vuoteen 2035 vaihtoehdossa VE0. Hankevaihtoehdoissa VE1-VE4 pitoisuus ei käytännössä eroa vaihtoehtojen välillä, ollen säävuodesta riippuen 18-21 mg/l.

Muutokset johtuvat samoista edellä kuvatuista tekijöistä, jotka vaikuttavat Sulkavanjärven kuormituksen muutoksiin. Pitoisuuserot kuivan, keskimääräisen ja sateisen vuoden välillä ovat pienehköjä ja niihin vaikuttavat merkittävästi kuormituksen, laimentavien valumavesimäärien ja vesivaraston muutokset.

Sulkavanjärvestä lähtevä kuormitus

Taulukko (Taulukko 13) on esitetty Sulkavanjärvestä eteenpäin Siilinjokeen lähtevä kuormitus, joka on kaikissa skenaarioissa pienempää kuin järveen tuleva kuormitus. Siilinjokeen lähtevän kuormituksen lisäksi aineita poistuu Sulkavanjärvestä rikastamon raakavedenoton kautta ja fosforia ja typpeä lisäksi pidättyy malliin määritettyjen Sulkavanjärven retentioiden mukaisesti (kohta 7.6). Pienentyminen on hieman suurempaa vaihtoehdossa VE0, sillä siinä raakavettä ei oteta Ansanmäen suotovesistä, vaan kaikki raakavesi otetaan Sulkavanjärvestä.

Erot Sulkavanjärvestä lähtevässä kuormituksessa vaihtoehtojen VE0-VE4 ja nykytilan välillä ovat suhteellisesti samanlaisia kuin Sulkavanjärveen tulevassa kuormituksessa näkyvät muutokset.

9.4 Epävarmuustarkastelu

Simulointi yli 40 vuotta tulevaisuuteen sisältää epävarmuuksia luonnon olosuhteiden, maankäytön ja ihmistoiminnan muutoksista valuma-alueella. Nämä kaikki muutokset vaikuttavat merkittävästi järvien vastaanottaman kuormituksen määrään. **Mallissa on oletettu, että kaikki muut kuormitustekijät paitsi kaivoksen nykyisen luvan mukaiset toiminnot ja YVA-hankkeeseen sisältyvät toiminnot pysyvät nykyhetkestä vuoteen 2065 muuttumattomina.** Myös suomalaisten

järvien mataluudesta ja maan kohoamisesta johtuvaa luontaista sukkessiokehitystä (umpeenkasvua) ei ole mallissa huomioitu.

Hankkeeseen sisältyvien toimintojen tarkka toteutustapa ja ajoittuminen sisältää epävarmuuksia. Näitä epävarmuuksia on pyritty hallitsemaan, arvioimalla toimintojen vaikutus nykyisten suunnitelmien mukaisen vaihteluvälin sisällä suurimmat vaikutukset (mm. suurimmat pinta-alat tai läjitysmäärät) aiheuttavan toteutustavan mukaisesti.

Sulkavanjärven osalta kipsikasan vaikutuksesta on huomioitu vain ns. tehdasalueen ojien kautta nykytilassa tulevat vedet. Kipsikasan suotovesivaikutus on tullut huomioiduksi osana lisäkuormitusta joka Sulkavanjärveen on lisätty ainetaseen tasapainottamisen yhteydessä (kohta 7.5.2), mutta sen tarkkaa osuutta ei ole pystytty erittelemään.

Sivukivialueen kuormituksen kehittymisen arviointi ja huomioiminen mallissa sisältää merkittäviä epävarmuuksia. Nykyinen sulfaatti- ja typpikuormitus Ansanmäen sivukivialueelta on suurta. Meneillään olevat kuormituksen kehittymiseen liittyvät tutkimukset ja seurantahankkeet, antavat arvokasta lisätietoa myöhempien arviointien ja mallinnusten tarkentamiseksi. Epävarmuutta pysytään tässä työssä hallitsemaan huomioimalla kuormituksen kehittyminen suurimman mahdollisen kuormituksen kehityskulun mukaisesti. Tämä johtaa todennäköisesti kuormituksen ja vaikutusten yliarviointiin, mutta sillä voidaan välttää niiden aliarviointia.

CSTR-mallinnus antaa hyvän käsityksen kokonaisvaikutuksesta järveen kohdistuvan kuormituksen tai vesitaseen muuttuessa. CSTR-mallinnus on laskennallinen tapa, jolla merkittäviä lähtöoletuksiin sisältyviä epävarmuuksia voidaan hallita ja epävarmuuksista huolimatta tuottaa käyttökelpoista kvantitatiivista tietoa vaikutustenarvioinnin tueksi.

Lähtöoletuksiin sisältyviä epävarmuuksia on kuvattu erikseen edellä kohdassa 7.7.

10 YHTEENVETO

Mustin rikastuhiekka-alueen laajentuessa pohjoiseen YVA-vaihtoehtoissa VE1 ja VE3, pienenee Kolmisopen valuma-alue n. 35 % nykytilaan verrattuna. Tulovirtaaman pienentyessä Kolmisopen viipymä pitenee 15-30 %, ollen jatkossa 3,3-3,4 kuukautta. Nykyisen luvan mukaisen toiminnan jatkamisella (VE0) sekä vaihtoehdoilla VE2 ja VE4 ei ole vaikutusta Kolmisopen valuma-alueen kokoon tai viipymään.

Valuma-alueen pienentyessä vaihtoehtoissa VE1 ja VE3 Kolmisopen tulokuormitus pienenee 5-15 % fosforin, typen, sulfaatin ja fluoridin osalta. Samaan aikaan suotovesien suhteellinen osuus Kolmisopen tulokuormituksesta kasvaa, johtaen järvestä havaittavien pitoisuuksien nousuun. Pitoisuuksien arvioidaan nousevan fosforin osalta 20-25 %, typen osalta 10-20 %, sulfaatin osalta 20-30 % ja fluoridin osalta 15-20 % nykytilaan verrattuna.

Vaihtoehtoissa VE0, VE2 ja VE4 Kolmisopen kuormituksessa ja keskipitoisuuksissa tapahtuvat muutokset ovat pieniä (<5 %) nykytilaan verrattuna.

Sulkavanjärven osalta YVA-vaihtoehtojen VE1-VE4 vaikutukset järven valuma-alueen kokoon, tulovirtaamaan ja viipymään ovat pieniä. Virtaamien ja viipymän erot nykytilan, sekä vuosia 2035

ja 2065 kuvaavien YVA-skenaarioiden VE0-VE4 välillä ovat sateisuudeltaan erilaisina vuosina alle $\pm 10\%$.

Sulkavanjärven kannalta merkittävin vaikutus kohdistuu Ansanmäen laajenemisen seurauksena sulfaattikuormitukseen vaihtoehdossa VE0. Sulfaattikuormitus Sulkavanjärveen kasvaa mallioletusten mukaan vaihtoehdossa VE0 15-17 % säävuodesta riippuen. Muutos liittyy sulfaattikuormituksen kehittymisen epävarmuuteen, jota hallitaan konservatiivisella oletuksella Ansanmäen nykyisen sulfaattikuormituksen suurenemisesta tulevana vuosina (Envineer Oy, 2023b). Typpikuormituksen arvioidaan pienenevän vaihtoehdossa VE0 Ansanmäen läjitysmäärän pienentyessä tulevana vuosina.

Vaikka sulfaatin ja typen tulokuormitus Sulkavanjärveen kasvaa Ansanmäen sivukivialueen laajentuessa vaihtoehdoissa VE1-VE4, ei kuormitus Sulkavanjärveen suurene. Tämä johtuu YVA:n hankesuunnitelmien sisältämästä Ansanmäen suotovesien pumppaamisesta rikastamolle, korvaamaan Sulkavanjärvestä otettavaa raakavettä. Suotovesien pumppaamisesta johtuen mallinnettu sulfaatti- ja typpikuormitus Sulkavanjärveen pienenee vaihtoehdoissa VE1-VE4.

Pitoisuusmuutokset Sulkavanjärvessä ovat samansuuntaisia kuin kuormituksella. Kaikkien mallinnettujen aineiden osalta erot laskennallisessa järvipitoisuudessa eri hankevaihtoehtojen VE1-VE4 välillä ovat hyvin pieniä.

LÄHTEET

Chapra S. 1975. Comment on "An empirical method of estimating the retention of phosphorus in lakes" by W. B. Kirchner and P. J. Dillon. Water Resour. Res. 11: 1033-1034.

Dnro ISAVI/5663/2021, nro 70/2022. Kolmisopenjoen myllypadon korvaaminen pohjapadolla ja myllyluvan rauettaminen sekä käyttöoikeus, Siilinjärvi.

Envineer Oy, 2023a. Siilinjärven sää- ja ilmastonmuutosmalli, 5.5.2023.

Envineer Oy, 2023b. Siilinjärven kaivoksen vesi- ja ainetasemallinnus

Frisk, T., 1978. Järvien fosforimallit. Tiedotus 146. Vesihallitus, Helsinki. 114 s.

Holopainen, J., Häkkinen, M., Kuittinen, N. ja Nissinen, A., 2020. Yara Siilinjärven rikastushiekaltaan vedenlaatuselvitys. Savonia AMK, Ympäristötekniikka. Projektityö. Julkaisematon. 21 s.

LLR-malli [LakeLoadResponse LLR v2 \(vyh.fi\)](https://vyh.fi/LakeLoadResponse)

Ramboll Finland Oy, 2022. TULE-YVA:n arviointiohjelma



envineer.fi

Liite 1. Kolmisopen mallin lähtötiedot

Osamalli	Id	Mistä	Minne	Matrissi	Tarkennus	Virtaamaa käytetty rakentamisessa / kalibroinnissa	Virtaamaa käytetty verifiointissa	Pinnankorkeus- / tilavuus-aikasarjaa käytetty rakentamisessa / kalibroinnissa	Pinnankorkeus- / tilavuus-aikasarjaa käytetty verifiointissa	Datan lähde	Vesimäärään liittyvää tietoa on käytetty ennustemallin lähtötietona, miten?	Vesimäärään liittyvä lisätieto	Pitoisuutta käytetty rakentamisessa / kalibroinnissa	Pitoisuutta käytetty verifiointissa	Pitoisuusdatan lähde	Pitoisuustietoa on käytetty ennustemallin lähtötietona, miten?	Pitoisuuteen liittyvä lisätieto
1. Kaivoksen vesikierto	K2-K7	"Suotovesivarasto" Mustin rikastushiekka-allas ja Mustin vesiallas	Kolmisoppi	vesi	suotovesi	x				Suotovesien tarkkailutulokset	ks. Lisätietosarake	Kuukausista mitattua virtaamatietoa 2009/2013/2017 lähtien maaliskuulle 2022 asti. Havaintopaikkoja 20 kpl.	x		Suotovesien tarkkailutulokset	ks. Lisätietosarake	K2-K7 kuuluvien tarkkailupisteiden vuosien 2017-2022 havaintojen kuukausikohtaiset keskipitoisuudet (ryhmäkohtaiset keskipitoisuudet).
1. Kaivoksen vesikierto	K20	"Suotovesivarasto"	Kolmisoppi	vesi	suotovesi	x				Laskennallinen	ks. Lisätietosarake	Kolmisopen vesi- ja fluoriditaseeseen perusteella mittaamatta jäävien suotovesien virtaama on 0,025 m3/s (suotovesien kokonaisvirtaaman ollessa 154,4 m3/h, eli 0,043 m3/s).	x		Suotovesien tarkkailutulokset	ks. Lisätietosarake	K2-K7 kuuluvien tarkkailupisteiden vuosien 2017-2022 havaintojen kuukausikohtaiset keskipitoisuudet.
1. Kaivoksen vesikierto	K8	Raasio	Kolmisoppi	vesi	suotovesi	x				Suotovesien tarkkailutulokset	ks. Lisätietosarake	Kuukausista mitattua virtaamatietoa 2009/2013 lähtien maaliskuulle 2022 asti. Havaintopaikkoja 4 kpl	x		Suotovesien tarkkailutulokset	ks. Lisätietosarake	K8 kuuluvien tarkkailupisteiden vuosien 2017-2022 havaintojen kuukausikohtaiset keskipitoisuudet.
3. Ympäristövedet	K1	Osavaluma-alueet 104, 105, 106	Kolmisoppi	vesi	Syrjänjoki	x				Säämalli	ks. Lisätietosarake	Syrjänjoen kautta Kolmisopen tuleva vesimäärä. Ei sisällä suotovesiä.	x		Virtavesitarkkailu	ks. Lisätietosarake	Ennusteiden osalta on käytetty Syrjänpuron 2012-2022 havaintojen kuukausikohtaisia keskipitoisuuksia (S04 ja F). P ja N osalta on käytetty Vemala-kuormituslaskentamallin pelto- ja metsäalueiden ominaiskuormitusarvoja 2013-2022 (Koivusenjoen valuma-alue 04.653).
3. Ympäristövedet	K4	Osavaluma-alue 109	Kolmisoppi	vesi	Perkkijonoja	x				Säämalli	ks. Lisätietosarake	Alueelta 109 tuleva vesimäärä. Ei sisällä suotovesiä.	x		Virtavesitarkkailu / Vemala-kuormitusmalli	ks. Lisätietosarake	Ennusteiden osalta on käytetty Syrjänpuron 2012-2022 havaintojen kuukausikohtaisia keskipitoisuuksia (S04 ja F). P ja N osalta on käytetty Vemala-kuormituslaskentamallin pelto- ja metsäalueiden ominaiskuormitusarvoja 2013-2022 (Koivusenjoen valuma-alue 04.653).
3. Ympäristövedet	K5	Osavaluma-alue 110	Kolmisoppi	vesi	Rötikönpuro	x				Säämalli	ks. Lisätietosarake	Alueelta 110 tuleva vesimäärä. Ei sisällä suotovesiä.	x		Virtavesitarkkailu / Vemala-kuormitusmalli	ks. Lisätietosarake	Ennusteiden osalta on käytetty Syrjänpuron 2012-2022 havaintojen kuukausikohtaisia keskipitoisuuksia (S04 ja F). P ja N osalta on käytetty Vemala-kuormituslaskentamallin pelto- ja metsäalueiden ominaiskuormitusarvoja 2013-2022 (Koivusenjoen valuma-alue 04.653).
3. Ympäristövedet	K9	Osavaluma-alue 103	Kolmisoppi	vesi	lähivaluma-alue	x				Säämalli	ks. Lisätietosarake	Alueelta 103 tuleva vesimäärä. Ei sisällä suotovesiä.	x		Virtavesitarkkailu / Vemala-kuormitusmalli	ks. Lisätietosarake	Ennusteiden osalta on käytetty Syrjänpuron 2012-2022 havaintojen kuukausikohtaisia keskipitoisuuksia (S04 ja F). P ja N osalta on käytetty Vemala-kuormituslaskentamallin pelto- ja metsäalueiden ominaiskuormitusarvoja 2013-2022 (Koivusenjoen valuma-alue 04.653).
3. Ympäristövedet	Kolmisoppi			vesi	vapaa vesitilavuus			x		Jatkuvatoiminen pinnankorkeuden mittaus			x				
3. Ympäristövedet	K10	Kolmisoppi	Sulkavanjärvi	vesi	Kolmisopenjoki	x				Jatkuvatoiminen virtaaman mittaus	ks. Lisätietosarake		x		Virtavesitarkkailu	ks. Lisätietosarake	Ennustemalleissa lähtöarvona käytetty Kolmisopenjoen vuosien 2019-2022 lokakuun havaintokertojen keskipitoisuuksia muutoin paitsi fosforin osalta käytetty 1.10.2018 havaintotulosta.
3. Ympäristövedet	K11	Sadanta	Kolmisoppi	vesi		x				Säämalli	ks. Lisätietosarake	Sadanta vesipinta-alalle					
3. Ympäristövedet	K12	Haihdunta		vesi		x				Säämalli	ks. Lisätietosarake	Haihdunta vesipinta-alalta. Vesistömallijärjestelmä, simuloituidut arvot (04.651), 1.1.1989-27.11.2022 (kk-keskiarvot).					

Liite 2. Sulkavanjärven mallin lähtötiedot

Osamalli	Id	Mistä	Minne	Matriisi	Tarkennus	Virtaamaa käytetty rakentamisessa / kalibroinnissa	Virtaamaa käytetty verifiointissa	Pinnankorkeus- / tilavuus-aikasarjaa käytetty rakentamisessa / kalibroinnissa	Pinnankorkeus- / tilavuus-aikasarjaa käytetty verifiointissa	Datan lähde	Vesimäärään liittyvä tieto on käytetty ennustemallin lähtötietona, miten?	Vesimäärään liittyvä lisätieto	Pitoisuutta käytetty rakentamisessa / kalibroinnissa	Pitoisuutta käytetty verifiointissa	Pitoisuudatan lähde	Pitoisuustietoa on käytetty ennustemallin lähtötietona, miten?	Pitoisuuteen liittyvä lisätieto
1. Kaivoksen vesikierto	W1	Sulkavanjärvi	Rikastamo	vesi	Raakavesi	x				Yaran automaatio-järjestelmä		Raakavedenotto pysyy ennustemallissa vakio-arvona 250 m3/h (mediaani 1.11.2019-29.9.2021), eikä se riipu malmituotannon määrästä. Normaalitylanteessa raakavettä käytetään rikastamolla n.200-300 m3/h.					
2. Sivukivaluemalli	W102	Ansanmäen sivukivalue, Ansanmäenpuro	Sulkavanjärvi	vesi	Suotovesi	x				Sivukivaluemalli			x		Sivukivaluemalli		
3. Ympäristövedet	K10	Kolmisoppi	Sulkavanjärvi	vesi	Kolmisoppenjoki	x				Kolmisoppimalli			x		Kolmisoppimalli		
3. Ympäristövedet	K30	Osavaluma-alue 101, 102, 107, 108	Sulkavanjärvi	vesi	Koivusenjoki	x				Säämalli	ks. Lisätietosarake	Alueita 101, 102, 107 ja 108 kertyvä vesimäärä.	x		Virtavesitarkkailu / Vemala-kuormitusmalli	ks. Lisätieto-sarake	Ennusteiden osalta on käytetty Syrjänpuron 2012-2022 havaintojen kuukausikohtaisia keskipitoisuuksia (S04 ja F). P ja W osalta on käytetty Vemala-kuormituslaskentamallin petto- ja metsäalueiden ominaiskuormitusarvoja 2013-2022 (Koivusenjoen valuma-alue 04.653).
3. Ympäristövedet	K31	Pöljänjoki	Sulkavanjärvi	vesi		x				Säämalli			x		Virtavesitarkkailu /Hertta	ks. Lisätieto-sarake	Ennusteiden osalta on käytetty Pöljänjoki 17-havaintopaikan vuosien 2000-2022 havaintojen kuukausikohtaisia keskipitoisuuksia.
3. Ympäristövedet	K32	lähivaluma-alue	Sulkavanjärvi	vesi		x				Säämalli			x		Virtavesitarkkailu / Vemala-kuormitusmalli	ks. Lisätieto-sarake	Ennusteiden osalta on käytetty Syrjänpuron 2012-2022 havaintojen kuukausikohtaisia keskipitoisuuksia (S04 ja F). P ja W osalta on käytetty Vemala-kuormituslaskentamallin petto- ja metsäalueiden ominaiskuormitusarvoja 2013-2022 (Koivusenjoen valuma-alue 04.653).
3. Ympäristövedet	K33	Oja Pirttilahteen (OPL)	Sulkavanjärvi	vesi	Ympäristöön johtamiskelpoinen vesi rikastamon ympäristöstä	x				Tehdasalueen ojen tarkkailu	ks. Lisätietosarake	30.9.2010-20.10.2022 havaintotulokset ja ennusteiden osalta havaintojen kuukausikohtaiset keskivirtaamat	x		Tehdasalueen ojen tarkkailu	ks. Lisätieto-sarake	30.9.2010-20.10.2022 havaitut ja ennusteiden osalta 2020-2022 havaintojen kuukausikohtaiset keskipitoisuudet
3. Ympäristövedet	K34	Sulkavan oja (S0)	Sulkavanjärvi	vesi	Ympäristöön johtamiskelpoinen vesi Laukansalon alueelta	x				Jatkuvatoiminen virtaaman mittaus	ks. Lisätietosarake	26.9.2010-25.10.2022 havaitut virtaamat ja ennusteiden osalta havaintojen kuukausikohtaiset keskivirtaamat.	x		Tehdasalueen ojen tarkkailu	ks. Lisätieto-sarake	26.9.2010-25.10.2022 havaitut ja ennusteiden osalta 2020-2022 havaintojen kuukausikohtaiset keskipitoisuudet
3. Ympäristövedet	K35	Oulunlammesta lähtevä oja (Oulu1)	Sulkavanjärvi	vesi	Ympäristöön johtamiskelpoinen vesi	x				Tehdasalueen ojen tarkkailu	ks. Lisätietosarake	28.9.2010-19.10.2022 havaitut virtaamat ja ennusteiden osalta havaintojen kuukausikohtaiset keskivirtaamat	x		Tehdasalueen ojen tarkkailu	ks. Lisätieto-sarake	28.9.2010-19.10.2022 havaintuja ennusteiden osalta 2020-2022 havaintojen kuukausikohtaiset keskipitoisuudet
3. Ympäristövedet	K36	Sadanta	Sulkavanjärvi	vesi	Sadanta vesipinta-alalle	x				Säämalli							
3. Ympäristövedet	K37	Haihdunta		vesi	Haihdunta vesipinta-alalta	x				Säämalli		Mallinnuksessa vesiala sisältää Sulkavanjärven, Pieni-Sulkavan, Tuuli-Koivusen ja Tuuli-Koivusen alapuolisen Koivusenjoen (355 ha).					
3. Ympäristövedet	Sulkavanjärvi			vesi	Vapaa vesitilavuus			x		Jatkuvatoiminen pinnankorkeuden mittaus	ks. Lisätietosarake	Käytetty viiden päivän liukuvaa keskiarvoa	x		Hertta	ks. Lisätieto-sarake	Ennustemallien lähtöarvona käytetty Pieni-Sulkava 20 havaintopaikan päällysyden vuosien 2019-2022 lokakuun havaintokertojen keskipitoisuutta.
3. Ympäristövedet	K40	Sulkavanjärvi	Sillinjoki	vesi		x				Laskettu	ks. Lisätietosarake	Kokonaistulovirtaama-(haihdunta + rikastamolle johdettava raakavesi + varaston muutos).					



Selite

 Suotovesi_naytteenottopisteet_2017