



LIITE 10: SAKATIN KAIVOSHANKE, YMPÄRISTÖVAIKU-  
TUSTEN ARVIOINTI, KAIVOKSEN VESITASE, AFRY FIN-  
LAND 2023



**AA Sakatti Mining Oy**  
**Sakatin kaivoshanke, Ympäristövaikutusten arviointi**

**Kaivoksen vesitase**

**10.2.2023**

Laatija  
Kirsi-Marja Haanpää  
Puhelinnumero  
+358 50 351 9641  
Sähköposti  
kirsi-marja.haanpaa@afry.com

Päivämäärä  
10/02/2023  
Projektinumero  
101017183-001

Asiakas  
AA Sakatti Mining Oy

## Vesitasemallinnusraportti

Tässä raportissa esitetään Sakatin kaivoshankkeen ympäristövaikutusten arviointia varten laaditun vesi- ja ainetasemallinnuksen periaatteet ja tulokset. Raportti esittää myös vedenlaatuarviot kaivoksen sisäisen kierron vesijakeille.

Raportti on laadittu AFRY Finland Oy:n toimesta ja se on laadittu yhteistyössä AA Sakatti Mining Oy:n kanssa.

AFRY Finland Oy

Kirsi-Marja Haanpää  
Piia Juholin  
Päivi Picken

## Sisällysluettelo

|       |                                                                                  |    |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1     | JOHDANTO .....                                                                   | 5  |
| 2     | TUOTANTOVAIHEEN YLEINEN VESIKIERTO .....                                         | 8  |
| 3     | TUOTANTOVAIHEEN VESITASEEN LASKENTAPERUSTEET .....                               | 12 |
| 3.1   | Käytetyt vesitasemallit .....                                                    | 12 |
| 3.2   | Vesitaseen tarkastelutilanteet .....                                             | 12 |
| 3.3   | Laskentaperusteet .....                                                          | 14 |
| 3.3.1 | Pinta-alat .....                                                                 | 14 |
| 3.3.2 | Rikastamon vesitase .....                                                        | 15 |
| 3.3.3 | Kaivoksen kuivanapitovesimäärät .....                                            | 21 |
| 3.3.4 | Tarvekilouhoksen kuivanapitovesimäärät .....                                     | 23 |
| 3.4   | Meteorologinen havaintoaineisto .....                                            | 25 |
| 3.4.1 | Saatavilla oleva havaintoaineisto .....                                          | 25 |
| 3.4.2 | Sadanta ja lämpötila .....                                                       | 25 |
| 3.4.3 | Vuosisadannan toistuvuus .....                                                   | 27 |
| 3.4.4 | Vuosisadanta vs. vesienhallintajärjestelmien mitoitus .....                      | 28 |
| 3.4.5 | Ilmastomuutos .....                                                              | 29 |
| 3.4.6 | Vesitasemallinnuksessa käytetyt arvot .....                                      | 33 |
| 4     | TUOTANTOVAIHEEN VESITASEEN MALLINNUSTULOKSET .....                               | 36 |
| 4.1   | Vuositasen nettovesimäärät .....                                                 | 36 |
| 4.2   | Kuukausitasen ylijäämävedenmäärä ja altainen varastokapasiteetin käyttö .....    | 38 |
| 4.2.1 | Mallin tulokset keskimääräisen ilmaston mukaisesti .....                         | 38 |
| 4.2.2 | Mallin tulokset vaihtelevassa ilmastossa .....                                   | 43 |
| 4.3   | GoldSim-malli .....                                                              | 45 |
| 4.4   | Mallinnustulosten soveltuvuus hankevaihtoehdoille VE2a, VE2b, VE3a ja VE3b ..... | 46 |
| 5     | VEDEN LAADUT JA VEDENKÄSITTELY .....                                             | 47 |
| 5.1   | Vesijakeiden laatuarviot .....                                                   | 47 |
| 5.2   | Vesivarastoaltaan veden laatu- ja kuormitusarviot .....                          | 48 |
| 5.3   | Kemikaalijäämät .....                                                            | 50 |
| 5.4   | Soveltuvat vesienkäsittelymenetelmät .....                                       | 51 |
| 5.4.1 | Yhteenveto suunnitelluista vesienkäsittelyprosesseista .....                     | 51 |
| 5.4.2 | Prosessien kuvaus .....                                                          | 52 |

|       |                                                                                       |    |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.4.3 | Vesienkäsittelykemikaalit .....                                                       | 55 |
| 5.5   | Käsitellyn veden pitoisuudet ja vesistöön kohdistuvat kuormitukset .....              | 57 |
| 6     | TUOTANTOVAIHEEN VESI- JA AINETASEMALLIN EPÄVARMUUDEN TARKASTELU .....                 | 61 |
| 6.1   | Oletukset ja yleistyksiset .....                                                      | 61 |
| 6.2   | Mallin oletukset vesivarastoaltaan tilavuuden ja vedenpurkukapasiteetin suhteen ..... | 61 |
| 6.3   | Herkkyysanalyysi .....                                                                | 62 |
| 6.3.1 | Vesitaseen herkkyys .....                                                             | 62 |
| 6.3.2 | Ainetaseen herkkyys .....                                                             | 63 |
| 6.4   | Arvio mallin tulosten soveltuvuudesta .....                                           | 66 |
| 7     | RAKENTAMISVAIHEEN VESIENHALLINTA .....                                                | 68 |
| 8     | PUHTAIDEN VESIEN HALLINTA .....                                                       | 70 |
| 9     | JOHTOPÄÄTÖKSET .....                                                                  | 77 |
| 9.1   | Raakaveden otto ja veden kierrätys .....                                              | 77 |
| 9.2   | Ylijäämäveden määrä .....                                                             | 77 |
| 9.3   | Vesivarastojen riittävyys ja vesivarastoaltaan rakenneratkaisut ....                  | 78 |
| 9.4   | Vedenlaatu ja vedenkäsittely .....                                                    | 78 |
| 10    | VIITTEET .....                                                                        | 80 |

## Liitteet

|               |                                                            |
|---------------|------------------------------------------------------------|
| Liite 1 ..... | Vesikiertokaavio ja vesitase – Rikastushiekan kuivaläjitys |
| Liite 2 ..... | Vesikiertokaavio ja vesitase – Rikastushiekan märkäläjitys |
| Liite 3 ..... | Vesienhallinnan mitoitustilanteiden tarkastelu             |
| Liite 4 ..... | Tarvekilouhoksen pohjavesimallinnus – raportti             |
| Liite 5 ..... | Tyypipipoikkileikkaus, vesivarastoaltaan rakenteet         |

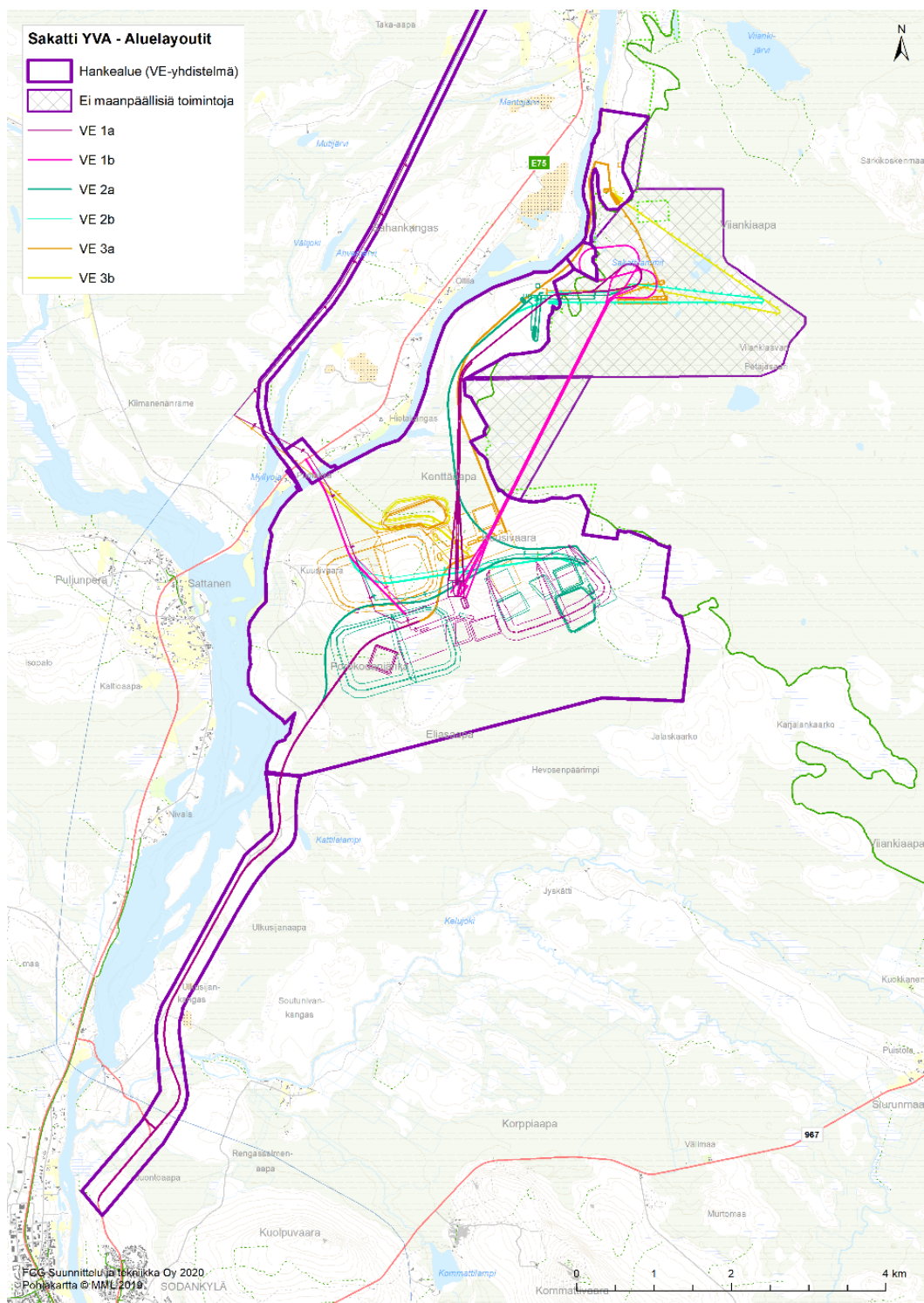
## Revisiohistoria

| Rev. | Päivämäärä | Kuvaus                                                 | Tarkastettu AFRYn tarkastus- ja hyväksymiskäytäntöjen mukaisesti |
|------|------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| [-]  | 2.6.2020   | Alkuperäinen                                           | x                                                                |
| [A]  | 10.6.2020  | Päivitys                                               | x                                                                |
| [B]  | 24.6.2020  | Päivitys                                               | x                                                                |
| [C]  | 25.9.2020  | Päivitys                                               | x                                                                |
| [D]  | 8.10.2020  | Toimitus YVA-selostukseen                              | x                                                                |
| [E]  | 25.10.2022 | Päivitys YVA-selostuksen täydennysvaiheessa            | x                                                                |
| [F]  | 17.11.2022 | Hyväksytty revisio YVA-täydennykseen                   | x                                                                |
| [G]  | 22.12.2022 | Päivitys: luku 3.4.6, luku 5.1, luku 5.4.1, luku 6.3.2 | x                                                                |
| [H]  | 13.1.2023  | Päivitys: luku 5.2, luku 6.3.2                         | x                                                                |
| [I]  | 10.2.2023  | Tarkennuksia lukuihin 3.3.3, 5.4.1, 6.3.2, 9.4         | x                                                                |

## 1 JOHDANTO

Tässä raportissa esitetään Sakatin kaivoshankkeen ympäristövaikutusten arviointia (YVA) ja tarkempaa suunnittelua varten laaditun vesi- ja ainetasemallinuksen periaatteet ja tulokset. Hanke käsittää malmin louhinnan maanalaisesta kaivoksesta, rikastamotoiminnan sekä kaivannaisjätteiden sijoituksen. Sivukivet, samoin kuin korkearikkinen rikastushiekka kokonaisuudessaan, hyödynnetään kaivostäytössä. Maanpäällisiä rakenteita ovat matalarikkisen rikastushiekan läjitysalue sekä muiden kaivannaisjätteiden ja vesienkäsittelysakkojen väliaikaiset sijoitusalueet. Lisäksi hankkeeseen kuuluu tarvekilouhos.

Kaivoshankkeessa YVA-menettelyn aikana ja sitä edeltäneissä esiselvityksissä on tutkittu useita vaihtoehtoja kaivoksen toteuttamiselle. Näistä on lopulliseen tarkasteluun valittu kolme eri päävaihtoehtoa: VE1, VE2 ja VE3. Merkittävimmät erot päävaihtoehtojen välillä ovat kaivoksen sisäänkäynnin sijainti, tehdasalueen sijoittelu Kuusivaarassa sekä läjitysalueiden ja rikastushiekka-alueiden sijainnit. Kullakin päävaihtoehdolla on alavaihtoehdot a ja b, jotka eroavat toisistaan kaivoksen yhdystien ja uuden sillan sijainnin osalta, maanalaiseen kaivokseen johtavan vinotunnelin toteutustavan sekä matalarikkisen rikastushiekan läjitystavan osalta. Yleiskuvan toimintojen sijoittelusta saa kuvasta 1-1, jossa on yhdistetty eri hankevaihtoehtojen mukaiset kaivosalueen sisäpuoliset sijoitusratkaisut, yhdystievaihtoehdot sekä kaivoksen sisäänkäynti- ja vinotunnelivaihtoehdot. Vuotuinen louhintamäärä vaihtelee välillä 1,25–2,2 miljoonaa tonnia.



**Kuva 1-1. YVA-selostuksessa arvioitavat hankevaihtoehdot Sakatin maanpäällisten toimintojen sijoittumiselle, yhdysteille sekä maanalaisten kaivoksen sisäänkäynnin ja vinotunnelin sijainneille.**



Tässä raportissa esitetään sekä vuositason että kuukausitason vesitaseet Sakatin kaivoshankkeen vaihtoehtoisille vesitaseen tarkastelutilanteille. Vaihtoehtoisuus liittyy rikastushiekan läjitystapaan sekä kaivoksen kuivatuksen eri skenaarioihin. Lisäksi prosessivaihtoehdot ja niiden vaikutukset prosessin vesitaseeseen on kuvattu osana tätä raporttia.

Tässä raportoitavan Excel-pohjaisen vesitasemallin on laatinut kokonaisuudessaan AFRY Finland Oy (myöhemmin AFRY). GoldSim-vesitasemallin on alun perin laatinut SRK Consulting (UK) Ltd (myöhemmin SRK) osana hankkeen esikannattavuusarviota ja AFRY on työstänyt mallia eteenpäin osana ympäristövaikutusten arviointia.

Taseet on laskettu hydrologisilta olosuhteiltaan keskimääräisille vuosille, ilmastollisille ääri vuosille ja lisäksi on mallinnettu poikkeuksellisen sateinen vuosi. Myös ilmastomuutoskenaariot RCP2.6, RCP4.5 ja RCP8.5 on sisällytetty mallinnukseen. Raportti sisältää myös alustavat vesijakeiden laatuarviot sekä kuvaukset eri hankevaihtoehdoille soveltuvista vesienkäsittelyprosesseista.

## 2 TUOTANTOVAIHEEN YLEINEN VESIKIERTO

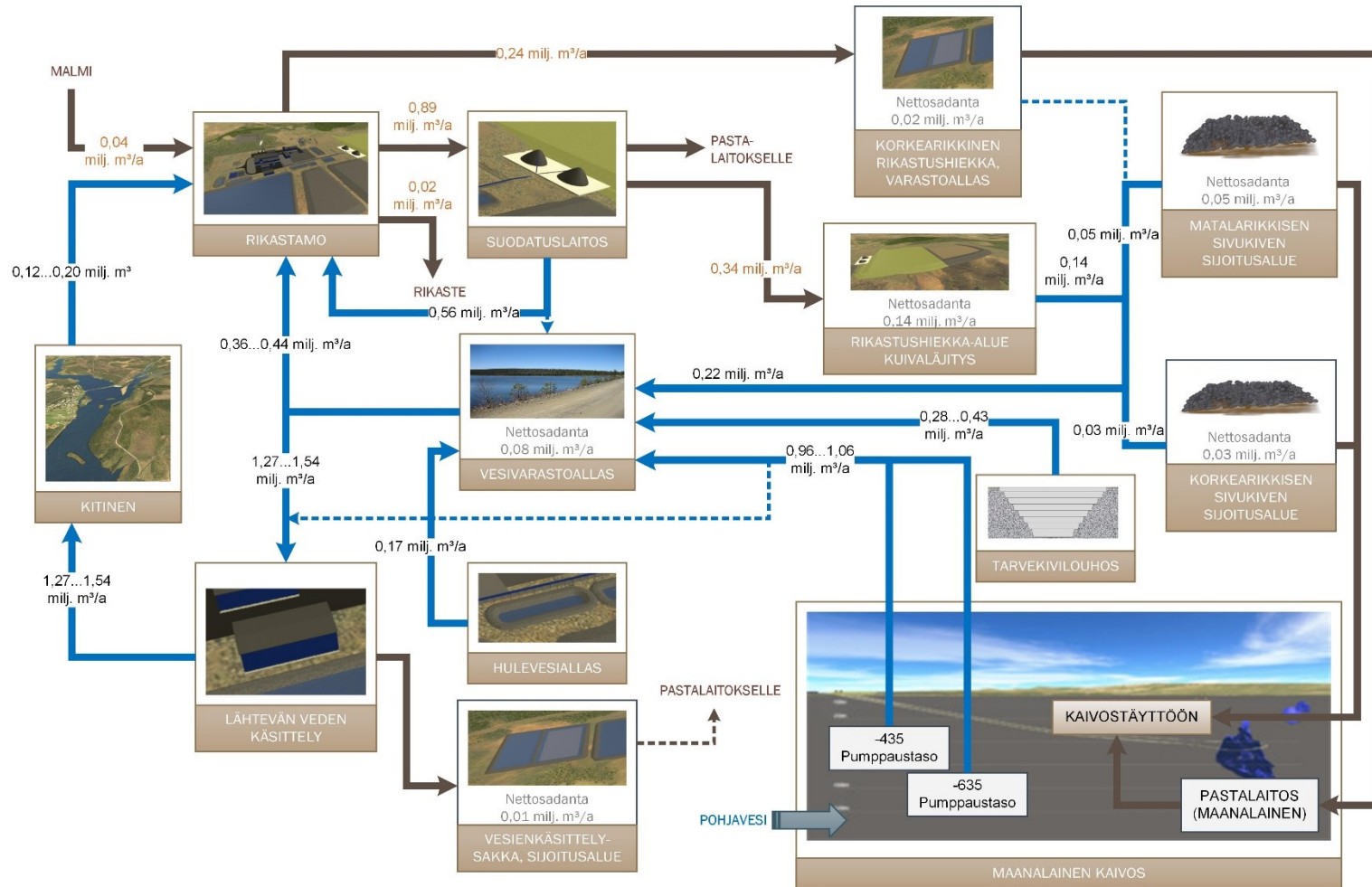
Kuvassa 2-1 esitetään hankkeen yleinen vesikiertokaavio rikastushiekan kuivaläjäytysvaihtoehdolle (vaihtoehdot VE1a, VE2a, ja VE3a) ja kuvassa 2-2 esitetään vesikiertokaavio rikastushiekan märkäläjäytysvaihtoehdolle (vaihtoehdot VE1b, VE2b ja VE3b). Kuvissa ruskea väri kuvaa kiintoaineen mukana liikkuvaa vettä ja sininen väri vesijakeita, joissa ei ole mukana merkittävää kiintoaine-epäpuhtautta.

Prosessin tarvitsema raakavesi otetaan Kitisestä. Raakavedenotto pyritään minimoimaan ja vettä kierrätetään kaivoksen vesikiirroissa niin paljon kuin mahdollista. Kaikkien toimintojen alueilta tulevat valumavedet kerätään ja otetaan osaksi kaivoksen vesikiertoa. Toimintojen ulkopuoliset puhtaat vedet pidetään erillään toiminnan vaikuttamista vesistä. Korkearikkinen rikastushiekka ja osa matalarikkisesta rikastushiekasta hyödynnetään kaivostäytössä pastan raaka-aineena. Sivukiviä varastoidaan vain väliaikaisesti maan pinnalla ja ne hyödynnetään kaivostäytössä. Kaivoksen kuivanapitovedet, samoin kuin tarvekivilouhoksen kuivanapitovedet, kerätään maan pinnalle ja otetaan osaksi kaivoksen vesikiertoa. Vesikierron ylimäärävesi käsitellään, minkä jälkeen se johdetaan Kitiseen.

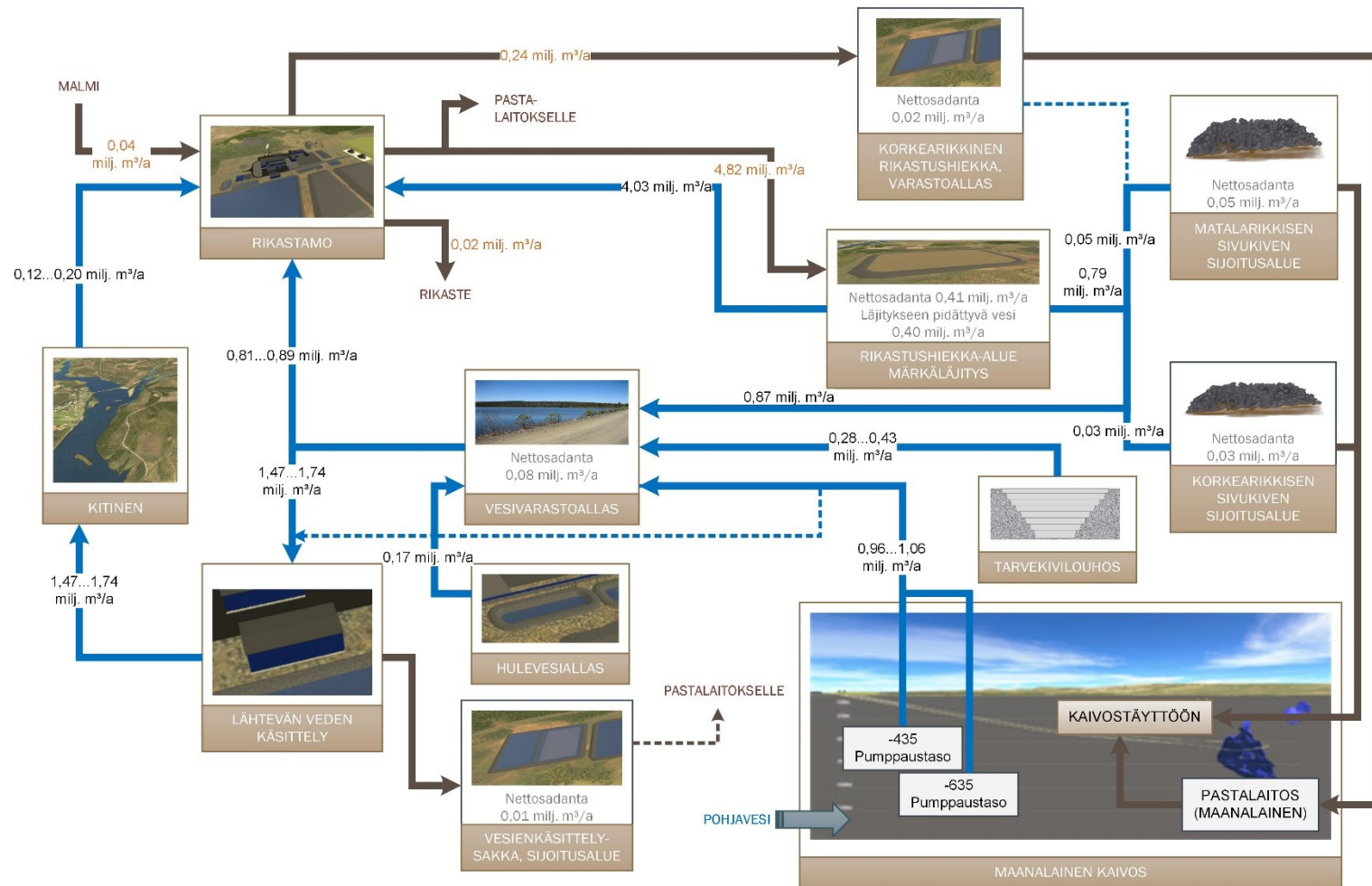
Kuivaläjäytysvaihtoehdossa (kuva 2-1) maanalaisen kaivoksen kuivanapitovedet pumpataan kaivoksen eri pumppaustasoilta maan pinnalle useampiosaiseen laskeutusaltaaseen ja edelleen joko vesivarastoaltaaseen tai suoraan lähtevän veden käsittelyyn. Maanalaisen kaivoksen pääpumppaamoiden tasot ovat -435 m ja -635 m. Tason -435 m pumppaamon kautta pumpataan maan pinnalle tason -420 m yläpuoliset vedet ja tason -635 m pumppaamon kautta pumpataan maan pinnalle tason -420 m alapuoliset vedet. Korkearikkinen rikastushiekka läjitetään aluksi omalle läjitysalueelle ja myöhemmin pumpataan kaivostäyttöön valmistettavan pastan raaka-aineeksi. Matalarikkinen rikastushiekka suodatetaan ja suodatettu rikastushiekka johdetaan rikastushiekka-alueelle, jossa se kuivaläjitetään. Osa matalarikkisesta rikastushiekasta hyödynnetään kaivostäytössä. Rikastushiekan suodatuksessa erotettu vesi pumpataan takaisin rikastamolle rikastushiekkasakeuttimelle. Matala- ja korkearikkisten sivukivien läjitysalueilta sekä matala- ja korkearikkisiltä rikastushiekka-alueilta valumavedet kerätään ja ohjataan vesivarastoaltaaseen pumppaamalla. Vesivarastoaltaaseen pumpataan myös hulevesialtaan vedet.

Vesivarastoaltaasta vettä pumpataan lähtevän veden käsittelyyn, minkä jälkeen ne ohjataan tasausaltaaseen ennen puhdistettujen vesien pumppaamista Kitiseen. Vesienkäsittelyssä (metallien saostus) muodostuva sakka johdetaan joko vesienkäsittelysakan sijoitusalueelle ja edelleen maanalaisen kaivoksen pastatäyttöön tai palautetaan rikastamolle (joko rikastesakeuttimelle tai jätesakeuttimelle). Rikastamo ottaa kierrätysvettä vesivarastoaltaasta, jotta Kitisestä pumpattavan raakaveden määrä pysyy mahdollisimman pienenä.

Märkäläjitysvaihtoehdossa rikastushiekkaa ei suodateta. Rikastushiekka-alueella muodostuva rikastushiekasta erottunut vesi ja alueella muodostunut valumavesi pumpataan pääosin takaisin rikastamolle ja ylimäärä johdetaan vesivarastoaltaaseen. Märkäläjitysvaihtoehdossa rikastamon ja rikastushiekaltaan välillä kiertävä vesimäärä on selvästi suurempi verrattuna kuivaläjitykseen. Muuten vesikierto on vastaava kuin kuivaläjitysvaihtoehdossa.



**Kuva 2-1. Vesikiertokaavio – rikastushiekan kuivaläjitys, vesimäärät keskimääräisen ilmaston mukaiset.**



**Kuva 2-2. Vesikiertokaavio – rikastushiekan märkäläjäytys, vesimäärät keskimääräisen ilmaston mukaiset.**

### **3 TUOTANTOVAIHEEN VESITASEEN LASKEN- TAPERUSTEET**

#### **3.1 Käytetyt vesitasemallit**

Hankkeen vesitaseen mallinnuksessa on käytetty kahta vesitasemallia: analyttistä Excel-mallia sekä dynaamista GoldSim-mallia. Excel-mallilla on mallinnettu tässä raportissa kohdassa 3.2 kuvatut eri tarkastelutilanteet. Excel-mallilla on tarkasteltu aina yhtä tuotannon ajankohtaa kerrallaan. Mallinnusajanjakso on yksi kalenterivuosi ja mallin aika-askel on yksi kalenterikuukausi. Excel-malli on lähtökohtaisesti deterministinen malli, mutta vuosisadannan suhteen malli on muutettu @Risk -ohjelmalla todennäköisyysmalliksi. Todennäköisyysmallin toiminnallisuuksien kautta on vuositasen purkuvesimäärälle saatu määritettyä mallin tuloksissa esitetyt 99 % luottamusvälin ylä- ja alarajat.

Malli ja kaikki sen tarkastelutilanteet (ks. kohta 3.2) on laadittu ilmaston historia-aineistosta johdetulle keskimääräisen sadannan mukaiselle ilmastoaineistolle, useille ilmastomuutoskenaarioille sekä äärimmäisen runsassateisen vuoden tilanteelle (ks. kohta 3.4). Malliin on syötetty sadanta- ja valuntatietojen lisäksi tiedot toimintojen pinta-aloista, prosessin vedenkulutuksesta ja rikastushiekkamäärästä, kaivoksen kuivanapitovesimäärästä sekä tarvekivilouhoksen kuivanapitovesimäärästä. Laaditun mallin tarkoituksena on määrittää eri tarkasteluvaihtoehtojen Kitiseen purettavien ylijäämävesien määrät sekä niiden mukana vesistöön kohdistuvat kuormitukset. Lisäksi mallin avulla on arvioitu vesivarastotilavuuksien riittävyyttä. Excel-mallin on laatinut AFRY Finland Oy.

Lisäksi hankkeessa on käytössä GoldSim-vesitasemalli (kuvattu kohdassa 4.3), jota on tässä vaiheessa käytetty varmistamaan Excel-mallin tuloksia.

#### **3.2 Vesitaseen tarkastelutilanteet**

Vesi- ja ainetasemallin tarkastelutilanteet on esitetty taulukossa 3-1. Valitut tarkastelutilanteet on valittu kuvaamaan eri hankevaihtoehtojen välisiä todennäköisimpiä eroja. Tarkastelutilanteiden väliset erot liittyvät kaivoksen kuivanapitovesimääriin, rikastushiekan läjitystapaan (kuivaläjitys/märkäläjitys) tai tarvekivilouhoksen kuivanapitovesimääriin.

Kuivanapitovesimäärä on mallinnettu kahden eri pohjavedenvirtausmallinnusskenaarion mukaisesti: 80% tiivistysskenaariossa injektointitehokkuuden on oletettu olevan 80 % ja kaivostäytön vedenjohtavuutena on pohjavedenvirtausmallissa käytetty maltillista vedenjohtavuusarvoa  $5,0 \times 10^{-8}$  m/s, kun taas 65% tiivistysskenaariossa injektointitehokkuuden on oletettu olevan 65 % ja kaivostäytön vedenjohtavuutena on pohjavedenvirtausmallissa käytetty korkeaa vedenjohtavuusarvoa  $1,0 \times 10^{-7}$  m/s. Injektointitehokkuus vähentää jonkin verran

vesitaseessa mukana olevan veden määrää (Itasca Denver Inc., 2022). Toisaalta ilmastomuutos ei vaikuta kaivoksen kuivanapitovesimääriin (Itasca Denver Inc., 2022), minkä vuoksi pohjaveden virtausmallinnuksen ilmastomuutosskenaariota ei ole huomioitu erikseen vesitasemallinnuksessa. Laaditun maanalaisen kaivoksen pohjavedenvirtausmallinnuksen perusteet on kuvattu tarkemmin kappaleessa 3.3.3.

Märkä- ja kuivaläjäityksen merkittävin ero on siinä, miten vedet rikastamon ja rikastushiekka-alueen toiminnoissa kierrätetään (ks. kuvat 3-3 ja 3-4 sekä tarkempi kuvaus kappaleesta 3.3.2.2). Sen sijaan Kitisen raakavedenotto ja jokeen palautettavan puhdistetun veden määrä ovat kummassakin vaihtoehdossa lähes samansuuruiset. Kuivaläjäityksessä vesi kiertää rikastamon sisällä ja suodatuslaitokselta takaisin rikastamolle, kun taas märkäläjäityksestä veden kierrätys tapahtuu rikastushiekka-alueelta.

Hanke sisältää myös kaksi pääasiallista prosessivaihtoehtoa, jotka eroavat toisistaan pääasiassa käytettävien kemikaalien ja prosessiveden laatuarvioiden suhteen. Nämä vaihtoehdot on kuvattu kohdassa 3.3.2.1.

Lisäksi tarvekilouhoksen kuivanapitovesimäärien suhteen on käytetty vesitaseen tarkastelutilanteissa kahta eri pohjavedenvirtausmallin tulosta. Tarvekilouhoksen pohjavedenvirtausmallinnuksen perusteet ja tässä mallinnuksessa sovelletut tulokset on kuvattu kappaleessa 3.3.4.

### **Taulukko 3-1. Vesitasemallinnuksen tarkastelutilanteet.**

| <b>Tarkastelutilanne</b> | <b>Kuvaus</b>                                                                                                                                               |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tarkastelutilanne 1      | Rikastushiekan kuivaläjäytys, kaivoksen kuivanapitovesimäärät mallinnettu 80 %-tiivistysskenaariolle, tarvekilouhoksen pohjavesipurkauma vaiheen 2 mukainen |
| Tarkastelutilanne 2      | Rikastushiekan kuivaläjäytys, kaivoksen kuivanapitovesimäärät mallinnettu 65 %-tiivistysskenaariolle, tarvekilouhoksen pohjavesipurkauma vaiheen 3 mukainen |
| Tarkastelutilanne 3      | Rikastushiekan märkäläjäytys, kaivoksen kuivanapitovesimäärät mallinnettu 80 %-tiivistysskenaariolle, tarvekilouhoksen pohjavesipurkauma vaiheen 2 mukainen |
| Tarkastelutilanne 4      | Rikastushiekan märkäläjäytys, kaivoksen kuivanapitovesimäärät mallinnettu 65 %-tiivistysskenaariolle, tarvekilouhoksen pohjavesipurkauma vaiheen 3 mukainen |

### 3.3 Laskentaperusteet

#### 3.3.1 Pinta-alat

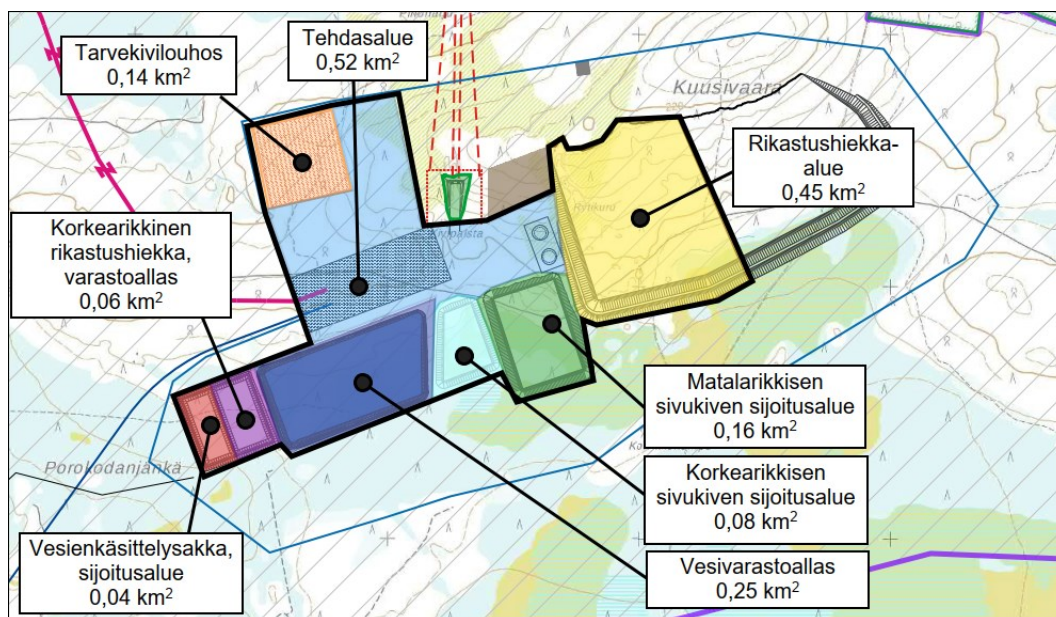
Vesitaselaskennassa käytetyt eri toimintojen valuma-alueiden pinta-alat on esitetty taulukossa 3-2. Pinta-alat perustuvat hankevaihtoehtoihin VE1a ja VE1b. Havainnollistavat kuvat pinta-aloista on esitetty kuvissa 3-1 ja 3-2. Rikastushiekan kuivaläjitystä koskevista tarkastelutilanteista 1 ja 2 on huomioitu, että rikastushiekka-alueesta on vain yksi lohko läjityskäytössä kerrallaan. Kuivaläjitysratkaisuissa vaiheittainen sulkeminen pystytään toteuttamaan niin, että toisen lohkon ollessa käytössä toinen on jo suljettu ja tämä vaiheittaisen sulkemisen lähestymistapa heijastuu myös aluevesienhallintaan.

Valuma-alueille tulee vettä sadantana ja sitä poistuu haihtumalla. Lisäksi osa vedestä suotautuu rakennekerrokseen. Toiminta-alueiden suotovedet pyritään keräämään ja palauttamaan takaisin vesikiertoon. Tässä vesitasemallissa suotovesien on arvioitu sisältyvän nettovesimääriin. Tehdasalueen pintavalumana kulkevat hulevedet keräillään ja hallitaan erikseen. Tehdasalueen pinta-alassa on huomioitu varaukset mm. varikkoalueille.

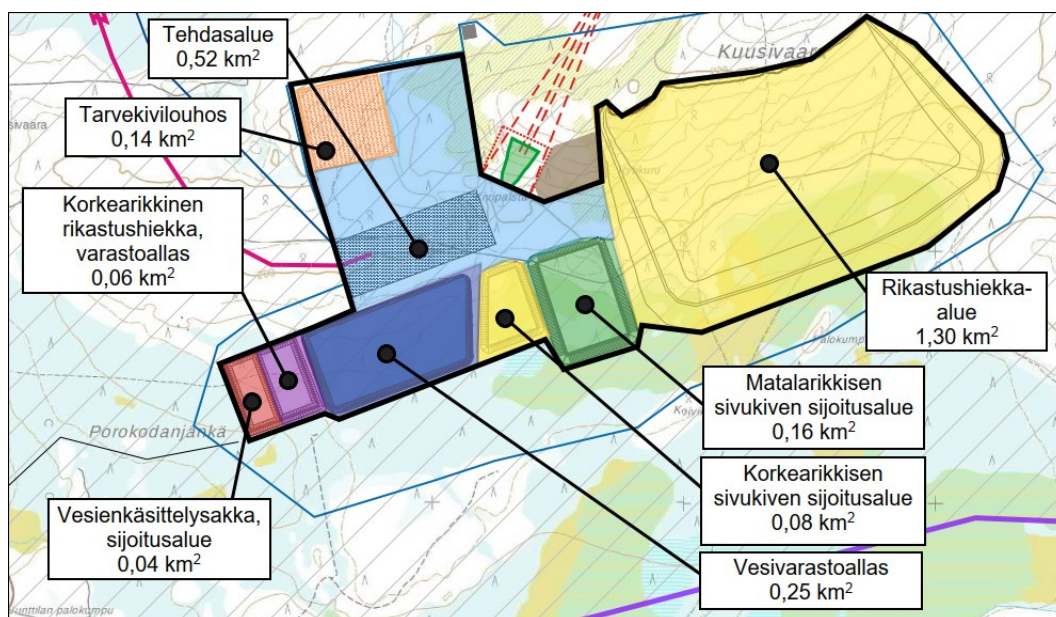
**Taulukko 3-2. Vesitaselaskennassa käytetyt valuma-alueiden pinta-alat – yksikkö km<sup>2</sup>.**

| Tarkastelu-tilanne   | Tehdas-alue | Rikastushiekka-alue | Korkearikkisen rikastushiekka, varastoallas | Matalarikkisen sivukiven sijoitus-alue | Korkearikkisen sivukiven sijoitus-alue | Vesivarastoallas | Vesienkäsittelysakka, sijoitus-alue | Tarvekivilouhos |
|----------------------|-------------|---------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|------------------|-------------------------------------|-----------------|
| Tarkastelu-tilanne 1 | 0,52        | 0,45                | 0,06                                        | 0,16                                   | 0,08                                   | 0,25             | 0,04                                | 0,14            |
| Tarkastelu-tilanne 2 | 0,52        | 0,45                | 0,06                                        | 0,16                                   | 0,08                                   | 0,25             | 0,04                                | 0,14            |
| Tarkastelu-tilanne 3 | 0,52        | 1,30                | 0,06                                        | 0,16                                   | 0,08                                   | 0,25             | 0,04                                | 0,14            |
| Tarkastelu-tilanne 4 | 0,52        | 1,30                | 0,06                                        | 0,16                                   | 0,08                                   | 0,25             | 0,04                                | 0,14            |





**Kuva 3-1. Vesitaselaskennassa käytetyt valuma-alueet ja niiden pinta-alat kartalla – Tarkastelutilanteet 1 ja 2.**



**Kuva 3-2. Vesitaselaskennassa käytetyt valuma-alueet ja niiden pinta-alat kartalla – Tarkastelutilanteet 3 ja 4.**

### 3.3.2 Rikastamon vesitase

#### 3.3.2.1 Rikastamon prosessivaihtoehdot

Sakatin rikastusprosessissa käytettävät menetelmät ovat murskaus, jauhatus, vaahdotus, painovoimainen erotus ja magneettierotus sekä tuotteiden

vedenpoisto (sakeutus ja suodatus). Rikastusprosessissa Sakatin malmista tuotetaan Cu-Ni-yhteisrikastetta tai rikastusprosessi viedään pidemmälle, jolloin tuotteina ovat kuparirikaste (Cu-rikaste) ja nikkelikaste (Ni-rikaste). On mahdollista, että prosessissa tuotetaan myös erillistä jalometallirikastetta, muussa tapauksessa em. metallirikasteet sisältävät jalometalleja. Rikaste tai rikasteet sakeutetaan ja suodatetaan noin 10 %:n loppukosteuteen ja varastoidaan kuljetettavaksi edelleen jatkojalostetukseen.

Rikastuspiiri käsittää myös ns. ripevaiheen, jolla pyritään toisaalta mahdollisimman korkeaan lopulliseen arvomineraalien talteen saantiin, ja toisaalta mahdollisimman alhaiseen rikkipitoisuuteen laitoksen rikastushiekka-alueelle ohjattavassa prosessijätteessä. Ripevaiheella on kaksi mahdollista toteutustapaa. Prosessivaihtoehdossa 1 riperikastuksen ensimmäisenä vaiheena on Cu/Ni-ripevaahdotus. Tämän vaiheen rikaste ohjautuu märkämagneettierotukseen. Magneettierotuksessa prosessivirrasta erotetaan sulfidinen magneettikiisu (magneettinen jae), joka muodostaa osan korkearikkisesta rikastushiekasta. Ei-magneettinen osa palautetaan Cu/Ni-esivaahdotukseen. Cu/Ni-ripevaahdotuksen jätteelle suoritetaan vielä lopullinen rikkivaahdotus, jonka rikaste muodostaa kaivostäytteenä käytettävän korkearikkisen rikastushiekkajakeen yhdessä magneettikiisun kanssa. Rikkivaahdotusvaiheen rikastushiekka muodostaa matalarikkisen rikastushiekan, joka ohjataan joko kuiva- tai märkäläjitukseen. Prosessivaihtoehdossa 2 ripepiirin ensimmäinen vaihe on suoraan märkämagneettierotus, jossa prosessivirrasta erotetaan magneettinen jae, joka on valtaosin sulfidista magneettikiisua<sup>1</sup>. Tämä, niin kutsuttu LIMS-rikaste, muodostaa osan Sakatin rikastamon korkearikkisestä jätteestä, josta toisen osan muodostaa viimeisenä riperikastusvaiheena vaahdotettava sulfidipitoinen riperikaste. Yhdistetty LIMS-rikaste-riperikaste sakeutetaan niin, että kiintoainepitoisuudeksi muodostuu 60–70 %. Tämä sakeutettu tuote ohjataan kaivostäytteeksi.

Vaahdotuksessa käytetyt kemikaalit voidaan jakaa seuraavasti: 1) kokoojat, joiden tehtävänä on kiinnittyä rikastettavien mineraalien pintoihin, 2) vaahdotteet, jotka alentavat rikastuslietteen pintajännitystä ja edesauttavat ilman avulla luotavan vaahdotuskuplaston muodostumista, 3) säännöstelijät, aktivoijat ja painajat, joita käytetään toisaalta arvomineraalien aktivointiin, ja toisaalta, epätoivottujen mineraalien passivointiin ulos arvomineraalien rikastusvaahdosta, ja 4) erilaiset vaahdotuslietteen alkalisuuteen ja happamuuteen vaikuttavat kemikaalit. Näiden lisäksi käytetään lietteiden vedenpoistovaiheessa ns. flokkulantteja, jotka edesauttavat lietteiden sakeutusta. Prosessivaihtoehtojen arvioidut kemikaalinkulutukset on esitetty taulukossa 3-3. Prosessivaihtoehtot eroavat keskenään käytettävien kemikaalimäärien suhteen. Yleisesti prosessivaihtoehdon 1 kemikaalikulutukset ovat suuremmat ja lisäksi

<sup>1</sup> Esiintymän magneettikiisu on valtaosin monokliinistä, joka on magneettinen ja saadaan erotettua magneettierotuksella LIMS-rikasteeseen. Osa magneettikiisusta on kidemuodoltaan heksagonista, joka ei ole magneettinen ja päätyy magneettierotuksessa jätteeseen.

prosessissa käytetään pH:n säädössä rikkihappoa, mikä näkyy myös prosessiveden laadussa korkeampana sulfaattipitoisuutena. Kemikaalien käytön erot näkyvät arvioituissa prosessiveden laaduissa (AFRY Finland Oy, 2023). Kemikaalitiedot voivat tarkentua myöhemmässä vaiheessa: mahdollisten vaihtoehtojen kemikaalien tarkastelu jatkuu edelleen.

**Taulukko 3-3. Rikastuskemikaalien kulutusmäärät (annostus grammoina syötettyä malmitonnia kohden) ja kulutuksen vaihteluväli.**

| Kemikaalin käyttö-tarkoitus   | Kemikaali                       | Annostuksen alaraja (g/t) | Annostuksen yläraja (g/t) |
|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| <b>pH-säätö</b>               | Ca(OH) <sub>2</sub>             | 0                         | 1400                      |
| <b>pH-säätö</b>               | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> | 0                         | 4550                      |
| <b>pH-säätö</b>               | NaOH                            | 0                         | 1920                      |
| <b>pH-säätö</b>               | Mg(OH) <sub>2</sub>             | 0                         | 1200                      |
| <b>pH-säätö</b>               | Rikkihappo                      | 0                         | 5400                      |
| <b>Aktivaattori</b>           | CuSO <sub>4</sub>               | 0                         | 250                       |
| <b>Vaahdote</b>               | MIBC                            | 80                        | 150                       |
| <b>Vaahdote</b>               | Dowfroth250                     | 19                        | 198                       |
| <b>Vaahdote</b>               | Flotanol C7                     | 0                         | 50                        |
| <b>Si-painaja</b>             | CMC                             | 0                         | 350                       |
| <b>Si-painaja ja pH-säätö</b> | Vesilasi                        | 0                         | 600                       |
| <b>Ni-painaja</b>             | Dextrine                        | 0                         | 475                       |
| <b>Ni-kokooja</b>             | Aero407, Danafloat 271/371      | 150                       | 300                       |
| <b>Cu-kokooja</b>             | Aero3894A, Danafloat 262        | 70                        | 170                       |
| <b>S-kokooja</b>              | SEX                             | 0                         | 33                        |
| <b>S-kokooja</b>              | SIBX                            | 0                         | 150                       |

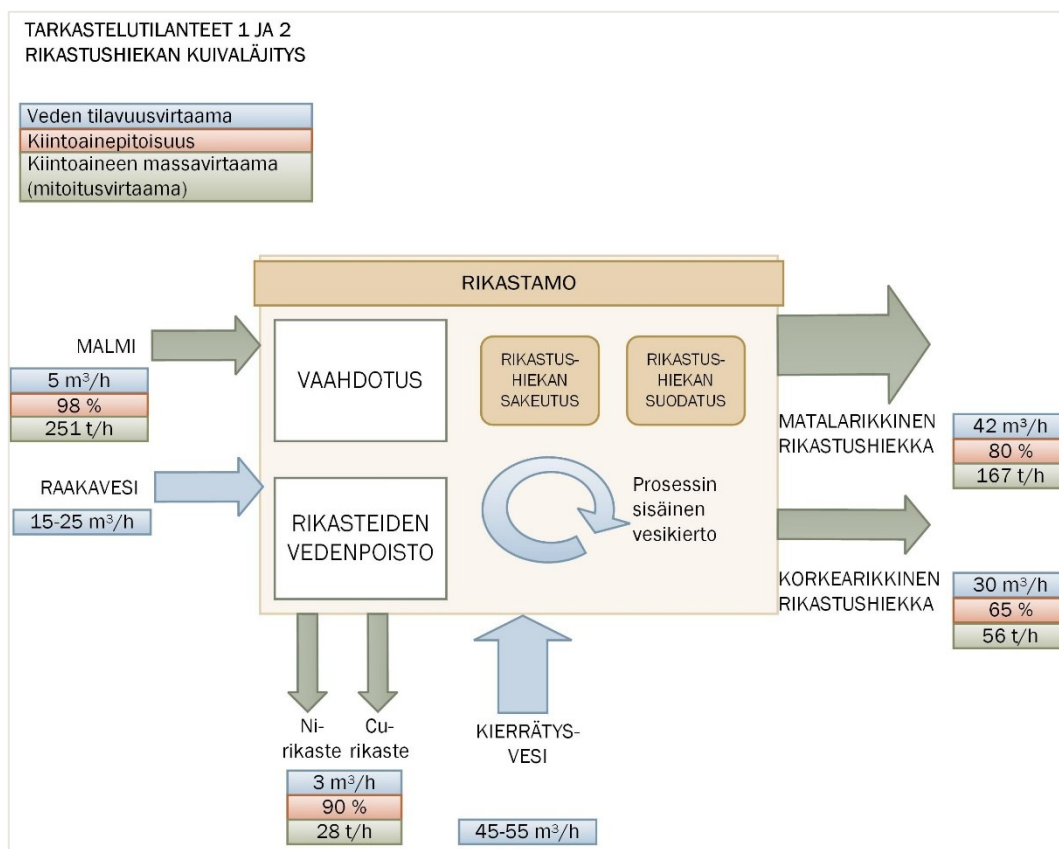
### 3.3.2.2 Prosessin vedenkierrätys

Pääosa prosessivedestä kierrätetään. Veden tehokkaalla kierrätyksellä pystytään minimoimaan raakavedenottotarve Kitisestä. Raakavettä otetaan Kitisestä vain tarpeen mukaan. On huomioitava, että prosessin ylösajovaiheessa – jolloin

prosessin vesivarastoja täytetään – raakavedenottotarve Kitisestä on moninkertainen tuotantovaiheeseen verrattuna. Ylösajovaiheen raakavedenottotarve voi olla hetkellisesti jopa 800 m<sup>3</sup>/h.

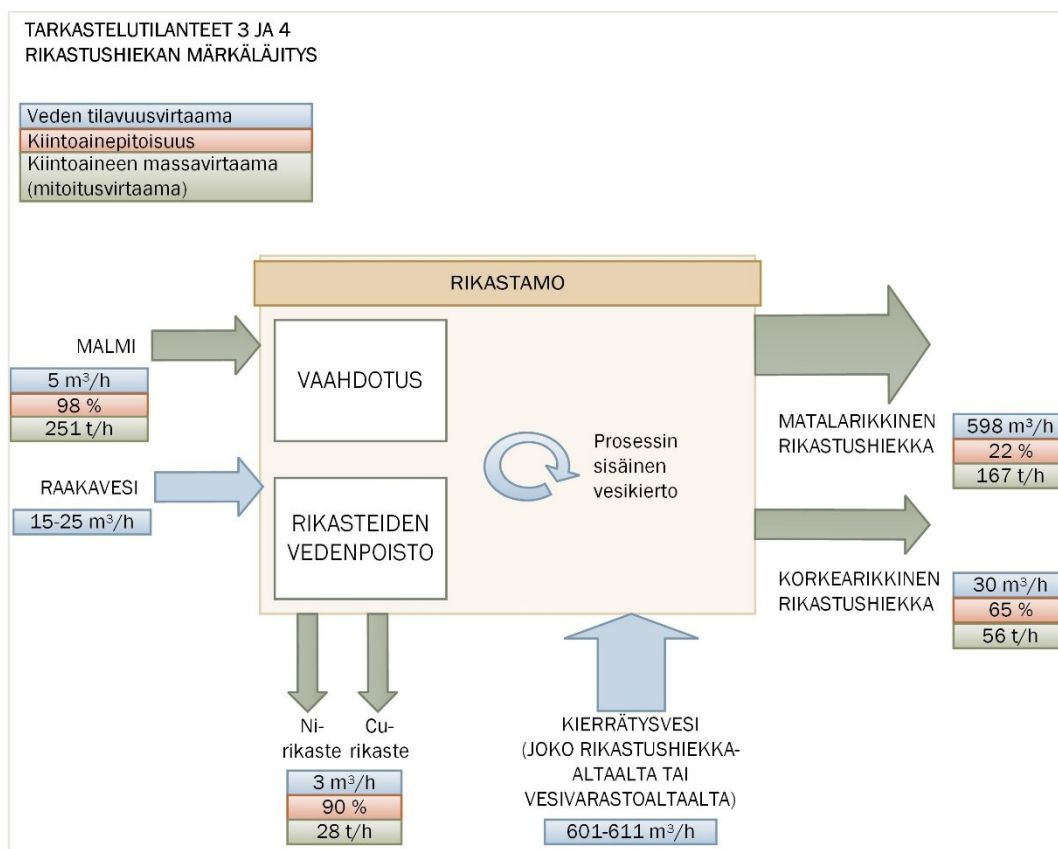
Yleisesti tuotantovaiheessa raakavettä käytetään pääasiassa vain reagenssien valmistukseen, pumppujen tiivistevetenä, huuhtelu- ja pesuvesinä sekä palovetenä. Tuotantovaiheessa prosessiveden laadun tasaantuessa tullaan selvittämään, mitkä raakaveden käyttökohteet voidaan korvata kierrätetyllä prosessivedellä. Kierrätyksen maksimoiminen huomioiden jatkuvan raakavedenottotarpeen arvioidaan olevan 15–25 m<sup>3</sup>/h, mikä vastaa reagenssien valmistuksen vedentarvetta. Hetkellisesti vedenotto voi olla tuotantovaiheessakin kuitenkin jopa 200 m<sup>3</sup>/h.

Rikastamon sisäisen kierron lisäksi vettä kierrätetään nk. ”isossa kierrossa” eli rikastushiekka-alueen ja rikastamon välillä. Tässä isossa kierrossa kiertävän veden määrä eroaa suuresti rikastushiekan kuiva- ja märkäläjitysvaihtoehtojen välillä. Kuivaläjitysvaihtoehdossa rikastamolle palautettavan kierrätysveden määrä on vain noin 40–50 m<sup>3</sup>/h (kuva 3-3), kun taas märkäläjitysvaihtoehdossa vastaava kierrätys on luokkaa 600 m<sup>3</sup>/h (kuva 3-4). Erotuksena oleva vesimäärä kulkee kuivaläjitysvaihtoehdossa rikastamolla sisäisenä kiertona johtuen tehokkaammasta vedenpoistosta. Kuivaläjitysvaihtoehdossa kaikki kierrätysvesi otetaan vesivarastoaltaalta. Märkäläjitysvaihtoehdossa kierrätysvettä otetaan sekä rikastushiekka-altaalta että vesivarastoaltaalta.



**Kuva 3-3. Periaatteellinen tasekuva prosessin vedenkierrätyksestä – rikastushiekan kuivaläjitys. Tase edustaa maksimaalista vuotuista syöttömäärää 2,2 milj. tonnia vaihteluvälin ollessa 1,25–2,2 milj. tonnia / vuosi.**





**Kuva 3-4. Periaatteellinen tasekuva prosessin vedenkierrätyksestä – rikastushiekan märkäläjäytys. Tase edustaa maksimaalista vuotuista syöttömäärää 2,2 milj. tonnia vaihteluvälin ollessa 1,25–2,2 milj. tonnia / vuosi.**

### 3.3.2.3 Rikastusprosessin lähtötiedot vesitasemallissa

Rikastusprosessin osalta aluevesitaseessa käytetyt lähtötiedot on esitetty taulukossa 3-4. Rikastusprosessin lähtötiedot perustuvat Outotecin laatimaan rikastamon massataseeseen (Outotec, 2020).

Tarkastelutilanteissa 1 ja 2 (rikastushiekan kuivaläjäytys) periaatteena on, että matalarikkisen rikastushiekan suodatuksen suodosvesi palautetaan prosessivedeksi. Kuivaläjäytyksessä rikastushiekan siirto läjitykseen tapahtuu joko kuljettimilla tai koneellisenä siirtona. Tarkastelutilanteissa 3 ja 4 (rikastushiekan märkäläjäytys) vesitasemallinnuksen lähtökohtana on, että rikastushiekkaa ei sakeuteta ennen läjitystä. Käytännössä prosessi voidaan kuitenkin järjestää sakeutuksen kanssa ja osa vedestä voidaan kierrättää takaisin prosessiin rikastushiekka-alueen sijaan jo sakeuttimelta. Märkäläjäytyksessä rikastushiekan siirto rikastushiekka-alueelle toteutetaan pumppaamalla.

**Taulukko 3-4. Vesitaseessa käytetyt rikastusprosessin lähtötiedot.**

| PROSESSIKOHDE                           | LASKENTAPERUSTEET                                                                                                                                                    |
|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Malmin syöttömäärä                      | 2,2 milj. m <sup>3</sup> / vuosi                                                                                                                                     |
| Rikastamolle tuleva kosteus malmissa    | 2 m-% malmin syöttömäärästä <sup>2</sup> (malmin kiintoainepitoisuus 98 %)                                                                                           |
| Rikasteisiin jäävä vesi                 | 10 m-% rikasteen määrästä (rikasteiden kiintoainepitoisuus 90 %)                                                                                                     |
| Matalarikkinen rikastushiekka           | Rikastushiekan kiintoainepitoisuus ennen sakeutusta 22 m-%, sakeutuksen jälkeen 60 m-% ja suodatuksen jälkeen 80 m-%                                                 |
|                                         | Märkäläjitys: Rikastushiekan kiintoainepitoisuus veden erottumisen jälkeen läjityksessä 77 m-% (osa vedestä pidättyy rikastushiekkaan)                               |
|                                         | Märkäläjitys: Rikastushiekasta eroavasta vedestä 80 % palautetaan rikastamolle                                                                                       |
|                                         | Kuiva-aineen ominaispaino 2,654 g/cm <sup>3</sup>                                                                                                                    |
| Korkearikkisen rikastushiekan vesimäärä | Rikastushiekan kiintoainepitoisuus sakeutuksen jälkeen 65 m-%                                                                                                        |
|                                         | Kuiva-aineen ominaispaino 3,190 g/cm <sup>3</sup>                                                                                                                    |
| Raakaveden otto Kiti-sestä              | Tuotantovaiheessa keskimäärin 15–25 m <sup>3</sup> /h<br>Hetkellisesti tuotantovaiheessa 200 m <sup>3</sup> /h<br>Mallinnuksessa käytetty arvoa 25 m <sup>3</sup> /h |

### 3.3.3 Kaivoksen kuivanapitovesimäärät

Vesitaseen mallinnuksessa käytetyt kaivoksen kuivanapitovesimäärät perustuvat Itascaan laatimaan pohjavedenvirtausmalliin (Itasca Denver Inc., 2022), joka on laadittu elementtimenetelmään (FEM finite element method) perustuvalla MINEDW-ohjelmistolla.

Pohjavedenvirtausmallinnuksessa on ensin laadittu *steady state* -tasapainomalli kuvaamaan nykyistä pohjaveden virtausta ilman kaivostoimintaa. Tämän jälkeen on laadittu kaivostoiminnan sisältävä muuttuvaa tilannetta kuvaava *transient* -malli kuvaamaan kaivostoiminnan vaikutusta ja toiminnan aikaisia pohjaveden virtausoloja.

Pohjavesimallinnuksella on pyritty tunnistamaan kaivoksen veden tuloon vaikuttavat geologiset rakenteet ja kaivostilat. Merkittävimmän veden tuloon vaikuttaa vinotunnelin yläosa ja maanalaisen kaivoksen lävistävät vettä johtavat geologiset rakenteet. Rakenteiden ja vinotunnelin vaikutusta vedentuloon on tutkittu tiivistyksen näkökulmasta. Lisäksi pohjavedenvirtausmallin avulla on tarkasteltu miten kaivokseen tulevan veden määrään vaikuttavat kaivostäyttö sekä maanpintaa lähimpänä olevien louhintatasojen louhimatta jättäminen. Näiden tarkastelujen pohjalta on rakennettu kaksi mallinnusskenaariota, jotka

<sup>2</sup> Merkintä m-% tarkoittaa painoprosenttia

vastaavat nykytiedon perustella todenmukaisinta ja teknisesti toteutettavissa olevaa maanalaista kaivosta. (AA Sakatti Mining Oy, 2022)

Sakatin kaivoshankkeen YVA:n täydennyksessä käsiteltävät pohjaveden-virtausmallinnuksen skenaariot ovat:

**1. 80 % tiivistysskenaario (80 % injektointitehokkuus)**

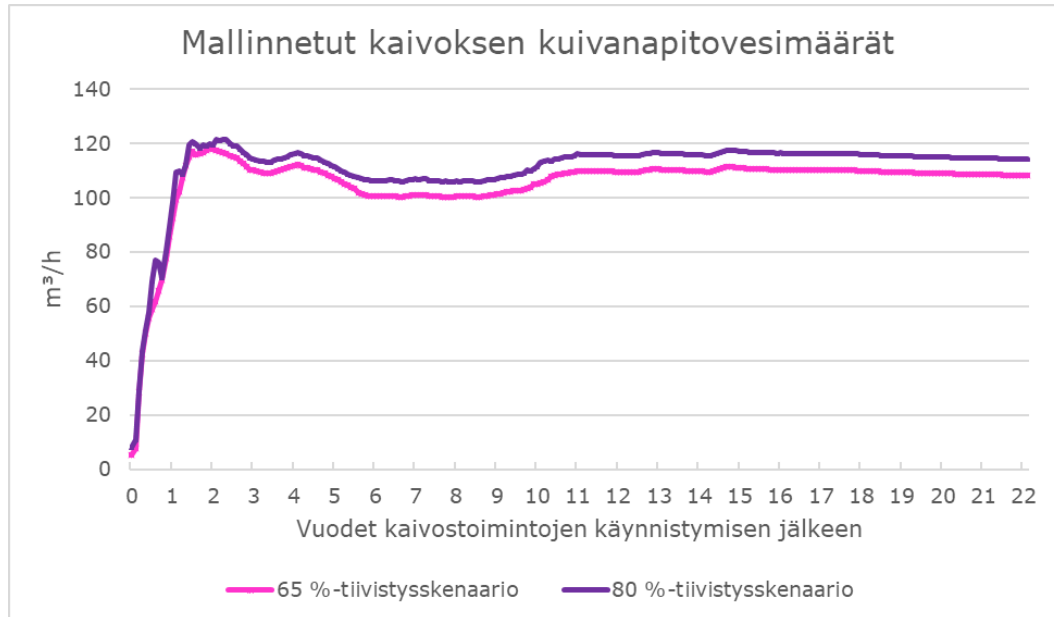
Skenaariossa oletetaan, että vinotunnelit injektoidaan 150 m syvyyteen maanpinnan tasosta ja kaikki merkittävästi vettä johtavat geologiset rakenteet injektoidaan. Injektointitehokkuuden on oletettu olevan 80 %. Kaivostäytön vedenjohtavuutena on käytetty maltillista vedenjohtavuusarvoa ( $5,0 \times 10^{-8}$  m/s).

**2. 65 % tiivistysskenaario (65 % injektointitehokkuus)**

Skenaariossa oletetaan, että vinotunnelit injektoidaan 150 m syvyyteen maanpinnan tasosta ja kaikki merkittävästi vettä johtavat geologiset rakenteet injektoidaan. Injektointitehokkuuden on oletettu olevan 65 %. Kaivostäytön vedenjohtavuutena on käytetty korkeaa vedenjohtavuusarvoa ( $1,0 \times 10^{-7}$  m/s).

Molemmissa skenaariossa kaivostäytön on oletettu kutistuvan täytön kovettumassa. Kutistumisen seurauksena kallion ja täytön väliin jää vettä johtava kanava, mikä on huomioitu mallinnuksessa. Edellä mainittujen skenaarioiden mukaiset kaivoksen kuivanapitovesimäärät kaivoksen eliniän aikana on esitetty kuvassa 3-5. Kaivoksen kuivanapitoveden määrä kasvaa aluksi, mutta saavuttaa huippunsa jo ensimmäisinä tuotantovuosina. Kaivoksen kuivanapitovesi pumpataan kaivoksesta maanpinnalle kuivanapitovesien laskeutusaltaaseen ja johdetaan siitä joko vesivarastoaltaaseen tai suoraan lähtevän veden käsitteilyyn. Vesitasemallinnuksessa käytetyt maanalaisen kaivoksen kuivanapitoveden määrät ovat 80 % tiivistysskenaariolle  $110 \text{ m}^3/\text{h}$  ( $2\,640 \text{ m}^3/\text{vrk}$ ) ja 65 % tiivistysskenaariolle  $115 \text{ m}^3/\text{h}$  ( $2\,760 \text{ m}^3/\text{vrk}$ ).

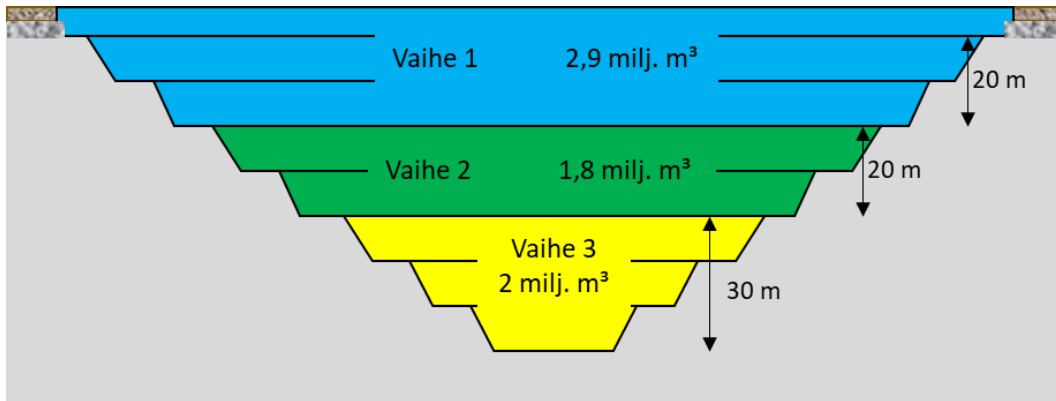




**Kuva 3-5. Kaivoksen kuivanapitovesimäärät (Itasca Denver Inc., 2022).**

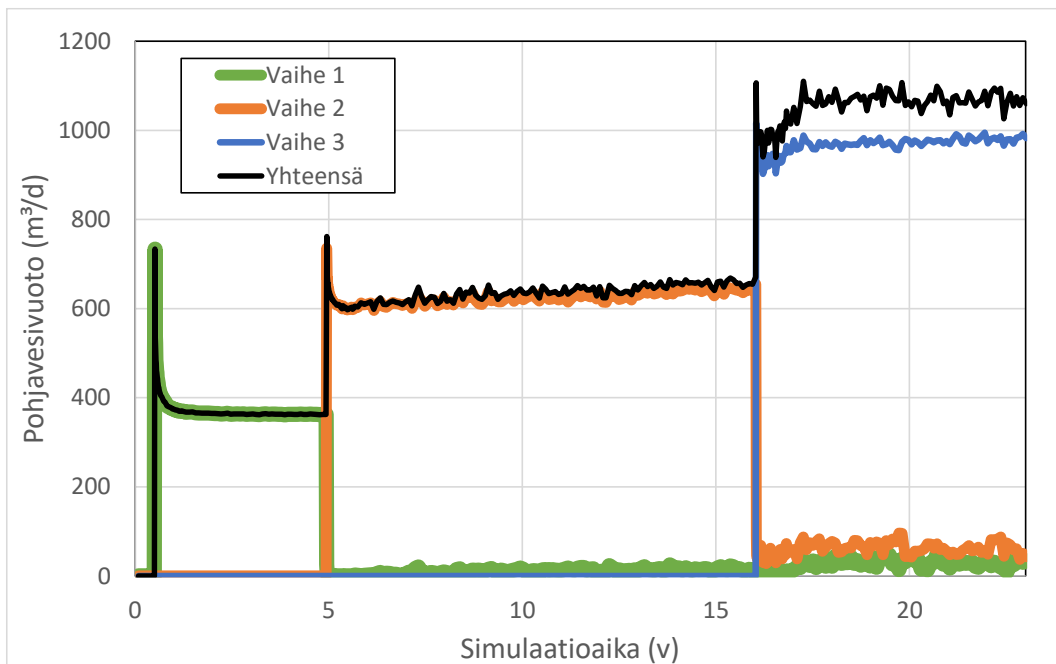
### 3.3.4 Tarvekivilouhoksen kuivanapitovesimäärät

Vesitaseen mallinnuksessa käytetyt tarvekivilouhoksen kuivanapitovesimäärät perustuvat AFRY Finland Oy:n laatimaan pohjavedenvirtausmallinnukseen, joka on laadittu elementtimenetelmään perustuvalla FEFLOW-ohjelmistolla (DHI, versio 7.3). Mallinnusraportti esitetään tämän raportin liitteenä 4. Tarvekivilouhoksen enimmäistilavuus louhittavan kallion suhteen on 6 milj. m<sup>3</sup>. Suunnitellun louhoksen jako mallinnusvaiheiksi on esitetty kuvassa 3-6. Mallinnuksen ensimmäisessä vaiheessa louhittu tilavuus käsittää maapeitteen, rapautuneen pintakallion ja kaksi ylintä 10 metrin kalliokerrosta. Louhoksen tilavuus ensimmäisessä mallinnusvaiheessa on noin 2,9 milj. m<sup>3</sup>, josta maapeitteen ja rapakallion osuus noin 700 000 m<sup>3</sup>. Mallinnuksen toisessa vaiheessa on louhittu myös seuraavat kaksi 10-metristä kalliokerrosta, joiden tilavuus on yhteensä noin 1,8 milj. m<sup>3</sup>. Kolmannessa mallinnusvaiheessa tarvekivilouhos saavuttaa louhintasuunnitelman mukaisen täyden laajuuden, kun alimmat kolme kerrosta (tilavuus n. 2 milj. m<sup>3</sup>) louhitaan.



**Kuva 3-6. Tarvekivilouhoksen louhintasuunnitelman jako kolmeksi mallinnusvaiheeksi. Ei mittakaavassa.**

Kuva 3-7 esittää simuloidun pohjavesivuodon kautta mallista poistuvan pohjavesivirran kehityksen. Kolmea vaihetta vastaavat pohjavesivuodon tasapainoarvot ovat noin 360 m<sup>3</sup>/vrk, 650 m<sup>3</sup>/vrk ja 1050 m<sup>3</sup>/vrk. Vesitasemallinnuksessa on käytetty pohjavesimallilla mallinnettuja vaiheen 2 ja 3 pohjavesivuodon määriä (650 m<sup>3</sup>/vrk ja 1050 m<sup>3</sup>/vrk). Kuivanapitovesimäärien saamiseksi pohjavesivuodon määrään on lisätty vesitasemallissa tarvekivilouhoksen alueelle sateena tuleva vesimäärä.



**Kuva 3-7. Avolouhokseen tuleva pohjavesivuoto ajan funktiona jaoteltuna mallinnuksessa oletettujen kolmen louhintavaiheen seinämien kautta tuleviin virtaamiin.**

## 3.4 Meteorologinen havaintoaineisto

### 3.4.1 Saatavilla oleva havaintoaineisto

Meteorologinen havaintoaineisto on haettu Ilmatieteen laitoksen tietokannoista Sodankylän Tähtelän sääasemalta. Säähavaintojen vuorokausi- ja kuukausiarvot -aineistot sisältävät Ilmatieteen laitoksen säähavaintoasemilla tehtyjä mittauksia ja niistä laskettuja arvoja vuodesta 1891 tähän päivään. Kuukauden sadesumma on saatavilla vuodesta 1891 alkaen. Vuodesta 1908 alkaen vuorokausi- ja kuukausiarvoja on saatavilla seuraaville suureille: vuorokauden keskilämpötila sekä vuorokauden ylin ja alin lämpötila, vuorokauden sadesumma. Lisäksi vuodesta 1900 alkaen on saatavilla kuukauden keskilämpötilatiedot. Vuorokauden lumensyvyys on saatavilla vuodesta 1911 alkaen.

Tässä raportissa on esitetty haettu aineisto vuodesta 1961 alkaen. Haettu aineisto sisältää vuorokausisadannan sekä vuorokauden keskilämpötilan aikavälille 1961–2020 (Ilmatieteen laitos, 2020). Haihdunnan osalta on hyödynnetty mallinnettuja haihdunta-arvoja.

### 3.4.2 Sadanta ja lämpötila

Aineistoa on käsitelty määrittämällä haetusta aineistosta kuukauden keskilämpötila (°C) ja sadekertymä (mm) aikaväleille 1961–2020 (60 vuotta) ja 1991–2020 (30 vuotta). Kuukauden keskilämpötila (°C) ja sadekertymä (mm) lasketaan kyseisen kuukauden vuorokausiarvoista. Kuukauden keskilämpötila on keskiarvo vuorokausien keskilämpötiloista ja sadesumma on vuorokausimäärien summa.

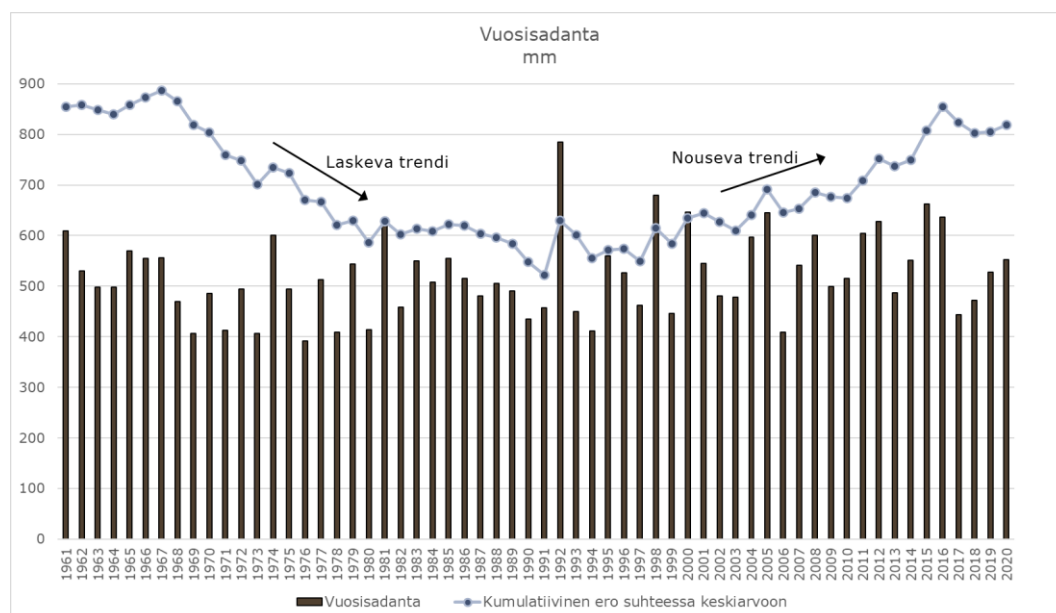
Kuukausikeskiarvoista on laskettu edelleen vuosisadanta kuukausisadantien sadesummana ja lämpötilan vuosikeskiarvo kuukauden keskilämpötilojen keskiarvoina.

Vuosisadantojen sadesummien keskiarvo on aikavälillä 1961–2020 ollut 521 mm/vuosi. Viimeisen kolmenkymmenen vuoden (1991–2020) eli nykyisen ilmaston vuosisadantojen sadesummien keskiarvo on ollut 543 mm/vuosi. Vuoden keskilämpötila on aikavälillä 1961–2020 ollut -0,3 °C ja vuosina 1991–2020 vastaavasti +0,4 °C. Vuoden keskilämpötila on laskettu keskiarvona vuorokauden mitatuista keskilämpötiloista. (Ilmatieteen laitos, 2020)

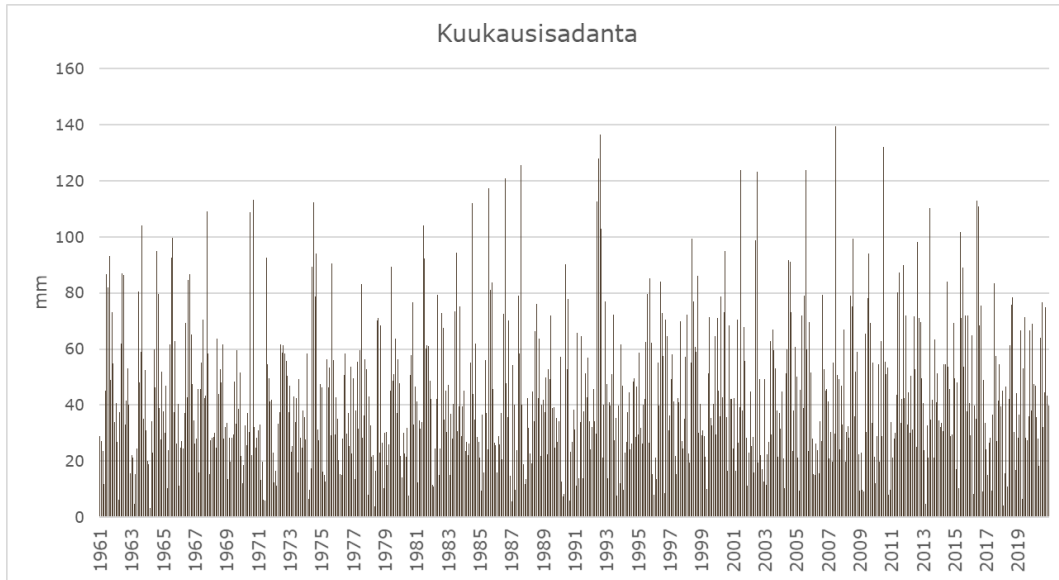
Lasketut kuukauden sadesummat sekä kuukauden keskilämpötila-arvot on esitetty taulukossa 3-5. Lisäksi kuvissa 3-8, 3-9, 3-10 on esitetty lasketut vuosisadannan, kuukausisadannan ja kuukauden keskilämpötilan arvot vuosille 1961–2020 kuvaajina. Kuvaajista, samoin kuin lasketuista keskiarvoista, näkee alueen lämpötilan ja vuosisadannan nousevan trendin.

**Taulukko 3-5. Sodankylän sääasema, lasketut kuukauden sadesummat ja kuukauden keskilämpötilat aikaväleille 1961–2020 ja 1991–2020. (Ilmatieteen laitos, 2020)**

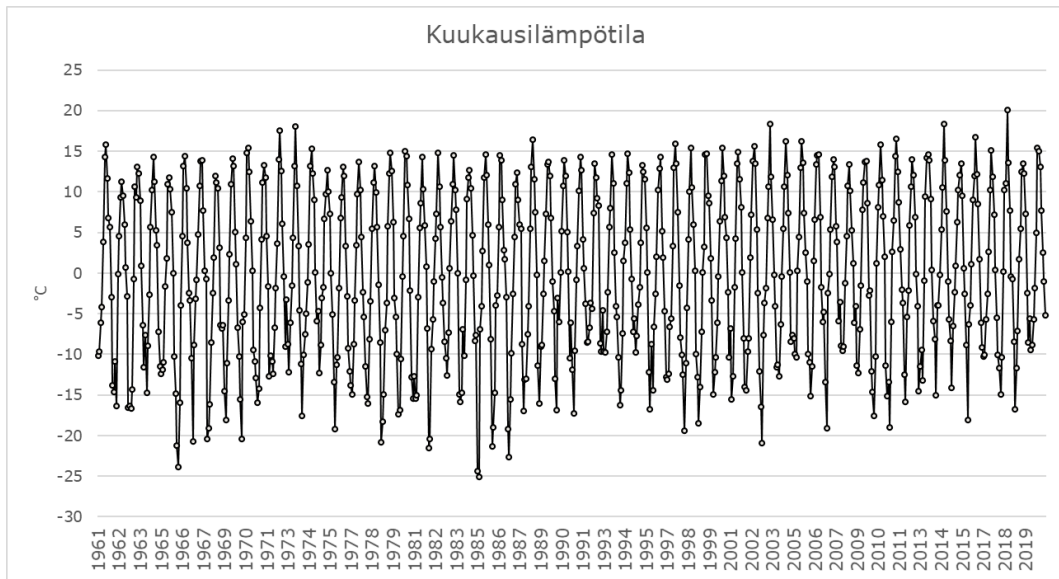
|                  | Sadanta<br>[mm]<br>1961–2020 | Sadanta<br>[mm]<br>1991–2020 | Lämpötila<br>[°C]<br>1961–2020 | Lämpötila<br>[°C]<br>1991–2020 |
|------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Tammi            | 33                           | 36                           | -13,8                          | -12,5                          |
| Helmi            | 28                           | 31                           | -12,8                          | -12,1                          |
| Maalis           | 28                           | 30                           | -7,8                           | -7,1                           |
| Huhti            | 28                           | 32                           | -1,5                           | -0,8                           |
| Touko            | 37                           | 40                           | 5,3                            | 5,6                            |
| Kesä             | 58                           | 61                           | 11,7                           | 11,9                           |
| Heinä            | 70                           | 76                           | 14,6                           | 15,0                           |
| Elo              | 59                           | 56                           | 11,8                           | 12,4                           |
| Syys             | 54                           | 52                           | 6,4                            | 7,0                            |
| Loka             | 49                           | 47                           | -0,1                           | 0,0                            |
| Marras           | 41                           | 42                           | -6,6                           | -5,8                           |
| Joulu            | 36                           | 41                           | -11,3                          | -9,6                           |
| <b>Summa</b>     | <b>521</b>                   | <b>543</b>                   | <b>-</b>                       | <b>-</b>                       |
| <b>Keskiarvo</b> | <b>-</b>                     | <b>-</b>                     | <b>- 0,3</b>                   | <b>+0,4</b>                    |



**Kuva 3-8. Sodankylä, Tähtelän sääasema – vuosisadanta 1961–2020. Vuosisadanta laskettu sadesummina havaituista vuorokauden sade-kertymistä.**



**Kuva 3-9. Sodankylä, Tähtelän sääasema – kuukausisadanta 1961–2020. Kuukausisadanta laskettu sadesummina havaituista vuorokauden sadekertymistä.**



**Kuva 3-10. Sodankylä, Tähtelän sääasema – kuukausilämpötila 1961–2020. Kuukauden keskilämpötila laskettu keskiarvoina vuorokauden keskilämpötiloista.**

### 3.4.3 Vuosisadannan toistuvuus

Vuosisadannalle on tehty jakaumasovitus @Risk -ohjelmalla ja vuosisadannan on todettu noudattavat logaritmista normaalijakaumaa. Logaritmis-

normaalijakauman mukaiset vuosisadannan toistuvuudet on esitetty taulukossa 3-6. Kerran 20 vuodessa (95 % luottamusväli) tapahtuva vuosisadanta vaihtelee analyysin mukaan välillä 411 mm – 700 mm. Kerran 100 vuodessa (99 % luottamusväli) tapahtuva vuosisadanta vaihtelee puolestaan välillä 368 mm – 781 mm. Aineistona analyysissä on käytetty sekä 60 vuoden aineistoa aikaväliltä 1961–2020 että 30 vuoden aineistoa aikaväliltä 1991–2020.

**Taulukko 3-6. Vuosisadesumman logaritmisen normaalijakauman mukaiset toistuvuudet, kun lähtöaineistona on käytetty vuosien 1961–2020 ja 1991–2020 mitattuja vuosisadesummaa Sodankylän Tähtelän havaintoasemalta.**

| Alitustodennäköisyys | Toistumisväli vuosina | Vuosisadanta 1961–2020 | Vuosisadanta 1991–2020 |
|----------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|
| <b>0,001</b>         | 1000                  | 321                    | 324                    |
| <b>0,002</b>         | 500                   | 332                    | 336                    |
| <b>0,005</b>         | 200                   | 348                    | 353                    |
| <b>0,010</b>         | 100                   | 362                    | 368                    |
| <b>0,020</b>         | 50                    | 377                    | 384                    |
| <b>0,050</b>         | 20                    | 401                    | 411                    |
| <b>0,100</b>         | 10                    | 424                    | 435                    |
| <b>0,200</b>         | 5                     | 453                    | 468                    |
| <b>0,500</b>         | Moodi eli tyyppiarvo  | 515                    | 536                    |
| <b>0,800</b>         | 5                     | 586                    | 614                    |
| <b>0,900</b>         | 10                    | 626                    | 660                    |
| <b>0,950</b>         | 20                    | 662                    | 700                    |
| <b>0,980</b>         | 50                    | 704                    | 748                    |
| <b>0,990</b>         | 100                   | 734                    | 781                    |
| <b>0,995</b>         | 200                   | 762                    | 813                    |
| <b>0,998</b>         | 500                   | 797                    | 855                    |
| <b>0,999</b>         | 1000                  | 824                    | 883                    |

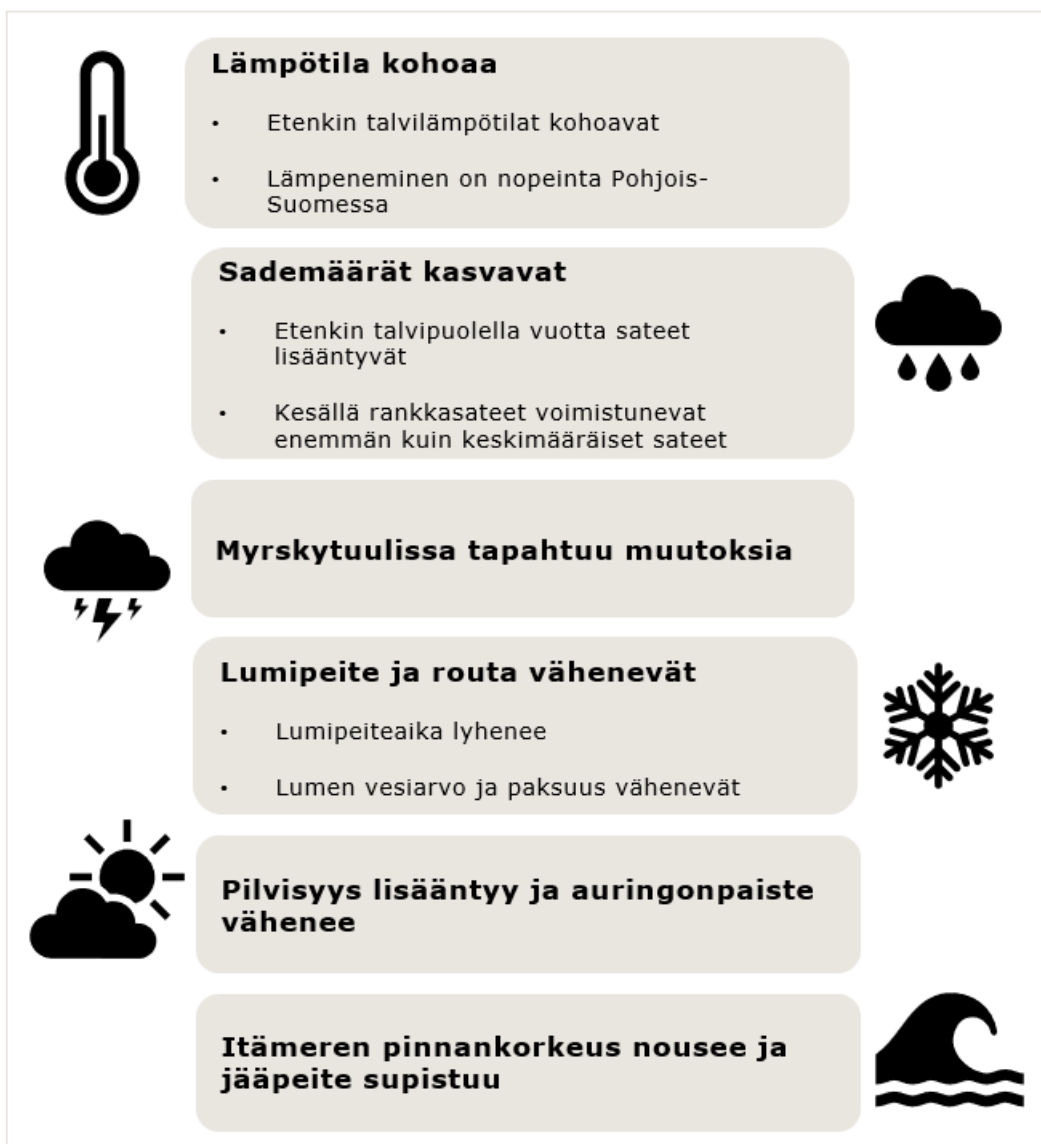
#### 3.4.4 Vuosisadanta vs. vesienhallintajärjestelmien mitoitus

On huomioitava, että tässä raportoidun kuukausitasolle laaditun vesitasemallin tulokset eivät ole, poikkeuksellisen sateisten tilanteiden mallinnuksesta huolimatta, suoraan sovellettavissa kaivoksen vesienhallintajärjestelmien mitoitus-tiedoiksi. Yksittäisten vesienhallinta-järjestelmien mitoituksessa tulee huomioida vielä erikseen poikkeukselliset rankkasateet, sateiset jaksot ja kevään ylivalmakauden virtaamat. Tällainen mitoitusilanteiden tarkastelu on esitetty erikseen liitteessä 3.

### 3.4.5 Ilmastonmuutos

#### Ilmastonmuutoksesta yleisesti

Ilmastonmuutoksen seurauksena Suomen lämpötilat nousevat, sademäärät kasvavat, lumipeiteaika lyhenee ja myös routaa on aiempaa vähemmän (kuva 3-11). Laskelmien mukaan ilmasto näyttää muuttuvan enemmän talvella kuin kesällä. Ilmaston lämmetessä sademäärien arvioidaan Suomessa kasvavan ja rankkasateiden voimistuvan. Etenkin talvipuolella vuotta sateet lisääntyvät, ja tulevat yhä useammin vetenä. Kesällä rankkasateet voimistunevat enemmän kuin keskimääräiset sateet. Talvella ja keväällä pisimmät sateettomat jaksot lyhenevät jonkin verran. (Ilmatieteen laitos ja Suomen ympäristökeskus (SYKE), 2021)



**Kuva 3-11. Ennustettu ilmastonmuutos Suomessa – ilmiöt.**

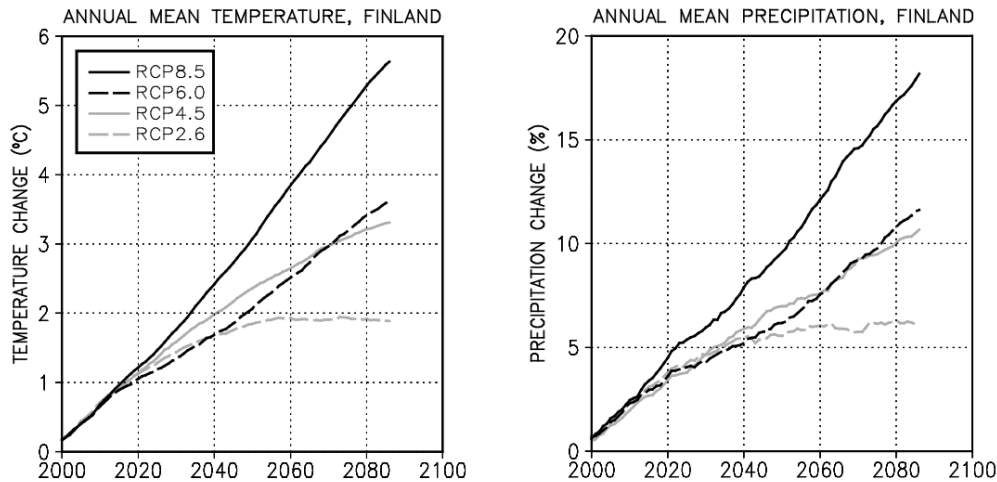


Suomen tulevaa ilmastoa on arvioitu useiden ilmastomallien pohjalta (Ilmatieteen laitos ja Suomen ympäristökeskus (SYKE), 2021). Mallituloksia esitetään useammalle kasvihuonekaasuskenaariolle. Se, kuinka paljon ilmasto muuttuu eli mikä tulevaa kehitystä kuvaavista kehityspoluista eli skenaarioista toteutuu, riippuu kasvihuonekaasujen maailmanlaajuisten päästöjen määrästä. IPCC:n viidennessä arviointiraportissa (2013) sovellettuja kasvihuonekaasuskenaarioita kutsutaan nimellä RCP-skenaariot (*Representative Concentration Pathways* eli pitoisuuksien kehityskulun skenaariot). Eri skenaarioissa kasvihuonekaasujen maailmanlaajuisten päästöjen oletetaan kehittyvän seuraavasti:

- RCP8.5-skenaario: kasvihuonekaasupäästöjen kasvu jatkuu nopeana tulevaisuudessakin.
- RCP6.0-skenaario: päästöt pysyvät aluksi suunnilleen nykyisellä tasolla mutta ovat myöhemmin tällä vuosisadalla melko suuria.
- RCP4.5-skenaario: päästöt kasvavat aluksi hieman mutta kääntyvät laskuun vuoden 2040 tienoilla.
- RCP2.6-skenaario: päästöt kääntyvät jyrkkään laskuun jo vuoden 2020 jälkeen ja ovat vuosisatamme lopulla lähellä nollatasoa.

IPCC:n kuudennessa arviointiraportissa (2022) sovelletaan puolestaan kehittyneempiä SSP-skenaarioita (*Shared Socioeconomic Pathways*), jotka huomioivat pitoisuuksien kehityskulun lisäksi mm. väestönkehitykseen, talouden muutokseen ja teknologian kehitykseen liittyviä kehityspolkuja. Vaikka tässä mallinnuksessa käytetyt ilmastomuutosskenaariot perustuvat IPCC:n viidennessä arviointiraportissa käytettyihin RCP-skenaarioihin, niille löytyy vastaavuudet SSP-skenaarioiden joukosta ja niiden nimitykset ovat SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP4-6.0 ja SSP5-8.5.

Ilmastomuutosennusteissa annetaan arvio, kuinka paljon lämpötila, sademäärä tai joku muu ilmastosuure muuttuu perusjaksoon eli vuosien 1981–2010 keskiarvoon verrattuna. Arviot ulottuvat vuoteen 2100 asti. Vuoden keskilämpötilan ja keskisadannan osalta arviot Suomessa keskimäärin tapahtuvalla muutoksella on esitetty kuvassa 3-12.



**Kuva 3-12. Vuoden keskilämpötilan muutos asteina ja vuoden keski-sadannan muutos prosentteina Suomessa vuosina 2000–2085 verrattuna jakson 1981–2010 keskimääriin arvoihin. Käyrät esittävät 28 maailmanlaajuisen ilmastomuutosmallin tulosten keskiarvoa neljälle eri RCP-kasvihuonekaasuskenaariolle (RCP8.5, hyvin suuret päästöt; RCP6.0, melko suuret päästöt; RCP4.5, melko pienet päästöt; RCP2.6, hyvin pienet päästöt). (Ruosteenoja;ym., 2016)**

### Ilmastomuutos Sodankylässä

Vuoden keskilämpötila on noussut 2000-luvulla noin 0,5 °C. Vuoteen 2060 mennessä keskilämpötilan Sodankylässä arvioidaan nousevan vielä 2–3 asteella. Myös sademäärässä on kasvava trendi, niin että vuotuinen sadanta lisääntyy noin 10 % vuoteen 2060 mennessä. Etenkin alkutalvisen sadannan (marras-, joului- ja tammikuu) osuus eri ilmastoskenaarioissa kasvaa.

Ilmaston lämmetessä lumipeite jää ohuemmaksi ja lumisen vuodenaika lyhenee. Pohjois-Suomessa sademäärien lisääntyminen talvikuukausina kumoo osittain lämpenemisen vaikutusta. Kuitenkin pohjoisessakin lumipäivät vähensivät 20–30 % ja lumipeitteen massasta menetettäisiin 40–70 % vuosisadan loppuun mennessä. Lumen määrän ennustaminen on kuitenkin epävarmaa, sillä eri mallien ennustukset lämpenemisen voimakkuudesta ja sademäärien muutoksista poikkeavat toisistaan. Tämä tuo oman epävarmuutensa myös lumen hupenemisvauhtiin.

Tulevan ilmaston haihduntasumman ennakoidaan kasvavan 15–20 % ja koko vuoden valuntasumman pienenevän 0–20 %. Vuodenajoittain muutos tapahtuu eri suuntiin siten, että kevätvalunta pysyy lähes ennallaan, mutta kesän valunta pienenee huomattavasti, 20–40 %. Syksyinen valuntakin pienenee 0–20 % kun taas talviset valunnat kasvavat jopa 40–60 %. Ilmastomuutos vaikuttaa myös pohjavesivarantojen täyttymiseen ja pohjaveden pinnankorkeuksiin.

## Ilmastomuutos Sakatin hankkeen numeerisessa vesitasehallinnuksessa

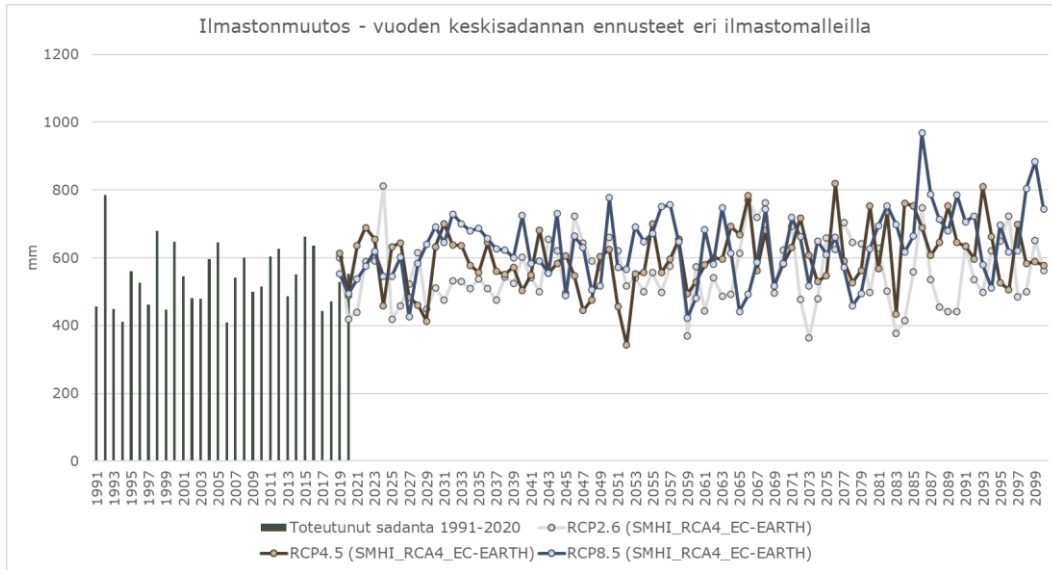
Vesitaseen numeerinen ilmastomuutoskenaariomalli on laadittu RCP2.6, RCP4.5 ja RCP8.5 ilmastomalleja edustaville yksittäisille ilmastomuutoskenaarioille. Aineisto on haettu Ruotsin ilmatieteen ja hydrologian laitoksen SMHI:n (*Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut*) datapalvelusta. SMHI on laatinut Euroopan tasolle numeeriset ennusteet yhdellettoista eri ilmastomuutoskenaariolle. Skenaariot ovat valikoima erilaisia RCP2.6, RCP4.5 ja RCP8.5 skenaarioita. Numeeriset ennusteet sateiden, lämpötilojen ja jokien virtaamien osalta ovat palvelun kautta ladattavissa valuma-aluekohtaisesti aikavälille 1971–2100 (*Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut*, 2021). Ennusteet perustuvat EURO CORDEX-dataan<sup>3</sup>. Ennusteiden avulla on mahdollista saada yhtenäiset sadannan ja lämpötilan aikasarjat halutulle ajanjaksolle.

Tässä tehtyä analyysiä varten palvelusta on haettu tiedot seuraavalle sijainnille: leveysaste 67.48, pituusaste 26.76. Aineistosta on poimittu eri päästöjen kehityskulun skenaarioita kuvaavat yksittäiset ilmastomallit, joiden mukaiset vuosisadannan ja lämpötilan aikasarjat aikavälille 1991–2100 on esitetty kuvissa 3-14 ja 3-15. Kyseisten mallien mukaan määritettynä kaivoksen tuotantovaiheen (2031–2060) ajan ilmastossa keskimääräinen vuosisadanta olisi 555 – 631 mm ja vuoden keskilämpötila +2,1 - +2,8 °C (kuva 3-13).

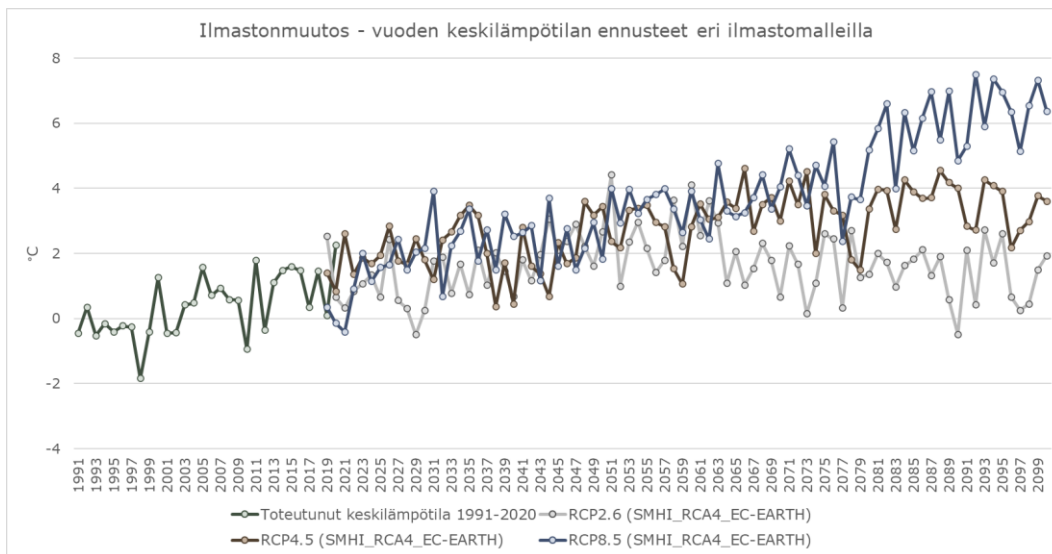
|                                                                                     | 1991-2020 | 2031-2060 |         |         |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|---------|---------|
|                                                                                     |           | RCP2.6    | RCP4.5  | RCP8.5  |
|  | +0,3 °C   | +2,1 °C   | +2,3 °C | +2,8 °C |
|  | 543 mm    | 555 mm    | 568 mm  | 631 mm  |

**Kuva 3-13. Yhteenveto numeeriseen mallinnukseen valitun ilmastomuutoskenaarioiden vuosien 2031–2060 (Sakatin kaivoshankkeen tuotantovaihe) keskilämpötilan ja keskimääräisen vuosisadannan muutoksista verrattuna jakson 1991–2020 keskimääräisiin arvoihin.**

<sup>3</sup> <https://www.euro-cordex.net/>



**Kuva 3-14. Numeeriseen mallinnukseen valittujen ilmastomuutos-skenaarioiden vuosisadannan aikasarjat aikavälille 1991–2100.**



**Kuva 3-15. Numeeriseen mallinnukseen valittujen ilmastomuutos-skenaarioiden lämpötilan aikasarjat aikavälille 1991–2100.**

### 3.4.6 Vesitasemallinnuksessa käytetyt arvot

Vesitasemallinnuksessa on käytetty sadannan lähtötietona vuosien 1991–2020 kuukausisadantojen keskiarvoja. Lisäksi haihdunnan (evapotranspiraatio) on arvioitu olevan 225 mm/vuosi. Haihdunta on mallinnettu Hydrus 1D-ohjelmalla ja sitä on verrattu Suomen ympäristökeskuksen vesistöalueen 65.897 Rovajoki simuloituihin arvoihin. Vuosisadannan ja haihdunnan erotuksena on määritetty alueelle nettosadannan arvo, joka on 319 mm / vuosi. Tämä vastaa 10 l/s/km<sup>2</sup> valunta-arvoa. Valunnan jakautuminen eri kuukausille on arvioitu alueelle tyyppisten valumaprosenttien mukaan.

Talviaikainen nettosademäärä vapautuu lumen sulaessa. Vesivarastoaltaan pinnalle on arvioitu muodostuvan talvella jääkerros, mikä on huomioitu altaan vapaan veden määrässä. Jäänpaksuustietoina on käytetty Sodankylän Unarin mitta-aseman vuosien 1999–2019 keskimääräisiä jäänpaksuuden arvoja.

Poikkeuksellisen sateisen vuoden tilanne on mallinnettu käyttämällä vuoden 1992 ilmaston toteutuneita sadanta-arvoja. Vuoden 1992 vuosisadesumma on ollut 785 mm, mikä vastaa harvinaisempaa kuin kerran sadassa vuodessa tapahtuvaa vuosisadannan toistuvuutta.

Vesitaseen numeerinen ilmastonmuutosskenaariomalli on laadittu RCP2.6, RCP4.5 ja RCP8.5 -ilmastomalleja edustaville yksittäisille ilmastonmuutosskenaarioille. Ilmastonmuutosskenaarioiden osalta lämpötilan nousun vaikutus haihduntaan on arvioitu tässä mallinnuksessa prosentuaalisena muutoksena nykyisen ilmaston haihdunnasta. Haihdunnan on arvioitu kasvavan eri skenaarioissa seuraavasti:

- RCP2.6 – haihdunta +8 %
- RCP4.5 – haihdunta +10 %
- RCP8.5 – haihdunta +12 %

Vesitasemallinnuksessa käytetyt hydrologiset arvot on esitetty taulukossa 3-7.

**Taulukko 3-7. Vesitasemallinnuksessa käytetyt hydrologiset arvot.**

|                                                              | KK  | 1   | 2   | 3  | 4  | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10 | 11  | 12  | YHT        |
|--------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|------------|
| <b>Keskimääräinen ilmasto</b>                                |     |     |     |    |    |     |     |     |     |     |    |     |     |            |
| Keskilämpötila                                               | ° C | -13 | -12 | -7 | -1 | 6   | 12  | 15  | 12  | 7   | 0  | -6  | -10 | <b>0,3</b> |
| Sadanta                                                      | mm  | 36  | 31  | 30 | 32 | 40  | 61  | 76  | 56  | 52  | 47 | 42  | 41  | <b>543</b> |
| Haihdunta                                                    | mm  | 0   | 0   | 1  | 5  | 37  | 60  | 60  | 40  | 18  | 4  | 0   | 0   | <b>225</b> |
| Nettosadanta                                                 | mm  | 36  | 31  | 29 | 27 | 3   | 1   | 16  | 16  | 34  | 43 | 42  | 41  | <b>319</b> |
| Valunta                                                      | mm  | 9   | 8   | 7  | 30 | 118 | 27  | 24  | 21  | 25  | 22 | 17  | 11  | <b>319</b> |
| Jäänpaksuus                                                  | cm  | 42  | 52  | 60 | 56 | 5   | 0   | 0   | 0   | 0   | 2  | 14  | 29  | -          |
| <b>Vuoden 1992 ilmasto (poikkeuksellisen sateinen vuosi)</b> |     |     |     |    |    |     |     |     |     |     |    |     |     |            |
| Keskilämpötila                                               | ° C | -8  | -7  | -4 | -4 | 7   | 13  | 12  | 9   | 8   | -9 | -10 | -5  | <b>0,2</b> |
| Sadanta                                                      | mm  | 24  | 32  | 46 | 34 | 30  | 113 | 128 | 136 | 103 | 21 | 40  | 77  | <b>785</b> |
| Haihdunta                                                    | mm  | 0   | 0   | 1  | 3  | 46  | 75  | 47  | 27  | 12  | 3  | 0   | 0   | <b>214</b> |
| Nettosadanta                                                 | mm  | 24  | 32  | 45 | 31 | -16 | 38  | 81  | 109 | 91  | 18 | 40  | 77  | <b>571</b> |
| Valunta                                                      | mm  | 8   | 7   | 7  | 8  | 200 | 29  | 54  | 106 | 89  | 24 | 20  | 18  | <b>571</b> |
| <b>Ilmastonmuutoskenaariot</b>                               |     |     |     |    |    |     |     |     |     |     |    |     |     |            |
| <b>RCP2.6</b>                                                |     |     |     |    |    |     |     |     |     |     |    |     |     |            |
| Keskilämpötila                                               | ° C | -11 | -9  | -4 | 0  | 8   | 14  | 16  | 13  | 8   | 2  | -4  | -8  | <b>2,1</b> |
| Sadanta                                                      | mm  | 36  | 32  | 33 | 32 | 46  | 58  | 78  | 60  | 45  | 54 | 44  | 39  | <b>555</b> |
| Haihdunta                                                    | mm  | 0   | 0   | 1  | 5  | 40  | 65  | 65  | 43  | 19  | 4  | 0   | 0   | <b>243</b> |
| Nettosadanta                                                 | mm  | 36  | 32  | 32 | 26 | 6   | -7  | 13  | 16  | 26  | 50 | 44  | 39  | <b>312</b> |
| Valunta                                                      | mm  | 4   | 4   | 4  | 30 | 125 | 26  | 24  | 20  | 25  | 22 | 17  | 11  | <b>312</b> |
| <b>RCP4.5</b>                                                |     |     |     |    |    |     |     |     |     |     |    |     |     |            |
| Keskilämpötila                                               | ° C | -11 | -7  | -5 | 1  | 9   | 14  | 16  | 14  | 8   | 2  | -4  | -9  | <b>2,3</b> |
| Sadanta                                                      | mm  | 35  | 36  | 26 | 34 | 43  | 74  | 73  | 62  | 51  | 58 | 38  | 38  | <b>568</b> |
| Haihdunta                                                    | mm  | 0   | 0   | 1  | 6  | 41  | 66  | 66  | 44  | 20  | 4  | 0   | 0   | <b>248</b> |
| Nettosadanta                                                 | mm  | 35  | 36  | 25 | 29 | 3   | 8   | 7   | 18  | 32  | 53 | 38  | 38  | <b>321</b> |
| Valunta                                                      | mm  | 4   | 4   | 4  | 31 | 128 | 27  | 24  | 21  | 26  | 22 | 17  | 11  | <b>321</b> |
| <b>RCP8.5</b>                                                |     |     |     |    |    |     |     |     |     |     |    |     |     |            |
| Keskilämpötila                                               | ° C | -10 | -7  | -4 | 1  | 9   | 15  | 16  | 14  | 9   | 3  | -4  | -9  | <b>2,8</b> |
| Sadanta                                                      | mm  | 44  | 48  | 32 | 41 | 51  | 76  | 74  | 69  | 53  | 62 | 43  | 38  | <b>631</b> |
| Haihdunta                                                    | mm  | 0   | 0   | 1  | 6  | 41  | 67  | 67  | 45  | 20  | 4  | 0   | 0   | <b>252</b> |
| Nettosadanta                                                 | mm  | 44  | 48  | 31 | 35 | 10  | 8   | 7   | 24  | 33  | 57 | 43  | 38  | <b>379</b> |
| Valunta                                                      | mm  | 5   | 5   | 5  | 37 | 152 | 32  | 29  | 25  | 30  | 26 | 20  | 13  | <b>379</b> |

## 4 TUOTANTOVAIHEEN VESITASEEN MALLINNUSTULOKSET

### 4.1 Vuositason nettovesimäärät

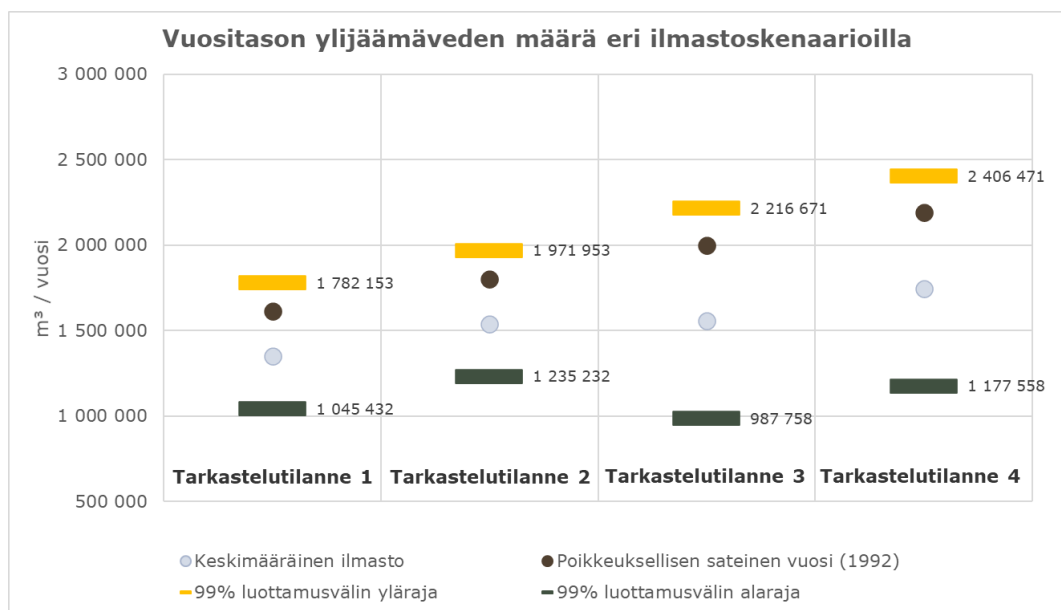
Taselaskennan perustana on, että tarkasteltavaan vesikiertoon tulevien ja lähtevien virtojen nettosumman tulee olla sama. Kun tarkastellaan kaivoksen vuotuisia vesitaseita, tarkoittaa nettopositiivinen tilanne sitä, että vettä tulee joko purkaa ympäristöön tai varastoida kaivosalueelle. Nettonegatiivisina vuosina joko kulutetaan olemassa olevia vesivarastoja tai otetaan lisäraakavettä toimintojen ulkopuolelta – tässä tapauksessa Kitisestä. Sakatin kaivoksen vesitase on kaikissa tarkastelluissa tilanteissa nettopositiivinen (taulukko 4-1 ja kuva 4-1). Kaivoksen vuotuisen vesitaseen ylimäärä on pienin vesitaseen tarkastelutilanteissa 1 vaihdellen 99 % luottamusvälillä arvoissa 1,05–1,78 milj. m<sup>3</sup>. Vastaavasti kaivoksen vuotuisen vesitaseen ylimäärä on suurin vesitaseen tarkastelutilanteissa 4 vaihdellen 99 % luottamusvälillä arvoissa 1,18–2,41 milj. m<sup>3</sup>. Mallinnettu 99 % luottamusväli kuvaa malliin liittyvää ilmastollista vaihteluväliä, jonka ylä- tai alapuolella oleminen on äärimmäisen epätodennäköistä.

Ilmastonmuutosmallit eri ilmastonmuutoskenaarioille osoittavat, että muuttuva ilmasto ei tule juurikaan vaikuttamaan kaivokselta purettavaan vuosittaiseen ylijäämaveden määrään. Ilmastonmuutos tulee kuitenkin muuttamaan vuoden sisällä tapahtuvien ilmastollisten ilmiöiden rytmiä ja ennakoitavuutta, mikä tullaan hankkeessa huomioimaan kaivoksen vesienhallinnan järjestelmien toteutuksessa.

**Taulukko 4-1. Vuositason nettovesitase eri tarkastelutilanteissa.**

| Vesitaseen tarkastelutilanne | Ilmastollinen tarkastelutilanne / Ilmastoskenaario | Vesitaseen ylimäärä (milj. m <sup>3</sup> / vuosi) |
|------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Tarkastelutilanne 1          | Keskimääräinen ilmasto                             | 1,35                                               |
|                              | Poikkeuksellisen sateinen vuosi (1992)             | 1,61                                               |
|                              | Ilmastonmuutos RCP2.6                              | 1,33                                               |
|                              | Ilmastonmuutos RCP4.5                              | 1,34                                               |
|                              | Ilmastonmuutos RCP8.5                              | 1,39                                               |
|                              | 99 % luottamusvälin yläraja                        | 1,78 (maksimi)                                     |
|                              | 99 % luottamusvälin alaraja                        | 1,05 (minimi)                                      |
| Tarkastelutilanne 2          | Keskimääräinen ilmasto                             | 1,54                                               |
|                              | Poikkeuksellisen sateinen vuosi (1992)             | 1,80                                               |
|                              | Ilmastonmuutos RCP2.6                              | 1,52                                               |
|                              | Ilmastonmuutos RCP4.5                              | 1,53                                               |
|                              | Ilmastonmuutos RCP8.5                              | 1,58                                               |
|                              | 99 % luottamusvälin yläraja                        | 1,97 (maksimi)                                     |
|                              | 99 % luottamusvälin alaraja                        | 1,24 (minimi)                                      |

| Vesitaseen tarkastelu-tilanne | Ilmastollinen tarkastelutilanne / Ilmastoskenaario | Vesitaseen ylimäärä (milj. m <sup>3</sup> / vuosi) |
|-------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Tarkastelu-tilanne 3          | Keskimääräinen ilmasto                             | 1,55                                               |
|                               | Poikkeuksellisen sateinen vuosi (1992)             | 2,00                                               |
|                               | Ilmastomuutos RCP2.6                               | 1,52                                               |
|                               | Ilmastomuutos RCP4.5                               | 1,53                                               |
|                               | Ilmastomuutos RCP8.5                               | 1,61                                               |
|                               | 99 % luottamusvälin yläraja                        | 2,22 (maksimi)                                     |
|                               | 99 % luottamusvälin alaraja                        | 0,99 (minimi)                                      |
| Tarkastelu-tilanne 4          | Keskimääräinen ilmasto                             | 1,74                                               |
|                               | Poikkeuksellisen sateinen vuosi (1992)             | 2,19                                               |
|                               | Ilmastomuutos RCP2.6                               | 1,71                                               |
|                               | Ilmastomuutos RCP4.5                               | 1,72                                               |
|                               | Ilmastomuutos RCP8.5                               | 1,80                                               |
|                               | 99 % luottamusvälin yläraja                        | 2,41 (maksimi)                                     |
|                               | 99 % luottamusvälin alaraja                        | 1,18 (minimi)                                      |



**Kuva 4-1. Vuositason nettovesitase eri tarkastelutilanteissa.**

Vesitasemallin tulokset keskimääräisen ilmaston mukaisissa tilanteissa rikastushiekan kuivaläjitysvaihtoehdoille (tarkastelutilanteet 1 ja 2) on esitetty kaaviona liitteessä 1. Vastaavasti taseet rikastushiekan märkäläjitysvaihtoehdoille (tarkastelutilanteet 3 ja 4) on esitetty liitteessä 2. Edellä mainituissa kaavioissa on huomioitu myös raakavedenottomäärän mahdollinen vaihteluväli ja sen vaikutus vesitaseeseen. Kappaleessa 4.2 kuvataan eri vesitaseen tarkastelutilanteiden kuukausitason tulokset.



## 4.2 Kuukausitason ylijäämäveden määrä ja altaiden varastokapasiteetin käyttö

### 4.2.1 Mallin tulokset keskimääräisen ilmaston mukaisesti

#### 4.2.1.1 Tarkastelutilanne 1

##### TARKASTELUTILANTEEN KUVAUS

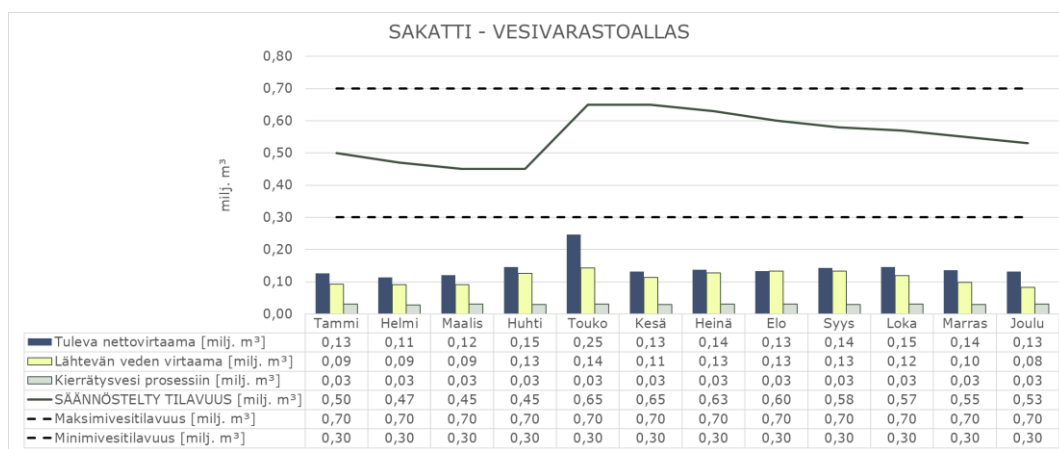
Rikastushiekan läjitystapa: Kuivaläjitys

Kaivoksen kuivanapitovesimäärät: 80 %-tiivistysskenaario

Tarvekilouhoksen kuivanapitovesimäärä: Vaihe 2 -mukainen

Hydrologinen tilanne: Keskimääräinen ilmasto

Tarkastelutilanteessa 1 vuositase on 1,35 milj. m<sup>3</sup> nettopositiivinen. Hallittavia vesiä muodostuu alueelle tulevasta lumen sulamisvesistä ja sadannasta. Kaivoksen kuivanapitovesimäärät ovat maltilliset. Kaivokselta purettavan ylijäämäveden määrä on suurimmillaan toukokuussa ollen 140 000 m<sup>3</sup>/kk. Vesiä puretaan pois kaivosalueelta myös talviaikana (kuva 4-2).



**Kuva 4-2. Vesivarastoaltaan vesitase ja lähtevän veden virtaama – Tarkastelutilanne 1.**

#### 4.2.1.2 Tarkastelutilanne 2

##### TARKASTELUTILANTEEN KUVAUS

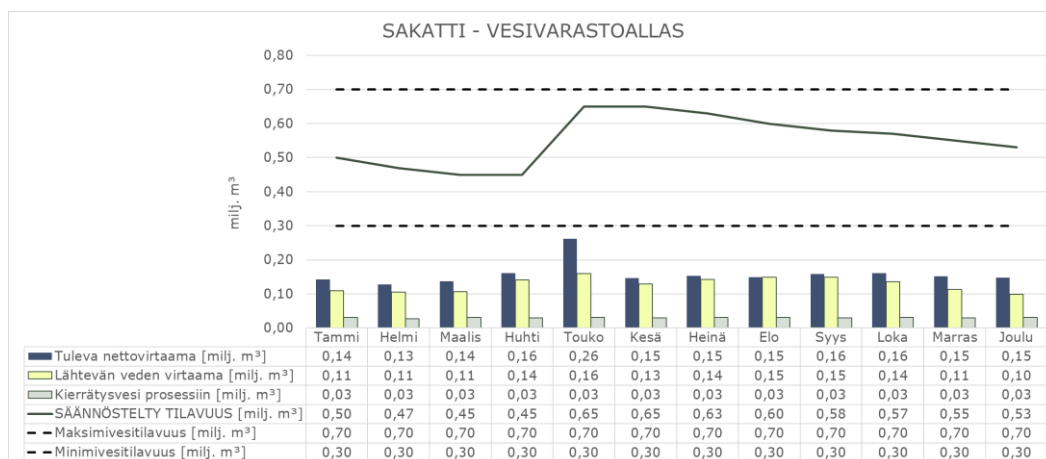
Rikastushiekan läjitystapa: Kuivaläjitys

Kaivoksen kuivanapitovesimäärät: 65 %-tiivistysskenaario

Tarvekilouhoksen kuivanapitovesimäärä: Vaihe 3 -mukainen

Hydrologinen tilanne: Keskimääräinen ilmasto

Tarkastelutilanteessa 2 vuositase on 1,54 milj. m<sup>3</sup> nettopositiivinen. Hallittavia vesiä muodostuu alueelle tulevasta lumen sulamisvesistä ja sadannasta. Kaivoksen kuivanapitovesimäärät ovat tarkastelutilannetta 1 suuremmat. Kaivokselta purettavan ylijäämäveden määrä on suurimmillaan toukokuussa ollen 160 000 m<sup>3</sup>/kk. Tässä vaihtoehdossa vettä puretaan pois kaivosalueelta tasaisesti myös talviaikana (kuva 4-3).



**Kuva 4-3. Vesivarastoaltaan vesitase ja lähtevän veden virtaama – Tarkastelutilanne 2.**

### 4.2.1.3 Tarkastelutilanne 3

#### TARKASTELUTILANTEEN KUVAUS

Rikastushiekan läjitystapa: Märkäläjitys

Kaivoksen kuivanapitovesimäärät: 80 %-tiivistysskenaario

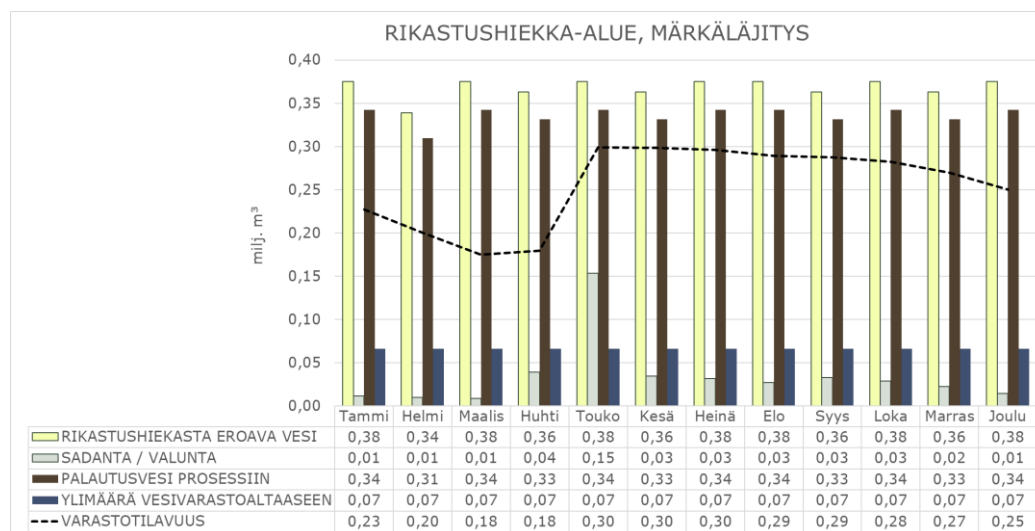
Tarvekilouhoksen kuivanapitovesimäärä: Vaihe 2 -mukainen

Hydrologinen tilanne: Keskimääräinen ilmasto

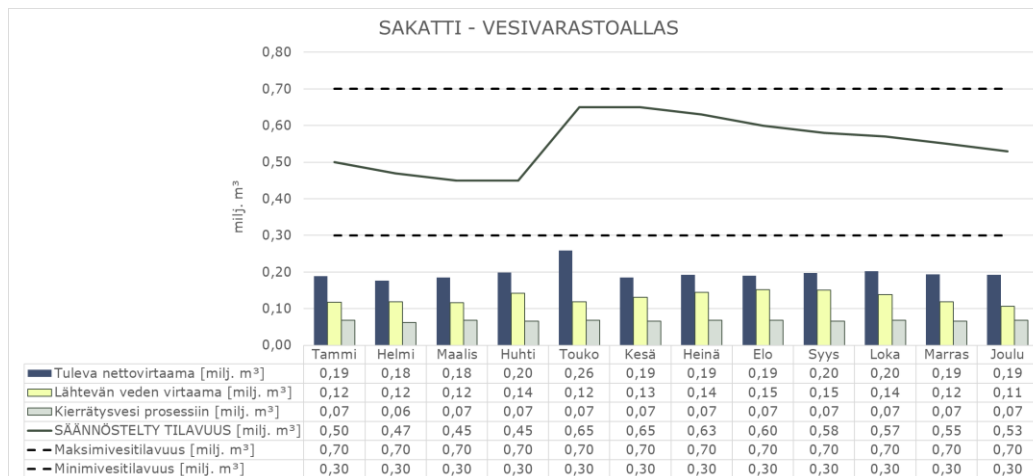
Tarkastelutilanteessa 3 vuositaso on 1,55 milj. m<sup>3</sup> nettopositiivinen. Hallittavia vesiä muodostuu alueelle tulevasta lumen sulamisvesistä ja sadannasta. Kaivoksen kuivanapitovesimäärä on maltillinen.

Rikastushiekan märkäläjitys muuttaa koko alueen vesienhallinnan konseptia ja kuivaläjitysvaihtoehtoon verrattuna vettä palautetaan prosessiin suuret määrät rikastushiekka-alueelta. Rikastushiekka-alueelle kertyvä ylimäärävesi on tässä tarkastelussa mallinnettu hallittavan siten, että se johdetaan vesivarastoaltaaseen tasaisesti koko vuoden aikana (kuva 4-4). Käytännössä ajotavat voivat vaihdella. Vesivarastoaltaalle johdettava vesimäärä on 66 000 m<sup>3</sup>/kk mikäli veden johtaminen toteutetaan tässä esitetyn mallin mukaisesti. Myös vesivarastoaltaalta vettä palautetaan edelleen prosessiin.

Kaivokselta purettavan ylijäämäveden määrä on suurimmillaan huhti-lokuussa ollen noin 140 000 m<sup>3</sup>/kk. Tässä vaihtoehdossa vettä puretaan pois kaivosalueelta tasaisesti myös talviaikana (kuva 4-5).



**Kuva 4-4. Rikastushiekka-alueen vesitase ja altaaseen varastoitu vesimäärä – Tarkastelutilanteet 3 ja 4.**



**Kuva 4-5. Vesivarastoaltaan vesitase ja lähtevän veden virtaama – Tarkastelutilanne 3.**

#### 4.2.1.4 Tarkastelutilanne 4

##### TARKASTELUTILANTEEN KUVAUS

Rikastushiekan läjitystapa: Märkäläjitys

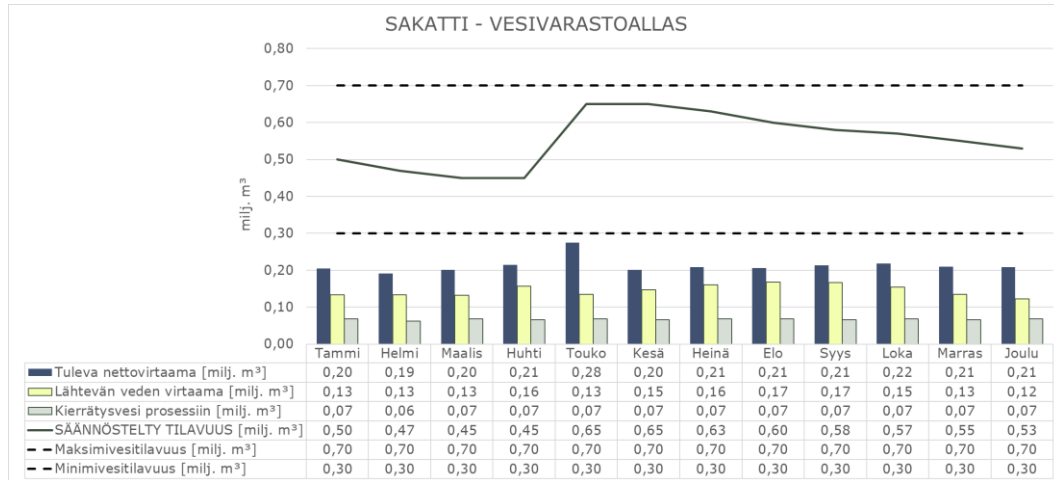
Kaivoksen kuivanapitovesimäärät: 65 %-tiivistysskenaario

Tarvekilouhoksen kuivanapitovesimäärä: Vaihe 3 -mukainen

Hydrologinen tilanne: Keskimääräinen

Tarkastelutilanteessa 4 vuositase on 1,74 milj. m³ nettopositiivinen. Hallittavia vesiä muodostuu alueelle tulevasta lumen sulamisvesistä ja sadannasta. Kaivoksen kuivanapitovesimäärä on tarkastelutilannetta 3 suurempi. Rikastushiekan märkäläjitäytksen osalta vesienhallintaratkaisu on vastaava kuin tarkastelutilanteessa 3.

Kaivokselta purettavan ylijäämäveden määrä on suurimmillaan huhti-lokuussa ollen noin 160 000 m³/kk. Talviaikana vesiä johdetaan pois kaivosalueelta kohtuullisen tasaisesti (kuva 4-6).



**Kuva 4-6. Vesivarastoaltaan vesitase ja lähtevän veden virtaama – Tarkastelutilanne 4.**

#### 4.2.1.5 Yhteenveto

Kullekin tarkastelutilanteelle on laadittu kuukausitason vesitasemalli, jonka perusteella on määritetty eri vaihtoehtojen ylijäämäveden määrä sekä arvioitu vesivarastotilavuuden riittävyyttä. Tarkastelutilanteissa 2 ja 4 ylijäämäveden määrät ovat luonnollisesti ympäri vuoden tarkastelutilanteita 1 ja 3 korkeammat johtuen mallinnusskenaarioiden eroista kaivoksen ja tarvekilouhoksen kuivanapitovesimäärien suhteen. Rikastushiekan märkäläjäytys muuttaa koko alueen vesienhallinnan konseptia ja kuivaläjäytysvaihtoehtoon verrattuna vettä palautetaan prosessiin suuret määrät rikastushiekka-alueelta. Lisäksi vesivarastoaltaalle johdettavat vesimäärät ovat suurempia.

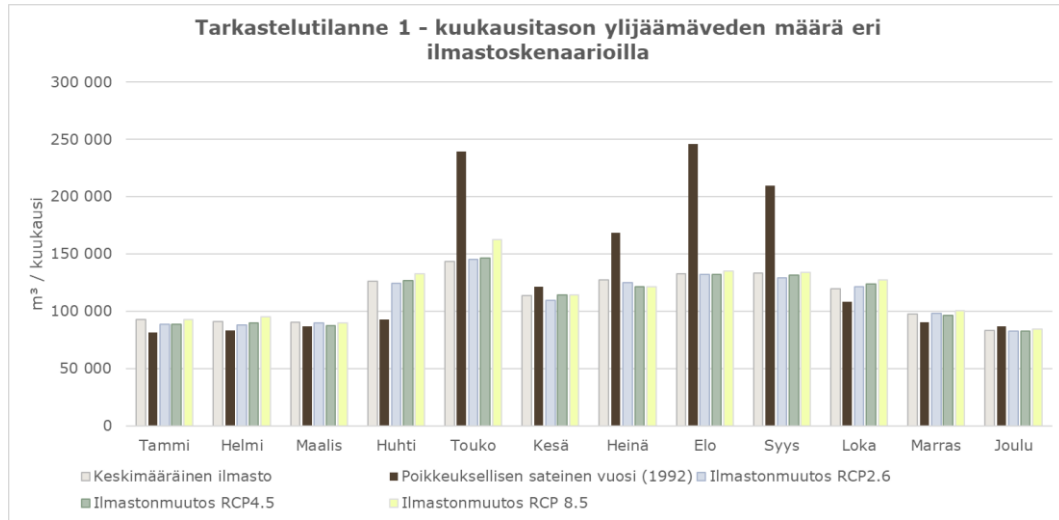
Eri vaihtoehtojen kuukausitason kaivokselta purettavan ylijäämäveden määrät on esitetty aiempien kuvien lisäksi taulukossa 4-2. Taulukon luvut kuvaavat sadannan suhteen keskimääräistä ilmastoa.

**Taulukko 4-2. Tarkasteltujen vaihtoehtojen kaivokselta purettavan ylijäämäveden määrä yksikössä m<sup>3</sup>/kk.**

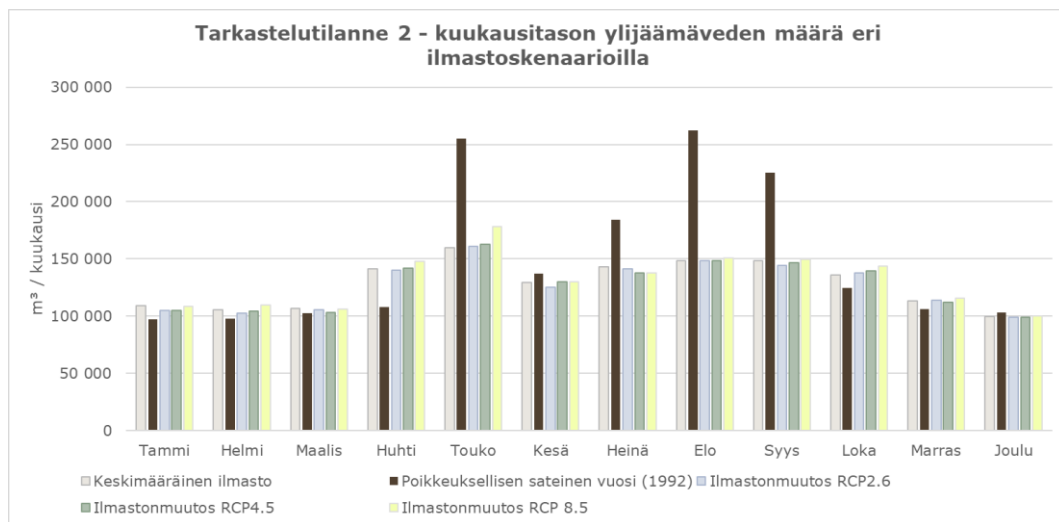
|                 | Tarkastelu-<br>tilanne 1 | Tarkastelu-<br>tilanne 2 | Tarkastelu-<br>tilanne 3 | Tarkastelu-<br>tilanne 4 |
|-----------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <b>Tammi</b>    | 92 900                   | 109 000                  | 117 300                  | 133 400                  |
| <b>Helmi</b>    | 90 700                   | 105 300                  | 119 300                  | 133 900                  |
| <b>Maalis</b>   | 90 600                   | 106 700                  | 115 900                  | 132 000                  |
| <b>Huhti</b>    | 125 900                  | 141 500                  | 141 800                  | 157 400                  |
| <b>Touko</b>    | 143 400                  | 159 500                  | 118 600                  | 134 700                  |
| <b>Kesä</b>     | 113 700                  | 129 300                  | 131 200                  | 146 800                  |
| <b>Heinä</b>    | 127 000                  | 143 200                  | 144 400                  | 160 500                  |
| <b>Elo</b>      | 132 600                  | 148 700                  | 151 600                  | 167 800                  |
| <b>Syys</b>     | 133 000                  | 148 600                  | 151 100                  | 166 700                  |
| <b>Loka</b>     | 119 600                  | 135 800                  | 138 000                  | 154 100                  |
| <b>Marras</b>   | 97 600                   | 113 200                  | 119 400                  | 135 000                  |
| <b>Joulu</b>    | 83 200                   | 99 300                   | 106 500                  | 122 700                  |
| <b>YHTEENSÄ</b> | <b>1 349 800</b>         | <b>1 539 600</b>         | <b>1 554 600</b>         | <b>1 744 400</b>         |

#### 4.2.2 Mallin tulokset vaihtelevassa ilmastossa

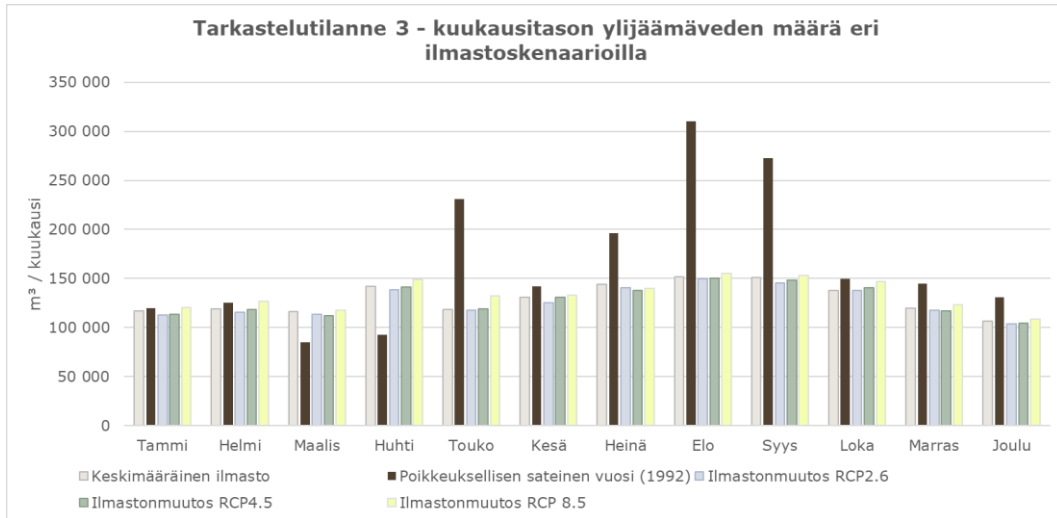
Vesitasemalli on nykyilmaston (keskimääräinen ilmasto) lisäksi ajettu soveltaen vuoden 1992 toteutunutta sadantaa sekä kolmella eri ilmastonmuutosskenaariolla, jotka edustavat RCP2.6, RCP4.5 ja RCP8.5 -ilmastomalleja. Kuukausitaso-  
 son ylijäämävesimäärien tulokset on esitetty eri tarkastelutilanteille kuvissa 4-7, 4-8, 4-9 ja 4-10. Koska ilmastonmuutosmallit edustavat mallien mukaista keskimääräistä ilmastoa kaivoksen arvioidussa tuotantovaiheessa, eroa nykyilmaston tuloksiin ei tällä juurikaan nähdä (ks. myös kappale 4.1 ja analyysi muuttuvan ilmaston vaikutuksista vuositason ylijäämäveden määriin). Vuoden 1992 ilmastoa käytettäessä kuukausitaso-  
 son ylijäämävesimäärissä nähdään kuitenkin selkeitä eroja keskimääräisiin ilmaston malleihin. Todellisuudessa kuukausitaso-  
 son ylijäämävesimäärät tulevat siis sulan kauden aikana riippumaan lumen sulamisen nopeudesta ja sateisuudesta. Talvikuukausina kaivokselta purettava ylijäämävesi koostuu lähinnä kaivoksen ja tarvekilouhoksen kiviainepitoivesistä.



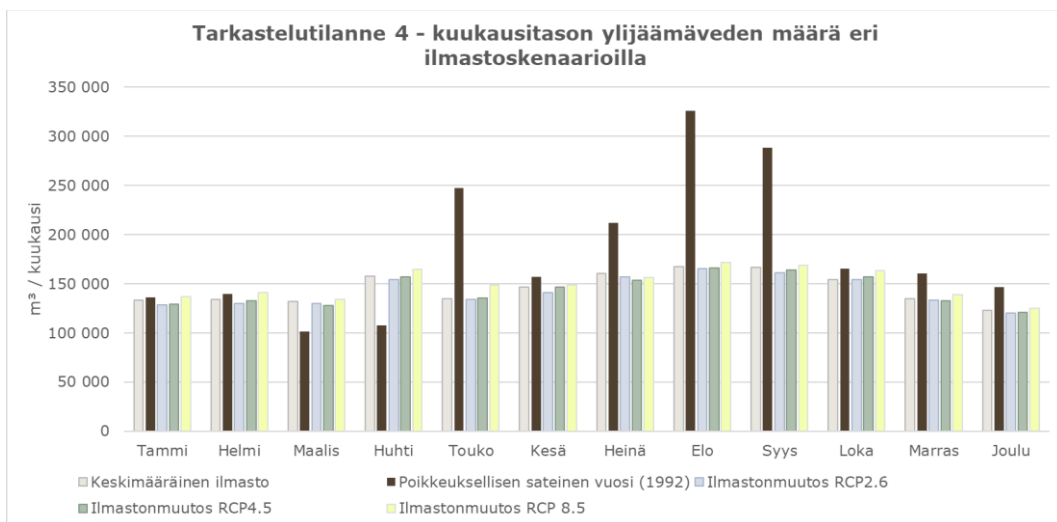
**Kuva 4-7. Kuukausitason ylijäämäveden määrä eri ilmastokenaarioilla – Tarkastelutilanne 1.**



**Kuva 4-8. Kuukausitason ylijäämäveden määrä eri ilmastokenaarioilla – Tarkastelutilanne 2.**



**Kuva 4-9. Kuukausitason ylijäämäveden määrä eri ilmastoskenaarioilla – Tarkastelutilanne 3.**



**Kuva 4-10. Kuukausitason ylijäämäveden määrä eri ilmastoskenaarioilla – Tarkastelutilanne 4.**

### 4.3 GoldSim-malli

Hankkeessa on otettu jo varhaisessa vaiheessa käyttöön dynaaminen vesitase-malli, joka on laadittu GoldSim-ohjelmalla. Dynaaminen malli on laadittu hankkeen esikannattavuusarvion yhteydessä (SRK, 2019) ja AFRY on työstänyt mallia eteenpäin osana ympäristövaikutusten arviointia. Ympäristövaikutusten arviointivaiheessa dynaamisella mallilla on todennettu Excel-mallilla saatujen tulosten oikea suuruusluokka. GoldSim -vesitasemallin työstöä tullaan jatkamaan ympäristövaikutusten arviointivaiheen jälkeen ja malli tullaan ottamaan hankkeen ensisijaiseksi vesi- ja ainetasemallinnustyökaluksi.



#### **4.4 Mallinnustulosten soveltuvuus hankevaihtoehtoille VE2a, VE2b, VE3a ja VE3b**

Vesitasemallinnuksessa käytetyt pinta-alat perustuvat kuivaläijityksen osalta hankevaihtoehtoon VE1a ja märkäläijityksen osalta vaihtoehtoon VE1b. Vaihtoehtoisissa VE2a, VE2b, VE3a ja VE3b on kuitenkin eroavaisuuksia vaihtoehtoihin VE1a ja VE1b toiminta-alueiden pinta-alojen suhteen sekä maanalaisen kaivoksen vinotunnelien lukumäärän osalta, millä puolestaan on vaikutusta tunnelitiilaan ja sitä kautta kaivoksen kuivanapitovesimääriin. Alla on eritelty toiminta-alueen pinta-alojen ja maanalaisen kaivoksen sisäänkäynnin muutosten vaikutusta vesitaseeseen. Yhteenvetona voidaan todeta, että mallinnetut vesitaseen tulokset kaivokselta purettavien ylijäämävesimäärien suhteen kattavat myös vaihtoehdot VE2a, VE2b, VE3a ja VE3b.

##### **Toiminta-alueen pinta-ala**

Kaivoksen vesikierrossa mukana olevan toiminta-alueen pinta-ala eri hankevaihtoehtoille on esitetty aiemmin taulukossa 3-2. Vaihtoehtojen VE2a ja VE3a pinta-alat ovat jonkin verran VE1a:ta suurempia, kun taas vaihtoehtojen VE2b ja VE3b pinta-alat ovat kutakuinkin samansuuruisia kuin VE1b:ssä. YVA-vaiheen vesitaseen tarkkuus huomioon ottaen voidaan todeta, että hankevaihtoehdolle VE1b tehdyt vesitasetarkastelut - eli vesitaseen tarkastelutilanteet 3 ja 4 - kattavat suuruusluokassa myös vaihtoehdot VE2a, VE2b, VE3a ja VE3b.

##### **Maanalaisen kaivoksen sisäänkäynti (vinotunnelin osuus) ja muodostuva kuivanapitovesimäärä**

Vaihtoehtoisissa VE2a, VE2b, VE3a ja VE3b kaivoksen sisäänkäynti sijoittuu lähemmäs esiintymää, mistä johtuen vinotunneliverkosto tulee jäämään lyhyemmäksi kuin vaihtoehtoisissa VE1a ja VE1b. Lisäksi VE1a:n kuivanapitovesimäärän arvioinnissa on oletettu, että vinotunneleita on yhteensä neljä kappaletta, kun vaihtoehtoisissa VE2a, VE2b, VE3a ja VE3b vinotunneleita on yksi. VE1a:ssa ja VE1b:ssa louhittavan tunnelitilan määrä on siis suurempi kuin muissa vaihtoehtoisissa ja kuivanapitovesien muodostumisen näkökulmasta vaihtoehdot VE1a ja VE1b kuvaavat siten laajinta tilannetta.

## 5 VEDEN LAADUT JA VEDENKÄSITTELY

### 5.1 Vesijakeiden laatuarviot

Kuormitusarvioiden kannalta merkittävimmät vesijakeet ovat kaivannaisjäte-alueiden suoto- ja valumavedet sekä maanalaisen kaivoksen kuivanapitovesi. Prosessiveden laatu tulee huomioiduksi rikastushiekka-alueen vesilaatuarvioiden kautta. Kokonaiskuormituksessa on lisäksi huomioitu aluevesien ja tarvekivilouhoksen kuivanapitoveden kuormitukset.

**Rikastushiekka-alueen kierrätysvesien laatu** juontuu pääosin malmin ominaisuuksista, mutta siihen vaikuttavat myös rikastusprosessissa käytettävät kemikaalit. Rikastushiekka-alueen kierrätysvedet sisältävät mm. sulfaatteja ja metalleja. Myös räjähdysaineperäinen liukoinen tyyppi päätyy osaltaan rikastushiekka-alueelle, mikä voi näkyä rikastushiekka-alueella muodostuvien vesien kohonneina tyyppipitoisuuksina. AFRY (AFRY Finland Oy, 2023) on raportoinut vedenlaatuarviot matalarikkisen rikastushiekka-alueen suotoveden laaduille, joita on käytetty varovaisuusperiaatetta noudattaen rikastushiekka-alueelta kaivoksen vesikiertoon johdettavan veden laatuina eri tarkastelutilanteissa. Prosessivaihtoehdolle 1 vesilaatuarviot on laadittu erikseen rikastushiekan kuivaläjitysvaihtoehdolle ja märkäläjitysvaihtoehdolle. Prosessivaihtoehdolle 2 on laadittu vesilaatuarvio ainoastaan kuivaläjitysvaihtoehdolle. Kuivaläjitysratkaisun suotovesilaatua on sovellettu ainetasemallissa prosessivaihtoehdon 2 märkäläjitysvaihtoehdon dekanttiveden eli rikastushiekka-altaan pinnalta pumpattavan veden laatuna. Vesilaatumalleissa on huomioitu prosessiveden laadun lisäksi rikastushiekan rapautumis- ja hapettumisreaktiot sekä vesi-kiintoainekontakti. Vedenlaatuarviot kuvataan yhteenvetoraportissa koskien kaivannaisjätteiden karakterisointia sekä kaivosalueen vesien laatuarviointia (AFRY Finland Oy, 2023).

**Kaivoksen kuivanapitovesissä** on jonkin verran metalleja, kuten sinkkiä ja nikkeliä. Lisäksi kuivanapitovesissä esiintyy räjähdysaineista peräisin olevaa tyyppiä. Myös suolaisuus kasvaa syvemmälle mentäessä. Suolaisuuden muutoksesta johtuen kaivoksen kuivanapitovesien laatuarviot on mallinnettu erikseen tason -420 m yläpuolisille vesille sekä tason -420 m alapuolisille vesille (Stantec Consulting Ltd, 2023). Kaivoksen kuivanapitovesien laatuarviot tason -420 m ylä- ja alapuolisille vesille on esitetty yhteenvetoraportissa koskien kaivannaisjätteiden karakterisointia sekä kaivosalueen vesien laatuarviointia (AFRY Finland Oy, 2023).

**Sivukivialueiden suoto- ja valumavesissä**, erityisesti korkearikkisen sivukiven läjitysalueen kohdalla, on korkeita pitoisuuksia metalleja, kuten nikkeliä. Lisäksi vesissä esiintyy räjähdysaineista peräisin olevaa tyyppiä. Sivukivialueiden vedenlaatuarviot on laatinut SRK (SRK Consulting (UK) Ltd, 2019). Sivukivialueiden vedenlaatuarviot on esitetty yhteenvetoraportissa koskien

kaivannaisjätteiden karakterisointia sekä kaivosalueen vesien laatuarviointia (AFRY Finland Oy, 2023).

**Tarvekilouhoksen** vedenlaatuarviot on laatinut AFRY ja tulokset on esitetty yhteenvetoraportissa koskien kaivannaisjätteiden karakterisointia sekä kaivosalueen vesien laatuarviointia (AFRY Finland Oy, 2023). Tarvekilouhoksen vedessä pääasiallisena vesikiertoon vaikuttavana kuormittajana on räjähdysaineista peräisin oleva typpi.

## 5.2 Vesivarastoaltaan veden laatu- ja kuormitusarviot

Vesijakeiden suhteet vaihtelevat tässä vesitaseraportissa esitettyjen vesitaseen tarkastelutilanteiden välillä. Vesijakeiden suhteiden vaihteluvälistä johtuen myös vesivarastoaltaan veden laatuarviot vaihtelevat. Taulukossa 5-1 on esitetty vesivarastoaltaan osalta eri vaihtoehtojen alustavat veden laatuarviot todennäköisenä vaihteluvälinä. On huomattava, että vesivarastoaltaan veden laatu kuvaa kaivoksen sisäisen vesikierron veden laatua. Vesivarastoaltaalta vesi palautetaan osittain prosessiin ja osittain vesi johdetaan vedenkäsittelyyn ja sen jälkeen edelleen Kitiseen.

**Taulukko 5-1. Vesivarastoaltaan veden laadun todennäköinen vaihteluväli eri vesitaseen tarkastelutilanteissa.**

| Parametri |                  | Yksikkö | Tarkastelutilanne 1 |        | Tarkastelutilanne 2 |        | Tarkastelutilanne 3 |        | Tarkastelutilanne 4 |        |
|-----------|------------------|---------|---------------------|--------|---------------------|--------|---------------------|--------|---------------------|--------|
|           |                  |         | Min                 | Max    | Min                 | Max    | Min                 | Max    | Min                 | Max    |
| Alumiini  | Al               | mg/l    | 0,03                | 0,04   | 0,04                | 0,05   | 0,03                | 0,03   | 0,03                | 0,04   |
| Antimoni  | Sb               | mg/l    | 0,001               | 0,003  | 0,001               | 0,003  | 0,001               | 0,004  | 0,001               | 0,004  |
| Arseeni   | As               | mg/l    | 0,0001              | 0,0002 | 0,0001              | 0,0002 | 0,00005             | 0,0004 | 0,0000              | 0,0004 |
| Elohopea  | Hg               | mg/l    | 0,0002              | 0,0002 | 0,0002              | 0,0002 | 0,0001              | 0,0001 | 0,0002              | 0,0002 |
| Fosfori   | P                | mg/l    | 0,1                 | 0,2    | 0,1                 | 0,2    | 0,2                 | 0,3    | 0,2                 | 0,3    |
| Kadmium   | Cd               | mg/l    | 0,0001              | 0,0002 | 0,0001              | 0,0002 | 0,00005             | 0,0001 | 0,0001              | 0,0001 |
| Kalium    | K                | mg/l    | 59                  | 110    | 54                  | 99     | 59                  | 244    | 55                  | 226    |
| Kalsium   | Ca               | mg/l    | 91                  | 283    | 87                  | 264    | 102                 | 222    | 98                  | 212    |
| Kloridi   | Cl               | mg/l    | 304                 | 445    | 286                 | 410    | 275                 | 356    | 264                 | 336    |
| Koboltti  | Co               | mg/l    | 0,002               | 0,004  | 0,002               | 0,004  | 0,002               | 0,004  | 0,002               | 0,003  |
| Kromi     | Cr               | mg/l    | 0,001               | 0,003  | 0,001               | 0,003  | 0,000               | 0,003  | 0,0004              | 0,003  |
| Kupari    | Cu               | mg/l    | 0,002               | 0,005  | 0,002               | 0,005  | 0,001               | 0,004  | 0,001               | 0,004  |
| Lyijy     | Pb               | mg/l    | 0,0001              | 0,0001 | 0,0001              | 0,0001 | 0,00004             | 0,0001 | 0,00005             | 0,0001 |
| Magnesium | Mg               | mg/l    | 69                  | 135    | 64                  | 122    | 120                 | 174    | 112                 | 162    |
| Mangaani  | Mn               | mg/l    | 0,1                 | 0,2    | 0,1                 | 0,2    | 0,1                 | 0,2    | 0,1                 | 0,2    |
| Natrium   | Na               | mg/l    | 179                 | 240    | 163                 | 223    | 207                 | 263    | 194                 | 249    |
| Nikkeli   | Ni               | mg/l    | 0,1                 | 0,2    | 0,1                 | 0,2    | 0,1                 | 0,2    | 0,1                 | 0,2    |
| Rauta     | Fe               | mg/l    | 0,2                 | 0,2    | 0,2                 | 0,2    | 0,2                 | 0,2    | 0,1                 | 0,1    |
| Sinkki    | Zn               | mg/l    | 0,1                 | 0,1    | 0,1                 | 0,1    | 0,1                 | 0,1    | 0,1                 | 0,1    |
| Sulfaatti | SO <sub>4</sub>  | mg/l    | 303                 | 766    | 274                 | 702    | 305                 | 1 252  | 283                 | 1 168  |
| Typpi     | N <sub>tot</sub> | mg/l    | 9                   | 22     | 9                   | 21     | 9                   | 17     | 9                   | 16     |

Yhteenvetona aineiden esiintymisestä voidaan todeta, että nikkeliä esiintyy jonkin verran lähes kaikissa hallittavissa kaivosalueen vesissä. Erityisesti nikkeliä vapautuu korkearikkisistä sivukivistä. Toinen määrällisesti merkittävä lähde on kaivoksen kuivanapitovesi, jossa nikkeliä on jonkin verran kaivoksen syvässä osassa. Ennustettu kuivanapitoveden pitoisuus kasvaa kaivoksen

toiminnan edetessä ollen tason -420 m alapuolisissa vesissä enimmillään noin 0,65 mg/l. Nikkelin alkuperäislähteitä ovat siis malmi, sivukivi ja maanalaisen kaivoksen seinämät.

Sulfaattipitoisuudet ovat merkittävimpiä rikastushiekan suotovesissä. Myös kaivoksen kuivanapitovesissä esiintyy kohonneita sulfaattipitoisuuksia, erityisesti tason -420 m alapuolisissa vesissä. Kaivoksen kuivanapitovesissä pitoisuudet nousevat toiminnan loppuvuosia kohti. Sulfaatin merkittäviä lähteitä ovat siis kallioperän sulfidit, mukaan lukien malmi, korkearikkinen sivukivi ja osa kaivoksen syvimpien osien seinämistä.

Tiosulfaatti,  $S_2O_3^{2-}$  ("tiosuola") on vesiliukoinen rikkiyhdiste, joka muuttuu hapettumisen, pelkistymisen tai epätasapainon kautta sulfaatiksi, alkuainerikiksi tai sulfidiksi, riippuen redox-potentiaalista ja pH:sta. Tiosuolat eivät ole toksisia, mutta niiden määrä on kiinnostava, koska niiden hapettumisessa sulfaatiksi muodostuu happamuutta ja kuluu happea. Prosessivesiin voi muodostua tiosuoloja sulfidien epätäydellisen hajoamisen seurauksena tai rikin ja hydroksidin reaktioiden seurauksena. Niitä myös hajoaa luontaisesti, nopeimmin lämpimänä vuodenaikana. Tiosulfaatteja on analysoitu Sakatin rikastuskokeiden yhteydessä. Prosessivaihtoehdossa 1 eri prosessivaiheiden prosessivesissä tiosulfaatteja esiintyi 14-25 mg/l. Rikastushiekasta erottuvassa vedessä pitoisuus oli 22 mg/l. Prosessivaihtoehdossa 2 eri prosessivaiheiden prosessivesissä tiosulfaatteja esiintyi myös korkeimmillaan 25 mg/l ja alimmillaan pitoisuus jäi alle määritysrajan (<5 mg/l). Rikastushiekasta erottuvassa vedessä pitoisuus oli 24 mg/l. Tiosulfaattien pitoisuuksia ja osuuksia sulfaatin kokonaismäärästä voidaan pitää melko tavanomaisina (kohtuullisina).

Suolaisuutta, muutoin kuin sulfaatin osalta, esiintyy maanalaisen kaivoksen syvemmän osan kuivanapitovesissä ja pienempinä pitoisuuksina kaikkien läjitysalueiden suotovesissä. Suolaisuuteen vaikuttavia tekijöitä tulee myös prosessista, liittyen erityisesti pH:n säätökemikaaleihin.

Räjähdysaineperäistä tyyppiä esiintyy erityisesti väliaikaisten sivukivialueiden vesissä, rikastushiekka-alueella muodostuvissa vesissä, kaivoksen kuivanapitovesissä ja tarvekilouhoksen kuivanapitovesissä.

Fosforin merkittävin lähde on prosessissa käytettävissä kokoojakemikaaleissa. Fosforia on prosessivedessä ja sitä päätyy myös rikastushiekkaan. Fosforia vapautuu rikastushiekasta sekä kuiva- että märkäläjitysvaihtoehdoissa. Lisäksi fosforia voi vapautua kaivostäytöstä ja päätyä kaivoksen kuivanapitoveteen.

Vesivarastoaltaan veden pH:n todennäköinen vaihteluväli on 6...9,5 ja sähköjohtokyvyn 200...500 mS/m. Maksimisähköjohtavuus on laskettu teoreettiselle, joskin epätodennäköiselle tilanteelle, jossa kaikkien suolaisuustekijöiden maksimiarvot toteutuvat vesijakeiden yhdistelmässä samanaikaisesti.

### 5.3 Kemikaalijäämät

Prosessivesi sisältää kemikaalijäämiä käytetyistä rikastuskemikaaleista. Mahdollisia kemikaalijäämiä ovat ksantaattijäämät (natriumetyyliksantaatti SEX, natriumisobutyliksantaatti SIBX) sekä tionokarbamaatti- ja merkaptobentosi-diatsolijäämät. Rikastamon normaaliin toimintaan kuuluu, että prosessiveden kemikaalijäämäpitoisuuksia mitataan tuotannon aikana niiltä osin, kuin soveltuvia mittausten menetelmiä on olemassa. Purettavan ylijäämäveden kemikaalijäämäpitoisuuksien arviointi on puolestaan hankalaa, sillä pienten pitoisuuksien mittaamiseen ei ole olemassa käyttökelpoisia mittausten menetelmiä. Sovelletavuuden rajoitukset johtuvat analyysitarkkuudesta, sillä useimmat menetelmät soveltuvat milligrammoissa esiintyville pitoisuuksille ja muutamien mikrogrammojen tasolle on tietävästi päästy vain yksittäisissä tutkimuslaitoskokeissa. Tästä syystä myös referenssitietoa muilta kaivoksilta on vähän olemassa ja kemikaalipäästöjen hallinta perustuukin tyypillisesti prosessin valvontaan ja hallintaan.

Sakatin rikastuskokeiden prosessivesien kemikaalijäämiä on mitattu Itä-Suomen Yliopiston suorittamalla NMR-analytiikalla (Moilanen;ym., 2020). Mitatut kemikaalit ovat natriumetyyliksantaatti ja tionokarbamaatti. Analysoiduista rikastushiekasta erottuvan prosessiveden kemikaalijäämäanalyysistä (raportoitu lähteessä: AFRY Finland Oy, 2022) on johdettu arviot vesivarastoaltaalta joko prosessiin tai lähtevän veden käsittelyyn johdettavalle vedelle. On kuitenkin huomioitava, että pienten pitoisuuksien hajoamisesta on tietoa saatavilla hyvin vähän ja siksi laskenta päättyy kemikaalipitoisuuden puoliintumiseen. Viipymät yksistään vesivarastoaltaalla ovat kuitenkin monikertaisia kemikaalien puoliintumisaikoihin nähden ja mahdollistavat siis kemikaalien hajoamisen puoliintumista paljon pidemmälle. Tästä syystä arvioidut pitoisuudet ovat yliarvioita. Lämpötilan vaikutus kemikaalien hajoamiseen huomioitiin saatavilla olevan tiedon rajoissa. Alustavassa tarkastelussa käytettiin natriumetyyliksantaatille kylmäpuoliintumisaikaa talvikuukausille. Puoliintumisajat ylittyvät talvikuukausina eri tarkastelutilanteissa 2–6 -kertaisesti, kun taas kesäkuukausina ne ylittyivät 8–15 -kertaisesti.

Natriumetyyliksantaatin puoliintuneet pitoisuudet olisivat vesivarastoaltaalla kaivoksen sisäisen kierron vedelle eri tarkastelutilanteissa ja eri kuukausina 0,01–0,4 mg/l. Vastaavat laskennalliset pitoisuudet tionokarbamaatille ovat 0,04–1,0 mg/l.

Lopullisia purettavien ylijäämävesien tai vastaanottavan vesistön kemikaalijäämäpitoisuuksia ei ole mahdollista laskea tarkasti. Alustava arvio maksimisuuruusluokasta on kuitenkin määritetty keskiarvoisilla vesivarastoaltaan puoliintuneilla pitoisuuksilla, vesitaseen mukaisilla purettavan ylijäämäveden määrillä ja Kitisen keskiarvovirtaamalla Vajukosken mittauspisteeltä. Suuruusluokka-arvio on, että Kitisessä natriumetyyliksantaatin, tionokarbamaatin ja amyylialkoholien pitoisuudet tulevat olemaan alle mikrogramman luokkaa.

Koska kemikaalijäämien osalta erityinen huoli liittyy ksantaatteihin ja niiden jäännöspitoisuuksiin vesistöön päätyvässä vedessä, hankkeessa on päätetty sitoutua jäännöksantaattien hajottamiseen prosessinomaisesti ennen veden purkamista vesistöön. Jäännöksantaattien hajottamisen menetelmän kehittäminen tuotannolliseen mittakaavaan tulee edellyttämään tutkimusta tiedeyhteisöjen kanssa. Hyvät edellytykset jäännöksantaattien hajottamiselle ovat olemassa erityisesti rikastushiekan kuivaläjitysvaihtoehdossa, jossa prosessin sisäinen vedenkierrätys on jo muutenkin märkäläjitysvaihtoehtoa korkeampi ja rikastushiekka-alueen tiiviskalvon yläpuolelta kerättävä suotovesi voidaan palauttaa takaisin rikastamolle vesivarastoaltaan sijaan.

## 5.4 Soveltuvat vesienkäsittelymenetelmät

### 5.4.1 Yhteenveto suunnitelluista vesienkäsittelyprosesseista

Vesivarastoaltaalta Kitiseen purettava ylijäämävesi käsitellään aktiivisessa vesienkäsittelyprosessissa ennen johtamista pois kaivosalueelta. Vesivarastoaltaan veden pitoisuus- ja kuormitusarvioiden mukaan (ks. kappale 5.2) typen poistoon tulee varautua riippumatta vesitase- ja kuormitusskenaariosta. Lisäksi metallien saostukseen varaudutaan. Vedenkäsittelyn ratkaisuihin on huomioitu ainetasemallin tulosten lisäksi ainetaseen herkkyyštarkastelujen tulokset (ks. kappale 6.3.2).

**Tyypenpoisto:** Räjähdyksaineiden valinnalla ja huolellisella käsittelyllä pyritään mahdollisimman pieneen typpikuormaan. Tämä tavoite huomioiden yhtiö on jo laatinut ensimmäisen version räjähdysaineiden hallintasuunnitelmasta. Vesivarastoaltaan arvioidut typpipitoisuudet vaihtelevat kuitenkin suuresti ja nousevat korkeiksi kaikissa vesi- ja ainetaseen tarkastelutilanteissa. Hankkeessa on varauduttu typenpoistolaitoksen rakentamiseen. Tavoitteena on, että lähtevän veden kokonaistyyppi saadaan pidettyä < 14 mg/l pitoisuudessa. Koska tyyppi on valtaosin peräisin kaivoksen kuivanapitovesistä ja tarvekilouhoksen kuivanapitovesistä, erillinen typenpoisto voidaan järjestää tarvittaessa vain näille vesijakeille. Erityisen paljon typpikuormitusta saadaan leikattua kohdistamalla käsittely kaivoksen tason -420 m alapuolisten kuivanapitovesien käsittelyyn. Typenpoistossa lähtökohtainen käsittelymenetelmä on biologinen kantoaineprosessi, jonka periaatteet on kuvattu kappaleessa 5.4.2.5. Aktiivisella typenpoistoprosessilla on mahdollista saavuttaa jopa 95–98 % kokonaistypen poistotehokkuus (European Commission, 2018). Käytännössä kylmillä vesillä poistotehokkuuden realistisempi tavoitearvo on kuitenkin noin 70–75 %. Yhtiö seuraa teknologian kehitystä, jolla voitaisiin vähentää louhintaperäistä tyyppiä. Näitä menetelmiä ovat mm. jatkuva koneellinen louhinta (*continuous mining*) ja typettömät räjähdysaineet.

**Metallien saostus:** Metallien poistossa todennäköinen prosessi on saostusprosessi hydroksidisaostuksena (ks. prosessin kuvaus kappaleessa 5.4.2.1). Vaikka aiemmin taulukossa 5-1 esitettyjen vedenlaatuarvioiden perusteella

metallien saostus ei olisi välttämättä tarpeen, erityisesti maanalaisen kaivoksen kuivanapitoveden laatu voi vaihdella (ks. kappale 6.3.2). Tästä syystä hankkeessa on varauduttu metallien saostusprosessin rakentamiseen purettavien ylijäämävesien käsittelemiseksi.

Fosforipitoisuudet ja kuormitukset ovat märkäläjäytysvaihtoehdoissa hieman korkeampia verrattuna kuivaläjäytysvaihtoehtoihin. Fosfori on peräisin rikastuskemikaaleista ja fosforia voi vapautua myös kaivostäytöstä kaivoksen kuivanapitovesiin (ks. kappale 6.3.2). Hankkeen jatkosuunnitteluvaiheissa pyritään löytämään sellaiset rikastuskemikaalit, jotka eivät aiheuttaisi fosforipitoisuuden nousua. Lisäksi kalkkisaostuksen yhteydessä kiintoaineen erotukseen käytettävä koagulantti saostaa fosforia.

Edellä mainittujen lisäksi prosessivesi vaatii erillistä käsittelyä. Tämä voi tarkoittaa esimerkiksi rikastushiekan suodatuksen suodosveden erilliskäsittelyä tai prosessin sisäisen kierron vedenkäsittelyä. Prosessivedet sisältävät sellaiseen prosessikemikaalien jäämiä ja valittava käsittelyprosessi vaihtelee käsiteltävän veden laadun mukaan. Lisäksi esimerkiksi sulfaatinpoisto voi tulla kyseeseen prosessivaihtoehdossa 1.

Metallien saostuksessa muodostuvan sakan mahdollisia käsittelyvaihtoehtoja ovat sakan läjitys kaivosalueella, hyödyntäminen kaivostäytössä pastan raaka-aineena, yhdistäminen rikasteeseen tai sakan käsittelyn hankinta ostopalveluna vaarallisen jätteen loppusijoituslaitokselta. Typenpoistoprosessissa muodostuu orgaanista lietettä, joka käsitellään ja hallitaan kaivosalueella.

Vedenkäsittelyprosessien osalta hydroksidisaostuksen (metallien poisto) ja biologisen kantoaineprosessin (typenpoisto) lisäksi voidaan käyttää myös muita vedenkäsittelyn yksikköprosesseja. Tällaisia prosesseja on kuvattu seuraavassa kappaleessa (5.4.2).

## **5.4.2 Prosessien kuvaus**

### **5.4.2.1 Saostusprosessit**

#### **Saostus**

Yleisin kaivoksilla käytettävä aktiivinen vesienpuhdistusmenetelmä on hydroksidi- ja/tai karbonaattisaostus kalsiumoksidilla, kalsiumhydroksidilla, kalsiumkarbonaatilla tai vaihtoehtoisesti natriumhydroksidilla. Saostuksessa nostetaan veden pH-arvoa, jolloin metallien ja sulfaatin liukoisuus veteen pienenee ja muodostavat hydroksidi- tai karbonaattisakkaa. Hydroksidisaostuksella voidaan poistaa myös sulfaattia tasolle 1,5–2 g/l, jos vedessä ei ole suuria määriä sulfaattipitoisuutta koholla pitäviä kationeja ja jos prosessin viipymäaika on riittävä. Saostustehokkuutta voidaan parantaa *High Density Sludge* (HDS) -prosessilla, jossa kierrätetään sakkaa takaisin käsiteltävään vesijakeeseen. Siinä kierrätettävä sakka toimii kiteytymisytimenä, jonka ympärille uusi saostuma



voi helposti muodostua. Hydroksidi- ja karbonaattisaostusta ei voida kuitenkaan käyttää kloridien ja typpiyhdisteiden poistossa. (Brown;ym., 2002) (INAP, 2019) (Kauppila;ym., 2011) (Tolonen;ym., 2016)

Saostuksessa muodostunut liete erotetaan vedestä ennen veden johtamista ympäristöön tai muualle prosessiin. Perinteisin menetelmä on laskeuttaa kiintoaine altaassa, mikä vaatii kohtuullisen suuria laskeutuspinta-aloja. Prosessia voidaan kuitenkin tehostaa koagulanttien ja/tai flokkulanttien käytöllä, jolloin laskeutettavien partikkeleiden koko kasvaa ja laskeutuminen nopeutuu. Selkeytyksen vaatimaa pinta-alaa voidaan pienentää myös käyttämällä lamelliselkeyttäjiä. (Kauppila;ym., 2011) (Metcalf & Eddy, 2003)

Veolian patentoimassa Actiflo®-menetelmässä kiintoaineen laskeutusta lamelliselkeyttimessä on tehostettu mikrohiekalla. Mikrohiekka-avusteisessa selkeytyksessä mikrohiekka toimii flokinmuodostuksessa siemenkiteenä, jonka ympärille flokki muodostuu. Mikrohiekka voidaan regeneroida lietteestä ja käyttää uudelleen prosessissa. Lisäksi Actiflo®-prosessi on modulaarinen, jolloin vedenkäsittelyn kapasiteettia voidaan nostaa vaiheittain lisäämällä yksiköiden määrää. (Veolia Water Technologies, 2022)

## **Ettringiittisaostus**

Ettringiittisaostus on monivaiheinen saostusprosessi, jolla voidaan saavuttaa hydroksidisaostusta matalampi, jopa alle 250 mg/l, jäännössulfaattipitoisuus. Ettringiittisaostuksesta on olemassa erilaisia patentoituja versioita, jotka hieman eroavat toisistaan. Yhdessä vaihtoehdossa sulfaattia ja metalleja saostetaan aluksi kalkilla noin pH:ssa 9, mikä vähentää toisessa vaiheessa käytettävän alumiinikemikaalin kulutusta. Prosessin toisessa vaiheessa sulfaatti saostuu pH:ssa 12 ettringiittinä ( $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)^3(\text{OH})^{12} \cdot 26\text{H}_2\text{O}$ ) kun kalkkia ja alumiinisuolaa on vedessä stoikiometrisessä suhteessa  $\text{Ca}:\text{Al}:\text{SO}_4$  6:2:3. Viimeisessä vaiheessa veteen lisätään hiilidioksidia veden pH:n säätämiseksi. (Tolonen;ym., 2016)

Ettringiittisaostus on kalliimpi menetelmä verrattuna hydroksidisaostukseen johtuen menetelmän monivaiheisuudesta ja alumiinin käytöstä. Lisäksi lietteenmuodostus on runsasta, kun prosessissa muodostuu kipsi- ja hydroksidisakkaa sekä ettringiittiä. (Tolonen;ym., 2016) Alumiini voidaan regeneroida ja kierrättää ettringiittiprosessissa rikkihapon tai muiden soveltuvien kemikaalien avulla.

### **5.4.2.2 Kalvoerotusmenetelmät**

Kaivosalueen vesien puhdistuksessa voidaan käyttää kalvoerotustekniikoita, kuten nanosuodatusta ja käänteisosmoosia. Kalvoerotusmenetelmissä vesi ajetaan puoliläpäisevän kalvon läpi paineen avulla. Nanosuodatuksessa tarvittava paine on noin 7–30 bar ja käänteisosmoosissa vastaavasti korkeampi, noin 10–80 bar johtuen tiheämmästä kalvomateriaalista.



Nanosuodatuksella ja käänteisosmoosilla voidaan erottaa metalleja käsiteltävästä vedestä yli 90 %:n poistotehokkuudella ja siksi käsitellyn veden laatu on hyvä. Sulfaatin ja yksiarvoisten ionien, kuten typpiyhdisteiden erotuksessa erityisesti käänteisosmoosilla voidaan saavuttaa hyviä tuloksia. Typenpoistotehokkuus on havaittu olevan noin 80 %. Kalvomateriaalilla on merkittävä vaikutus eri komponenttien poistotehokkuuksiin.

Kalvoerotustekniikoiden haittapuolena on niiden tuottama retentaattijae, johon vedestä erotetut haitta-aineet ovat konsentroituneet. Retentaattimäärä voi olla noin 20–50 % kalvoprosessin syötteestä. Retentaatin poisto tai mahdollinen tarvittava jatkokäsittely tulee huomioida. Vaihtoehtoina voi olla esimerkiksi hyödyntäminen pastalaitoksella tai muu stabilointi.

Kaivosalueen käsiteltävissä vesissä olevat aineet kuten kipsi, mangaani ja barium voivat liata kalvoja pysyvästi ja lyhentää niiden käyttöikää. Veden esikäsittelyllä on kuitenkin mahdollista vähentää likaantumista. Kalvojen nopea likaantuminen ja korkean käyttöpaineen aiheuttama energiankulutus nostavat menetelmän kustannuksia. (Metcalf & Eddy, 2003) (INAP, 2019)

#### **5.4.2.3 Adsorptio**

Adsorptiolla voidaan erottaa tehokkaasti moniarvoisia ioneja, kuten metalleja, jopa laimeista vesiliuoksesta. Yleisin adsorbenttimateriaali on aktiivihiili, mutta uusia edullisempia materiaaleja on kehitteillä. Uusia edullisia materiaaleja on kehitetty mm. mineraalipohjaisista raaka-aineista ja maatalousjätteistä. Adsorptiomateriaalin tulisi olla regeneroitavissa, jotta adsorption käyttökustannuksia ja ympäristövaikutuksia voidaan vähentää.

Adsorbenttien haasteena on niiden rajallinen adsorptiokapasiteetti. Joitakin adsorbentteja on mahdollista käyttää uudelleen regeneroinnin jälkeen, mutta kaikille se ei ole mahdollista. Varsinkin jos materiaalia ei regeneroida, haasteena voi olla korkeat käyttökustannukset. Lisäksi käytetty adsorbentti voi käsiteltävästä vedestä riippuen sisältää metalleja, jolloin uutena haasteena on adsorbentin jatkokäsittely. (Metcalf & Eddy, 2003)

#### **5.4.2.4 Ioninvaihto**

Ioninvaihto on tehokas menetelmä haitta-aineiden poistossa ja sitä käytetään mm. raskasmetallien, syanidin ja ammonium poistoon sekä veden pehmennykseen. Ioninvaihtohartsit sitoo haitta-aineita ja samalla vapauttaa veteen haitattomia  $H^+$  tai  $OH^-$  ioneja. Ioninvaihtohartsit regeneroidaan hapolla tai emäksellä, jolloin haitta-aineet siirtyvät regenerointiliuokseen.

Ioninvaihdolla käsitellyn veden laatu on hyvä. Haittapuolena on kuitenkin menetelmän korkea hinta, ja sen vuoksi se ei ole vielä yleistynyt kaivosten vesien käsittelyssä. Lisäksi ioninvaihto vaatii esikäsittelyn, kuten kiintoaineen, alumiinin, raudan ja kipsin poiston sekä haitta-ainepitoisen regenerointiliuoksen jatkokäsittelyn. (Metcalf & Eddy, 2003) (INAP, 2019)

#### 5.4.2.5 Typenpoisto biologisessa typenpoistoprosessissa

Biologista nitrifikaatio-denitrifikaatioprosessia käytetään typpiyhdisteiden eli nitraatin ( $\text{NO}_3^-$ ), nitriitin ( $\text{NO}_2^-$ ) ja ammoniumin ( $\text{NH}_4^+$ ) poistossa. Nitrifikaatioissa bakteerit hapettavat ammoniumin ja nitriitin nitraatiksi hapellisissa olosuhteissa. Varsinainen typenpoisto tapahtuu denitrifikaatiovaiheessa, jossa bakteerit muuttavat nitraatin typpikaasuksi hapettomissa olosuhteissa.

Kaivosvesien typenpoiston haasteena ovat suuret vesimäärät ja vesien kylmyys, sillä bakteerien toiminta hidastuu matalissa lämpötiloissa. Kylmien vesien käsittely edellyttää suuria allastilavuuksia, mikä lisää menetelmän kustannuksia merkittävästi. Mikäli kylmistä kaivosvesistä tulee poistaa typpeä, yksi mahdollisuus on hyödyntää kantoaineprosessia (MBBR). Siinä typenpoistossa tarvittavat bakteerit kasvavat kantoainekappaleiden suojassa. MBBR-tekniikkaa on käytetty pääasiassa kunnallisten jätevesien käsittelyssä, mutta menetelmä on kuitenkin yleistymässä myös kaivoksilla ja se on käytössä tuotantomittakaavassa mm. Ruotsissa, jossa sen on havaittu olevan tehokas typpiyhdisteiden hapetuksessa (95–98 %). MBBR-prosessi on rakenteilla myös Suomessa eräällä kaivoksella. Lisäksi menetelmää on tutkittu kylmien (+4 °C) kaivosvesien käsittelyssä, mistä on saatu lupaavia tuloksia. (Dale;ym., 2014) (European Commission, 2018) (Metcalf & Eddy, 2003)

#### 5.4.2.6 Ksantaattien hajottaminen

Jäännösksantaattien hajottaminen prosessinomaisesti ennen ylijäämävesien purkamista vesistöön voi olla mahdollista esimerkiksi seuraavien yksikköprosessien tai niiden yhdistelmien avulla:

- Hapetusprosessit kuten otsonointi tai Fenton-prosessi
- UV-käsittely
- Adsorptioprosessit (aktiivihili)

Jäännösksantaattien hajottamisen menetelmän kehittäminen tuotannolliseen mittakaavaan tulee edellyttämään tutkimusta tiedeyhteisöjen kanssa.

#### 5.4.3 Vesienkäsittelykemikaalit

Kappaleessa 5.4.2 esitetyissä vesienkäsittelymenetelmissä käytetään vaihtelevasti eri vesienkäsittelykemikaaleja. Sakatin kaivoshankkeen osalta todennäköinen vesienkäsittelyprosessi on metallien saostus hydroksidisaostuksena sekä biologinen typenpoistoprosessi. Muodostuvien sakkojen erotusta voidaan tehostaa koagulantin ja polymeerin syötöllä. Hydroksidisaostuksen kemikaalien kulutus ja varastointimäärät ovat taulukossa 5-2 esitetyn arvion mukaiset. Koagulanttina voi olla ferrisulfaatin sijasta myös ferrikloridi tai alumiinipohjainen koagulantti.

**Taulukko 5-2. Vedenkäsittelykemikaalien kulutus- ja varastointimäärät saostusprosessille. Vaihteluväli kuvaa kulutus- ja varastointimäärien vaihtelua vesitaseen eri tarkastelutilanteiden välillä.**

| Kemikaali                                         | Käyttötarkoitus    | Kulutus [t/v] | Varastointimäärä [t] |
|---------------------------------------------------|--------------------|---------------|----------------------|
| <b>Ca(OH)<sub>2</sub></b>                         | Saostuskemikaali   | 30–80         | 25–50                |
| <b>Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub></b> | Koagulantti        | 50–120        | 25–65                |
| <b>Polymeeri</b>                                  | Saostuksen apuaine | 1–3           | 2–3                  |

Biologisessa typenpoistossa käytettävät kemikaalit ovat metanoli (CH<sub>3</sub>OH), fosforihappo (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>), kiintoaineen ja lietteen sakeutuksessa käytettävä polymeeri sekä tarvittaessa kalkki (Ca(OH)<sub>2</sub>). Kemikaalien kulutuksin on alustavasti arvioitu taulukossa 5-3.

**Taulukko 5-3. Vedenkäsittelykemikaalien kulutus- ja varastointimäärät biologiselle typenpoistolle. Vaihteluväli kuvaa kulutus- ja varastointimäärien vaihtelua vesitaseen eri tarkastelutilanteiden välillä.**

| Kemikaali                                         | Käyttötarkoitus    | Kulutus [t/v] | Varastointimäärä [t] |
|---------------------------------------------------|--------------------|---------------|----------------------|
| <b>Ca(OH)<sub>2</sub></b>                         | Alkaliteetin säätö | 6–15          | 3–10                 |
| <b>H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub></b>                | Fosforihappo       | 1–3           | 2–3                  |
| <b>CH<sub>3</sub>OH</b>                           | Metanoli           | 50–120        | 25–65                |
| <b>Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub></b> | Koagulantti        | 30–80         | 25–50                |
| <b>Polymeeri</b>                                  | Saostuksen apuaine | 1–5           | 2–5                  |

Muissa mahdollisissa vedenkäsittelyprosesseissa käytettävät kemikaalit on kuvattu alla:

- Ettringiittisaostuksessa käytettävät kemikaalit olisivat kalsiumhydroksidin lisäksi alumiinikemikaali (esimerkiksi NaAlO<sub>2</sub>) sekä rikkihappo H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> tai muu alumiinin kierrätyksessä käytettävä kemikaali.
- Kalvoerotusmenetelmissä kemikaaleina käytetään saostuksenestoaineita, jotka ovat yleensä kalvotoimittajien omia tuotemerkkejä. Lisäksi kalvojen pesussa käytetään happoliuosta, kuten rikkihappoa tai sitruunahappoa. Joissakin käyttökohteissa, yleensä pintavesien käsittelyssä, myös biosidien käyttö on tarpeen limoittumisen estämiseksi. Retentatoin mahdollinen jatkokäsittely edellyttäisi myös saostuskemikaalien käyttöä.
- Adsorptioprosesseissa kemikaaleja käytetään adsorbenttimateriaalin regeneroimiseen. Yleisesti käytetään happoliuosta.
- Ioninvaihdossa ioninvaihtohartsit regeneroidaan hapolla tai emäksellä, jolloin haitta-aineet siirtyvät regenerointiliuokseen. Lisäksi haitta-ainepitoisen regenerointiliuoksen jatkokäsittely kuluttaa kemikaaleja.

Ioninvaihto voi edellyttää myös esikäsittelyä, joka käytännössä tarkoittaisi esimerkiksi saostusprosessia.

## **5.5 Käsitellyn veden pitoisuudet ja vesistöön kohdistuvat kuormitukset**

Vedenkäsittely tullaan kohdistamaan erityisesti kokonaistyyppien, jonka osalta tavoiteltava pitoisuus on 14 mg/l. Myös metallien saostusprosessiin varaudutaan. Käsitellyn ylijäämäveden mukana Kitiseen kohdistuva vuosikuormitus eri vesitaseen tarkastelutilanteissa on taulukossa 5-4 esitetyn mukainen. Taulukossa esitetään vuosikuormituksen arvioitu vaihteluväli ylä- ja alarajoina (max-min). Koska ainetasemallin vesilaatusyötteet kuvaavat ilmastollisesti keskimääräisen vuoden tilannetta, myös taulukossa esitetyt kuormitukset kuvaavat ilmastollisesti keskimääräistä vuotta.

Taulukoissa 5-5, 5-6, 5-7 ja 5-8 esitetään lisäksi vesi- ja ainetaseen eri tarkastelutilanteiden mukainen kuormituksen jakautuminen kalenterikuukausille. Kuukausijakaumat edustavat taulukossa 5-4 esitettyjen vuosikuormitusten ylärajoja.

**Taulukko 5-4. Vesistöön kohdistuvan kuormituksen vuosikuormitusarvio (puhdistettu vesi).**

| Parametri |                  | Yksikkö | Tarkastelutilanne 1 |     | Tarkastelutilanne 2 |       | Tarkastelutilanne 3 |       | Tarkastelutilanne 4 |       |
|-----------|------------------|---------|---------------------|-----|---------------------|-------|---------------------|-------|---------------------|-------|
|           |                  |         | Min                 | Max | Min                 | Max   | Min                 | Max   | Min                 | Max   |
| Alumiini  | Al               | kg/a    | 45                  | 48  | 68                  | 71    | 39                  | 50    | 59                  | 70    |
| Antimoni  | Sb               | kg/a    | 1,5                 | 3,4 | 1,7                 | 3,6   | 2,1                 | 6,3   | 2,2                 | 6,6   |
| Arseeni   | As               | kg/a    | 0,1                 | 0,2 | 0,2                 | 0,3   | 0,1                 | 0,7   | 0,1                 | 0,7   |
| Elohopea  | Hg               | kg/a    | 0,2                 | 0,2 | 0,4                 | 0,4   | 0,2                 | 0,2   | 0,3                 | 0,3   |
| Fosfori   | P                | kg/a    | 109                 | 269 | 112                 | 278   | 369                 | 484   | 383                 | 504   |
| Kadmium   | Cd               | kg/a    | 0,1                 | 0,3 | 0,1                 | 0,3   | 0,1                 | 0,1   | 0,1                 | 0,1   |
| Kalium    | K                | t/a     | 82                  | 137 | 86                  | 142   | 94                  | 370   | 99                  | 385   |
| Kalsium   | Ca               | t/a     | 159                 | 363 | 178                 | 387   | 188                 | 330   | 208                 | 354   |
| Kloridi   | Cl               | t/a     | 474                 | 602 | 498                 | 627   | 481                 | 555   | 510                 | 583   |
| Koboltti  | Co               | kg/a    | 2,5                 | 4,7 | 2,7                 | 4,9   | 2,3                 | 4,6   | 2,5                 | 4,8   |
| Kromi     | Cr               | kg/a    | 0,8                 | 4,4 | 0,9                 | 4,6   | 0,7                 | 4,9   | 0,8                 | 5,2   |
| Kupari    | Cu               | kg/a    | 3,1                 | 5,9 | 3,3                 | 6,2   | 2,6                 | 5,3   | 2,8                 | 5,7   |
| Lyijy     | Pb               | kg/a    | 0,1                 | 0,1 | 0,1                 | 0,1   | 0,1                 | 0,1   | 0,1                 | 0,2   |
| Magnesium | Mg               | t/a     | 98                  | 183 | 102                 | 188   | 191                 | 271   | 200                 | 282   |
| Mangaani  | Mn               | kg/a    | 154                 | 258 | 171                 | 277   | 144                 | 251   | 161                 | 271   |
| Natrium   | Na               | t/a     | 224                 | 300 | 242                 | 311   | 308                 | 389   | 330                 | 406   |
| Nikkeli   | Ni               | kg/a    | 136                 | 198 | 140                 | 203   | 153                 | 231   | 159                 | 240   |
| Rauta     | Fe               | kg/a    | 289                 | 290 | 297                 | 297   | 241                 | 245   | 250                 | 254   |
| Sinkki    | Zn               | kg/a    | 143                 | 180 | 151                 | 189   | 120                 | 151   | 127                 | 161   |
| Sulfaatti | SO <sub>4</sub>  | t/a     | 465                 | 960 | 490                 | 1 005 | 521                 | 1 884 | 552                 | 1 973 |
| Typpi     | N <sub>tot</sub> | t/a     | 5,0                 | 19  | 6,6                 | 22    | 7,2                 | 22    | 8,7                 | 24    |

**Taulukko 5-5. Vesistöön kohdistuvan kuormituksen jakautuminen kalenterikuukausille – vesitaseen tarkastelutilanne 1, kuukausijakauma edustaa taulukossa 5-4 esitetyn vuosikuormitusarvion ylärajaa.**

| Parametri |                  | Yksikkö | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   |
|-----------|------------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Alumiini  | Al               | kg/kk   | 3,3  | 3,2  | 3,2  | 4,5  | 5,1  | 4,0  | 4,5  | 4,7  | 4,7  | 4,3  | 3,5  | 3,0  |
| Antimoni  | Sb               | kg/kk   | 0,2  | 0,2  | 0,2  | 0,3  | 0,4  | 0,3  | 0,3  | 0,3  | 0,3  | 0,3  | 0,2  | 0,2  |
| Arseeni   | As               | kg/kk   | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,01 |
| Elohopea  | Hg               | kg/kk   | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,01 |
| Fosfori   | P                | kg/kk   | 18,5 | 18,1 | 18,1 | 25,1 | 28,6 | 22,7 | 25,3 | 26,5 | 26,5 | 23,9 | 19,5 | 16,6 |
| Kadmium   | Cd               | kg/kk   | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,02 | 0,02 |
| Kalium    | K                | t/kk    | 9,4  | 9,2  | 9,2  | 12,8 | 14,6 | 11,6 | 12,9 | 13,5 | 13,5 | 12,2 | 9,9  | 8,5  |
| Kalsium   | Ca               | t/kk    | 25,0 | 24,4 | 24,4 | 33,9 | 38,6 | 30,6 | 34,2 | 35,7 | 35,8 | 32,2 | 26,3 | 22,4 |
| Kloridi   | Cl               | t/kk    | 41,4 | 40,4 | 40,4 | 56,1 | 63,9 | 50,7 | 56,6 | 59,1 | 59,3 | 53,3 | 43,5 | 37,1 |
| Koboltti  | Co               | kg/kk   | 0,3  | 0,3  | 0,3  | 0,4  | 0,5  | 0,4  | 0,4  | 0,5  | 0,5  | 0,4  | 0,3  | 0,3  |
| Kromi     | Cr               | kg/kk   | 0,3  | 0,3  | 0,3  | 0,4  | 0,5  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,3  | 0,3  |
| Kupari    | Cu               | kg/kk   | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,5  | 0,6  | 0,5  | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,5  | 0,4  | 0,4  |
| Lyijy     | Pb               | kg/kk   | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Magnesium | Mg               | t/kk    | 12,6 | 12,3 | 12,3 | 17,0 | 19,4 | 15,4 | 17,2 | 18,0 | 18,0 | 16,2 | 13,2 | 11,3 |
| Mangaani  | Mn               | kg/kk   | 17,7 | 17,3 | 17,3 | 24,0 | 27,4 | 21,7 | 24,3 | 25,3 | 25,4 | 22,8 | 18,6 | 15,9 |
| Natrium   | Na               | t/kk    | 20,6 | 20,2 | 20,1 | 28,0 | 31,9 | 25,3 | 28,2 | 29,5 | 29,6 | 26,6 | 21,7 | 18,5 |
| Nikkeli   | Ni               | kg/kk   | 13,6 | 13,3 | 13,3 | 18,4 | 21,0 | 16,6 | 18,6 | 19,4 | 19,5 | 17,5 | 14,3 | 12,2 |
| Rauta     | Fe               | kg/kk   | 19,9 | 19,5 | 19,4 | 27,0 | 30,7 | 24,4 | 27,2 | 28,4 | 28,5 | 25,7 | 20,9 | 17,8 |
| Sinkki    | Zn               | kg/kk   | 12,4 | 12,1 | 12,1 | 16,8 | 19,1 | 15,1 | 16,9 | 17,7 | 17,7 | 15,9 | 13,0 | 11,1 |
| Sulfaatti | SO <sub>4</sub>  | t/kk    | 66   | 64   | 64   | 89   | 102  | 81   | 90   | 94   | 95   | 85   | 69   | 59   |
| Typpi     | N <sub>tot</sub> | t/kk    | 1,3  | 1,3  | 1,3  | 1,8  | 2,0  | 1,6  | 1,8  | 1,9  | 1,9  | 1,7  | 1,4  | 1,2  |

**Taulukko 5-6. Vesistöön kohdistuvan kuormituksen jakautuminen kalenterikuukausille – vesitaseen tarkastelutilanne 2, kuukausijakauma edustaa taulukossa 5-4 esitetyn vuosikuormitusarvion ylärajaa.**

| Parametri |                  | Yksikkö | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   |
|-----------|------------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Alumiini  | Al               | kg/kk   | 5,0  | 4,8  | 4,9  | 6,5  | 7,3  | 5,9  | 6,6  | 6,8  | 6,8  | 6,2  | 5,2  | 4,6  |
| Antimoni  | Sb               | kg/kk   | 0,3  | 0,2  | 0,3  | 0,3  | 0,4  | 0,3  | 0,3  | 0,4  | 0,4  | 0,3  | 0,3  | 0,2  |
| Arseeni   | As               | kg/kk   | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| Elohopea  | Hg               | kg/kk   | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,02 |
| Fosfori   | P                | kg/kk   | 19,7 | 19,0 | 19,3 | 25,6 | 28,8 | 23,4 | 25,9 | 26,9 | 26,8 | 24,5 | 20,4 | 17,9 |
| Kadmium   | Cd               | kg/kk   | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,02 | 0,0  |
| Kalium    | K                | t/kk    | 10,0 | 9,7  | 9,8  | 13,0 | 14,7 | 11,9 | 13,2 | 13,7 | 13,7 | 12,5 | 10,4 | 9,2  |
| Kalsium   | Ca               | t/kk    | 27,4 | 26,5 | 26,8 | 35,6 | 40,1 | 32,5 | 36,0 | 37,4 | 37,4 | 34,1 | 28,5 | 25,0 |
| Kloridi   | Cl               | t/kk    | 44,4 | 42,8 | 43,4 | 57,6 | 64,9 | 52,6 | 58,3 | 60,5 | 60,5 | 55,2 | 46,1 | 40,4 |
| Koboltti  | Co               | kg/kk   | 0,3  | 0,3  | 0,3  | 0,5  | 0,5  | 0,4  | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,4  | 0,4  | 0,3  |
| Kromi     | Cr               | kg/kk   | 0,3  | 0,3  | 0,3  | 0,4  | 0,5  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,3  | 0,3  |
| Kupari    | Cu               | kg/kk   | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,6  | 0,6  | 0,5  | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,5  | 0,5  | 0,4  |
| Lyijy     | Pb               | kg/kk   | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Magnesium | Mg               | t/kk    | 13,3 | 12,9 | 13,1 | 17,3 | 19,5 | 15,8 | 17,5 | 18,2 | 18,2 | 16,6 | 13,8 | 12,1 |
| Mangaani  | Mn               | kg/kk   | 19,6 | 18,9 | 19,2 | 25,4 | 28,7 | 23,2 | 25,7 | 26,7 | 26,7 | 24,4 | 20,4 | 17,9 |
| Natrium   | Na               | t/kk    | 22,0 | 21,3 | 21,6 | 28,6 | 32,2 | 26,1 | 28,9 | 30,1 | 30,0 | 27,4 | 22,9 | 20,1 |
| Nikkeli   | Ni               | kg/kk   | 14,4 | 13,9 | 14,1 | 18,6 | 21,0 | 17,0 | 18,9 | 19,6 | 19,6 | 17,9 | 14,9 | 13,1 |
| Rauta     | Fe               | kg/kk   | 21,0 | 20,3 | 20,6 | 27,3 | 30,8 | 24,9 | 27,6 | 28,7 | 28,7 | 26,2 | 21,8 | 19,2 |
| Sinkki    | Zn               | kg/kk   | 13,4 | 12,9 | 13,1 | 17,4 | 19,6 | 15,9 | 17,6 | 18,2 | 18,2 | 16,6 | 13,9 | 12,2 |
| Sulfaatti | SO <sub>4</sub>  | t/kk    | 71   | 69   | 70   | 92   | 104  | 84   | 93   | 97   | 97   | 89   | 74   | 65   |
| Typpi     | N <sub>tot</sub> | t/kk    | 1,5  | 1,5  | 1,5  | 2,0  | 2,2  | 1,8  | 2,0  | 2,1  | 2,1  | 1,9  | 1,6  | 1,4  |

**Taulukko 5-7. Vesistöön kohdistuvan kuormituksen jakautuminen kalenterikuukausille – vesitaseen tarkastelutilanne 3, kuukausijakauma edustaa taulukossa 5-4 esitetyn vuosikuormitusarvion ylärajaa.**

| Parametri |                  | Yksikkö | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   |
|-----------|------------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Alumiini  | Al               | kg/kk   | 3,8  | 3,9  | 3,8  | 4,6  | 3,8  | 4,2  | 4,7  | 4,9  | 4,9  | 4,5  | 3,9  | 3,4  |
| Antimoni  | Sb               | kg/kk   | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,6  | 0,5  | 0,5  | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,5  | 0,4  |
| Arseeni   | As               | kg/kk   | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,06 | 0,05 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,05 | 0,05 |
| Elohopea  | Hg               | kg/kk   | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| Fosfori   | P                | kg/kk   | 36,5 | 37,2 | 36,1 | 44,2 | 36,9 | 40,9 | 45,0 | 47,2 | 47,1 | 43,0 | 37,2 | 33,2 |
| Kadmium   | Cd               | kg/kk   | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Kalium    | K                | t/kk    | 27,9 | 28,4 | 27,6 | 33,8 | 28,2 | 31,2 | 34,4 | 36,1 | 36,0 | 32,9 | 28,4 | 25,4 |
| Kalsium   | Ca               | t/kk    | 24,9 | 25,3 | 24,6 | 30,1 | 25,1 | 27,8 | 30,6 | 32,1 | 32,0 | 29,2 | 25,3 | 22,6 |
| Kloridi   | Cl               | t/kk    | 41,8 | 42,5 | 41,3 | 50,6 | 42,3 | 46,8 | 51,5 | 54,1 | 53,9 | 49,2 | 42,6 | 38,0 |
| Koboltti  | Co               | kg/kk   | 0,3  | 0,3  | 0,3  | 0,4  | 0,3  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,3  |
| Kromi     | Cr               | kg/kk   | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,5  | 0,4  | 0,4  | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,4  | 0,4  | 0,3  |
| Kupari    | Cu               | kg/kk   | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,5  | 0,4  | 0,4  | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,4  | 0,4  |
| Lyijy     | Pb               | kg/kk   | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Magnesium | Mg               | t/kk    | 20,5 | 20,8 | 20,2 | 24,7 | 20,7 | 22,9 | 25,2 | 26,5 | 26,4 | 24,1 | 20,8 | 18,6 |
| Mangaani  | Mn               | kg/kk   | 18,9 | 19,2 | 18,7 | 22,8 | 19,1 | 21,1 | 23,3 | 24,4 | 24,3 | 22,2 | 19,2 | 17,2 |
| Natrium   | Na               | t/kk    | 29,3 | 29,8 | 29,0 | 35,4 | 29,6 | 32,8 | 36,1 | 37,9 | 37,8 | 34,5 | 29,9 | 26,6 |
| Nikkeli   | Ni               | kg/kk   | 17,4 | 17,8 | 17,3 | 21,1 | 17,6 | 19,5 | 21,5 | 22,6 | 22,5 | 20,5 | 17,8 | 15,9 |
| Rauta     | Fe               | kg/kk   | 18,5 | 18,8 | 18,3 | 22,3 | 18,7 | 20,7 | 22,7 | 23,9 | 23,8 | 21,7 | 18,8 | 16,8 |
| Sinkki    | Zn               | kg/kk   | 11,4 | 11,6 | 11,3 | 13,8 | 11,5 | 12,8 | 14,1 | 14,8 | 14,7 | 13,4 | 11,6 | 10,4 |
| Sulfaatti | SO <sub>4</sub>  | t/kk    | 142  | 145  | 140  | 172  | 144  | 159  | 175  | 184  | 183  | 167  | 145  | 129  |
| Typpi     | N <sub>tot</sub> | t/kk    | 1,6  | 1,7  | 1,6  | 2,0  | 1,7  | 1,8  | 2,0  | 2,1  | 2,1  | 1,9  | 1,7  | 1,5  |

**Taulukko 5-8. Vesistöön kohdistuvan kuormituksen jakautuminen kalenterikuukausille – vesitaseen tarkastelutilanne 4, kuukausijakauma edustaa taulukossa 5-4 esitetyn vuosikuormitusarvion ylärajaa.**

| Parametri |                  | Yksikkö | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   |
|-----------|------------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Alumiini  | Al               | kg/kk   | 5,4  | 5,4  | 5,3  | 6,3  | 5,4  | 5,9  | 6,5  | 6,8  | 6,7  | 6,2  | 5,4  | 4,9  |
| Antimoni  | Sb               | kg/kk   | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,6  | 0,5  | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,5  | 0,5  |
| Arseeni   | As               | kg/kk   | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,06 | 0,05 | 0,06 | 0,06 | 0,07 | 0,07 | 0,06 | 0,05 | 0,05 |
| Elohopea  | Hg               | kg/kk   | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,02 |
| Fosfori   | P                | kg/kk   | 38,6 | 38,7 | 38,2 | 45,5 | 38,9 | 42,4 | 46,4 | 48,5 | 48,2 | 44,5 | 39,0 | 35,5 |
| Kadmium   | Cd               | kg/kk   | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Kalium    | K                | t/kk    | 29,5 | 29,6 | 29,2 | 34,8 | 29,8 | 32,4 | 35,5 | 37,1 | 36,8 | 34,0 | 29,8 | 27,1 |
| Kalsium   | Ca               | t/kk    | 27,1 | 27,2 | 26,8 | 32,0 | 27,4 | 29,8 | 32,6 | 34,1 | 33,9 | 31,3 | 27,4 | 24,9 |
| Kloridi   | Cl               | t/kk    | 44,6 | 44,7 | 44,1 | 52,6 | 45,0 | 49,1 | 53,7 | 56,1 | 55,7 | 51,5 | 45,1 | 41,0 |
| Koboltti  | Co               | kg/kk   | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,5  | 0,5  | 0,4  | 0,4  | 0,3  |
| Kromi     | Cr               | kg/kk   | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,5  | 0,4  | 0,4  | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,4  | 0,4  |
| Kupari    | Cu               | kg/kk   | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,5  | 0,4  | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 0,4  | 0,4  |
| Lyijy     | Pb               | kg/kk   | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Magnesium | Mg               | t/kk    | 21,6 | 21,7 | 21,4 | 25,5 | 21,8 | 23,8 | 26,0 | 27,2 | 27,0 | 24,9 | 21,9 | 19,9 |
| Mangaani  | Mn               | kg/kk   | 20,7 | 20,8 | 20,5 | 24,4 | 20,9 | 22,8 | 24,9 | 26,0 | 25,9 | 23,9 | 20,9 | 19,0 |
| Natrium   | Na               | t/kk    | 31,1 | 31,2 | 30,8 | 36,7 | 31,4 | 34,2 | 37,4 | 39,1 | 38,8 | 35,9 | 31,5 | 28,6 |
| Nikkeli   | Ni               | kg/kk   | 18,4 | 18,4 | 18,2 | 21,7 | 18,6 | 20,2 | 22,1 | 23,1 | 23,0 | 21,2 | 18,6 | 16,9 |
| Rauta     | Fe               | kg/kk   | 19,4 | 19,5 | 19,2 | 22,9 | 19,6 | 21,4 | 23,4 | 24,5 | 24,3 | 22,5 | 19,7 | 17,9 |
| Sinkki    | Zn               | kg/kk   | 12,3 | 12,3 | 12,2 | 14,5 | 12,4 | 13,5 | 14,8 | 15,4 | 15,4 | 14,2 | 12,4 | 11,3 |
| Sulfaatti | SO <sub>4</sub>  | t/kk    | 151  | 151  | 149  | 178  | 152  | 166  | 182  | 190  | 189  | 174  | 153  | 139  |
| Typpi     | N <sub>tot</sub> | t/kk    | 1,8  | 1,8  | 1,8  | 2,2  | 1,8  | 2,0  | 2,2  | 2,3  | 2,3  | 2,1  | 1,8  | 1,7  |

## 6 TUOTANTOVAIHEEN VESI- JA AINETASE-MALLIN EPÄVARMUUDEN TARKASTELU

### 6.1 Oletukset ja yleistyksiset

Vesi- ja ainetasemalli ja siitä raportoidut tulokset on tehty analyttisenä mallina, ja mallin tulokset kuvaavat siten vain malliin syötettyjen parametrien mukaan laskettua tulosta. Malli ei lähtökohtaisesti ole todennäköisyysmalli, lukuun ottamatta kappaleessa 4.1 kuvattuja vuosinettovesitaseen 99 % luottamusvälin tietoja, jotka on saatu määrittämällä malliin vuosisadannalle todennäköisyysjakauma. Aluevesitasemallin tärkeimmät syötteet liittyvät ilmastoon, suunniteltuihin toimintoihin ja alueidenkäyttöön, tuotantoon sekä kaivoksen kuivanapitoon. Käytetyt mallinnuksen lähtöoletukset on kuvattu kappaleessa 3. Lisäksi kuormatasemallin (tulokset kuvataan kappaleessa 5.5) syötteet on muodostettu geokemiallisten mallien tuloksena. Vesijakeiden laatuarviot on kuvattu erillisessä yhteenvetoraportissa koskien kaivannaisjätteiden karakterisointia sekä kaivosalueen vesien laatuarviointia (AFRY Finland Oy, 2023).

Kohteeseen laaditussa mallissa oletetaan lähtökohtaisesti:

- Vain aktiivisille toiminta-alueille tuleva sadanta ja siitä muodostuva vaulunta kerätään. Toiminta-alueiden ulkopuoliset vedet johdetaan kaivoksen vesikierron ohi nk. puhtaina vesinä.
- Tuotantovaiheen vesikierto on luvussa 2 esitetyn mukainen.
- Suotovesien on arvioitu sisältyvän nettovesimääriin.

Kuormatase on mallinnettu vesitaseen päälle nk. laimenemismallina. Vesialtaissa tapahtuvaa mahdollista kemiallista saostumista ei ole huomioitu. Vesienkäsittelyprosesseja (typenpoistoprosessi, metallien saostusprosessi) ei ole kuormataseessa mallinnettu varsinaisina prosesseina, vaan käsitellyille komponenteille on asetettu ainoastaan pitoisuusleikkurit. Kuormitusmalli ei siten sisällä vesienkäsittelykemikaalien aiheuttamia kuormituslisiä.

### 6.2 Mallin oletukset vesivarastoaltaan tilavuuden ja vedenpurkukapasiteetin suhteen

Vesivarastoaltaan maksimitilavuudeksi on tarkastelussa asetettu 700 000 m<sup>3</sup>. Vesitaseen lopputuloksena (ks. 9 JOHTOPÄÄTÖKSET) tullaan arvioimaan, onko asetettu maksimitilavuus riittävä.

Minimitilavuus 300 000 m<sup>3</sup> on määritetty prosessin kiertovesitarpeesta ja vastaa noin 4–6 kuukauden lisäveden tarvetta tarkastelutilanteesta riippuen.

Vesivarastoaltaan osalta säännöstely on mallinnettu siten, että purettava ylijäämävesimäärä on rajoitettu maksimissaan arvoon 350 m<sup>3</sup>/h.



## 6.3 Herkkyysanalyysi

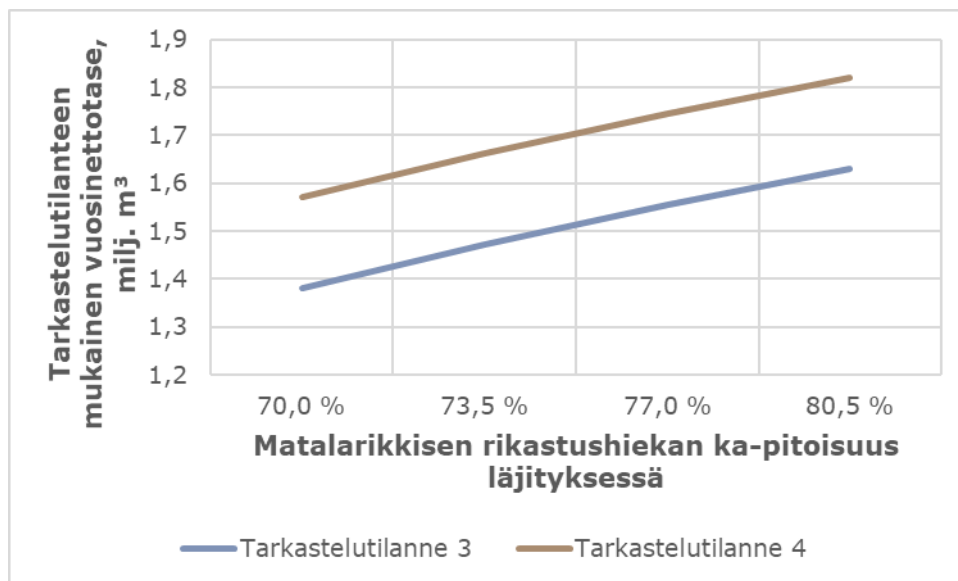
### 6.3.1 Vesitaseen herkkyys

Kokonaisvesitaseen herkkyys liittyy pääasiassa seuraaviin kolmeen tekijään:

- Sadanta
- Rikastushiekan kiintoainepitoisuus läjityksessä (liittyy märkäläjitysvaihtoehtoihin)
- Kaivoksen kuivanapitovesimäärän muutokset

Sadantaan ja muuttuvaan ilmastoon liittyvät mallin tulosten vaihteluvälit on kuvattu kappaleissa 4.1 ja 4.2.

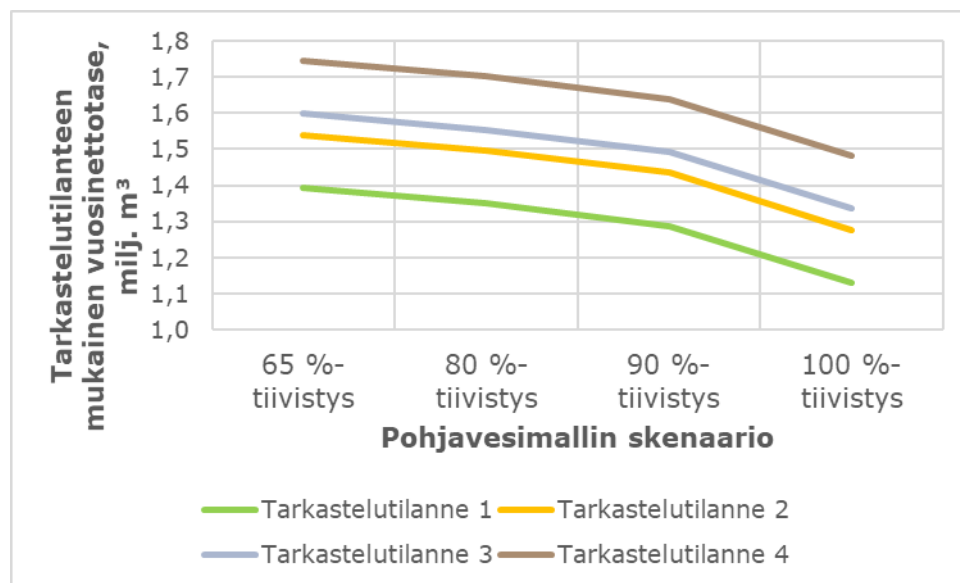
Tässä mallinnuksessa märkäläjitysvaihtoehtojen (vesitaseen tarkastelutilanteet 3 ja 4) tarkastelussa rikastushiekan kiintoainepitoisuudeksi läjityksessä on arvioitu 77 m-%. Kuvassa 6-1 esitetään vesitasemallin herkkyys kyseisen parametrin muutokselle. Mikäli läjitetyn rikastushiekan kiintoainepitoisuus olisikin 3,5 %-yksikköä suurempi eli rikastushiekkään pidätyisi arvioitua vähemmän vettä, vuotuinen kaivokselta purettavan ylijäämäveden määrä kasvaisi noin 76 000 m<sup>3</sup>. Vastaavasti, mikäli rikastushiekkään pidätyisikin enemmän vettä, tarve purkaa ylijäämävettä pois kaivokselta pienenesi. Kuvassa 6-1 esitettyä vaihteluväliä suurempaa vaihtelua ei pidetä mahdollisena.



**Kuva 6-1. Vesitasemallin herkkyys läjitetyn rikastushiekan kiintoainepitoisuudelle, rikastushiekan märkäläjitys (vesitaseen tarkastelutilanteet 3 ja 4).**

Myös kaivoksen kuivanapitovesimäärän muutokset vaikuttavat suoraan kaivokselta purettavan ylijäämäveden määrään. Tässä raportissa kuvatun vesitasemallin kaivoksen kuivanapitoskenaariot perustuvat pohjavedenvirtausmallin "80 %-tiivistys" ja "65 %-tiivistys" -skenaarioihin. Mallilla on lisäksi ajettu

useita herkkyystarkastelutapauksia (Itasca Denver Inc., 2022). Kuvassa 6-2 on esitetty vesitasemallin herkkyyys kaivoksen kuivanapitovesimäärien muutoksille pohjaveden virtausmallin raportoitujen malliskenaarioiden (65 %- ja 80 % tiivistysskenaariot) sekä pohjaveden virtaaman suhteen niukimpien herkkyystarkasteluskenaarioiden (90 %- ja 100 %-tiivistysskenaariot) mukaan. Vuotuinen kuivanapitovesimääräennuste vaihtelee ääripääskenaarioiden välillä noin 260 000 m<sup>3</sup>.



**Kuva 6-2. Vesitasemallin herkkyyys maanalaisen kaivoksen kuivanapitovesimäärälle pohjaveden virtausmallin (Itasca Denver Inc., 2022) raportoitujen malliskenaarioiden (65 %- ja 80 % tiivistysskenaariot) sekä pohjaveden virtaaman suhteen niukimpien herkkyystarkasteluskenaarioiden (90 %- ja 100 %-tiivistysskenaariot) mukaan.**

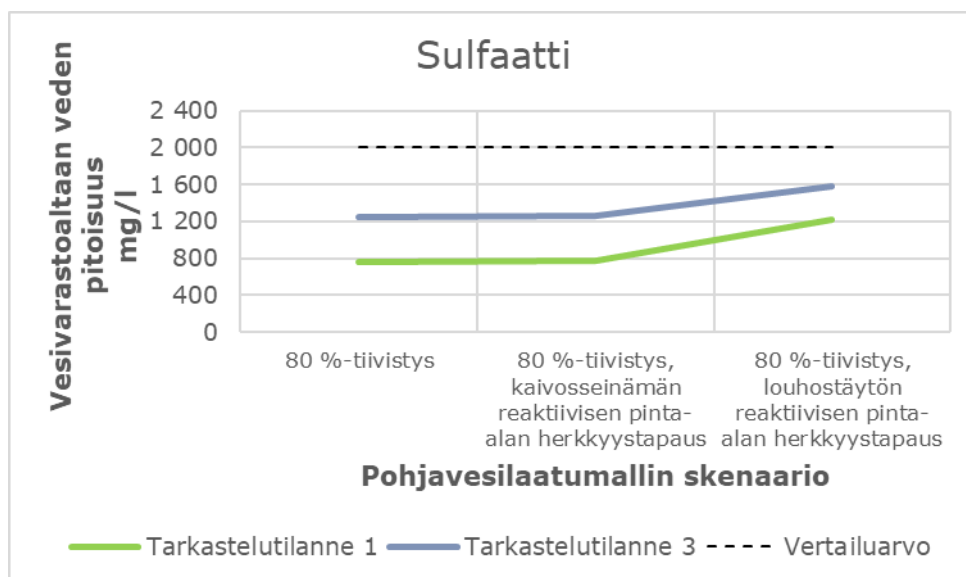
### 6.3.2 Ainetaseen herkkyyys

Ainetasemalli on luonnollisesti herkkä malliin syötettävien vesien laatuarvioille. Erityisesti maanalaisen kaivoksen kuivanapitovesi, joka muodostaa yksittäisen suurimman vesimäärän mallissa, vaikuttaa suoraan vesivarastoaltaan veden laatuun ja sitä kautta vesistöön kohdistuvaan kuormitukseen. Maanalaisen kaivoksen kuivanapitoveden laadun vaihtelua erilaisissa herkkyytapauksissa on tarkasteltu seuraaville tapauksille: kaivosseinämän reaktiivisen pinta-alan herkkyytapaus ja louhostäytön reaktiivisen pinta-alan herkkyytapaus (Stantec Consulting Ltd, 2023). Herkkyytapaukset on laadittu 80 % -tiivistysskenaarion mukaisille kaivokseen tulevan pohjaveden määrille (Itasca Denver Inc., 2022). Koska 65 % -tiivistysskenaarion mukaiset kaivokseen tulevat pohjaveden määrät eroavat vain hieman 80 % -tiivistysskenaarion mukaisista pohjavesimääristä, tulosten on arvioitu kuvaavan riittävästi molempia pohjaveden virtausmallinnuksen tapauksia (Stantec Consulting Ltd, 2023).

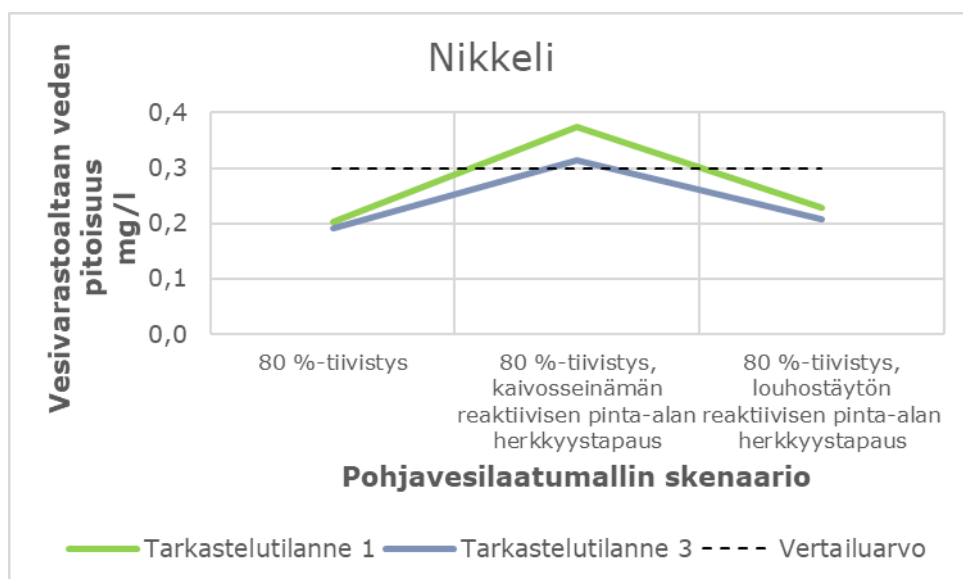
Maanalaisen kaivoksen kuivanapitoveden laatumallin (Stantec Consulting Ltd, 2023) herkkyyystapauksien tulokset poikkeavat tässä mallinnuksessa käytetystä vesilaatuarviosta erityisesti sulfaatin, nikkelin ja fosforin osalta. Kuvissa 6-3, 6-4 ja 6-5 on esitetty tässä raportissa kuvatun vesi- ja ainetasemallin mukainen vesivarastoaltaan veden pitoisuus kunkin parametrin osalta, mikäli maanalaisen kaivoksen kuivanapitoveden laatu olisikin herkkyystarkastelutapauksien mukainen. Mallinnus on tehty vesi- ja ainetasemallin tarkastelutilanteille 1 ja 3, joissa käytetty pohjavesimallin mukainen kaivokseen tulevan pohjaveden määrä on 80 % tiivistysskenaarion mukainen.

- Sulfaatin mallinnetut pitoisuudet vesivarastoaltaan vedessä ovat tarkastelutilanteessa 1 noin 800 mg/l ja tarkastelutilanteessa 3 noin 1 200 mg/l. Kaivoksen kuivanapitoveden laatumallin mukaisessa louhostäytön reaktiivisen pinta-alan herkkyyystapauksessa tarkastelutilanteen 1 mukainen pitoisuus voisi nousta suuruusluokkaan 1 200 mg/l ja tarkastelutilanteen 3 mukainen pitoisuus suuruusluokkaan 1 600 mg/l.
- Nikkelin mallinnetut pitoisuudet vesivarastoaltaan vedessä ovat tarkastelutilanteissa 1 ja 3 luokkaa 0,2 mg/l. Kaivoksen kuivanapitoveden laatumallin mukaisessa kaivosseinämän reaktiivisen pinta-alan herkkyyystapauksessa pitoisuus voisi nousta 0,3–0,4 mg/l suuruusluokkaan.
- Fosforin mallinnetut pitoisuudet vesivarastoaltaan vedessä ovat tarkastelutilanteessa 1 noin 0,2 mg/l ja tarkastelutilanteessa 3 noin 0,3 mg/l. Kaivoksen kuivanapitoveden laatumallin mukaisessa louhostäytön reaktiivisen pinta-alan herkkyyystapauksessa tarkastelutilanteiden 1 ja 3 mukainen pitoisuus voisi nousta suuruusluokkaan 0,5 mg/l.

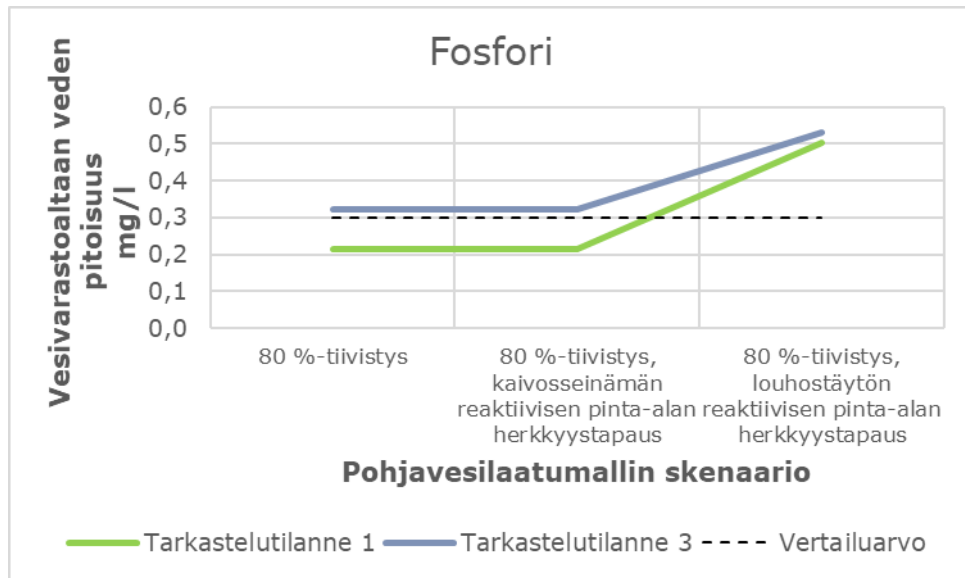
Edellä kuvatut vesilaadun mahdolliset pitoisuudet ja muutossuunnat on huomioitu hankkeen vedenkäsittelyn suunnitelmissa nikkelin ja fosforin osalta.



**Kuva 6-3. Ainetasemallin herkkyys maanalaisen kaivoksen kuivana-pitoveden laatumallin (Stantec Consulting Ltd, 2023) herkkyystarkasteluskenaarioiden suhteen – sulfaatti. Vertailuarvona on käytetty pitoisuutta 2000 mg/l, joka perustuu kaivosten viimeaikaisiin ympäristöluparaja-arvoihin.**



**Kuva 6-4. Ainetasemallin herkkyys maanalaisen kaivoksen kuivana-pitoveden laatumallin (Stantec Consulting Ltd, 2023) herkkyystarkasteluskenaarioiden suhteen – nikkeli. Vertailuarvona on käytetty pitoisuutta 0,3 mg/l, joka perustuu kaivosten viimeaikaisiin ympäristöluparaja-arvoihin.**



**Kuva 6-5. Ainetasemallin herkkyys maanalaisen kaivoksen kuivana-pitoveden laatumallin (Stantec Consulting Ltd, 2023) herkkyystarkasteluskenaarioiden suhteen – fosfori. Vertailuarvona on käytetty pitoisuutta 0,3 mg/l, joka perustuu kunnallisten jätevedenpuhdistamojen viimeaikaisiin ympäristöluparaja-arvoihin.**

#### 6.4 Arvio mallin tulosten soveltuvuudesta

Vesi- ja ainetasemalli on laadittu hankkeen ympäristövaikutusten arviointia varten. Mallin avulla on pyritty kuvaamaan ja ymmärtämään eri hankevaihtoehtoisissa kaivoksen vesikierrossa hallittavien vesijakeiden määrää, vesistöön kohdistuvaa kuormitusta sekä arvioimaan vesivarastotilavuuksien riittävyyttä.

Ilmastollisten ilmiöiden vaihtelua on kuvattu mallintamalla useita vaihtelevia ilmastoskenaarioita, jotka ovat: nykyilmasto (keskimääräinen ilmasto); poikkeuksellisen sateinen vuosi (1992); ilmastonmuutos RCP2.6; ilmastonmuutos RCP4.5; ilmastonmuutos RCP 8.5. Lisäksi mallin avulla on kuvattu vuosinettovesitaseen mahdollinen vaihteluväli 99 % luottamusvälillä. Ilmaston vaihtelu ja tuleva ilmastonmuutos ymmärretään kokonaisuudessaan hyvin ja vesitasemallin avulla on pystytty kuvaamaan ilmaston vaihtelun vaikutus kaivoksen vesitaseeseen. Vaikutus onkin jokseenkin merkittävä, sillä esimerkiksi vesitaseen tarkastelutilanteessa 1 vuosinettovesimäärä voi vaihdella kyseisen vuoden sateisuudesta riippuen välillä 1,0–1,8 milj.m<sup>3</sup> / vuosi ja tarkastelutilanteessa 4 välillä 1,2–2,4 milj.m<sup>3</sup> / vuosi.

Laaditun vesitasemallin ja siihen yhdistettyjen vesilaatuarvioiden perusteella on pystytty kuvaamaan vastaanottavana vesistöä toimivaan Kitiseen kohdistuva kuormitus eri hankevaihtoehtoisissa. Tulosten katsotaan soveltuvan hyvin ympäristövaikutusten arviointiin.

Malliin syötetyistä lähtötiedoista on tunnistettu, että vesitasemallin tulos on herkkä malliin syötettävälle kaivoksen kuivanapitovesimäärälle sekä rikastushiekan märkäläjitysvaihtoehdoissa (vesitaseen tarkastelutilanteet 3 ja 4) josakin määrin läjitetyn rikastushiekan kiintoainepitoisuudelle. Mallin tulosten esittämisessä käytetyt lähtöparametrit ovat kuivanapitovesimäärien ja läjitetyn rikastushiekan kiintoainepitoisuuden suhteen kuitenkin realistiset, mistä syystä mallin tuloksia pidetään luotettavina. Vaikutukset vuosinettovesitaseeseen on kuitenkin molempien edellä mainittujen tekijöiden osalta tarkasteltu herkkyystarkastelussa.

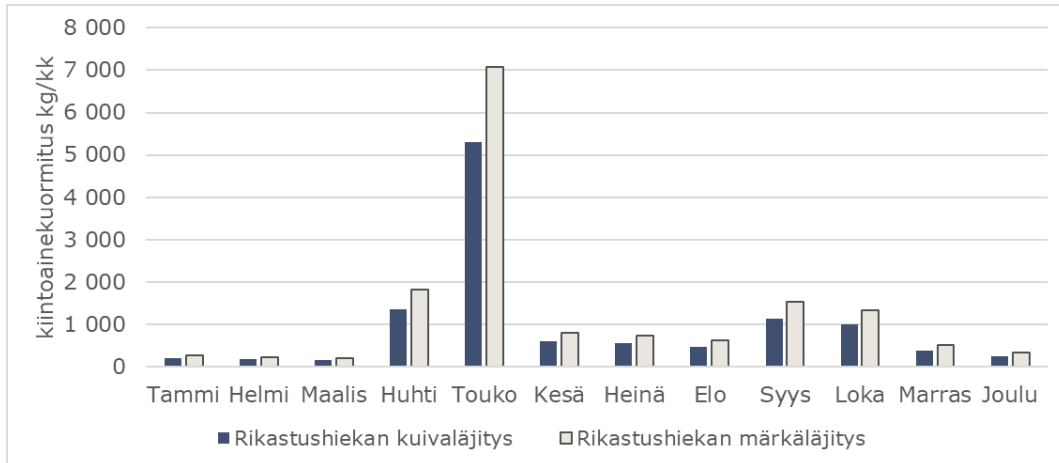
Lisäksi kuormatase, joka tuotetaan mallin vesimäärien ja syötettyjen pitoisuustietojen pohjalta, on luonnollisesti herkkä mallissa käytettäville vesilaatusyötteille. Varsinaisen kuormatasemallin pohjalta on todettu tarve typenpoistoprosessille. Lisäksi herkkyystarkastelun perusteella hankkeessa tullaan varautumaan myös lähtevän veden käsittelyyn metallien saostusprosessilla.

## 7 RAKENTAMISVAIHEEN VESIENHALLINTA

Ennen rakentamisen aloitusta puhtaat rakentamisalueen ulkopuoliset vedet ohjataan rakentamisalueen ohi niskaojilla. Tällä estetään puhtaiden vesien sekoittuminen rakentamisalueen vesiin. Puhtaiden vesien virtaussuunnat ovat vastaavat kuin toiminnan aikaisilla puhtailla vesillä ja ne on esitetty kuvissa 8-1 ... 8-6. Niskaojat ovat toiminnassa myös kaivoksen tuotantovaiheen aikana.

Kaivoksen rakennusaikainen vesistökuormitus koostuu pääasiassa maarakennustyömaa-alueelta sadeveden mukana kulkeutuvasta kiintoaineesta. Rakennusvaiheen kuormitus hallitaan johtamalla työmaa-alueiden valumavedet selkeytykseen (laskeutusaltaisiin) ennen niiden purkamista vesistöön. Kiintoaineen mukana vedestä erottuu kiinteässä muodossa olevia haitta-aineita kuten metalleja. Rakennustyömaiden valumavedet ohjataan laskeutusaltaisiin painovoimaisesti. Selkeytystä tehostetaan tarvittaessa asentamalla selkeytysaltaan yhteyteen silttiverho ja rakentamalla virtaamapiikkejä tasaavia virtaamansäättöpatoja. Vesistöön johdettavan veden kiintoainepitoisuuden arvioidaan olevan normaalivirtaaman tilanteessa enimmillään 15 mg/l. Rankkasateiden ja kevät-yhlyvaluman aikaan kiintoainepitoisuus voi olla hetkellisesti enimmillään 30 mg/l.

Rakentaminen etenee vaiheittain. Rakentamisvaiheen aikana rakennustyömaa-alueita ovat tehdasalue, vesivarastoallas, sivukivialueet, rikastushiekka-alue sekä alueeseen liittyvän tiestön ja muun tarpeellisen infrastruktuurin rakentaminen. Arvion mukaan rakennustyömaiden yhtäaikainen kokonaispinta-ala olisi rikastushiekan kuivaläjitusratkaisussa noin 1,5 km<sup>2</sup> ja rikastushiekan märkäläjitusratkaisussa noin 2,0 km<sup>2</sup>. Näiden pinta-alojen mukaan johdettuna rakennusaikaisen kiintoainekuormituksen arvioidaan olevan keskimäärin kuivaläjitysvaihtoehdoissa noin 11 500 kg/vuosi ja märkäläjitysvaihtoehdoissa noin 15 400 kg/vuosi. Äärimmäisen runsassateisen vuoden tilanteessa kuormitukset voivat olla kuivaläjitysvaihtoehdoille 21 700 kg/vuosi ja märkäläjitysvaihtoehdoille 29 000 kg/vuosi. Ilmastollisesti keskimääräisen vuoden rakentamisvaiheen kiintoainekuormituksen jakautuminen eri kalenterikuukausille on esitetty kuvassa 7-1.



**Kuva 7-1. Arvio rakentamisvaiheen kiintoainekuormituksen jakautumisesta kalenterikuukausille erikseen rikastushiekan kuiva- ja märkäläjäytysvaihtoehtoille. Erot vaihtoehtojen välillä johtuvat vaihtelusta rakennustyömaiden pinta-alojen suhteen. Arvion mukaan rakennustyömaiden yhtäaikainen kokonaispinta-ala olisi rikastushiekan kuivaläjäytysratkaisussa noin 1,5 km<sup>2</sup> ja rikastushiekan märkäläjäytysratkaisussa noin 2,0 km<sup>2</sup>.**



## 8 PUHTAIDEN VESIEN HALLINTA

Rikastamoalueen toimintojen sijoittuminen eri valuma-alueille on esitetty taulukossa 8-1. Taulukossa esitetyt valuma-alueiden osuudet ovat mukana kaivoksen vesikierrossa ja niille tuleva sadanta ja siitä muodostuva valunta johdetaan tuotantovaiheessa ylijäämävetenä pois kaivosalueelta Kitiseen. Taulukossa mainittujen pinta-alojen lisäksi vaihtoehtoisissa VE2a, VE2b, VE3a ja VE3b Pahanlaaksonmaan alueella sijaitsevien toimintojen sadannasta muodostuva valunta kerätään kaivoksen vesikiertoon. Pahanlaaksonmaan alueella sijaitsevien toimintojen pinta-ala on noin 15 000 m<sup>2</sup>.

**Taulukko 8-1. Rikastamoalueen toimintojen sijoittuminen eri valuma-alueille.**

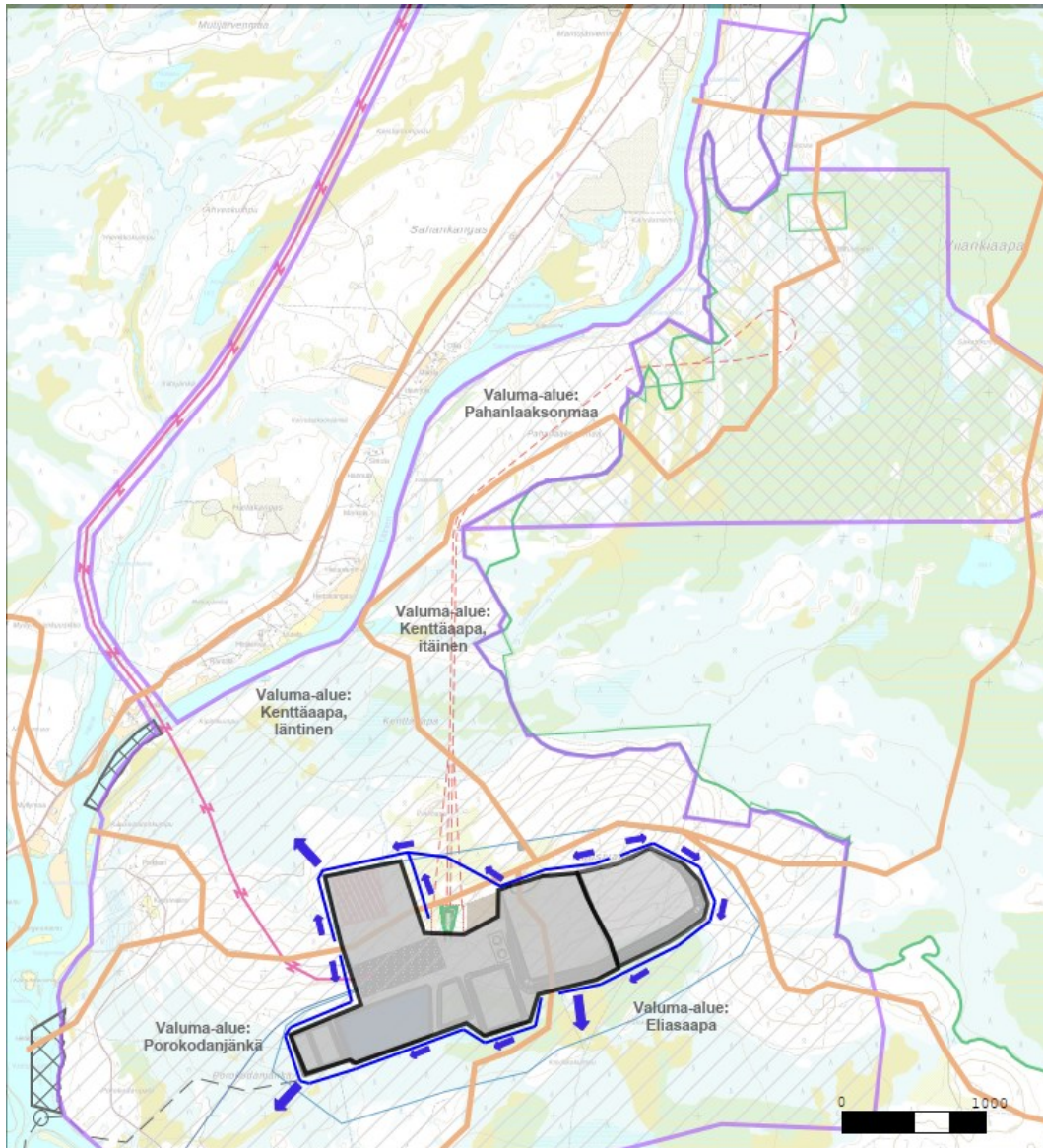
| YVA-vaihtoehto                             | Vesi-kierrossa mukana oleva pinta-ala [km <sup>2</sup> ] | Eliasaapa [km <sup>2</sup> ] | Porokodanjänkä [km <sup>2</sup> ] | Kenttäaapa, läntinen [km <sup>2</sup> ] | Kenttäaapa, itäinen [km <sup>2</sup> ] |
|--------------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|
| VE1a                                       | 1,7                                                      | 0,4*                         | 1,1                               | 0,2                                     | -                                      |
| VE1b                                       | 2,6                                                      | 1,3                          | 1,1                               | 0,2                                     | -                                      |
| VE2a                                       | 2,3                                                      | 0,9                          | 1,3                               | 0,1                                     | -                                      |
| VE2b                                       | 2,6                                                      | 0,9                          | 1,6                               | 0,1                                     | -                                      |
| VE3a                                       | 2,2                                                      | -                            | -                                 | 1,8                                     | 0,4                                    |
| VE3b                                       | 2,7                                                      | -                            | 0,1                               | 2,2                                     | 0,4                                    |
| * voi olla enimmillään 0,8 km <sup>2</sup> |                                                          |                              |                                   |                                         |                                        |

Kaivostoimintojen ulkopuoliset puhtaat aluevedet pidetään erillään kaivoksen vesikierrossa olevista vesijakeista. Käytännössä tämä järjestetään niskaojilla. Puhtaiden aluevesien hallinta ja niskaojilla johdettavien ulkopuolisten aluevesien virtaussuunnat on esitetty kullekin YVA-vaihtoehtolle erikseen alla olevissa kuvissa (kuvat 8-1...8-6). Kuvissa oranssit viivat kuvaavat pienvaluma-alueiden rajoja. Siniset viivat ja nuolet kuvaavat niskaojien periaatteellista sijoittumista ja virtaussuuntia.

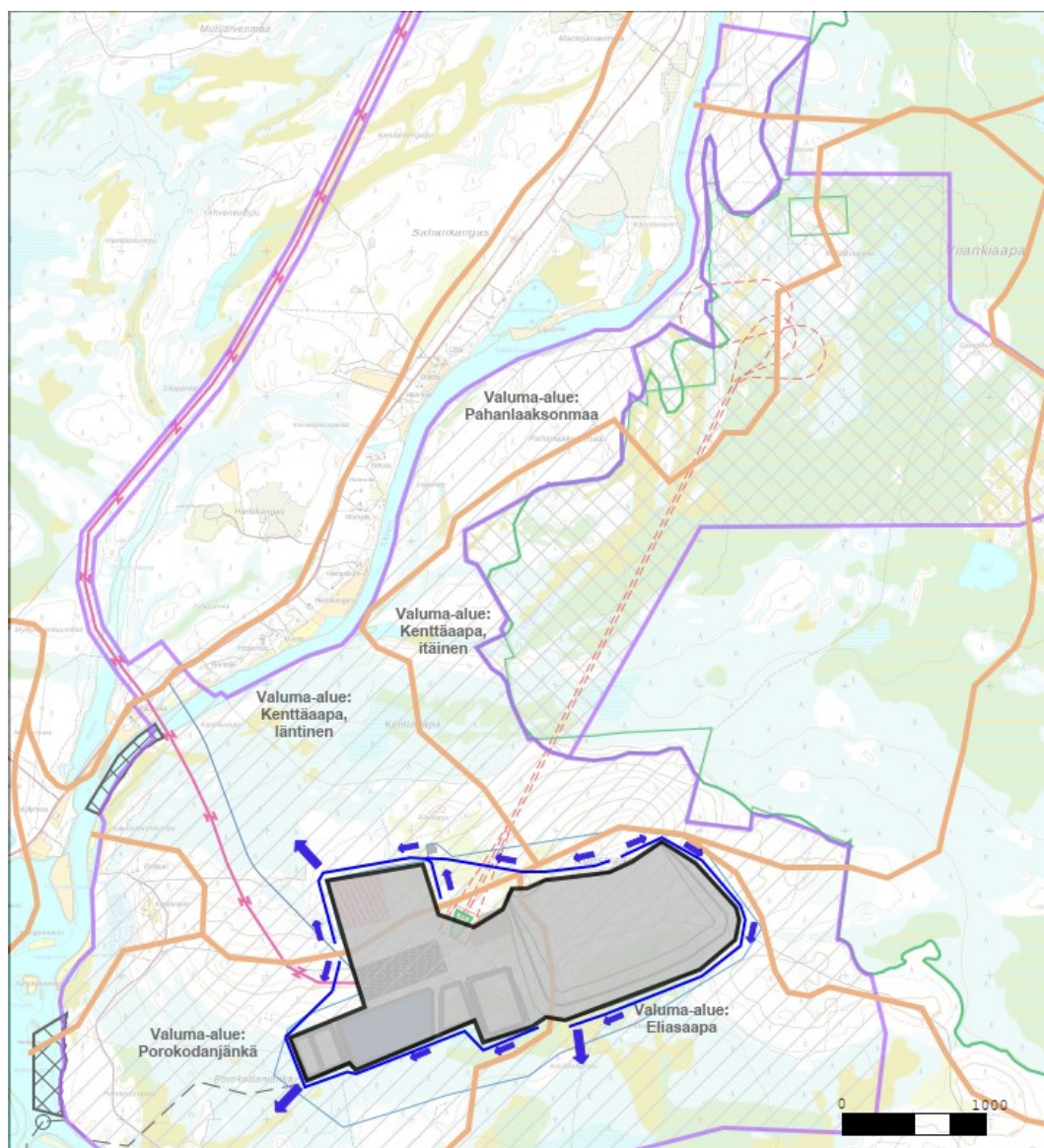
Hankevaihtoehtoisissa VE1a, VE1b, VE2a ja VE2b rikastamoalueen toiminnot sijoittuvat pääasiassa Eliasaavan ja Porokodanjängän valuma-alueille. Kaikissa em. vaihtoehtoisissa tarvekilouhos sijaitsee valuma-alueella Kenttäaapa, läntinen. Vaihtoehtoisissa VE1a ja VE1b osa Kuusivaaran laen valuma-alueen vesistä, jotka luontaisesti kuuluvat Eliasaavan valuma-alueeseen (noin 0,1 km<sup>2</sup>), johdetaan niskaojilla Kenttäaavan (läntinen) valuma-alueelle. Myös noin 0,1 km<sup>2</sup> alue, joka luontaisesti kuuluu Porokodanjängän valuma-alueeseen, johdetaan vaihtoehtoisissa VE1a ja VE1b Kenttäaavan (läntinen) valuma-alueelle. Vaihtoehtoisissa VE2a ja VE2b osa Kuusivaaran laen valuma-alueen vesistä, jotka luontaisesti kuuluvat Eliasaavan valuma-alueeseen (noin 0,3 km<sup>2</sup>), johdetaan niskaojilla Porokodanjängän valuma-alueelle.

Vaihtoehtoissa VE3a ja VE3b rikastamoalueen toiminnot sijoittuvat pääasiassa Kenttääavan valuma-alueelle. Vaihtoehdossa VE3a niskaojat voidaan järjestää niin, että puhtaita aluevesiä ei tarvitse johtaa valuma-alueiden rajojen yli. Vaihtoehdossa VE3b puolestaan pieni osuus Kenttääavan ja Eliasaaavan valuma-alueista (yhteensä noin 0,1 km<sup>2</sup>) johdetaan Porokodanjängän valuma-alueelle.

Missään vaihtoehdossa kaivostoimintojen vaikuttamia vesiä ei johdeta Natura-alueelle.

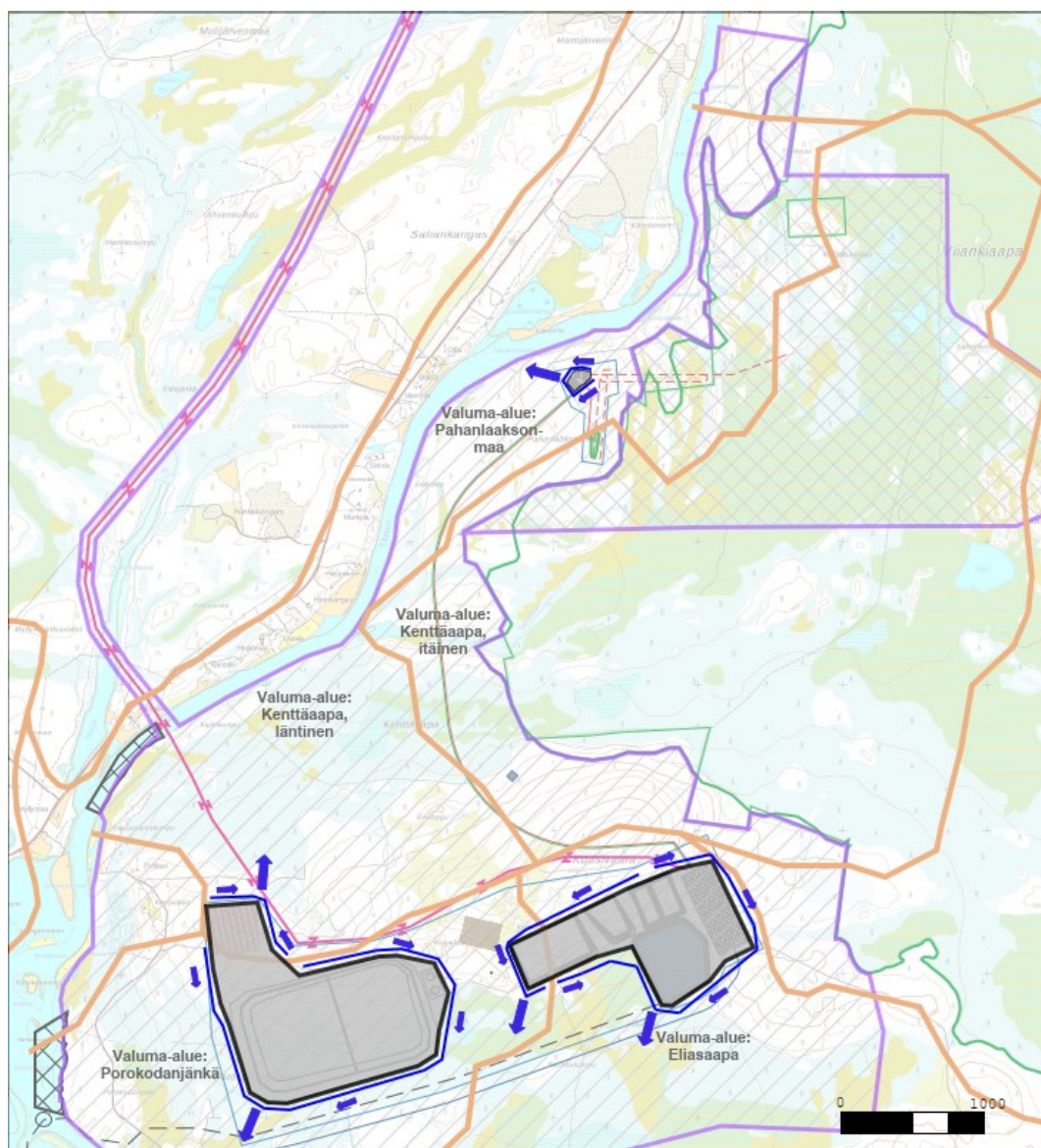


**Kuva 8-1. Vaihtoehto VE1a: Puhtaiden aluevesien hallinta, pääasialliset virtaussuunnat.**

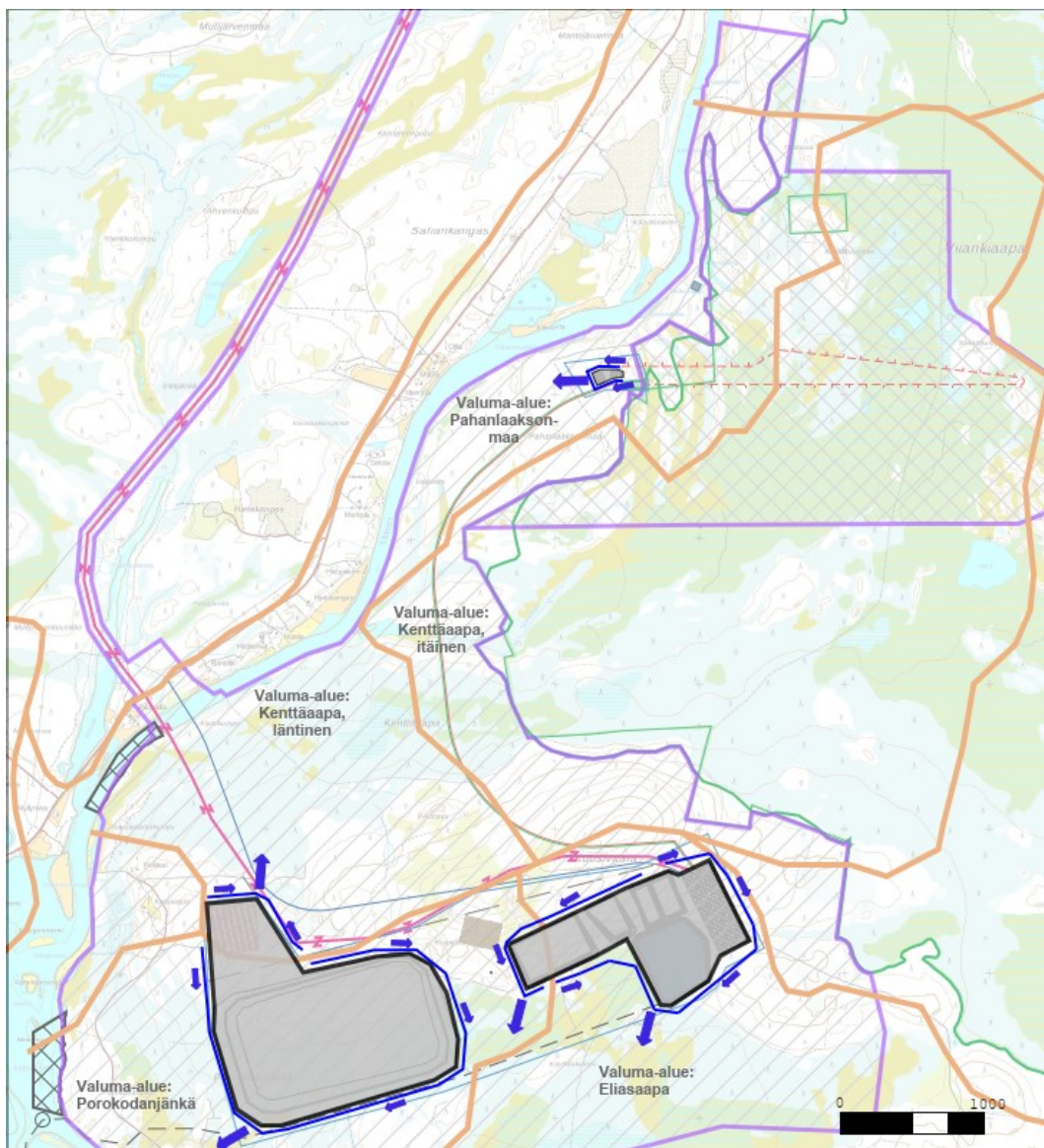


**Kuva 8-2. Vaihtoehto VE1b: Puhtaiden aluevesien hallinta, pääasialliset virtaussuunnat.**



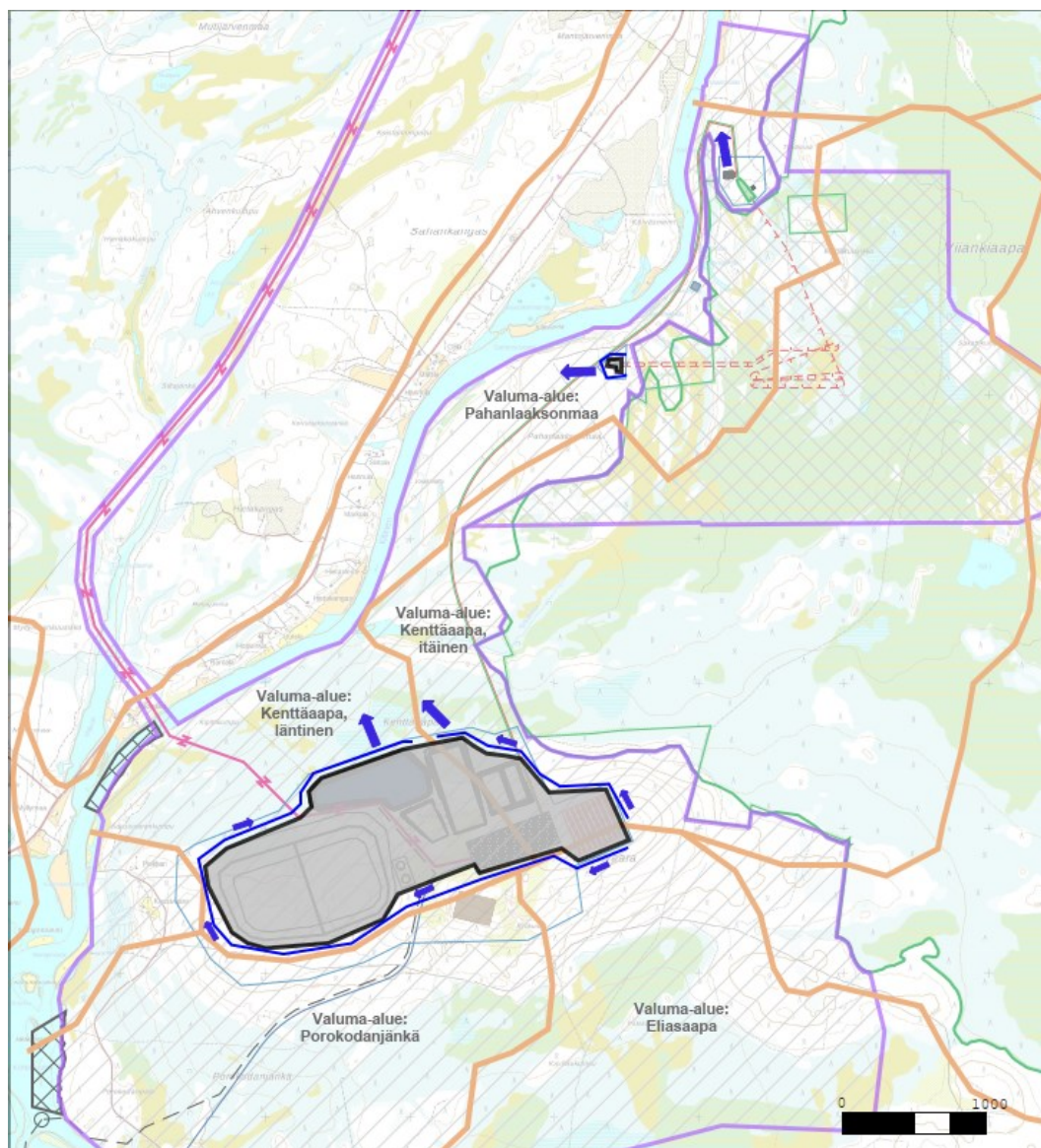


**Kuva 8-3. Vaihtoehto VE2a: Puhtaiden aluevesien hallinta, pääasialliset virtaussuunnat.**

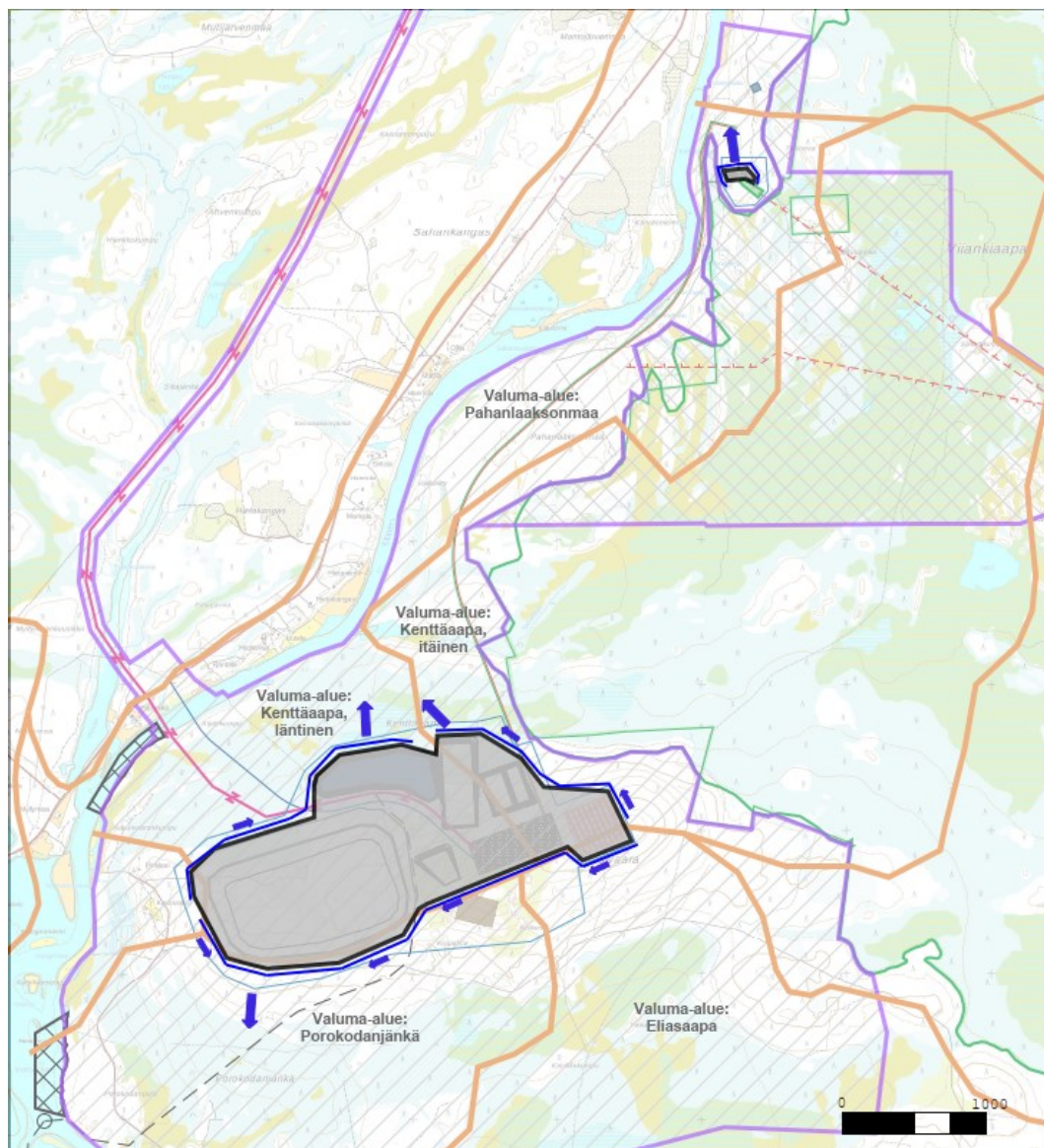


**Kuva 8-4. Vaihtoehto VE2b: Puhtaiden aluevesien hallinta, pääasialliset virtaussuunnat.**





**Kuva 8-5. Vaihtoehto VE3a: Puhtaiden aluevesien hallinta, pääasialliset virtaussuunnat.**



**Kuva 8-6. Vaihtoehto VE3b: Puhtaiden aluevesien hallinta, pääasialliset virtaussuunnat.**

## 9 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä kappaleessa esitetään vesi- ja ainetasemallin avulla johdetut johtopäätökset koskien raakavedenottoa, kaivokselta purettavan ylijäämäveden määrää, vesivarastojen riittävyyttä sekä vedenkäsittelytarvetta.

### 9.1 Raakaveden otto ja veden kierrätys

Prosessin tarvitsema raakavesi otetaan Kitisestä. Raakavedenotto pyritään minimoimaan ja vettä kierrätetään kaivoksen vesikiertoissa niin paljon kuin mahdollista. Prosessin ylösajovaiheessa raakavedenottotarve Kitisestä on moninkertainen tuotantovaiheeseen verrattuna. Ylösajovaiheen raakavedenottotarve voi olla hetkellisesti jopa 800 m<sup>3</sup>/h.

Yleisesti tuotantovaiheessa raakavettä käytetään reagenssien valmistukseen, pumppujen tiivistevetenä, huuhtelu- ja pesuvesinä sekä palovetenä. Tuotantovaiheessa prosessiveden laadun tasaantuessa tullaan selvittämään, mitkä raakaveden käyttökohteet voidaan korvata prosessivedellä. Kierrätyksen maksimoiminen huomioiden jatkuvan raakavedenottotarpeen arvioidaan olevan 15–25 m<sup>3</sup>/h, mikä vastaa reagenssien valmistuksen vedentarvetta. Hetkellisesti vedenotto voi olla tuotantovaiheessakin kuitenkin jopa 200 m<sup>3</sup>/h.

Hankkeesta vastaavan minimitavoitetila veden kierrätysasteelle vuonna 2020 koskien kaikkia yhtiön tuotannossa olevia kaivostoimintoja on 75 %. Lisäksi hankkeesta vastaavalla on pitkän tähtäimen kestävyystavoitteita koskien raakavedenoton minimoimista erityisesti vesivarojen suhteen niukkoja alueita. Vaikka Sakatin kaivoshanke ei sijoitu vesivarojen suhteen niukalle alueelle, yhtiön globaalit vedenkierrätystavoitteet näkyvät kaivoksen toimintojen suunnittelussa.

### 9.2 Ylijäämäveden määrä

Ylimääräinen vesi kaivostoimintojen alueelta puretaan Kitiseen käsittelyn jälkeen. Ylijäämäveden määrä vaihtelee eri vesitaseen tarkastelutilanteissa välillä 1,0–2,4 milj. m<sup>3</sup>/v, mikä tarkoittaa keskimääräistä 115–280 m<sup>3</sup>/h virtaamaa. Vesitase on nettopositiivinen eli kaivosalueelle tulee enemmän vettä kuin sitä kulutetaan. Kuivaläjitysvaihtoehdoissa kaivokselta purettavan ylijäämäveden määrän vaihteluväli on keskimääräisen sadannan tilanteissa 1,3–1,5 milj. m<sup>3</sup>/v ja poikkeuksellisen sateisessa tilanteessa 1,6–1,8 milj. m<sup>3</sup>/v. Märkäläjitysvaltoehdossa kaivokselta purettavan ylijäämäveden määrän vaihteluväli on keskimääräisen sadannan tilanteissa 1,5–1,7 milj. m<sup>3</sup>/v ja poikkeuksellisen sateisessa tilanteessa 2,0–2,2 milj. m<sup>3</sup>/v.

Vesitasemallinnus on laadittu hankevaihtoehdoille VE1a ja VE1b. Vesitaseen tarkastelutilanteiden 3 ja 4 tulokset kattavat kuitenkin myös vaihtoehdot VE2a, VE2b, VE2a ja VE3b.



### 9.3 Vesivarastojen riittävyys ja vesivarastoaltaan rakennerratkaisut

Vesivarastoaltaan maksimitilavuudeksi riittää laaditun mallinnuksen mukaan myös poikkeuksellisen sadannan tilanteissa 700 000 m<sup>3</sup>. Rikastushiekan märkäläjäytysvaihtoehdoissa veden varastoimistarve on lumen sulamista seuraavina kuukausina suurempi, mutta tuolloin varastotilavuutta on vesivarastoaltaan lisäksi rikastushiekka-alueella.

Vesivarastoallas rakennetaan rikastamoalueen eteläpuolelle. Vesivarastoaltaan rakenteiden tyyppileikkaukset (pohjarakenteet ja patorakenteet) on esitetty tämän raportin liitteenä 5. Suunnitelman on laatinut AFRY Finland Oy.

### 9.4 Vedenlaatu ja vedenkäsittely

Tämän raportin kappaleessa 5.2 on esitetty arviot vesivarastoaltaan veden laadulle ennen veden käsittelyä ja purkua Kitiseen. Lisäksi kappaleessa 5.5 on esitetty kaivokselta purettavan ylijäämäveden mukana vesistöön kohdistuvat kuormitukset.

Typpeä esiintyy miltei kaikissa kaivostoimintojen vaikuttamissa vesissä. Typpi on peräisin räjähdysainejäämistä. Räjähdysainesten valinnalla ja huolellisella käsittelyllä pyritään mahdollisimman pieneen typpikuormaan. Typpikuorman pienentämiseen etsitään myös uusien louhintamenetelmien tuomia mahdollisuuksia. Hankkeessa varaudutaan typenpoistoon. Kuormitusarviot perustuvat siihen, että typpipitoisuus pidetään < 14 mg/l pitoisuudessa.

Metallien pitoisuudet ovat maltillisia, mutta esim. nikkelpitoisuudet voivat nousta kaivoksen kuivanapitovesissä. Hankkeessa varaudutaan tästä syystä myös kaivokselta purettavan ylijäämäveden käsittelyyn metallien hydroksidisäostusprosessilla.

Koska kemikaalijäämien osalta erityinen huoli liittyy ksantaatteihin ja niiden jäännöspitoisuuksiin vesistöön päätyvässä vedessä, hankkeessa on päätetty sitoutua jäännöksantaattien hajottamiseen prosessinomaisesti ennen veden purkamista vesistöön.

Sulfaattipitoisuudet ovat merkittävimpiä rikastushiekan suotovesissä ja kaivoksen kuivanapitovesissä. Sulfaatin merkittäviä lähteitä ovat kallioperän sulfidit, mukaan lukien malmi, korkearikkinen sivukivi ja osa kaivoksen syvimpien osien seinästä. Prosessivaihtoehdossa 1 myös rikastamo on yksi sulfaattilähde pH:n säätökemikaalin seurauksena. Sulfaattipitoisuudet ja kuormat ennustetaan kuitenkin sikseen maltillisiksi, että erilliseen sulfaatinpoistoprosessiin ei tässä vaiheessa varauduta. Tiosulfaattien pitoisuuksia ja osuuksia sulfaatin kokonaismäärästä voidaan pitää melko kohtuullisina. Suolaisuutta, muutoin kuin sulfaatin osalta, esiintyy maanalaisen kaivoksen tason -420 m alapuolisissa kuivanapitovesissä ja pienempinä pitoisuuksina kaikkien läjitysalueiden suotovesissä.

Fosforin merkittävin lähde on prosessissa käytettävissä kokoojakemikaaleissa. Fosforia on prosessivedessä ja sitä päätyy myös rikastushiekkaan. Fosforia vapautuu rikastushiekasta sekä kuiva- että märkäläjitysvaihtoehdoissa. Lisäksi fosforia voi vapautua kaivostäytöstä ja päätyä kaivoksen kuivanapitoveteen. Fosfori saadaan saostettua metallien saostuksen yhteydessä hydroksidisaostusprosessissa.

Edellä mainittujen lisäksi prosessivesi vaatii erillistä käsittelyä. Tämä voi tarkoittaa esimerkiksi rikastushiekan suodatuksen suodosveden erilliskäsittelyä tai prosessin sisäisen kierron vedenkäsittelyä. Prosessivedet sisältävät sellaiseen prosessikemikaalien jäämiä ja valittava käsittelyprosessi vaihtelee käsiteltävän veden laadun mukaan.

## 10 VIITTEET

**AA Sakatti Mining Oy (2022)** *Tiivistys- ja tuentamenetelmät Sakatin maanalaisessa kaivoksessa* [Raportti]. Päiväys: 18.10.2022 (tarkistettu 13.1.2023).

**AFRY Finland Oy (2023)** *Yhteenvedo kaivannaisjätteiden karakterisoinnista sekä kaivosalueen vesien laatuarvioinnista* [Raportti]. Raportti laadittu AA Sakatti Mining Oy:lle | Revisio 05, 13.1.2023. 101017183-001.

**Brown Melanie, Barley Bob ja Wood Harvey (2002)** *Minewater Treatment - Technology, Application and Policy* [Kirja]. ISBN 9781843390046.

**Dale Caroline, Laliberte Marc, Oliphant David, Ekenberg Maria (2014)** *Wastewater treatment using MBBR in cold climates* [Kirjan osa]. Published by InfoMine®, Vancouver, Canada. ISBN: 978-0-9917905-7-9.

**European Commission (2018)** *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Management of Waste from Extractive Industries, in accordance with Directive 2006/21/EC; EUR 28963 EN* [Raportti]. Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2018. - ISBN 978-92-79-77178.

**Ilmatieteen laitos (2020)** *Ilmatieteenlaitoksen avoin data.*

**Ilmatieteen laitos ja Suomen ympäristökeskus (SYKE) (2021)** *Ilmasto-opas. Ennustettu ilmastomuutos Suomessa* [Online]. Viitattu: 11.6.2021. <http://www.ilmasto-opas.fi>.

**INAP (2019)** *Global Acid Rock Drainage Guide (GARD Guide)* [Online]. The International Network for Acid Prevention. Viitattu: 30.3.2019. - <http://www.gardguide.com/>.

**Itasca Denver Inc. (2022)** *Prediction of Drawdown and Groundwater Inflow Rates over the Life of the Sakatti Project* [Raportti]. Versio: August 2022.

**Kauppila Päivi, Räisänen Marja Liisa ja Myllyoja Sari (2011)** *Metallimalmikaivostoiminnan parhaat ympäristökäytännöt* [Kirja]. Osa/vuosik. Suomen ympäristö 29 | 2011. ISBN 978-952-11-3942-0 (PDF), ISSN 1796-1637.

**Metcalf & Eddy Inc., George Tchobanoglous, Franklin Burton, H. David Stensel (2003)** *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse* [Kirja]. New York : McGraw-Hill Education, 2003. 4th Edition. ISBN 0071122508, 9780071122504.

**Moilanen L ja Vepsäläinen J (2020)** *Lab Report - Water Samples from Anglo American Sakatti Mining Oy* [Raportti]. 19.2.2020. Ei julkinen.

**Outotec (2020)** *Sakatti HSC model update, revision 1* [Raportti]. Date: 6.3.2020. Ei julkinen.

**Ruosteenoja Kimmo, Jylhä Kirsti ja Kämäräinen Matti (2016)** *Climate Projections for Finland Under the RCP Forcing Scenarios* [Aikakaussjulkaisu]. Geophysica (2016), 51(1). ss. 17-50.

**SRK Consulting (UK) Ltd (2019)** *Sakatti Project Pre-Feasibility Study A Report - Water Management* [Raportti]. Date: 2019-06-21. Ei julkinen.

**Stantec Consulting Ltd (2023)** *Proposed Sakatti Cu-Ni-PGE Underground Mine Water Quality Report* [Raportti]. Report date: 4.1.2023.

**Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (2021)** *Europe Climate Change* [Online]. Viitattu: 2.2.2021.  
<https://hypeweb.smhi.se/explore-water/climate-change-data/europe-climate-change/>.

**Tolonen Emma-Tuulia, Hu Tao, Rämö Jaakko, Lassi Ulla (2016)** *The removal of sulphate from mine water by precipitation as ettringite and the utilisation of the precipitate as a sorbent for arsenate removal* [Aikakaussjulkaisu]. Journal of Environmental Management. Academic Press Inc., 2016. Volume 181. ss. 856-862. ISSN 0301-4797.

**Veolia Water Technologies (2022)** *ACTIFLO® Pack ACP2 (series) The Ultimate Microsand enhanced clarifier* [Online]. Viitattu: 20.10.2022.  
<https://www.veoliawatertech.com/en/solutions/technologies/actiflo-pack>.