



YARA SUOMI OY, YARA SIILIJÄRVI

Vesienkäsittelyn tehostamisen teknistaloudellinen selvitys

Yara Suomi Oy, Yara Siilinjärvi

Hanna Lampinen

Erika Rova

Envineer Oy

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

etunimi.sukunimi@envineer.fi

www.envineer.fi

Y-tunnus: 2850396-1

Projektinnumero: 12890

Kannen valokuva, Sanna Sopanen 11.8.2020

Sisältö

1	Johdanto	6
2	Yleiskuvaus toiminnasta	7
2.1	Sijainti	7
2.2	Yleiskuvaus	9
3	Kaivoksen vesien johtaminen ja vesitase	10
4	Vesienkäsittely	12
5	Vesienkäsittelyn tehostamisen toimenpiteet	12
5.1	Saostuskemikaalin vaihto kloridipohjaiseen Sikopuron allaspuhdistamolla (VT1)	12
5.1.1	Nykytila	12
5.1.2	Toimenpidevaihtoehdon kuvaus	14
5.2	Sikopuron allaspuhdistamon korvaaminen Actiflo-laitoksella	14
5.2.1	Toimenpidevaihtoehdon kuvaus	14
5.3	Vesienkäsittelymenetelmien vertailu BAT-tekniikoihin	16
5.4	Rikkihapon korvaaminen rikastamolla (VT2)	17
5.4.1	Nykytila	17
5.4.2	Toimenpidevaihtoehdon kuvaus	18
5.5	Mustin rikastushiekka-alueen Länsipadon suotovesien kerääminen ja ohjaaminen kaivoksen sisäiseen vesikiertoon (VT3)	18
5.5.1	Nykytila	18
5.5.2	Toimenpidevaihtoehdon kuvaus	24
5.6	Ansamäen sivukivialueen suotovesien käyttö rikastamolla raakavetenä (VT4)	25
5.6.1	Nykytila	25
5.6.2	Toimenpidevaihtoehdon kuvaus	27
5.7	Räjähdyksineen reseptiikan optimointi	29
5.7.1	Nykytila	29
5.7.2	Toimenpidevaihtoehdon kuvaus	29
6	Taloudellisuustarkastelu	31
6.1	Saostuskemikaalin vaihto kloridipohjaiseen Sikopuron allaspuhdistamolla (VT1)	31
6.2	Sikopuron allaspuhdistamon korvaaminen Actiflo-laitoksella	31
6.3	Rikkihapon korvaaminen rikastamolla (VT2)	31

6.4	Mustin rikastushiekka-alueen Länsipadon suotovesien kerääminen ja ohjaaminen kaivoksen sisäiseen vesikiertoon (VT3).....	31
6.5	Ansanmäen sivukivialueen käyttö rikastamolla raakavetenä (VT4).....	31
6.6	Räjähdyksineen reseptiikan optimointi	31
7	Vesi- ja ainetaseen skenaariokuvaukset.....	32
8	Kolmisopen, Kuuslahden ja Sulkavanjärven mallinnus ja vaikutusten arvioinnit.....	33
8.1	CSTR-mallinnus	33
8.2	Leviämismallinnukset	34
9	Teknitaloudellisen selvityksen toimenpidekohtaiset vaikuttavuuden kuvaukset.....	35
9.1	Saostuskemikaalin vaihto kloridipohjaiseen Sikopuron allaspuhdistamolla (VT1)	35
9.2	Sikopuron allaspuhdistamon korvaaminen Actiflo-laitoksella	36
9.3	Rikkihapon korvaaminen rikastamolla (VT2).....	36
9.4	Mustin rikastushiekka-alueen Länsipadon suotovesien kerääminen ja ohjaaminen kaivoksen sisäiseen vesikiertoon (VT3).....	36
9.5	Ansanmäen sivukivialueen suotovesien käyttö rikastamolla raakavetenä (VT4).....	37
9.6	Räjähdyksineen reseptiikan optimointi	38
9.7	Yhteenveto tehostamistoimenpiteiden vaikutuksista.....	38

Liitteet

- Liite 1** Siilinjärven kaivoksen vesi- ja ainetasemallinnus. 29.10.2025.
- Liite 2** Kuuslahden 3D-virtaus- ja kulkeutumismallinnus sekä vaikutustenarviointi. 29.10.2025
- Liite 3** Kolmisopen ja Sulkavanjärven vesistövaikutusten arviointi. 29.10.2025
- Liite 4** Saostuskokeiden raportti (Salassapidettävä JulkL 24.1 § 20 kohta)
- Liite 5** Tuote-esitys PAX-XL100
- Liite 6** Vesien johtaminen Ansamäenpuro - rantapumppaamo

1 Johdanto

Tässä selvityksessä on tarkasteltu Yara Suomi Oy:n Siilinjärven kaivostoimintojen vesienkäsittelyn tehostamista ja toimenpiteiden vaikuttavuutta Kolmisopen, Sulkavanjärven ja Kuuslahden tilaan.

Itä-Suomen aluehallintovirasto on myöntänyt 22.6.2021 ympäristöluvan Nro 74/2021 Yara Suomi Oy:lle toiminnan olennaiselle muuttamiselle koskien kaivoksen toimintaa ja vesitalousluvan Jaakonlammen kuivattamiseksi (Dnro ISAVI/1499/2019). Päätöksestä valitettiin ja lupa tuli lainvoimaiseksi Vaasan hallinto-oikeuden 26.9.2023 myöntämällä päätöksellä nro 1210/2023.

Ympäristölupapäätöksessä 74/2021 on vesiin ja vesistöön liittyviä erillisselvitysvelvoitteita lupamääräyksessä 44 a.

44 a. Luvan saajan on laadittava Siilinjärven kaivoksen vesitaseen hallitsemiseksi sekä käsiteltyjen jätevesien vesistöön johtamisesta aiheutuvien haittojen vähentämiseksi seuraavat selvitykset ja niiden pohjalta tehdyt toimenpide-esitykset aikatauluineen ja toimitettava ne aluehallintovirastolle mainittuina ajankohtina tämän päätöksen lainvoimaiseksi tulemisesta:

- vesitaseselvitys, jossa huomioidaan riittävän vesivarastotilavuuden ja vesien käsittelykapasiteetin varmistaminen myös runsassateisina vuosina ja Jaakonlammen poistumisen vaikutukset (vuoden kuluessa),*
- selvitys ja toimenpide-esitys kiintoaineen ja fosforin poiston tehostamisesta Sikopuron allaspuhdistamolla vesistöön johdettavaa sulfaattikuormitusta kasvattamatta (vuoden kuluessa),*
- selvitys ja toimenpide-esitys pastalaitoksen ylitevesien käsittelyn tehostamisesta (vuoden kuluessa),*
- selvitys sivukivialueiden ja rikastushiekka-alueiden fosfori-, typpi- ja sulfaattikuormituspotentiaalista ja sen pitkäaikaisesta kehityksestä (kahden vuoden kuluessa),*
- kaivostoimintojen vesienkäsittelyn tehostamisen teknistaloudellinen selvitys ja arvio tarkasteltujen toimenpiteiden vaikuttavuudesta Sulkavanjärven ja Kuuslahden vesimuodostumien tilaan keskittyen erityisesti sivukivialueiden ja louhosveden typpi- ja fosforikuorman sekä rikastushiekka-alueiden sulfaattikuorman vähentämiseen (kahden vuoden kuluessa).*
- selvitys Sikopuron puhdistamon kemikaalisuorituksen ohjaamisen muuttamiseksi perustumaan jatkuvatoimiseen vedenlaadun mittaamiseen*

Selvitysten perusteella aluehallintovirasto voi muuttaa käsiteltyjen jätevesien johtamismääriä ja päästöjä koskevia raja-arvoja sekä muita vesienhallintaa ja haittojen lieventämistä koskevia määräyksiä.

Tässä raportissa on esitetty yllä olevista selvityksistä:

– kaivostoimintojen vesienkäsittelyn tehostamisen teknistaloudellinen selvitys ja arvio tarkasteltujen toimenpiteiden vaikuttavuudesta Sulkavanjärven ja Kuuslahden vesimuodostumien tilaan keskittyen erityisesti sivukivialueiden ja louhosveden typpi- ja fosforikuorman sekä rikastushiekka-alueiden sulfaattikuorman vähentämiseen (kahden vuoden kuluessa).

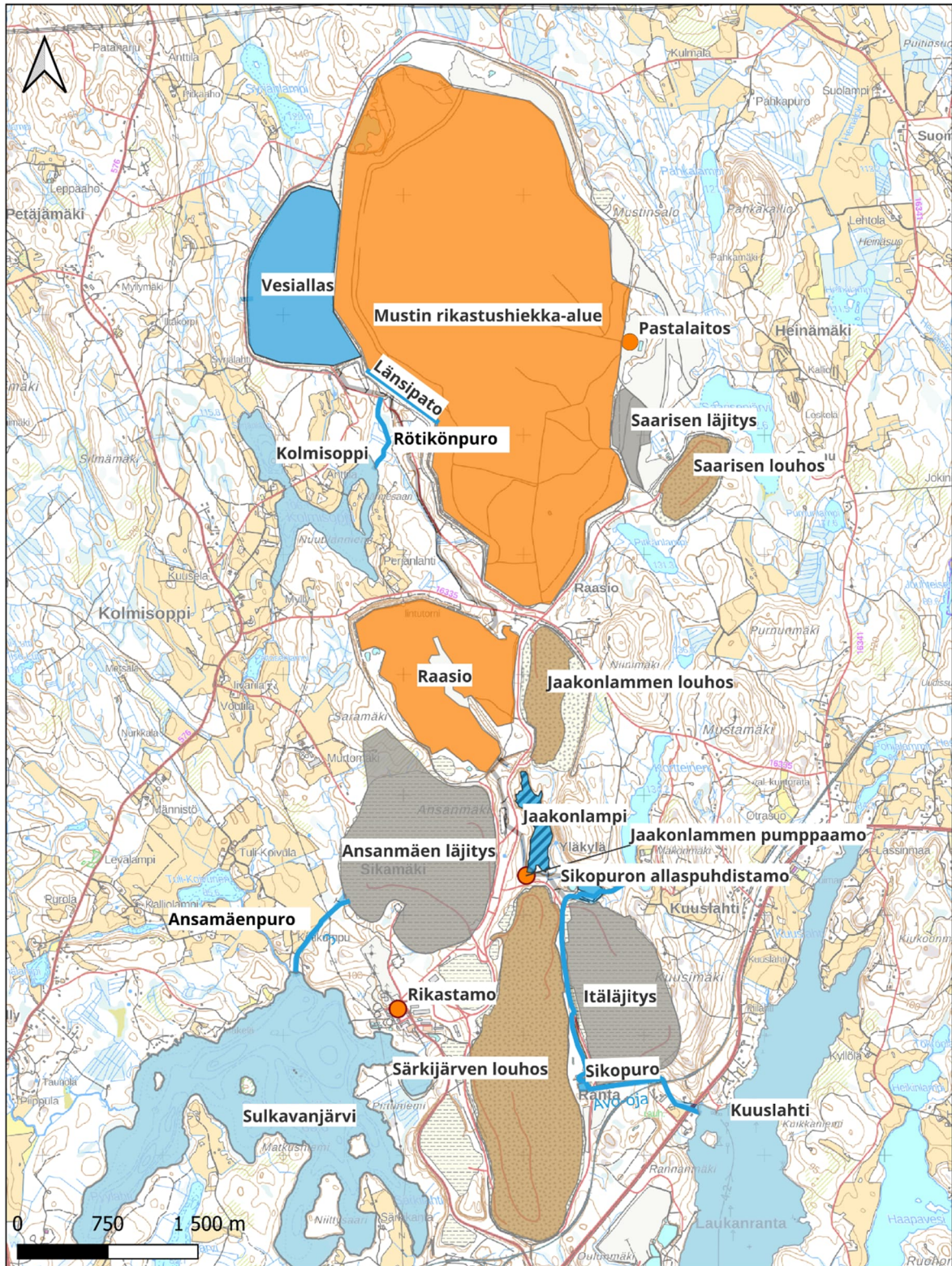
Selvityksessä keskitytään erityisesti sivukivialueiden ja louhosveden typpi- ja fosforikuorman sekä rikastushiekka-alueiden sulfaattikuorman vähentämiseen. Selvitykseen on sisällytetty seuraavien toimenpiteiden kuvaus sekä tekninen ja taloudellinen tarkastelu: saostuskemikaalin vaihto kloridipohjaiseen Sikopuron allaspuhdistamolla, rikkihapon korvaaminen rikastamalla, rikastushiekka-alueen suotovesien osittainen kerääminen ja altaaseen takaisin pumppaus sekä Ansanmäen sivukivialueen suotovesien kääntäminen rikastamolle. Sikopuron allaspuhdistamon korvaamisesta Actiflo-laitoksella ja räjäytysaineen käytön optimointista on selvityksessä tekniset kuvaukset. Nämä toimenpiteet ja ensin mainittujen vaikutuksista kaivoksen vesikuormitukseen on esitetty yksityiskohtaisemmin luvussa 5. Toimenpiteiden vaikutukset kaivoksen vesi- ja ainetaseeseen ja kuormitukseen sekä Kolmisoppeen selvitetään GoldSim-mallilla ja vaikutukset Sulkavanjärven GoldSim- ja EEMS-mallilla sekä Kuuslahteen EEMS-mallilla. Mallinnusten ja vaikutusarviointien raportit on esitetty selvityksen **liitteissä 1–6**.


2 Yleiskuvaus toiminnasta

2.1 SIJAINTI

Yaran Siilinjärven toimipaikka sijaitsee Kuuslahden kylässä, noin 3 kilometrin etäisyydellä Siilinjärven kylältä koilliseen.

Kaivos- ja tehdasalue on noin 4 000 hehtaarin laajuinen Yaran omistuksessa oleva alue. Tehdasalue sijaitsee toimipaikan kaakkois-/eteläosassa, kantatien 75 (Nilsiantie) ja Juurusveden Laukanrannan välissä. Särkijärven, Saarisen ja Jaakonlammen louhokset, rikastamo sekä kipsin ja sivukiven läjitysalueet sijaitsevat Nilsiantien pohjoispuolella. Kipsin läjitysalueen pohjoispuolelta ja nykyisten louhosten etelä- ja itäpuolelta kulkee rautatie Joensuuhun sekä Savon radan suuntaan. Raasion ja Mustin rikastushiekan läjitysalueet sijaitsevat alueen pohjoisosassa. Alla olevassa kuvassa (Kuva 1) on esitetty kaivosalueen keskeiset toiminnot.



 © MML Maastokartta 2025
 Laatija: JoJ / Enveener Oy
 ENVEENER Pvm. 30.9.2025

Kuva 1. Kaivoksen keskeisten kohteiden sijainti.

2.2 YLEISKUVAUS

Siilinjärven tehtaiden yhteydessä toimii EU-alueen ainoa fosfaattikaivos. Avolouhoksista saatavasta malmista rikastetaan apatiittia, josta saadaan fosforia lannoitteiden ja rehufosfaattien raaka-aineeksi. Siilinjärvellä on kolme louhosta: Särkijärven päälouhos, Saarisen louhos ja Jaakonlammen louhos. Toimipaikalla on kaivoksen lisäksi lannoitetehtas, fosforihappotehtas, typpihappotehtas ja rikkihappotehtas.

Malmi sisältää apatiittimineraalia 10 % ja karbonaattimineraaleja noin 20 %. Louhittu malmi murskataan kolmessa vaiheessa alle 20 mm:n kokoon. Murskauksen jälkeen malmimurske siirretään tasausvarastoon homogenisoitavaksi. Tasausvarastosta malmimurske syötetään kahdelle jauhatuslinjalle ja hienonnetaan vesilietteestä tanko- ja kuulamylyissä, joilla mineraalit saadaan omiksi partikkeleikseen vaahdotusta varten. Apatiittimineraali erotetaan muista mineraaleista vaahdottamalla. Karbonaattimineraalit voidaan tarvittaessa vaahdottaa omaksi rikasteeksi. Tuotteiden veden poisto tehdään sakeuttamalla ja suodattamalla. Rikasteet siirretään tuotevarastoon, josta ne toimitetaan tehtaiden puolelle käytettäväksi fosforihappo- ja lannoitetehtailla tai apatiitin kuivauslaitoksella, jossa se kuivataan ja toimitetaan junavaunuilla toimipaikan ulkopuolelle.

Vaahdotuksessa jäljelle jäänyt rikastushiekka johdetaan vedenpoistosyklonien ja välisakeutuksen kautta pumppaamalla vuoden 2017 alussa käyttöön otetulle pastalaitokselle ja edelleen Mustin rikastushiekka-alueelle. Malmin rikastuksessa käytettävät kemikaalit koostuvat lietteen pH:n säätökemikaaleista, mineraalien kokoojakemikaaleista, vaahdonmuodostajista sekä erityyppisistä apukemikaaleista.

3 Kaivoksen vesien johtaminen ja vesitase

Kaivoksen prosessivesijärjestelmä perustuu suurelta osin rikastushiekka-alueiden ja vesivarastoaltaiden kautta kiertävän veden käyttöön. Prosessin raakavesi hankitaan Sulkavanjärvestä (noin 200–300 m³/h, Envineer 2023b) ja käytetään prosessin sellaisissa vaiheissa, joissa tarvitaan alhaisen kiintoainepitoisuuden omaavia vesiä. Lupapäätöksen ISAVI/1194/2015 lupamääräyksen 60 mukaisesti Sulkavanjärvestä saa ottaa vettä enintään 12 000 m³/d puolivuosiskeskiarvona laskettuna ja tilapäisesti enintään kahden viikon ajan 30 000 m³/d ajanjakson keskiarvona, kuitenkin niin, että vedenotto ei saa ylittää puolivuosiskeskiarvolle asetettua rajaa. Prosessista vedet ohjautuvat kaivoksen sisäiseen vesikiertoon, josta ylimääräinen vesi käsitellään Sikopuron allaspuhdistamolla.

Pastalaitoksen käyttövesi (30–60 m³/h) otetaan pumpaamalla Raasion altaasta. Jaakonlammen prosessivesiallas on poistunut käytöstä alkuvuonna 2025 ja tämän vaikutus on tarkasteltu erikseen vesitaseselvityksessä (**liite 1**). Aiemmin Jaakonlammen prosessivesialtaasta, nykyisin Raasion altaasta on viime vuosina johdettu Sikopuron allaspuhdistamolle 4,7–6,2 milj. m³/a vettä ja otettu prosessiin 6–7 milj. m³/a vettä (keskimäärin noin 700–800 m³/h). Sikopuroon johdettavan vesimäärän kuukausikeskiarvo on viimeisten 10 vuoden aikana ollut 0–26 237 m³/d. Voimassa olevan ympäristöluvan mukaisesti Sikopuroon voidaan maksimissaan johtaa vesiä 35 000 m³/d puolivuotiseskiarvoksi laskettuna. Altainen pohjalle kertyneen kiintoaineen poiston aikana vesien johtaminen Sikopuroon voi olla kokonaan pysähdyksissä tai niitä voidaan johtaa tarvittaessa toisen allaslohkon kautta pieniä määriä Sikopuroon. Sikopuroon johdettavien vesien määrässä esiintyy merkittävää vaihtelua kuukausien välillä ja vesimäärään vaikuttaa merkittävästi kaivosalueen sadanta- ja sulamisvesimäärät. (Envineer 2025b)

Rikastamon prosessivedet pumpataan rikastushiekan kantoaineena pastalaitokselle ja sieltä edelleen sakeutetun rikastushiekan mukana tai sakeuttimien ylitevesinä Mustin rikastushiekka-alueelle, jonne rikastushiekka läjittyy. Mustin rikastushiekka-alueelta hiekasta erottunut vesi ja alueelle kerääntyneet sade- ja sulamisvedet sekä sinne Saarisen avolouhokselta ajoittain pumpattu vesi ohjataan ylivuotorakenteen kautta painovoimaisesti rikastushiekka-alueen länsipuoleiseen Vesialtaaseen, josta ne pumpataan Raasion altaaseen. Raasion altaasta vedet valuvat ennen alueen eteläreunaan ja sieltä padossa olevan säädettävän juoksutusrakenteen kautta Jaakonlampeen, josta ne palautettiin rikastamolle ja osa Sikopuron allaspuhdistamolle. Alkuvuodesta 2025 Jaakonlampi poistui rikastamon vesikierrosta, kun rikastamon vedenotto ja vesien ohjaaminen Sikopuron allaspuhdistamolle siirrettiin Raasion altaaseen. Raasion altaasta vedet johdetaan rikastamolle edelleen Jaakonlammen pumpaamon kautta. Samassa yhteydessä aloitettiin Jaakonlammen tyhjennyspumppaus Raasion altaaseen nykyisen ympäristöluvan mukaisesti. Sikopuron allaspuhdistamolle johdettava vesitaseen ylijäämävesi käsitellään ennen Kuuslahteen johtavaan Sikopuroon laskemista.

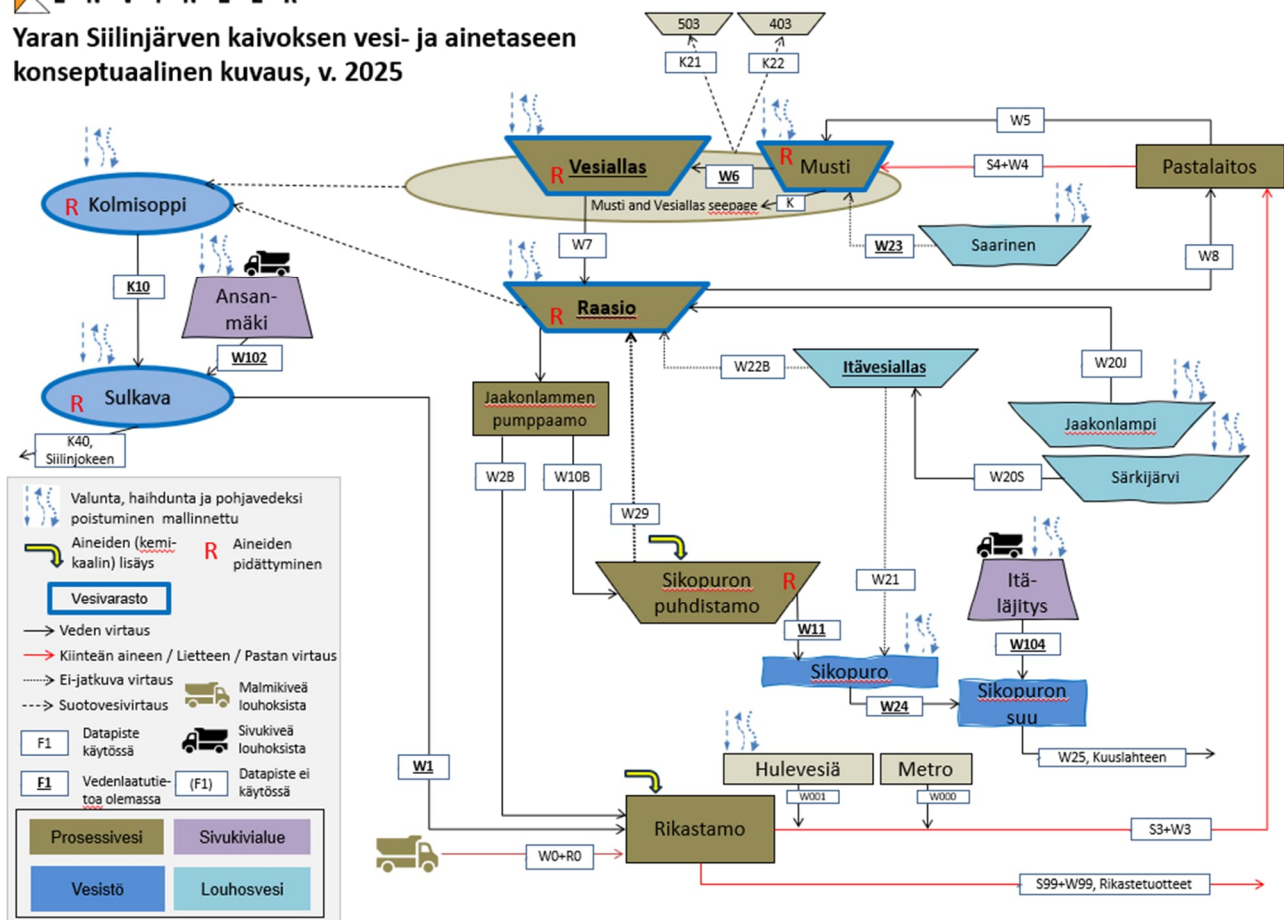
Mustin ja Raasion rikastushiekka-alueiden sekä vesialtaan padot ovat joko homogeenisia moreenipatoja tai vyöhykepatoja (1-luokan patoja). Lisäksi Jaakonlammella sekä Sikopuron altaalla on 3-luokan padoiksi luokiteltavia rakenteita.

Särkijärven avolouhoksen kuivatusvedet johdetaan itävesialtaan kautta Sikopuroon ja Jaakonlammien avolouhoksen kuivatusvedet johdetaan Raasion altaan kautta Sikopuron allaspuhdistamolle ja edelleen Sikopuroon ja tarkkailupisteiden kautta Kuuslahteen. Tarvittaessa (esim. veden kiintoainepitoisuuden noustessa luparajan yli) Särkijärven kuivatusvedet ohjataan kaivoksen ja rikastamon vesikiertoon ja edelleen kemialliseen käsittelyyn.

Rikastamoalueen piha-, tuotteiden varastointi- ja lastaus sekä varastosäiliöalueilta kerätään kiintoainetta tai muita epäpuhtauksia sisältävät valumavedet hiekan- ja öljynerotuskaivojen kautta keräilyaltaisiin ja niistä rikastamon prosessivesikiertoon. Rikastamon piha-alueiden puhtaat valumavedet kerätään sadevesikaivojen kautta keräilyaltaisiin. Keräilyaltaista vedet johdetaan tarkkailupisteen kautta Sulkavanjärven Pirttilahteen. Särkijärven louhoksen länsipuolen ja louhoksen allianssitoimintojen alueen sekä päällystämättömien apualueiden valumavedet johdetaan samaa reittiä tarkkailupisteen kautta Sulkavanjärven Pirttilahteen. Kaivoksen vesikierto on esitetty kuvassa (Kuva 2).



Yaran Siilinjärven kaivoksen vesi- ja ainetaseen konseptuaalinen kuvaus, v. 2025



Kuva 2. Kaivoksen vesikierto. Kuvassa 1 on esitetty toimintojen sijainnit kartalla.

4 Vesienkäsittely

Kaivoksen sisäiseen vesikiertoon muodostuva ylimääräinen vesi ohjataan Sikopuron altaalle, jossa se käsitellään ennen Kuuslahteen johtavaan Sikopuroon laskemista.

Kaivosalueelta ulos pumpattavan veden kiintoainepitoisuus lasketaan ympäristöluvan vaatimusten edellyttämälle tasolle flokkaamalla kiintoaineet ferrisulfaattilla sekä polymeeripohjaisella flokkulantilla. Ferrisulfaatti ja flokkulantti lisätään veteen Jaakonlammen pumppaamalla ennen vesien pumppausta Sikopuron altaalle. Allaspuhdistamon kiintoaineen puhdistusteho on normaalitilanteessa 85–97 % ja se soveltuu myös aiempaa kiintoainepitoisemman veden käsittelyyn. Prosessista ulos johdetun veden pH on tasolla 7,5–8,5. Merkittävä osa fosforista on sitoutunut kiintoaineeseen ja näin ollen kiintoaineen poisto vähentää myös vesien fosforipitoisuutta. (Ramboll Finland Oy, 2024.)

5 Vesienkäsittelyn tehostamisen toimenpiteet

Seuraavissa luvuissa kuvataan tässä selvityksessä tarkastellut toimenpidevaihtoehdot vesienkäsittelyn tehostamiseksi.

5.1 SAOSTUSKEMIKAALIN VAIHTO KLORIDIPOHJAISEEN SIKOPURON ALLASPUHDISTAMOLLA (VT1)

5.1.1 NYKYTILA

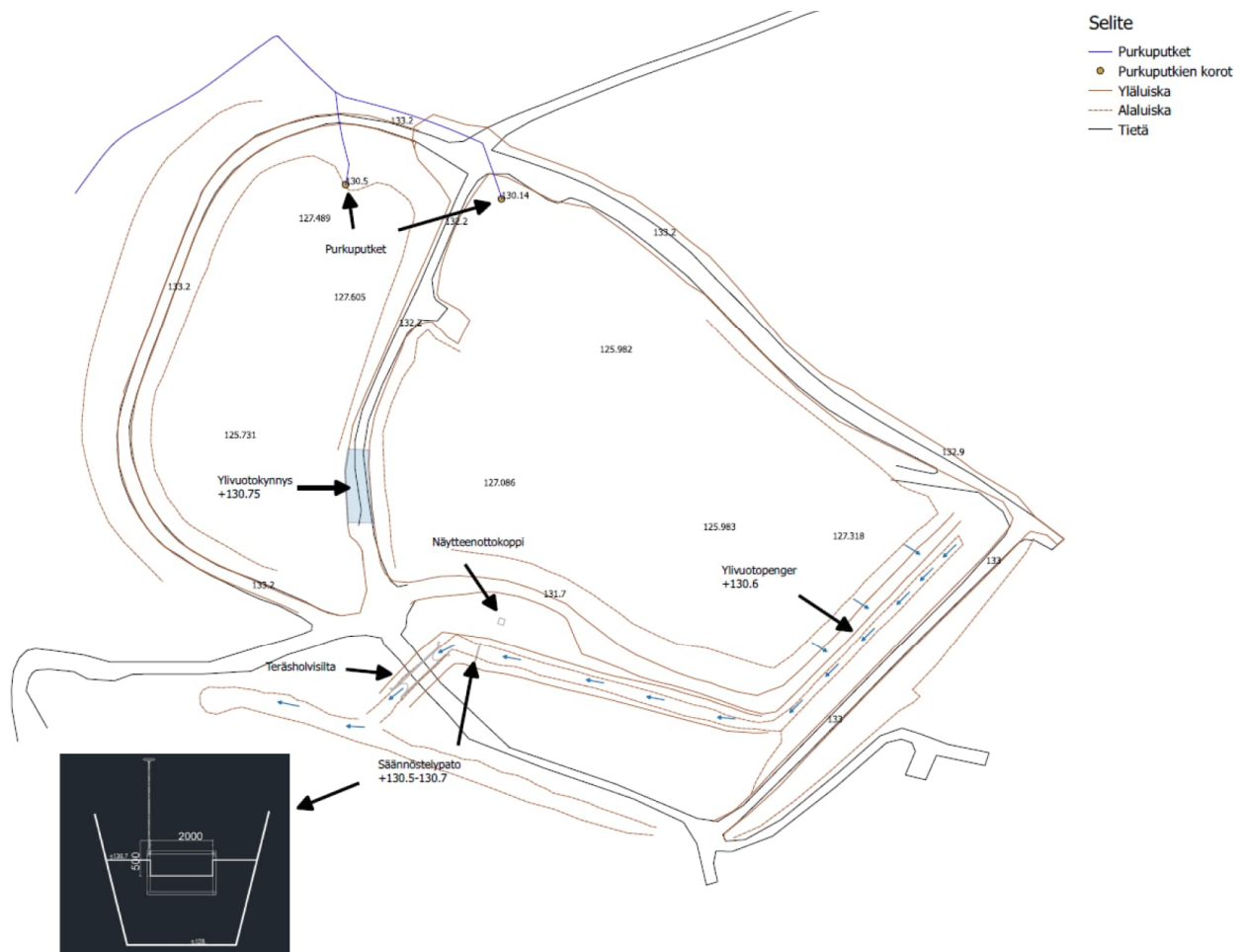
Sikopuron allaspuhdistamolla käsitellään kaivoksen sisäisessä vesikierrrossa muodostunut ylimääräinen vesi kemiallisesti saostamalla ja laskeuttamalla. Kemiallisessa saostuksessa käytetään tällä hetkellä koagulanttia (ferrisulfaatti PIX-105A) fosforin ja kiintoaineen saostamiseen ja flokkulanttia/polymeeriä (Kemira Superfloc A105) tehostamaan flokin muodostumista ja laskeutumista. Kemikaalit lisätään veteen Jaakonlammen pumppaamalla Sikopuron altaalle menevään paineputkeen.

Sikopuron allaspuhdistamo koostuu kahdesta lohkoista (Kuva 3). Ensimmäisen lohkon tilavuus on noin 25 000 m³ (pinta-ala noin 8600 m²) ja toisen lohkon noin 50 000 m³ (pinta-ala noin 19 000 m²). Vesi ohjataan lohkojen 1 ja 2 pohjoisreunaan ja vedet voidaan ohjata joko pelkästään toiseen lohkoista tai molempiin lohkoihin samanaikaisesti. Lohkosta 1 vesi kulkee lohkojen välipenkassa olevan betonisen ylivuotorakenteen kautta lohkoon 2. Altailta ulos menevä puhdistettu vesi ohjautuu lohkon 2 itäosassa sijaitsevan louhepenkereen kautta itäosassa sekä eteläosassa kulkevaan kanaaliin ja edelleen betonisen ylivuotokynnyksen kautta Sikopuroon.

Lohkosta 1 ja tarvittaessa myös lohkosta 2 tyhjenetään sakka noin kerran vuodessa ruoppaamalla. Sakka kuljetetaan kuorma-autoilla Raasion altaalle luvankukaisille sijoituspaikoille, josta sakan sisältämät vedet ohjautuvat kaivoksen sisäiseen vesikiertoon.

Sikopuron puhdistamon toteutuneet pintakuormat ovat alhaisia, vaihdellen keskimäärin altaassa 1 välillä 0,023–0,160 m/h ja altaassa 2 välillä 0,011–0,073 m/h. Kiintoaineen laskeutumisen kannalta allaspuhdistamon kapasiteetti on riittävä kaikissa virtaamatilanteissa. Suurimman osan saostumasta on havaittu laskeutuvan jo ensimmäisessä altaassa. Lietteen pitkä poistoväli altaasta vaatii myös varastotilavuutta. Sikopuron allaspuhdistamossa on tämän hetken virtaamiin ja kiintoainemääriin nähden riittävä kapasiteetti.

Sikopuron allaspuhdistamon toiminnan optimoimiseksi on selvitetty mahdollisuutta muuttaa kemikaalisyytön ohjausta perustumaan jatkuvatoimiseen vedenlaadun mittaamiseen. Kesän ja syksyn 2025 aikana on selvitetty erilaisia mittaustekniikoita yhteistyössä laitteistotoimittajien kanssa. Tällä hetkellä soveltuvimmalta vaihtoehdolta vaikuttaa liukoisen fosforin mittaus Sikopuron allaspuhdistamolle tulevasta vesivirrasta.



Kuva 3. Sikopuron allaspuhdistamo ja sen rakenteet.

5.1.2 TOIMENPIDEVAIHTOEHDON KUVAUS

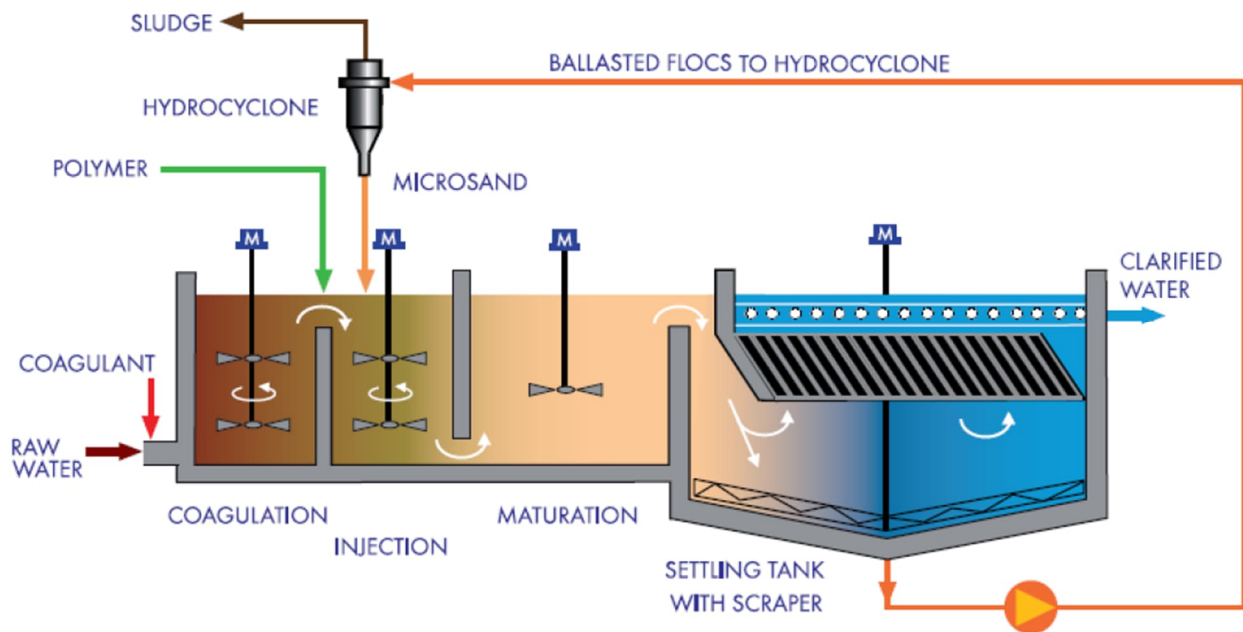
Tarkastelussa olevan toimenpiteen mukaan Sikopuron allaspuhdistamolle nykyisin käytössä oleva sulfaattipohjainen saostuskemikaali ferrisulfaatti (Kemira PIX-105A) voitaisiin korvata kloridipohjaisella saostuskemikaalilla polyalumiinikloridilla (Kemira PAX-XL100). Saostuskemikaalin vaihtamisella sulfaattipohjaisesta kloridipohjaiseen saataisiin vähennettyä Kuuslahteen kohdistuvaa sulfaattikuormitusta. Käytettävä Kemira PIX-105A annostus on ollut 350 g per kuutiometriä käsiteltävää vettä kohden. Kemikaalin sulfaattipitoisuus on noin 21,5 %.

Tehtyjen laboratoriosaostuskokeiden perusteella Kemira PAX-XL100 toimii Raasion veden kiintoaineen poistossa vastaavasti kuin nykyisin käytössä oleva Kemira PIX-105A. Kemira PAX-XL100 saosti kiintoainetta tehokkaasti. Kemikaalilla on mahdollista saavuttaa todella alhainen kirkasteen sameus. Alle 10 NTU:n sameus saavutettiin annoksella 150 g/m³ ja jo annoksella 100 g/m³ kirkasteen sameus oli alhainen. (Kemira, 2025.) Laboratoriokokeissa saostuneen kiintoaineen laskeutumisnopeuksissa ei havaittu suurta eroa, joten on todennäköistä, että kemikaalin vaihto ei tulisi vaatimaan kolmannen saostusaltaan rakentamista. Kemira PAX-XL100 ei sisällä sulfaattia. Kemira PAX-XL100 on matalaemäksinen polyalumiinikloridiliuos, jota käytetään saostusaineena juoma- ja jätevedenpuhdistuksessa sekä teollisissa sovelluksissa. Kemira PAX-XL100 sisältää noin 19–23 % kloridia liuoksen väkevyydestä riippuen. Kemikaalin toiminta perustuu korkeasti varautuneeseen alumiiniin, minkä vuoksi kemikaali toimii tehokkaammin perinteisiin saostusaineisiin verrattuna. Kemira PAX-XL100 saostuskokeiden raportti on esitetty luottamuksellisena **liitteenä 4** ja tuote-esitys **liitteenä 5**.

5.2 SIKOPURON ALLASPUHDI STAMON KORVAAMINEN ACTIFLO-LAITOKSELLE

5.2.1 TOIMENPIDEVAIHTOEHDON KUVAUS

Actiflo-laitoksen prosessi perustuu vedenkäsittelyyn koagulantilla ja polymeerillä. Kemiallista saostusta tehostetaan mikrohiekalla. Mikrohiekan tarkoitus on toimia partikkelina, johon poistettavat epäpuhtaudet kiinnittyvät koagulantin ja polymeeriketjujen avulla. Lisäksi mikrohiekka lisää flokkien massaa, mikä tehostaa laskeutumista. Kemikaloinnin jälkeen selkeytys toteutetaan lamelliselkeyttimellä, jolla flokit saadaan erotettua. Actiflo-prosessilla on pieni tilantarve verrattuna perinteiseen laskeutukseen. (Ramboll Finland Oy, 2024) Actiflon toimintaperiaate on esitetty kuvassa (Kuva 4).



Kuva 4. Actiflon toimintaperiaate (lähde: Veolia, 2020.)

Actiflo-prosessilla olisi tehtyjen tutkimusten perusteella mahdollista päästä hyvin käsitellytuloksiin kiintoaineen ja liukoisin fosforin poistamisessa. Veolia Water Technologies Finland, Aquaflow Oy suoritti 17.–27.3.2020 pilotoinnin, jonka tavoitteena oli tutkia Actiflo-prosessia kiertoveden puhdistuksessa. Pilotointi tehtiin Jaakonlammen vesille ja pilotoinnissa käytettiin nykyisin käytössä olevia saostuskemikaaleja: Koagulanttina PIX-105 ferrisulfaatti 1540 kg/m^3 , Fe^{+3} 10,5 % ja flokkulanttina BASF Magnafloc. Mikrohiekkä oli Veolian Actiflo mikrohiekkä (kvartsia). Koagulanttiannoksella 150 mg/l PIX-105 ja polymeeriannoksella $2,5 \text{ mg/l}$ päästiin hyvään puhdistustulokseen ja voidaan saavuttaa:

- Alle 10 mg/l TSS (reduktio 80 %)
- Alle $0,06 \text{ mg/l}$ fosfaatti (reduktio liukoinen > 90 %). (Veolia, 2020.)

Sikopuron allaspuhdistamolla käsitellyn veden fosfori ja kiintoainepitoisuudet ovat vuosien 2018–2024 aikana olleet pääsääntöisesti alle ympäristöluvan raja-arvojen (fosfori $0,1 \text{ mg/l}$ ja kiintoaine 10 mg/l). Tulosten perusteella kiintoaineen ja fosforin poistamisessa nykyinen käsittely tai saostuskemikaalin mahdollinen muutos myöhemmin kloridipohjaiseen ovat yhtä tehokas kuin pilotoitu Actiflo-käsittely. Koska puhdistustuloksessa ei saavuteta eroa, eikä kuormitus siten muutu muista skenaarioista, ei Actiflo-käsittelyä ei ole sisällytetty erikseen laadittuihin mallinnuksiin.

Yaran Siilinjärven kaivoksella Actiflo-prosessia tulisi täydentää kiekkosuodatuksella, jotta lupaehtojen mukaiset pitoisuudet lähtevässä vedessä voidaan saavuttaa myös kylmillä vesillä talviaikaan. (Ramboll Finland Oy, 2024.)

Actiflo-prosessin kemikaalikulutuksen arvioidaan olevan samaa tasoa Sikopuron allaspuhdistamon kanssa, joten Actiflo-prosessilla ei voida vähentää sulfaatin kuormitusta Kuuslahteen nykytilanteeseen verrattuna. Actiflo-prosessin hyöty Siilinjärven kaivoksella on pienempi tilantarve nykyiseen allaspuhdistamoon verrattuna. Prosessiin siirtyminen vaatii investointia, laitteiston

operointia sekä tehokkaampaa käsiteltävän veden virtaaman tasausta verrattuna Sikopuron allaspuhdistamoon. (Ramboll Finland Oy, 2024.)

Prosessissa syntyvä liete läjitettäisiin tai pumpattaisiin pastalaitoksen sakeutukseen pumppaamalla. Mikäli Actiflo-prosessi otettaisiin käyttöön, se sijoitettaisiin uuteen prosessirakennukseen, jonka alustava pinta-ala on noin 500 m² ja tilavuus noin 3 500 m³. (Ramboll Finland Oy, 2024.)

5.3 VESIENKÄSITTELYMENETELMIEN VERTAILU BAT-TEKNIIKOIHIN

Kaivannaisjätteiden hallinnan vertailuasiakirja (MWEI BREF) julkaistiin joulukuussa 2018, ja sen soveltamista tukevasti laadittiin opas parhaiden käyttökelpoisten tekniikoiden (BAT) soveltamisesta kesäkuussa 2020. Näissä asiakirjoissa kaivannaisjätteiden vaikutuksen alaisille vesille suunnattua käsittelyä koskevat BAT-tekniikat on määritelty riskiperusteisiksi, mikä tarkoittaa, että niiden soveltuvuus tulee arvioida tapauskohtaisesti. BAT 5 -päätelmän mukaisesti menetelmän käyttökelpoisuus on osoitettava ympäristöriskien ja vaikutusten arvioinnin perusteella. Opas tarjoaa tukea kaivannaisjätteiden hallintaan. Opas ei kuitenkaan ole sitova.

Kaivannaisjätteiden vaikutuksen alaisiin vesiin kohdistuva käsittely on kuvattu MWEI BREF -asiakirjan BAT-päätelmissä 43–47. Näihin kuuluvat muun muassa kaivannaisjätteiden vaikutuksen alaisten vesien kerääminen ja käsittely, suspensiossa olevan kiintoaineksen poistaminen, liuenneiden aineiden poistaminen sekä vesien neutralointi ennen purkua. Kukin BAT-päätelmä sisältää useita vaihtoehtoisia teknisiä ratkaisuja, joilla pyritään saavuttamaan sama ympäristöllinen lopputulos. Soveltuvan tekniikan valinta perustuu kohdekohtaiseen arviointiin, jossa huomioidaan ympäristöriskit ja paikalliset olosuhteet.

Ympäristönsuojelulain 527/2014 5 §:n mukaisesti parhaalla käyttökelpoisella tekniikalla tarkoitetaan mahdollisimman tehokkaita ja kehittyneitä, teknisesti ja taloudellisesti toteuttamiskelpoisia tuotanto- ja puhdistusmenetelmiä ja toiminnan suunnittelu-, rakentamis-, ylläpito-, käyttö- sekä lopettamistapoja, joilla voidaan ehkäistä toiminnan aiheuttama ympäristön pilaantuminen tai tehokkaimmin vähentää sitä ja jotka soveltuvat ympäristölupamääräysten perustaksi. Tekniikka on teknisesti ja taloudellisesti toteuttamiskelpoista silloin, kun se on saatavissa käyttöön yleisesti ja sitä voidaan soveltaa asianomaisella toiminnan alalla kohtuullisin kustannuksin.

Sikopuron allaspuhdistamon vesienkäsittelytekniikoilla saavutetaan sellainen taso, johon kirjallisuuden ja käyttökokemusten perusteella näillä tekniikoilla yleisesti päästään. MWEI BREF -vertailuasiakirjan mukaan koagulaation, flokkulaation ja painovoimaisen laskeutuksen teho vaihtelee suuresti riippuen käsittelyyn tulevan veden kiintoainepitoisuudesta, tyypillisesti reduktiot ovat kuitenkin noin 90 % ja keskimääräinen kiintoainepitoisuus lähtevässä vedessä on noin 10 mg/l. MWEI BREF -asiakirjan BAT-päätelmä 46 h käsittelee kersaostusta sulfaattimetallisuoloilla, jolla voidaan vähentää vesistä mm. fosforia. Vertailuasiakirjassa ei kuitenkaan kuvata tyypillisesti saavutettuja fosforipitoisuuksia ferrisulfaattisaostuksella. Saavutettava reduktio ja loppupitoisuus on riippuvainen fosforin lähtöpitoisuudesta. Liu et al. (2011) tutkimuksessa todettiin, että ferrisulfaatti poistaa tehokkaasti fosforia suotovesistä, ja optimaalinen jäännöspitoisuus voi olla alle 0.5 mg/L

sopivilla annostuksilla ja olosuhteilla. Lisäksi Wang et al. (2025) tutkimuksessa raportoitiin ferrisulfaattisaostuksen jälkeen saavutetuksi alimmaksi fosforipitoisuudeksi 0,35 mg/l, kokonaispoistotehokkuuden ollessa 87 %.

Sikopuron puhdistamolla on saavutettu hyvä tulos kiintoaineen ja fosforin erotuksen suhteen. Kiintoaineen reduktio on ollut noin 85—97 % ja fosforin jäännöspitoisuus on yleensä alle 0,05 mg/l. Kappaleen 7 mukaisen mittaustiedolla kalibroidun GoldSim-mallin mukaan Sikopuron fosforin poistotehokkuus on 97 %. Voidaan todeta, että allaspuhdistamon puhdistustulosta ei juurikaan kyseisellä prosessilla voi parantaa. Sikopuron allaspuhdistamon voidaan katsoa olevan parasta käyttökelpoista tekniikkaa kyseessä olevien vesijakeiden puhdistamiseen.

Myös Actiflow-vesienkäsittely menetelmänä edustaa BAT-päätelmien mukaisten tekniikoiden käyttöä, kuten koagulaatio, flokkulaatio, väliainesuodatus sekä selkeytys. Actiflow-vesienkäsittelyllä päästään toteutettujen testien mukaan vastaaviin puhdistustuloksiin kuin nykyisellä Sikopuron allaspuhdistamolla.

Yhteenvetona voidaan todeta, että molemmat vesienkäsittelytekniikat eli nykyisin käytössä oleva sekä tässä tarkasteltu Actiflow-vesienkäsittely edustavat MWEI BREF-asiakirjan mukaista parasta käyttökelpoista tekniikkaa, ja niiden soveltuvuus kohteeseen on osoitettu ympäristöriskien ja -vaikutusten arvioinnin kautta aiemmin toteutetuissa ympäristövaikutusten arviointi- ja lupamenettelyissä.

5.4 RIKKIHAPON KORVAAMINEN RIKASTAMOLLA (VT2)

5.4.1 NYKYTILA

Rikastusprosessi vaatii pH:n säädön hapolla, jotta apatiitin sakeutus toimii kunnolla. Tällä hetkellä pH:n säätöön käytettävä rikkihappo on Siilinjärven rikkihappotehtaan pesuhappoa. Laimeaa rikkihappoa on käytetty Yaran Siilinjärven rikastamolla kymmeniä vuosia apatiittisakeuttimen pH:n säätöön flokkulantin toiminnan varmistamiseksi. Rikkihappo on ollut saatavilla omalta toimipaikalta ja käytössä oleva rikkihappo-flokkulantti yhdistelmällä sakeuttimesta on saatu riittävän kirkas ylitevesi sekä hyvin pumppautuva ja suodattava alite, jonka ansiosta rikasteen kosteus on alhainen. (Yara, 2018.)

Nykytilanteessa apatiitin sakeutus tehdään rikkihapon ja flokkulantin (Magnafloc) avulla. Flokkulantin liuotuslaitteisto on rikastamon alakerrassa, josta flokkulanttiliuos pumpataan apatiittisakeuttimelle. Samaa flokkulanttia sekä sen liuotuslaitteistoa käytetään myös välisakeuttimella ja hienovaahdotuksen sakeuttimilla. Rikkihappo annostellaan sakeuttimeen pH:n mukaan (7,5) erillisestä varastosäiliöstä, joka sijaitsee rikastamon pihalla erillisellä kemikaalien varastoalueella sakeuttimen välittömässä läheisyydessä. Rikkihappo toimitetaan rikastamon varastosäiliölle Yaran omalta rikkihappotehtaalta.

5.4.2 TOIMENPIDEVAIHTOEHDON KUVAUS

Rikkihapon mahdollisella vaihtamisella sulfaatittomaan rikastuskemikaaliin saataisiin vähennettyä vesistöön kohdistuvaa vuotuista sulfaattikuormitusta. Käytetyn rikkihapon määrä oli vuonna 2024 noin 2500 t. Rikkihapon väkevyys vaihtelee välillä 25–40 %, mutta on yleensä lähempänä alarajaa 25 %. Käytössä olevan rikkihapon ja flokkulantin (Magnafloc 355) korvaamista Nalco-kaksoiskäsittelyllä on tutkittu. Nalco-kaksoiskäsittelyssä käytetään koagulanttia (8103Plus) ja flokkulanttia (9601Pulv). Tehtyjen alustavien koeajojen perusteella Nalco-kaksoiskäsittely osoitti saman suorituskyvyn kuin nykyinen rikkihapon ja flokkulantin yhdistelmä. Kaksoiskäsittelyssä käytettävän uuden flokkulantin annostus on hieman pienempi kuin nykyisen flokkulantin annostus. Nalco-koagulantin annostus vaihtelee välillä 0–50 g/t. Optimaalinen annostus on välillä 10–30 g/t.

Mikäli rikkihappo korvattaisiin koagulantilla, ei flokkulantin vaihto itsessään vaadi laitteistojen uusimista, mikäli käytetään samaa flokkulanttia kaikilla rikastamon sakeuttimilla. Uusi flokkulantti lietettäisiin ja syötettäisiin sakeuttimille samaan tapaan kuin nytkin. Testeissä kuitenkin havaittiin, että uusi flokkulantti ei toiminut kaikilla sakeuttimilla yhtä hyvin kuin entinen, joten on mahdollista, että joudutaan rakentamaan uusi liuotuslaitteisto. Koagulantin käyttöä varten tulee rakentaa uusi eristetty säiliö rikastamon ulkopuolelle ulos ja asentaa siihen tarvittavat pumput ja putkistot. Koagulantti annosteltaisiin nauhasuotimelle menevään syötteeseen.

5.5 MUSTIN RIKASTUSHIEKKA-ALUEEN LÄNSIPADON SUOTOVESIEN KERÄÄMINEN JA OHJAAMINEN KAIVOKSEN SISÄISEEN VESIKIERTOON (VT3)

5.5.1 NYKYTILA

Rikastushiekka-alueen pinta-ala on noin 800 ha, josta noin puolet on aktiivisen rikastushiekkaläjäytyksen kohteena. Rikastushiekka puretaan pastalaitoksen purkuputkista vaakasuuntaisesti rikastushiekka-alueelle. Vuonna 2017 käyttöön otetun Pastalaitoksen myötä läjitettävän rikastushiekan kiintoainepitoisuus on noussut, minkä seurauksena läjityskulma on 3,5° (aiemmin alle 1°). (Yara Suomi Oy, 2022.)

Rikastushiekan läjitys on aloitettu Mustin rikastushiekka-alueelle 1980-luvun alussa, jolloin myös padon vanhimmat osat on rakennettu. Padon uusimmat korotukset on tehty vuonna 2018. Mustin länsipuolen vesiallas on otettu käyttöön vuonna 2007. Vesiallas ja Mustin alueen padot on luokiteltu 1. luokan padoiksi. (Yara Suomi Oy, 2022.)

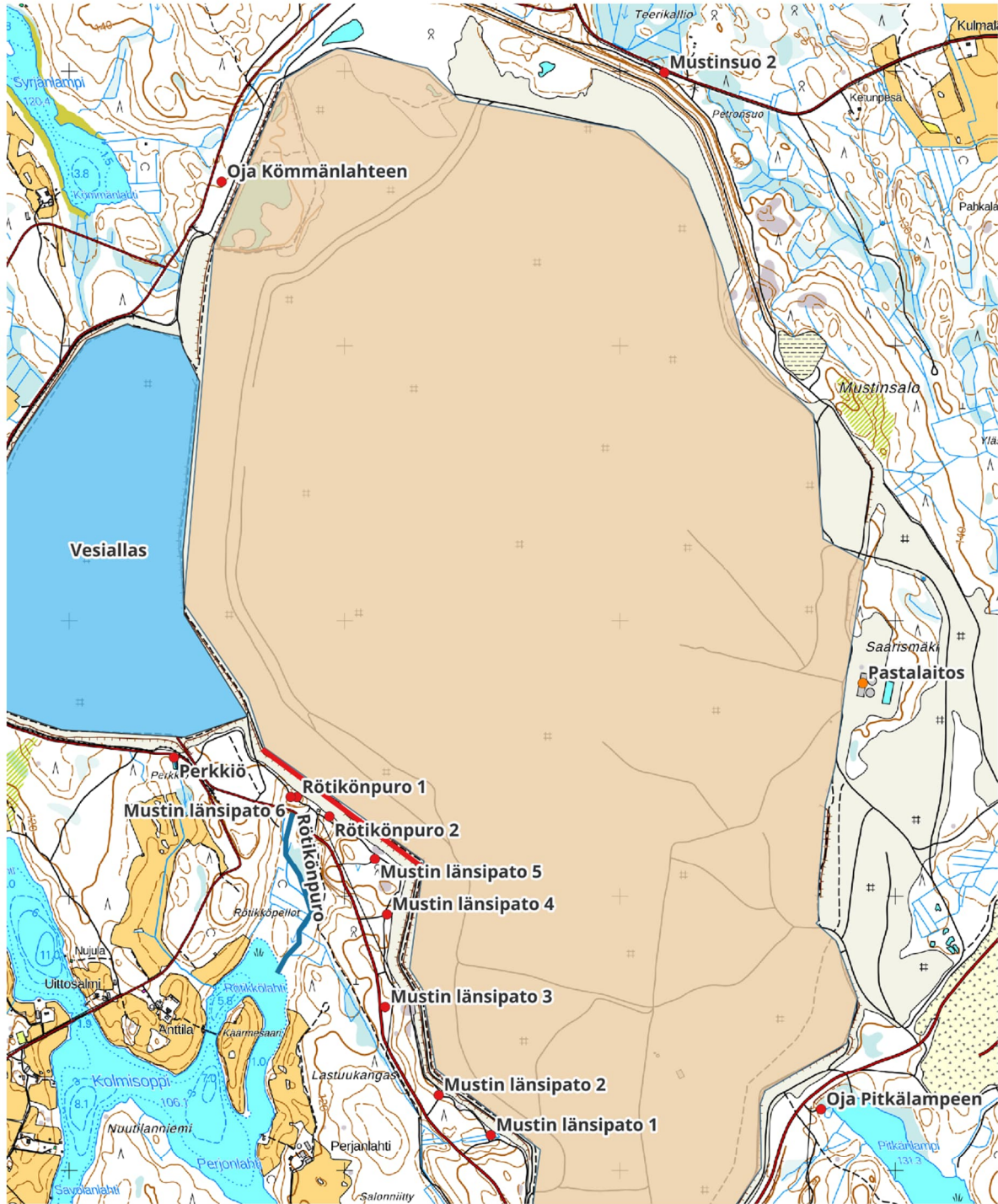
Rikastushiekka-alueen padot ovat homogeenisiä moreenipatoja tai vyöhykepatoja. Vyöhykepadot koostuvat moreenisydäimestä, suodatinrakenteista ja tukipenkereistä. Louhetukipenkereet on rakennettu sekarakeisesta louheesta, jonka maksimiraekoko on noin 1000 mm. Moreenimassojen vedenläpäisevyyskerroin on pienempi kuin 10^{-7} m/s. Mustin alueen pituus on noin 12 km. Vesialtaan padon pituus on noin 3 km ja korkotaso +135. Uusin lupapäätös mahdollistaa korotuksen tasoon +142 mpy, mutta sen osalta ei olla toistaiseksi edistämässä asiaa.

Raasion ja Mustin rikastushiekka-alueiden patojen läpi suotautuu vesiä, jotka kulkevat patojen ympärillä osittain pintavesinä sekä osittain myös maaperässä. Pintavesinä kulkevat suotovedet kootaan patoalueiden ympärillä ojastoilla yhteen ja ne ohjataan ojastoista eteenpäin tarkkailupisteiden kautta. Suotovesien tarkkailupisteillä seurataan vesien määrää sekä laatua säännöllisellä näytteenotolla. Rikastushiekka-alueen suotovedet ohjataan nykyisellään yhteensä 30 tarkkailupisteiden kautta eteenpäin. Suotovesien kokoaminen ainoastaan muutamaankin paikkaan patoalueiden ympärille on mahdollista alueen laajuus ja maastonmuodot huomioiden.

Mustin ja Raasion rikastushiekka-alueilta sekä Mustin vesialtaalta suotautuvien vesien laatu eroaa alueen luonnonvesistä korkeamman pH:n, sulfaatti- ja fluoridipitoisuuden sekä sähkönjohtavuuden perusteella. Suotovesien virtaamat eivät vaihtele luonnonvesien virtaamien tavoin vuodenaikojen mukaan vaan ne ovat tasaisia ympäri vuoden.

Rötikönlahteen päätyvät suotovedet sisältävät pääasiassa ympäristön valumavesiin nähden kohonneita sulfaatin sekä fluoridin pitoisuuksia ja sähkönjohtavuuksia. (Tillonen, 2025.) Pitoisuuksien keskiarvot, keskihajonnat sekä pienimmät ja suurimmat pitoisuudet suotovesipisteittäin on esitetty taulukoissa (Taulukko 1–Taulukko 4). Suotovesien laatua tarkkaillaan ja tulokset esitetään latvavesitarkkailun vuosiyhteenvetön raportissa.

Mustin rikastushiekka-alueen keskeisistä suotovesipisteistä (Kuva 5) on laskettu myös tarkkailutulosten perusteella virtaamapainotteisia vuosikeskiarvoja, jotka on esitetty alla olevassa kuvaajassa (Kuva 6). Virtaamapainotteiset vuosikeskiarvot kuvaavat hyvin rikastushiekka-alueen eri suotovesipisteillä tapahtunutta muutosta sulfaattipitoisuuden trendissä. Eri pisteiden suotovesien virtaamapainotteinen keskiarvo on vaihdellut noin 45–300 mg/l välillä. Pisteillä Oja Pitkälampeen ja Mustin länsipato 1 sulfaattipitoisuuden trendi on kasvava ja muilla pisteillä se on laskeva.



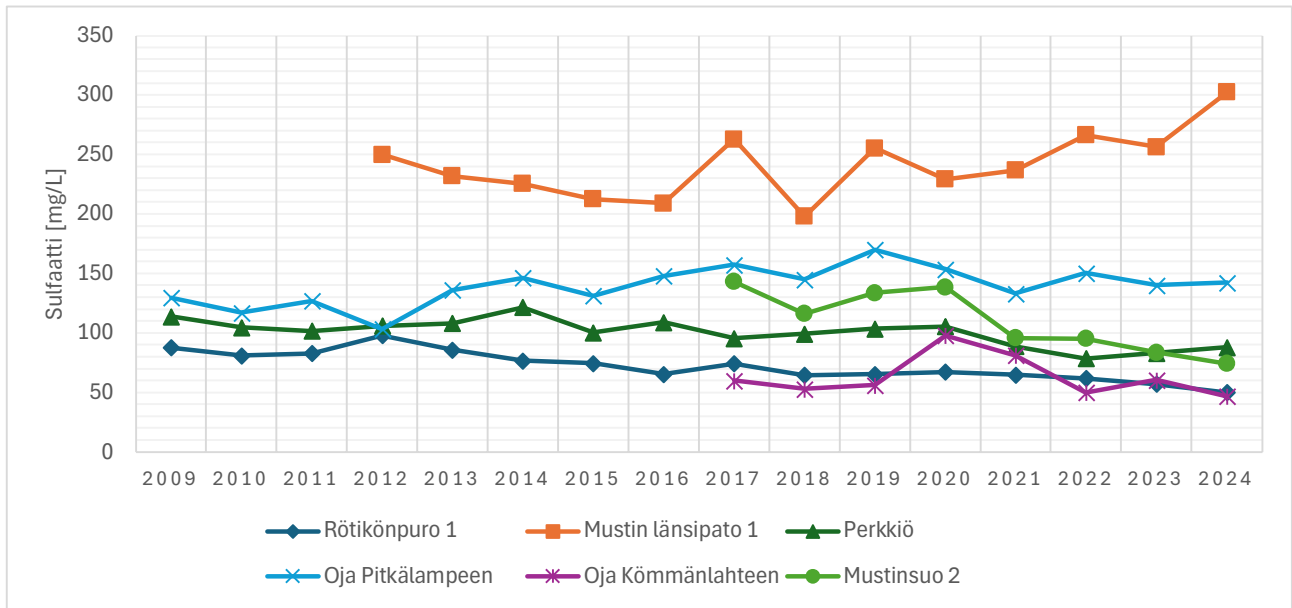
Selite

- Mustin rikastushiekka-alue
- Kerättävien suotovesien muodostumiskohta
Länsipadossa
- Suotovesipisteet



© MML Maastokartta 2025
Laatija: JJo / Eengineer Oy
Pvm. 15.10.2025

Kuva 5. Mustin rikastushiekka-alueen keskeiset Rötikönlahteen johtavat suotovesipisteet.



Kuva 6. Mustin rikastushiekka-alueen keskeisten suotovesipisteiden sulfaattipitoisuuden vuosikeskiarvot.

Taulukko 1. Suotovesien virtaamien keskiarvot, keskihajonnat, pienimmät sekä suurimmat arvot suotovesipisteittäin.

	M. länsipato 1 11/2012–5/2025	M. länsipato 2 11/2012–5/2025	M. länsipato 3 11/2012–4/2025	M. länsipato 4 11/2012–5/2025	M. länsipato 5 11/2012–5/2025	M. länsipato 6 11/2012–5/2025	Rötikönpuro 1 1/2009–5/2025	Rötikönpuro 2 1/2009–5/2025
Ka. /Q, m ³ /d	258	66	15	155	87	52	116	135
Keskihajonta, Q, m ³ /d	95	33	17	51	37	76	48	40
Min. Q, m ³ /d	3	7	0	12	7	0	19	39
Max. Q, m ³ /d	1132	254	157	430	254	483	335	335

Taulukko 2. Suotovesien sähkönjohtavuuksien keskiarvot, keskihajonnat sekä pienimmät ja suurimmat arvot suotovesipisteittäin.

	M. länsipato 1 11/2012–5/2025	M. länsipato 2 11/2012–5/2025	M. länsipato 3 11/2012–7/2013	M. länsipato 4 11/2012–5/2025	M. länsipato 5 11/2012–5/2025	M. länsipato 6 11/2012–5/2025	Rötikönpuro 1 1/2009–5/2025	Rötikönpuro 2 1/2009–5/2025
Ka. johtokyky mS/m	130	135	109	112	100	63	98	99
Keskihajonta, johtokyky mS/m	20	15	26	12	9	26	11	10
Min. johtokyky mS/m	57	114	74	86	69	18	56	77
Max. Johtokyky mS/m	158	210	138	134	122	104	117	122

Taulukko 3. Suotovesien sulfaattipitoisuuksien keskiarvot, keskihajonnat sekä pienimmät ja suurimmat arvot suotovesipisteittäin.

	M. länsipato 1 11/2012–5/2025	M. länsipato 2 11/2012–5/2025	M. länsipato 3 11/2012–7/2013	M. länsipato 4 11/2012–5/2025	M. länsipato 5 11/2012–5/2025	M. länsipato 6 11/2012–5/2025	Rötikönpuro 1 1/2009–5/2025	Rötikönpuro 2 1/2009–5/2025
Ka. SO4 mg/l	250	209	200	167	131	58	72	104
Keskihajonta, SO4 mg/l	49	24	49	19	15	24	15	18
Min. SO4 mg/l	95	170	130	120	89	23	42	74
Max. SO4 mg/l	330	350	260	210	170	140	120	150

Taulukko 4. Suotovesien fluoridin pitoisuuksien keskiarvot, keskihajonnat sekä pienimmät ja suurimmat arvot suotovesipisteittäin.

	M. länsipato 1 11/2012–5/2025	M. länsipato 2 11/2012–5/2025	M. länsipato 3 11/2012–7/2013	M. länsipato 4 11/2012–5/2025	M. länsipato 5 11/2012–5/2025	M. länsipato 6 11/2012–5/2025	Rötikönpuro 1 1/2009–5/2025	Rötikönpuro 2 1/2009–5/2025
Ka. F- mg/l	1,5	1,9	0,1	1,9	1,8	0,4	1,2	2,2
Keskihajonta, F- mg/l	0,4	0,4	0,05	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4
Min. F- mg/l	0,5	1,0	0,06	1,3	1,1	0,1	0,5	1,4
Max. F- mg/l	2,6	2,8	0,17	2,5	2,3	1,5	4,7	3,4

Rikastushiekka-alueen padon suotautuvan veden laadun vaihtelua padon eri osissa on selvitetty Savonian opiskelijoiden toimesta projektityönä vuonna 2023. Tämän selvitystyön tuloksista voidaan päätellä, että varsinaisen padon lävitse suotautuvan veden sähkönjohtavuusarvot ja sulfaattipitoisuudet ovat riippuvaisia toisistaan. Kenttämittausten sähkönjohtavuuden ja sulfaattipitoisuuden tulokset eivät olleet kaikissa suotovesipisteissä yhtä suuret, mikä viittaa suotovesien laimenemiseen puhtaammilla luonnonvesillä ennen suotovesien näytepistettä (Tillonen, 2025). Eroihin veden laadussa vaikuttaa todennäköisesti se, miten suotovesien virtaus alueen sisällä on läjitysalueen alla olevan pohjamaan pinnanmuotojen mukaisesti kanavoitunut. Lisäksi asiaan voi vaikuttaa myös se, mistä rikastushiekka-alueen täyttäminen on mahdollisesti historiassa aloitettu, millä allas on täytetty ja padon paksuus kussakin paikassa (Tillonen, 2025).

Tulosten perusteella suotovesipisteeltä Mustin länsipato 1 sulfaatin ainevirtaamat ovat suurimmat. Sulfaatin pitoisuudet myös kasvavat suotovesipisteeltä Rötikönpuro 2 kohti suotovesipistettä Mustin länsipato 1. (Tillonen, 2025.)

Suotovesipisteillä nitraattityypen pitoisuudet eroavat toisistaan jopa vierekkäisillä pisteillä. Korkeimmat nitraattityypipitoisuudet ovat padon eteläosan suotovesipisteillä. Pisteillä, joissa on mitattu alhaisimmat happipitoisuudet, on havaittu korkeammat ammoniumtyypipitoisuudet. (Tillonen, 2025.) Tehtyjen selvitysten perusteella Mustin rikastushiekka-alueen suotovesiä kulkeutuu maaperä- ja pohjavesivaluntana Rötikönlahteen, jossa suotovesien vaikutus on selvästi nähtävissä. (Tillonen, 2025.)

5.5.2 TOIMENPIDEVAIHTOEHDON KUVAUS

Suotovesien takaisinpumppaamiselle mahdollisesti soveltuvaksi paikaksi on todettu Rötikönpuroon kulkeutuvat suotovedet. Rötikönpuron latvaojiin purkautuu suotovesiä suhteellisesti eniten. Tämä johtuu siitä, että Mustin rikastushiekka-alueen alle jääneeltä alueelta valumavedet purkautuivat ennen rikastushiekka-alueen rakentamista juuri Rötikönpuroon. Rikastushiekka-alueen pohjamaa siis kokoaa suotovesiä luontaisesti tälle alueelle. Toinen osittain edellisestä johtuva tekijä on, että suurimmat toiminnasta aiheutuneet negatiiviset muutokset ovat kohdistuneet Rötikönlahteen, jonne Rötikönpuro laskee vetensä. Ensin valumavesien määrä pieneni Länsipadon takia pienentyneen valuma-alueen seurauksena. Toiseksi suotovesien mukana tuleva kuormitus on kohdistunut voimakkaimmin juuri Rötikönlahteen.

Rötikönpuron latvoilta toteutettavalla suotovesien takaisinpumppauksella saadaan kiinni suhteellisen suuri määrä suotovesiä, jotka eivät ole ehtineet vielä sekoittua puhtaiden luonnon valumavesien kanssa. Näin saadaan eniten suotovesikuormitusta palautettua vesikiertoon ilman suhteellisen suurta vesimäärän lisäystä vesitaseeseen. Laimeiden vesien pumppaaminen vesikiertoon vähentäisi myös tarpeettoman paljon valumavesien kokonaismäärää Kolmisoppeen ja aiheuttaisi toisaalta lisäkuormitusta Kuuslahteen.

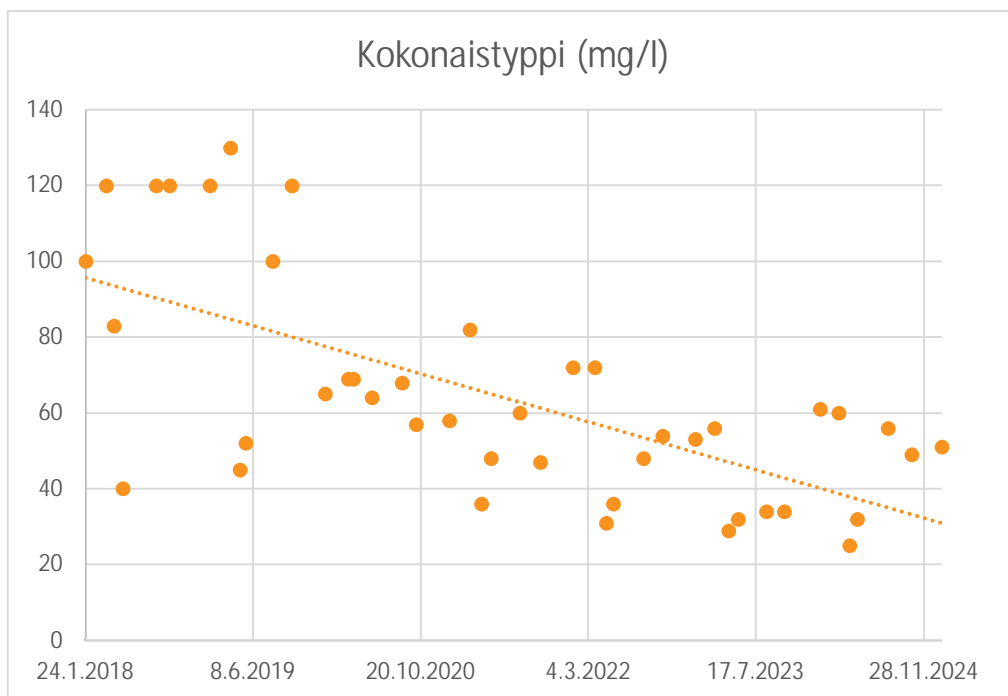
Toimenpiteessä suotovesien kulkeutumista Rötikönlahteen pyrittäisiin vähentämään, pumppaamalla maan pinnalle lähellä patoa suotautuvia suotovesiä takaisin kaivoksen vesikiertoon. Arvioitu pumppausmäärä olisi 10 l/s. Mukaan sekoittuisi hieman ympäristön valumavesiä. Suotovesien osuus pumppausmäärästä olisi noin 9 l/s. Suotovedet sekoittuisivat ympäristön valumavesiin ja

korkeiden virtaamien aikaan 10 l/s ylittävä vesimäärä kulkeutuisi Rötikönpuroon ja edelleen Rötikönlahteen. Suunniteltu pumppauspaikka sijoittuisi kuvassa (Kuva 1) esitetyn Rötikönpuron vasemmalla puolella sijaitsevaan ojalinjaan.

5.6 ANSAMÄEN SIVUKIVI ALUEEN SUOTOVESIEN KÄYTTÖ RIKASTAMOLLA RAAKAVETENÄ (VT4)

5.6.1 NYKYTILA

Ansamäen sivukiven läjitysalueelta Sulkavanjärveen laskevaan Ansamäenpuroon kerääntyy sekä pinta- että suotovesiä. Vedet valuvat pääasiassa mäen rinteiltä sekä läjitysalueelta ja sen lähiympäristöstä. Tarkkailujaksolla 1.11.2023–31.10.2024 läjitysalueelta suotautuvien vesien kokonaistyyppi- ja sulfaattipitoisuudet sekä sähkönjohtavuus olivat vuosien 2020–2023 tapaan selvästi luonnonvesiä korkeampia (Vesi-Eko & SKYT, 2025), ja korkeimmat pitoisuudet havaittiin Ansamäenpurossa. Tyyppi- ja fosforipitoisuudet ovat kuitenkin viime vuosina olleet laskusuunnassa (Kuva 7–Kuva 9), kun taas sulfaattipitoisuudet ovat nousseet voimakkaasti tarkkailuvuosien aikana (Kuva 9). Vuoden 2024 Latvavesiraportin mukaan nousu näyttäisi taittuneen, mutta sulfaattipitoisuus oli keskiarvoltaan edelleen edellisvuosia suurempi (Vesi-Eko & SKYT, 2025).



Kuva 7. Ansamäenpuron kokonaistyyppi pitoisuudet vuosina 2018–2024.

5.6.2 TOIMENPIDEVAIHTOEHDON KUVAUS

Nykyisin rikastamolla käytetään noin 5 000–7 000 m³/d Sulkavanjärven vettä pumppujen tiiviste-, jäähdytys- ja laimennusvetenä (voimassa olevan ympäristöluvan sallittu määrä on 12 000 m³/d). Käytetyt vedet ohjautuvat edelleen kaivosalueen sisäiseen vesikiertoon. Vaihtoehtoisesti Ansamäenpuron vedet voitaisiin ohjata rikastamolle järveden sijaan, sillä puron veden laatu soveltuu rikastamon tarpeisiin (Ramboll Finland Oy, 2024).

Ansamäenpuron uudelleenohjaus toteutettaisiin siten, että viettolinja seuraisi aluksi puron luontaista reittiä ja jatkaisi Sulkavanjärven rantaa myötäillen järvivesipumppaamolle, josta vesi johdettaisiin rikastamolle raakavedeksi (Kuva 10). Sisäisen kierron myötä vesi päätyisi edelleen Sikopuron puhdistamolle ja Kuuslahteen.



Kuva 10. Ansamäenpuron uudelleenohjauksen vaihtoehtolinjaus.

Toteutus edellyttäisi uutta putkilinjaa Ansamäenpuroilta järvivesipumppaamolle. Puroon rakennettaisiin pato, josta vedet johdettaisiin viettolinjan lähtökaivoon. Patoon sisällytettäisiin ylivuotorakenne mahdollisten ohitusten mittaamista varten Sulkavanjärveen. Nykyisessä järvivesipumppaamossa on betoninen imuallas suoraan pumppaamorakennuksen alapuolella, ja Ansamäenpuron vedet voitaisiin teknisesti johtaa sen viereen rakennettavan purkukaivon kautta suoraan imualtaaseen.

Raakaveden pumppaamon läheisyyteen voidaan sijoittaa kiintoaineen laskeutus- ja virtaaman tasausallas (noin 10 000 m³), jonka tarkoituksena olisi vähentää pumppaamolle päätyvää kiintoaineen kulkeutumista sekä pienentää ohjuoksutustarvetta Sulkavanjärveen, erityisesti virtaamapiikkien aikana. Virtaama muodostuisi pääosin suotovesistä, joiden virtaamavaihtelut ovat hitaita. Maksimituntivirtaaman arvioitaisiin olevan noin 320 m³/h, jolloin allas riittäisi tasaamaan yli vuorokauden mittaisen maksimivirtaaman.

Ansamäenpuron ohjaaminen rikastamon prosessivedeksi vähentäisi merkittävästi Sulkavanjärveen kohdistuvaan kuormitusta, erityisesti sulfaatin ja typen osalta. Yaran kokonaiskuormitukseen Sulkavanjärveen vaikuttavat myös oja Pirttilahteen, Sulkavanoja ja rikastushiekka-alueet, jolloin uudelleenohjaus vastaisi noin 41 % vähenemää Yaran kokonaissulfaattikuormituksessa Sulkavanjärveen.

Yaran kokonaistyyppikuormituksen Sulkavanjärveen arvioidaan vähenevän 83 %. Suurin osa tyyppikuormasta (90 %) on hapellista nitraattia (NO₃⁻), jota syvänteen mikrobit käyttävät hajotustoiminnassa ravinteena. Tämä prosessi kuluttaa happea hitaasti, mikä auttaa ylläpitämään syvänteiden happiolosuhteita. Nitraattikuormituksen väheneminen pienentää hapen varastoa, jolloin syvänteen voi muuttua hapettomaksi nopeammin ja fosforin sisäinen kuormitus lisääntyä. Sulkavanjärven syvänteissä on aloitettu hapetus vuonna 2018, ja vuonna 2024 hapettimet olivat käytössä suunniteltuina ajankohtina (Vesi-Eko & SKYT, 2025).

Fosforipitoisuus on ollut matala Ansamäenpurossa, mutta suunnitteluilla toimenpiteillä voitaisiin saavuttaa 10 kg vuotuinen fosforikuormituksen vähenemä Sulkavanjärveen, mikä vastaa noin 5 % laskua Yaran kokonaisfosforikuormituksesta Sulkavanjärveen.

Tehtyjen mallinnusten mukaan purovesien ohjaaminen rikastamon prosessivedeksi lisäisi Yaralta peräisin olevaa Kuuslahden kuormitusta sulfaatin osalta 6 %, kokonaistypen osalta 8 % ja fosforin osalta 0,17 %. Muut kuormitustekijät Kuuslahteen ovat Yaran tehtaiden jäähdytysvedet, kemiallinen puhdistamo, sivukivialueet sekä louhosvedet.

Teknis-taloudellisesti tarkasteltuna Ansamäenpuron vedet voidaan ohjata rikastamolle, mikä vähentää vedenoton tarvetta Sulkavanjärvestä ja pienentää vesienkäsittelytarvetta. Poikkeustilanteissa, kuten ylivuodoissa, vedet voidaan tarvittaessa johtaa Sulkavanjärveen lupaehtojen mukaisesti ylivuotokynnyksen tai vastaavan rakenteen avulla. Ansamäenpuron vesien ohjaamisella prosessivedeksi olisi merkittävä vaikutus Sulkavanjärven kokonaiskuormitukseen, mutta vaikutukset eivät ole yksiselitteisesti positiivisia, koska nitraatin väheneminen voi nopeuttaa hapen loppumista syvänteessä ja lisätä fosforin sisäistä kuormitusta. Myös Kuuslahteen kohdistuu toimenpiteen johdosta lisäkuormitusta.

5.7 RÄJÄHDYSAINEEEN RESEPTIIKAN OPTIMOINTI

5.7.1 NYKYTILA

Yara Siilinjärven kaivoksella tehdään louhintaa kahdella avolouhoksella (Särkijärvellä ja Jaakonlammella). Kokonaislouhintamäärä on ollut viime vuosina noin 20–30 Mt. Särkijärven päälouhokselta louhitaan noin 60–75 % kaivoksen malmista ja Jaakonlammen louhokselta noin 25–40 %. Louhinta tehdään poraamalla, panostamalla ja räjäyttämällä. Louhinta on ympärivuotista. Louhinta räjäytyksiä kaivoksella tehdään keskimäärin 1–4 kertaa viikossa. Räjäytys voi olla yhden kentän tai rakolinjan räjäytys tai se voi koostua useammista peräkkäisistä kenttien, rakolinjojen tai rikkojen räjäytyksistä. (ISAVI, 2021.)

Räjäytykset nostavat sekä ammonium-, että nitraattityypen pitoisuuksia louhoksesta pumpattavassa vedessä. Suurin syy pitoisuuksien nousuun on räjäytyksessä käytetty räjähdeaine, joka sisältää ammoniumnitraattia. Räjäytyksen sijainti louhoksessa vaikuttaa kuivanapitoveteen muodostuviin pitoisuuksiin. (Autio, 2025.)

Yaran Siilinjärven kaivoksella on käytetty Yarex-nimistä emulsiotyypistä räjähdysainetta. Yarexissa on kaksi pääkomponenttia, hapetin- ja polttoainekomponentti. Hapettimena on ollut käytössä yleisimmin ammoniumnitraattiliuos, jota saadaan samalla toimipaikalla sijaitsevilta kemian tehtailta. Liuokseen lisätään ammoniumtiosyanaatti, joka toimii herkistysaineena kaasutusreaktioissa. Polttoainekomponenttina Yarex-räjähdysaineessa käytetään polttoöljyä, johon sekoitetaan emulgaattoria. Räjähdysaine-emulsioon tankataan panostusajoneuvossa emulsion lisäksi kiinteitä ammoniumnitraattirakeita, etikkahappoa, natriumnitraattiliuosta ja polttoöljyä. (Autio, 2025.)

5.7.2 TOIMENPIDEVAIHTOEHDON KUVAUS

Yaran Siilinjärven kaivoksella on vuonna 2024 tutkittu typen pitoisuuksien nousuun vaikuttavia tekijöitä pro gradu -työssä (Autio, 2025) tarkastellen erityisesti räjähdysä ja niiden vaikutuksia. Työssä oletettiin, että räjäytykset nostavat ammonium- ja nitraattityypipitoisuuksia louhoksessa. Oletettiin myös, että ammoniumtyypipitoisuudet ovat korkeampia, jos räjäytys tapahtuu syvemmillä tasoilla louhoksessa, jolloin vesi ei pääse reagoimaan ilman kanssa yhtä pitkää aikaa ennen louhoksesta ulos pumppaamista. Lisäksi oletettiin louhoksen pohjalla olevan suuremman vesimäärän vaikuttavan räjähdysaineen sisältämän typen liukenemiseen pitoisuuksia vastaavasti. (Autio, 2025.)

Pro gradu -työssä on selvitetty syitä ammoniumtyypipitoisuuksien nousuun ja miten suoritettavat räjäytyksen vaikuttavat louhosvesien ammonium- ja nitraattityypipitoisuuksiin. Lisäksi on tutkittu miten räjähdysaineen kemiallinen koostumus, eli reseptiikka, vaikuttaa louhosveteen liukenevan typen määrään. Tavoitteena on ollut tarkastella tyyppikuormituksen vähentämistä muuttamalla räjähdysaineen reseptiikkaa. Pro gradu -työtä varten tehdyssä tutkimuksessa testattiin uudenlaista Dual Salt-räjähdysainetta, joka sisältää kaksi hapetussuolaa yhden sijaan, joten se on erilaista kuin Yarex. Tutkimuksessa vertailtiin Dual Salt -emulsioräjähdysaineella ja Yarex -emulsioräjähdysaineella räjäytettyjä kenttiä. (Autio, 2025.)

Pro gradu -työn tulosten perusteella Dual Salt -emulsioräjähteen avulla voitaisiin vähentää louhosvesien ammoniumtyppipitoisuuksia ja niistä aiheutuvaa kuormitusta. Dual Salt -emulsioräjähteen käyttäminen nosti kuitenkin nitraattityppipitoisuuksia Yarex -emulsioräjähteeseen verrattuna. Tulosten perusteella ei voida varmistua, että Dual Salt vähentäisi kokonaistypen kuormitusta. Tarkemman kokonaiskuvan saamiseksi Pro gradu -työssä suositeltiin lisätutkimuksia Dual Salt -räjähteiden käytännön soveltuvuudesta ja vaikutuksista kokonaistyyppikuormitukseen.

Vuoden 2025 aikana Yaran Siilinjärven kaivoksella on siirrytty toistaiseksi käyttämään vain Dual Salt -räjähdysainetta. Muutos on toteutettu Yarex-aseamalla, jossa räjähdysaineen reseptiikka on päivitetty vastaamaan Dual Salt -koostumusta. Tätä varten on tehty myös investointi, joka mahdollistaa uuden reseptiikan valmistuksen ja käytön louhintatyössä. Muutos on tehty, jotta voidaan paremmin tarkastella räjähdysaineen soveltuvuutta ja vaikutuksia ympäristöön, tuotantoon sekä turvallisuuteen. Päätöksiä tulevaisuudessa käytettävistä räjähdysaineista voidaan tehdä vasta sen jälkeen, kun käyttökokemuksia on saatu kerätyksi.

Vaikka Dual Salt -räjähdysaineen käyttö on nyt vakiintunut, sen pitkäaikaisia vaikutuksia louhosvesien typpipitoisuuksiin on toistaiseksi vaikea arvioida tarkasti. Pro gradu -työn ja käyttötarkkailussa tehtyjen havaintojen perusteella voidaan kuitenkin olettaa, että ammoniumtyppipitoisuudet tulevat ajan myötä vähenemään, koska Dual Salt -räjähteet liuottavat vähemmän ammoniumnitraattia veteen kuin aiemmin käytetty Yarex. Tämä arvio perustuu sekä kenttähavaintoihin että laboratoriokokeisiin, joissa Dual Salt -räjähteet tuottivat selvästi pienempiä ammoniumtyppipitoisuuksia.

Sen sijaan nitraattityypen osalta tilanne on monimutkaisempi. Pro gradu -työssä havaittiin, että Dual Salt -räjähteet voivat nostaa nitraattityypen pitoisuuksia jopa enemmän kuin Yarex, erityisesti jos räjäytyksessä syntynyt ammoniumtyppi ehtii hapettua ennen louhosveden ulospumppausta. Näin ollen kokonaistypen kuormituksen muutosta ei voida vielä arvioida numeerisesti.

Lisäksi on tärkeää huomioida, että räjäytyksen vaikutukset louhosveden typpipitoisuuksiin vaihtelevat merkittävästi riippuen useista tekijöistä, kuten räjäytyksen sijainti louhoksessa (pohjataso vs. ylemmät tasot), panostetun kentän seisonta-aika ennen räjäytystä, vuodenaika, joka vaikuttaa veden määrään ja virtaamaan sekä louhoksen hydrologiset olosuhteet.

Näiden muuttujien vuoksi louhosveden typpipitoisuus ei ole ollut vakio, vaan se on vaihdellut huomattavasti eri räjäytysten välillä. Tästä syystä tarkkaa numeerista arviota Dual Salt -räjähteiden vaikutuksesta ei voida vielä antaa, vaan vaikutuksia tulee seurata pidemmällä aikavälillä ja mahdollisuuksien mukaan toteuttaa lisätutkimuksia samankaltaisissa olosuhteissa.

6 Taloudellisuustarkastelu

Tämä kappale on kokonaisuudessaan salassa pidettävä julkisuuslain 621/199 pykälän § 24 kohdan 20 mukaisesti.

6.1 SAOSTUSKEMIKAALIN VAIHTO KLORIDIPOHJAISEEN SIKOPURON ALLASPUHDI STAMOLLA (VT1)

Luottamuksellinen osio

6.2 SIKOPURON ALLASPUHDI STAMON KORVAAMINEN ACTIFLO-LAITOKSELLE

Luottamuksellinen osio

6.3 RIKKIHAPON KORVAAMINEN RIKASTAMOLLA (VT2)

Luottamuksellinen osio

6.4 MUSTIN RIKASTUSHIEKKA-ALUEEN LÄNSIPADON SUOTOVESIEN KERÄÄMINEN JA OHJAAMINEN KAIVOKSEN SISÄISEEN VESIKIERTOON (VT3)

Luottamuksellinen osio

6.5 ANSANMÄEN SIVUKIVIALUEEN KÄYTTÖ RIKASTAMOLLA RAAKAVETENÄ (VT4)

Luottamuksellinen osio

6.6 RÄJÄHDYSAINEEN RESEPTIIKAN OPTIMOINTI

Luottamuksellinen osio

7 Vesi- ja ainetaseen skenaariokuvaukset

Envineer Oy on laatinut Yara Suomi Oy:lle päivitetyn vesi- ja ainetasemallin, joka toimii työkaluna vesienkäsittelyn tehostamistoimenpiteiden vaikutusten arvioinnissa (Envineer, 2025b). Työ on toteutettu GoldSim-ohjelmistolla, joka mahdollistaa dynaamisen ja monimuuttujaisen mallinnuksen. Malli kattaa kaivoksen ja rikastamon vesikierron, rikastushiekka-alueet, sivukivialueet sekä näihin liittyvät ainevirrat (fluoridi, sulfaatti, kokonaistyyppi, kokonaisfosfori ja kloridi).

Mallinnuksessa on huomioitu vuosien 2022–2024 mittaustieto sekä Jaakonlammen poistuminen vesikierron osana keväällä 2025. Malli on kalibroitu ja parametrisoitu nykytilaa vastaavaksi, ja sen avulla voidaan arvioida vesienkäsittelyn toimivuutta sekä tarkastella vesienkäsittelyn tehostamisen vaikutuksia kaivoksen vesikiertoon ja sen aiheuttamaan kuormitukseen. Malliin on sisällytetty neljä vesienkäsittelyn tehostamistoimenpidettä:

- VT1 Saostuskemikaalin vaihto Sikopuron puhdistamolla sulfaattipohjaisesta PIX-105A:sta kloridipohjaiseen PAX-XL100:een,
- VT2 Rikkihapon käytön lopettaminen rikastamolla,
- VT3 Mustin länsipadon suotovesien kerääminen ja takaisinpumppaus rikastushiekka-alueelle,
- VT4 Ansanmäen sivukivialueen suotovesien hyödyntäminen raakavetenä rikastamolla.

Näiden toimenpiteiden vaikutuksia on arvioitu malliskenaarioiden avulla, joissa on simuloitu vesikierron ja kuormituksen kehitystä. Räjähdyksineen reseptiikan optimointia ei ole voitu mallinnuksessa huomioida, koska toimenpiteiden vaikutuksista ei ole vielä kattavasti tietoa, kuten kappaleessa 5.7 on kuvattu. Actiflowta ei ole mallinnettu, koska sillä ei voitaisi parantaa puhdistustulosta nykyisestä. Mallilla on tarkasteltu toimenpiteiden vaikuttavuutta sekä yksittäin että yhdistettynä. Työ ja sen tulokset ovat tämän selvityksen liitemateriaalina (**Liite 1**) ja muodostavat perustan vesienkäsittelyn tehostamistoimenpiteiden vaikutusten arvioinnille.

8 Kolmisopen, Kuuslahden ja Sulkavanjärven mallinnus ja vaikutusten arvioinnit

8.1 CSTR-MALLINNUS

Kolmisopen ja Sulkavanjärven CSTR-vesistömallinnuksessa on kuvattu Yara Suomi Oy:n Siilinjärven kaivostoimintojen vesienkäsittelyn tehostamistoimenpiteiden vaikutusten arviointia Kolmisopen ja Sulkavanjärven vedenlaatuun (Envineer, 2025e). Arviointi on toteutettu jatkuvasti sekoittuneen vesimassan oletukseen perustuvalla CSTR-mallilla (Continuously Stirred Tank Reactor), joka mahdollistaa vesistöjen virtaama-, kuormitus- ja pitoisuustarkastelun yleistasoisilla lähtötiedoilla. Malli on kytketty Siilinjärven kaivoksen vesi- ja ainetasemalliin, ja se hyödyntää vuosien 2022–2024 mittaustietoja sekä huomioi Jaakonlammen poistumisen vesikierron altaana.

Mallinnusalue kattaa Kolmisopen ja Sulkavanjärven valuma-alueet, mukaan lukien merkittävät kuormituslähteet kuten Mustin ja Raasion rikastushiekka-alueet, Ansanmäen sivukivialueen sekä tehdasalueen ojat. Sulkavanjärven osalta malliin sisällytettiin myös siihen liittyvät vesistöt, kuten Tuli-Koivusen lampi ja Pieni-Sulkava. Mallissa huomioitiin kaikki merkittävät tulovirtaamat, kuten Pöljänjoki, Koivusenjoki ja Kolmisopenjoki.

Mallinnuksen tavoitteena oli vertailla nykyisten (VNT) ja tehostettujen (VTT) vesienkäsittelytoimenpiteiden vaikutuksia Kolmisopen ja Sulkavanjärven vedenlaatuun, erityisesti fosforin, typen ja sulfaatin pitoisuuksiin. Mallinnuksessa huomioitiin kaikki tarkastelussa olevat toimenpiteet. Tarkastelussa keskityttiin vuosikeskiarvoihin, jotka kuvaavat vesistöjen keskimääräistä tilaa tilanteessa, jossa vesimassa on täysin sekoittunut.

Mallinnetut aineet sisälsivät fosforin, typen ja sulfaatin. Fosforin ja typen osalta mallissa huomioitiin järviokohtainen retentio, kun taas sulfaatti mallinnettiin konservatiivisesti ilman pidättymistä. Malliajoissa toteutettiin skenaariosimuloinnit, joissa verrattiin nykytilaa ja tehostettujen toimenpiteiden vaikutuksia tavanomaisen säävuoden 2016 olosuhteissa. Skenaariot sisälsivät samat toimenpiteet kuin GoldSim-vesikiertomallissa.

Mallinnuksen tuloksena saatiin arvio vesienkäsittelyn tehostamisen vaikutuksista Kolmisopen ja Sulkavanjärven vedenlaatuun. Tulokset osoittavat, että erityisesti sulfaatti- ja typpikuormitus sekä niiden pitoisuudet vesistöissä pienenevät merkittävästi tehostettujen toimenpiteiden myötä, kun taas fosforipitoisuuksiin vaikutus on vähäinen hajakuormituksen hallitsevan roolin vuoksi.

Raportti, joka sisältää vesistövaikutusten arvioinnin ja mallinnustulokset, on esitetty liitteenä (**Liite 3**).

8.2 LEVIÄMI SMALLI NNUKSET

Kuuslahden ja Sulkavanjärven leviämismallinnuksissa on kuvattu Yara Suomi Oy:n Siilinjärven kaivostoimintojen vesienkäsittelyn tehostamistoimenpiteiden vaikutusten arviointia Juurusveden Kuuslahden sekä Sulkavanjärven tilaan (Envineer, 2025c; Envineer 2025d). Arvioinnit on toteutettu kolmiulotteisella virtaus- ja kulkeutumismallilla EEMS (EFDC+ Explorer Modelling System), joka mahdollistaa virtaus-, vedenlaatu- ja jääpeitemallinnuksen. Kuuslahden leviämismallinnuksessa mallinnusalue rajattiin Kuuslahden vesialueelle, ja siihen sisällytettiin kaikki merkittävät kuormituslähteet. Sulkavanjärven osalta mallinnusalue kattoi Sulkavanjärven sekä siihen liittyvät vesistöt, kuten Tuli-Koivusen lammen ja Pieni-Sulkavan alueen. Malliin sisällytettiin kaikki merkittävät tulovirtaamat, kuten Pöljänjoki, Koivusenjoki ja kaivosalueelta laskevat ojat.

Mallinnuksen tavoitteena oli vertailla nykyisten ja tehostettujen vesienkäsittelytoimenpiteiden vaikutuksia Kuuslahden ja Sulkavanjärven vedenlaatuun, erityisesti ravinne- ja suolapitoisuuksiin sekä vesimassan kerrostuneisuuteen. Tarkastelussa huomioitiin sekä jääpeitekauden että avovesikauden aikaiset vaikutukset.

Mallinnetut aineet sisälsivät veden suolaisuuden (sulfaatti ja kloridi), typen ja fosforin. Ravinteet mallinnettiin inertteinä aineina, jolloin niiden kulkeutuminen ja laimeneminen vesistössä voitiin arvioida konservatiivisesti ilman biologista kiertoa.

Malliajoissa toteutettiin sekä validointisimulaatiot todellisten vuosien 2023 ja 2024 sää- ja kuormitustiedoilla että skenaariosimulaatiot, joissa verrattiin nykytilaa (VNT) ja tehostettujen toimenpiteiden vaikutuksia (VTT) tavanomaisen säävuoden 2016 olosuhteissa. Skenaariot sisälsivät kaikki samat toimenpiteet kuin GoldSim-malli.

Mallinnuksen tuloksena saatiin ainepitoisuuksien aikakehitykset eri vesikerroksissa ja eri skenaarioissa. Näiden avulla arvioitiin vesienkäsittelyn tehostamisen vaikutuksia vedenlaatuun ja kerrostuneisuuteen Kuuslahdessa ja Sulkavanjärvässä.

Raportit, joissa on esitetty vaikutusten arvioinnit ja mallinnustulokset, ovat tämän selvityksen liitemateriaalina (**Liite 2** ja **Liite 3**).

9 Teknistaloudellisen selvityksen toimenpidekohtaiset vaikuttavuuden kuvaukset

Esitettyjen toimenpiteiden vaikutuksia kaivoksen vesistökuormitukseen on selvitetty kohdassa 7 esitetyllä GoldSim-mallilla (Envineer, 2025b). Vaikutukset Kuuslahteen, Sulkavanjärveen ja Kolmisoppeen on selvitetty luvun 8 mukaisilla mallinnuksilla. Tässä osiossa on keskitytty kuvaamaan lyhyesti ja toimenpidekohtaisesti kunkin tehostamistoimenpiteen vaikutukset kaivoksen vesikierron vesi- ja ainetaseeseen sekä alapuolisiin vesistöihin. Vaikutuksia on käsitelty yksityiskohtaisemmin liitemateriaalin **liitteissä 1–3**.

9.1 SAOSTUSKEMIKAALIN VAIHTO KLORIDIPOHJAISEEN SIKOPURON ALLASPUHDISTAMOLLA (VT1)

Nykyiseen vesienkäsittelyyn nähden saostuskemikaaliin vaihto vähentää Kuuslahteen kohdistuvaa sulfaattikuormitusta noin 309 tonnia vuodessa. Kemikaalin vaihtamisen seurauksena PAX-100A kemikaalista liukenee puhdistettuun veteen kloridia noin 129 tonnia vuodessa. Kloridipitoisuudet vesikierrossa ovat nykyisellään pieniä, joten niitä ei ole tarkemmin tutkittu. Toimenpiteen seurauksena pieni määrä kloridia päätyy vuosittain puhdistamon huoltotöiden yhteydessä poistettavan käsittelysakan mukana Raasion altaalle. Tämä aiheuttaa vesitasemallin mukaan useiden vuosienkin kuluessa vain vähäisen (< 1 mg/l) kloridipitoisuuden nousun vesikierrossa. Pitoisuusnousu ei lisää rikastamon laitteistossa merkittävää korroosion riskiä. Kemikaalin käytöstä liuennut kloridi päätyy käsiteltyjen vesien mukana Sikopuroon ja edelleen Kuuslahteen.

Kloridipohjaisen saostuskemikaalin käyttöönotto vähentää Sikopuron kautta Kuuslahteen tulevaa sulfaattikuormitusta noin 17 %. Vaikka kloridikuormitus kasvaa, kokonaisvaikutus suolakuormitukseen on toimenpiteen johdosta vähenevä. Toimenpiteen toteuttamisella ei ole vaikutusta ravinnekuormitukseen, joten fosfori- ja typpipitoisuudet pysyvät ennallaan. Kuten tälläkin hetkellä, sulfaattipitoisuudet jäävät toimenpiteen myötä Kuuslahdessa yleisesti selvästi alle ehdotetun ympäristönlaatu normin vuosikeskiarvon (AA-EQS 39 mg/l). Ajoittaisia kohonneita sulfaattipitoisuuksia on kuitenkin esiintynyt Sikopuroa lähellä olevan tarkkailupisteen Juurusvesi 2 syvänteen alusvedessä. Toimenpide vähentää sulfaattikuormitusta ja ekotoksikologisia riskejä vesieliöstölle tämän osalta jossain määrin kyseisellä syvänealueella. Kloridipitoisuudet nousevat, mutta pysyvät selvästi alle kansainvälisesti käytettyjen turvallisten raja-arvojen (esim. Kanadan pitkäaikainen altistusraja 120 mg/l). Kasviplanktonin, pohjaeläinten ja kalaston tilaan ei arvioida kohdistuvan kielteisiä vaikutuksia.

9.2 SIKOPURON ALLASPUHDI STAMON KORVAAMINEN ACTIFLO-LAITOKSELLE

Sikopuron allaspuhdistamon korvaamista Actiflow-laitoksella ei voida pitää vaikuttavana toimenpiteenä. Kuten edellä luvuissa 5.2 ja 6.2 on kuvattu, Actiflow-laitoksella ei tosiasiallisesti pystytä tehostamaan vesien puhdistusta nykyiseen allaspuhdistamoon verrattuna, eikä se siten ole investointina taloudellisesti kannattava.

9.3 RIKKIHAPON KORVAAMINEN RIKASTAMOLLA (VT2)

Rikkihapon vaihtaminen sulfaattittomaan rikastuskemikaaliin vähentää rikkihaposta peräisin olevaa sulfaattikuormitusta vesikiertoon ja edelleen Kuuslahteen. Vähemmän Sikopuron puhdistamolta lähtevässä kuormituksessa on noin 426 tonnia vuodessa, joka on noin 24 % tämänhetkisestä Yaran sulfaattikuormituksesta Sikopuroon.

Rikkihapon käytön lopettaminen vähentää rikastushiekka-alueelle päätyvän rikin määrää, joka tulee tulevaisuudessa näkymään myös rikastushiekka-alueen suotovesien sulfaattikuormituksen pienenemisenä. Toimenpiteellä ei ole vaikutusta typpi- ja fosforikuormitukseen, eikä se myöskään lisää kloridikuormaa edellisen vaihtoehdon tavoin. Tehostamistoimenpidettä voidaan pitää vaikuttavana ja ympäristön kannalta suotuisana ratkaisuna, joka vähentää sulfaattikuormitusta pitkällä aikavälillä ilman haitallisia sivuvaikutuksia.

9.4 MUSTIN RIKASTUSHIEKKA-ALUEEN LÄNSIPADON SUOTOVESIEN KERÄÄMINEN JA OHJAAMINEN KAIVOKSEN SISÄISEEN VESIKIERTOON (VT3)

Mustin rikastushiekka-alueen suotovesien kerääminen ja niiden takaisinpumppaus vähentää Kolmisoppeen johdettavaa vuotuista vesimäärää mallinnuksen mukaan noin 285 000 kuutiometriä vuodessa. Suotovesien takaisinpumppaus vähentää Koivusenjoen valuma-alueelle Kolmisoppeen kohdistuvaa sulfaattikuormitusta 38 tonnia vuodessa ja Kolmisopen kautta Sulkavanjärveen kohdistuvaa sulfaattikuormitusta noin 10 % Yaran kokonaiskuormituksesta. Suotovesien takaisinpumppaus vähentää typpikuormitusta 1 246 kg ja fosforikuormitusta 19 kg vuodessa. Toimenpide kuitenkin kasvattaa Kuuslahteen kohdistuvaa kuormitusta, koska takaisin pumpatut suotovedet ohjautuvat vesikierron kautta Sikopuroon. Käsiteltävän vesimäärän kasvaessa, kasvaa Sikopuroon johdettava sulfaattikuormitus myös lisääntyvän sulfaatin lähteenä toimivan vesienkäsittelykemikaalin käyttömäärän kasvun myötä.

Kolmisopen tilaan kohdistuvat vaikutukset arvioidaan myönteisiksi, erityisesti Rötikönlahdessa, koska vesienkäsittelyn tehostaminen vähentää ravinne- ja sulfaattikuormitusta. Toimenpiteen seurauksena Rötikönlahden pysyvä kerrostuneisuus todennäköisesti heikkenee ja mahdollisesti voi purkautua vähitellen kokonaan. Tällä voi olla Rötikönlahden fosforin sisäistä kuormitusta jossain määrin pienentävä vaikutus. Fosforin osalta vaikutus jää yleisesti ottaen vähäiseksi, sillä suurin osa

kuormituksesta on peräisin muista kuin Yaran kuormituslähteistä, mikä korostaa hajakuormituksen vähentämisen merkitystä rehevyyden hallinnassa.

Rötikönlahden pienenä kielteisenä vaikutuksena nähdään suotovesimäärän vähenemisestä johtuva viipymän pitenemisen kohdistuminen Rötikönlahteen. Tällä voi olla koko Kolmisopen ravinnepitoisuuksien kannalta positiivisia sekundaarisia vaikutuksia, jos ravinteita ja kiintoainetta pidättyy viipymän pitenemisen takia nykyistä enemmän Rötikönlahteen. Kokonaisuutena Rötikönlahden tilan arvioidaan kuitenkin toimenpiteen seurauksena parantuvan. Koko Kolmisopen viipymä pitenee toimenpiteen seurauksena n. 5 %, mitä ei pidetä merkittävän muutoksena Kolmisopen kannalta, kun huomioidaan arvioidut toimenpiteellä saavutettavat hyödyt.

Toimenpiteen seurauksena on mahdollista, että sulfaatile ehdotettu ympäristölaatumnormi (AA-EQS 39 mg/l) voisi tulevaisuudessa alittua Kolmisopessa nykyistä selkeämmin. Yleisesti ottaen rehevyydystason vähenemisellä arvioidaan olevan myönteisiä vaikutuksia vesieliöstöön. Rehevyydystason arvioidaan laskevan järvessä pidemmällä aikavälillä, mutta suuruusluokan arvioiminen on haastavaa, koska rehevyyteen vaikuttavat pistekuormituksen ohella myös muut tekijät, kuten järveen tuleva hajakuormitus sekä järven sisäinen kuormitus. Kuormituksen vähentäminen Kolmisoppeen pienentää asteittain myös Sulkavanjärveen kulkeutuvaa kuormitusta.

Kuuslahden kohdistuvan sulfaattikuormituksen määrän kasvu on vähäinen, eikä sillä ole vaikutusta Kuuslahden tämänhetkiseen tilaan. Fosfori- ja typpikuormitus Kuuslahden kasvavat hieman, mutta kuormitusmuutoksella ei arvioida olevan kielteistä vaikutusta fysikaalis-kemiallisen tilan luokitukseen, eikä sen arvioida vaikuttavan kielteisesti vesieliöstöön. Toimenpiteen hyödyt näkyvät etenkin Kolmisopen ja Sulkavanjärven sulfaatti- ja typpikuormituksen pienentämisenä.

9.5 ANSANMÄEN SIVUKIVIALUEEN SUOTOVESIEN KÄYTTÖ RIKASTAMOLLA RAAKAVETENÄ (VT4)

Ansanmäen sivukivialueen suotovesien talteenotto ja käyttö rikastamon raakavetenä vähentää Sulkavanjärveen päätyvää suotovesivirtaamaa noin 390 000 kuutiometriä vuodessa. Suotovesien talteenoton ja kierrättämisen myötä fosforikuormitus Sulkavanjärveen pienenee 10 kg/v, typpikuormitus pienenee 12 910 kg/v ja sulfaattikuormitus pienenee 157 tn/v. Toimenpide kuitenkin kasvattaa Kuuslahden kohdistuvaa typpikuormitusta n. 1 380 kg/v ja sulfaattikuormitusta noin 66 tn/v, sillä vedet kiertävät rikastamon kautta rikastushiekka-alueelle ja ohjautuvat vesikierron kautta Sikopuroon. Kuuslahden fosforikuormitus ei käytännössä suurene. Kuormituslisäys on pienempi kuin vähenemä Sulkavanjärveen, koska myös nykyisin raakavedenoton mukana vesikiertoon tulee fosforia, typpeä ja sulfaattia ja koska etenkin typpeä pidättyy/poistuu merkittävästi kaivoksen pitkän viipymän vesikierron aikana.

Kuten nykyisin, sulfaattipitoisuus pysyy Sulkavanjärvessä toimenpiteen jälkeen vesieliöstölle turvallisella tasolla. Sulkavanjärven sedimentti on herkkä jo pienien sulfaattipitoisuuksien aiheuttamalle fosforin sisäisen kuormituksen kiihtymiselle, joka tuo epävarmuutta vaikutusten arviointiin. Lisäksi myös Sulkavanjärven nitraatin väheneminen voi lisätä järven sisäistä fosforikuormitusta, mikä voi heikentää järven tilaa. Kokonaisuutta tarkastellessa toimenpiteellä

saavutettavien pitoisuusmuutoksen ei arvioida parantavan Sulkavanjärven biologista tilaa, koska nitraatilla on nykytilassa sedimentin redox-potentiaalia parantava vaikutus. Nitraattipitoisuuden merkittävä lasku voikin lisätä fosforin sisäistä kuormitusta. Fosfori on Sulkavanjärven rehevyyden kannalta keskeisin ravinne, ja sen hajakuormituksen vähentäminen erityisesti Pöljänjoen kautta olisi tärkeintä järven tilan parantamiseksi.

Kuuslahteen kohdistuvan sulfaattikuormituksen määrän kasvu on vähäinen, eikä sillä ole vaikutusta Kuuslahden tämänhetkiseen tilaan. Fosfori- ja typpikuormitus Kuuslahteen kasvavat hieman, mutta kuormitusmuutoksella ei arvioida olevan kielteistä vaikutusta fysikaalis-kemiallisen tilan luokitukseen, eikä sen arvioida vaikuttavan kielteisesti vesieliöstöön. Toimenpiteen vaikutukset näkyvät etenkin Sulkavanjärven sulfaatti- ja typpikuormituksen pienenemisenä. Vaikutus Sulkavanjärven tulo- ja lähtövirtaamiin on hyvin pieni, koska Ansanmäenpuron vesien kierrätys raakavedeksi vähentää samassa suhteessa Sulkavanjärveen kohdistuvaa raakavedenottotarvetta. Kokonaisvaikutus, kun huomioidaan myös VT3 Mustin länsipadon suotovesien kerääminen ja takaisinpumpaus Mustin rikastushiekka-altaalle, on ainoastaan prosentin luokkaa. Viipymän arvioidaan kasvavan noin päivällä. Muutos on niin pieni, ettei sillä ole vaikutusta Sulkavanjärven tilaan.

9.6 RÄJÄHDYSAINEEEN RESEPTTIKAN OPTIMOINTI

Räjähdyksaineen resepttiikan optimointia ja testausta toimenpiteenä toteutetaan parhaillaan. Toimenpiteen vaikuttavuutta ei voida vielä tässä vaiheessa arvioida luvussa 5.7 kuvattujen syiden takia. Resepttiikan optimoinnin kehitystyötä viedään eteenpäin ja sen vaikutuksia seurataan. Saatavien tulosten perusteella resepttiikan optimoinnin teknis-taloudellista toteuttamiskelpoisuutta tulevaisuudessa sekä sen vaikuttavuutta voidaan arvioida vasta tulevina vuosina.

9.7 YHTEENVETO TEHOSTAMISTOIMENPITEIDEN VAIKUTUKSISTA

Jos kaikki tarkastellut vesienkäsittelyn tehostamistoimenpiteet otetaan huomioon, pienenee Yaran mallinnettu kokonaissulfaattikuormitus yhteensä 815 tn/v. Yksin rikkihapon käytön lopettamisella 426 tn/v ja yksin saostuskemikaalin vaihdolla 309 tn/v. Muilla tarkastelluilla toimenpiteillä ei ollut yhtä merkittävää vaikutusta Yaran sulfaatin kokonaiskuormitukseen. Yksin Mustin rikastushiekka-alueen suotovesien kerääminen vähentää Kolmisopen ja Sulkavanjärven sulfaattikuormitusta, mutta samalla kasvattaa hieman enemmän Kuuslahden sulfaattikuormitusta, koska Sikopuron vesienkäsittelyssä käytetään ferrisulfaattia. Myös Ansanmäen sivukivialueen suotovesien keräämisen myötä sulfaattikuormitus Sulkavanjärveen pienenee ja Kuuslahteen kasvaa. Mikäli edellisten lisäksi Sikopuron saostuskemikaali vaihdettaisiin kloridipohjaiseen, ei Kuuslahteen päätyvä sulfaattikuorma olisi yhtä suuri näissä vaihtoehdoissa.

Yhteenveto tehostamistoimenpiteiden vaikutuksista kuormituksen vähenemään on esitetty taulukossa (Taulukko 5). Lisäksi on esitetty toimenpiteen kustannukset vähennettyä sulfaattitonnia kohden laskettuna 10 vuoden ajanjaksolle. Siirtymistä Actiflo-laitokseen ei ole lisätty taulukkoon, koska sillä ei todeta olevan vaikuttavuutta.

Taulukko 5. Toimenpidekohtainen kuormituksen vähenemä. Taulukossa ”-” tarkoittaa, että vaikuttavuutta ei ole ainetaiseessa arvioitu. Siirtymistä Actiflo-laitokseen ei ole taulukossa, koska toimenpiteellä ei todeta olevan vaikuttavuutta.

Toimenpide	P-muutos (kg/a)		N-muutos (kg/a)		SO ₄ -muutos (tn/a)		Kustannus (€/SO ₄ tn)
	Kuuslahti	Sulkavanjärvi	Kuuslahti	Sulkavanjärvi	Kuuslahti	Sulkavanjärvi	
VT1							
Saostuskemikaalin vaihto kloridipohjaiseen Sikopuron allaspuhdistamolla	0	0	0	0	-309	0	2 249
VT2 Rikkihapon korvaaminen rikastamolla	0	0	0	0	-426	0*	857
VT3 Länsipadon suotovesien takaisinpumppaus	+9**	-19	+940**	-1 245	+78**	-38	719***
VT4 Ansanmäen sivukivialueen suotovesien käyttö rikastamolla raakavetenä	0	-10	+1 380**	-12 910	+66**	-157	300***

*Toimenpide tulee vähentämään myös rikastushiekka-alueiden suotovesien sulfaattikuormitusta. Tämän laskennallinen tarkastelu (viive ja voimakkuus) sisältäisi huomattavia epävarmuuksia, minkä vuoksi sitä ei ole huomioitu mallinuksissa.

**Sikopuron allaspuhdistamon virtaama ja kuormitus kasvaa VT3 ja VT4 toimenpiteiden johdosta, joka näkyy kasvavana kuormituksena Kuuslahdessa.

***Kustannuslaskennassa ei ole huomioitu Kuuslahden lisääntyvää sulfaattia.

Suurin teoreettinen sulfaatin kuormituksen vähenemä saavutetaan toimenpiteellä VT2, jossa rikkihappo korvataan rikastamolla. Tämä vähentää vuositasolla 426 tonnia sulfaattikuormitusta Kuuslahteen. Toimenpide on myös taloudellisesti toteuttamiskelpoinen ja taulukon (Taulukko 5) laskentaperiaatteilla yhden sulfaattitonin poistamisen kustannus on noin 857 euroa. Lisäksi toimenpide pienentää tulevaisuudessa myös rikastushiekka-alueiden suotovesikuormitusta. Myös toimenpiteessä VT1 saostuskemikaalin vaihtaminen kloridipohjaiseen vähentää Kuuslahden sulfaattikuormitusta vuositasolla 309 tonnia. Tämän toimenpiteen kustannus on yli kaksinkertainen toimenpiteeseen VT2 verrattuna, ollen noin 2250 € vähennettyä sulfaattitonnia kohden.

Toimenpidettä VT2 voidaan pitää vaikuttavana ja ympäristön kannalta suotuisana ratkaisuna, koska se vähentää sulfaattikuormitusta ilman haitallisia sivuvaikutuksia. Toimenpide VT1 vähentää myös sulfaattikuormitusta, mutta lisää samalla kloridikuormitusta. Kumpikaan toimenpiteistä ei vaikuta ravinteisiin. Toimenpiteiden vaikuttavuus näkyy Kuuslahden pienentyneenä sulfaattikuormituksena, mikä vähentää ekotoksikologisia riskejä vesieliöstölle. Toimenpiteillä ei kuitenkaan ole vaikuttavuutta vesimuodostuman ekologiseen tai fysikaalis-kemialliseen tilaluokitukseen.

Toimenpiteellä VT4 saavutetaan suurin sulfaatti- ja typpikuorman vähenemä Sulkavanjärveen. Typpikuormitus vähenee vuositasolla 12 910 kiloa ja sulfaattikuormitus 157 tonnia. Osa vähentyneestä kuormituksesta siirtyy kuitenkin Sikopuron allaspuhdistamon kautta Kuuslahteen. Toimenpiteen hinta on noin 300 € Sulkavanjärveen vähennettyä sulfaattitonnia kohden.

Toimenpiteen toteuttamisen jälkeen sulfaattipitoisuus pysyy Sulkavanjärvässä yhä vesieliöstölle turvallisella tasolla. Sulkavanjärven nitraatin väheneminen voi kuitenkin lisätä järven sisäistä

fosforikuormitusta, mikä voi heikentää järven tilaa. Kokonaisuutta tarkastellessa toimenpiteellä saavutettavien pitoisuusmuutosten ei arvioida parantavan Sulkavanjärven biologista tilaa. Mikäli toimenpide toteutetaan, vaatii se tarkkaa seurantaan järven happitilanteen ja rehevöitymisen osalta. Koska fosfori on Sulkavanjärven rehevyyden kannalta keskeisin ravinne, on fosforin hajakuormituksen vähentäminen tärkeintä järven tilan parantamiseksi.

Toimenpide VT3 vähentää Kolmisoppeen kulkeutuvaa typpi- ja sulfaattikuormitusta, mutta kasvattaa samalla Kuuslahden kuormitusta. Toimenpide ennemminkin siirtää Kolmisoppeen kohdistuvaa kuormitusta Kuuslahteen, kuin poistaa sitä. Toimenpiteen vaikuttavuutta Kolmisoppeen voidaan kuitenkin pitää kohtalaisena vähentyvän sulfaatti- ja ravinnekuormituksen takia. Toimenpiteen kustannus on noin 720 € Kolmisoppeen vähennettyä sulfaattitonnia kohden. Toimenpiteen seurauksena vedenvaihtuvuus Rötikönlahdessa hidastuu, mikä voi sekä lisätä lahden umpeenkasvua, mutta myös parantaa muun Kolmisopen tilaa.

Toimenpiteiden VT3 ja VT4 vaikutuksia Kuuslahteen voidaan lieventää, jos niiden lisäksi toteutetaan toimenpide VT1 tai VT2.

Lähteet

Autio, S. (2025). *Räjähdeaineen vaikutus louhosvesien typpipitoisuuksiin*. (Pro Gradu-tutkielma, Itä-Suomen yliopisto, Ympäristö- ja biotieteiden laitos).

Envineer Oy 2025b. Siilinjärven kaivoksen vesi- ja ainetasemallinnus. 29.10.2025.

Envineer Oy 2025c. Kuuslahden 3D-virtaus- ja kulkeutumismallinnus sekä vaikutustenarviointi. 29.10.2025

Envineer Oy 2025d. Sulkavanjärven 3D-virtaus ja kulkeutumismallinnus. 29.10.2025

Envineer Oy 2025e. Siilinjärven kaivoksen alapuolisten Kolmisopen ja Sulkavanjärven CSTR-vesistömallinnus. 29.10.2025

Envineer Oy 2025f. Kolmisopen ja Sulkavanjärven vesistövaikutusten arviointi. 29.10.2025

Envineer Oy 2025g. Siilinjärven kaivoksen sää- ja ilmastomuutosmallinnus. 29.10.2025

ISAVI 2021.. *Ympäristöluvan olennainen muuttaminen kaivoksen toiminnan osalta ja vesitalouslupa Jaakonlammen kuivattamiseksi, Siilinjärvi*. Itä-Suomen aluehallintovirasto (ISAVI), 22.6.2021.

Liu, R., et al. (2011). "Phosphorus removal performance of acid mine drainage (AMD) and its mechanisms." *Journal of Hazardous Materials*, 190(1-3), 669-676.

Pöyry Finland Oy (2012). *Suotovesipumppaamo ja putkisto*. Hankintaohjelma. 27.8.2012.

Ramboll Finland Oy. (2024). *Siilinjärven kaivoksen laajentaminen YVA-selostus*. Yara Suomi Oy.

Ramboll Finland Oy. (2024). *Vesienkäsittelyn teknistaloudellisen tehostamisen hankesuunnitelma*. Laatinut Nanni Aliklaavu, Anna Sipilä ja Niko Rissanen; tarkastanut Anna Sipilä; hyväksynyt Niko Rissanen. 4.4.2024. Yara Suomi Oy.

Tillonen, I. (2025). *Kolmisoppijärven Rötikönlahden kuormitustekijät ja kuormituksen vähentämiseksi hallintatoimenpiteet* (Pro Gradu-tutkielma, Itä-Suomen yliopisto, Ympäristö- ja biotieteiden laitos).

Vesi-Eko Oy & Savo-Karjalan Ympäristötutkimus Oy (SKYT) (2025). *Latvavesiraportti 2024*. Yara Suomi Oy:n Siilinjärven toimipaikan vaikutukset latvavesiin. 27.2.2025. 109 s.

Wang, Y., et al. (2005). "Optimization of phosphorus removal from secondary effluent by chemical precipitation." *Chemosphere*, 61(4), 582–589.

Yara Suomi Oyj (Yara) (2023). *Latvavesiraportti 2022*. Kaivostoiminnan sekä kipsin läjitysalueen vaikutukset alapuolisiin vesistöihin.



ENVINEER

envineer.fi