

2023

Callio Jätteenkäsittelyn kaivos – Loppuraportti

Teollisuusmittakaavan vesienkäsittelylaitoksen suunnittelutietojen esiselvitys



Sisällysluettelo

1	Hankkeen tiivistelmä	2
2	EXECUTIVE SUMMARY	3
3	HANKE YLEISESTI.....	5
3.1	Hankkeen tarve ja tavoite.....	6
3.2	Hankeorganisaatio.....	6
3.3	Hankkeen yhteys Pyhäjärven Callion strategioihin	7
4	HANKKEEN TYÖPAKETIT JA TAVOITTEET	7
5	KUSTANNUKSET, BUDJETIN TOTEUTUMINEN JA RAHOITUS.....	8
6	HANKKEEN SISÄLLÖN TOTEUTUMINEN JA SEURANTATIEDOT	9
7	HANKKEEN KESKEISET TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET	9
7.1	Teollisen mittakaavan laitoksen tilantarve ja layout.....	9
7.2	Kemikaalien ja mahdollisten lopputuotteiden määrät, laadut, volyymit, kustannukset, työvaiheet, varastotarpeet ja tila-arviot.....	11
7.3	Logistinen kokonaistarkastelu	13
7.4	Investoinnin taloudelliset näkökohdat	15
7.5	Investoinnin ympäristönäkökohdat.....	19
8	TULOSAINEISTON SÄILYTTÄMINEN JA ARKISTOINTI	21
9	HANKKEEN NÄKYVYYS	21
10	LÄHDELUETTELO	21

1 Hankkeen tiivistelmä

Jätteen kaivos - PFS esiselvitysvaihe

Pyhäsalmen kaivoksen kuivanapitovesien käsittelyllä varmistetaan ympäristölupaehtojen toteutuminen kaivostoiminnan päättymisen jälkeen. Pyhäjärven Callio on yhteistyössä Teollisuuden Vesi Oy kanssa esiselvittänyt vaihtoehtoisia ratkaisuja nykyiseen kalkkineutralointiin (BAT) perustuvaan vedenkäsittelyyn. Laboratoriomittakaavan kokeissa sekä konttikoon käytännön pilotissa on testattu useita vedenkäsittelyn teknologioita ja uusia ratkaisuja arvokkaiden alkuaineiden ja yhdisteiden hyödyntämiseen. Tavoitella vesienkäsittelyssä on teollisen mittakaavan jätteen ja jatkuva puhdistusprosessi, jossa syntyvät sivuvirrat kierrätetään teollisten yritysten hyötykäyttöön, lopputuloksena lähes puhdasta vettä. Pohjois-Pohjanmaan liiton rahoituksella rahoitettavan PFS esiselvityksen avulla selvitetään tarkennetut suunnittelutiedot kuivanapitovesien puhdistustarpeiden, menetelmien vaikuttavuuden, ja tarvittavan prosessin optimoinnin osalta, yhdessä mukana olevien teollisten yrityskumppanien kanssa ennen lopullista teollista investointia ja sen kehittämisvaihetta.

Waste-free mining - PFS project feasibility study

The treatment of the Pyhäsalmi mine groundwater ensures that the environmental permit conditions are met after the end of mining operations. Callio Pyhäjärvi, in cooperation with the Industrial Water Ltd., has preliminarily studied alternative solutions to the current water treatment based on lime neutralization (BAT). Laboratory-scale experiments and Pilot experiments have tested several water treatment technologies and new solutions for the utilization of valuable raw material elements and compounds. The goal in water treatment is an industrial scale, waste-free and continuous purification process, in which the by-products generated are recycled for the utilization of industrial companies, resulting in almost pure water. With the help of the PFS project feasibility study project funded by the Council of Oulu Region, the need for groundwater treatment, the effectiveness of the technological solutions and the optimization of the required processes, together with the industrial partners involved, will be verified on a more detailed level before the development for an industrial-scale investment.

Lisätietoja:

Sakari Nokela

Kehitysjohtaja

+358 40 1809511

[sakari.nokela\(at\)pyhajarvi.fi](mailto:sakari.nokela(at)pyhajarvi.fi)

PYHÄJÄRVEN CALLIO – MAANALAINEN MENESTYSTEKIJÄ

Ollintie 26, 86800 Pyhäsalmi

www.callio.info

Toteuttaja:

Pyhäjärven Callio (Pyhäsalmen Kvanttikiinteistöt Oy)

Hankkeen kustannusarvio:

80 000 €, tuki 56 000 €

Toteutusaika:

1.1.2023 – 30.9.2023

Rahoitus:

Alueiden kestävä kasvun ja elinvoiman (AKKE) -rahoitus

Rahoituspäätökset:

Päätös 05.04.2023 § 10/2023

536/04.05.01/2022

2 EXECUTIVE SUMMARY

In Finnish conditions, water management is involved in the operation of practically every mine. Water naturally occurs in mining areas as groundwater, surface water, and due to weather conditions as rain-water or snowfall. In addition, many Finnish mines and most concentrators use process water. In practice, the water balance of mines is never completely isolated from the environment: for example, it is difficult to avoid water meeting the mine's ore. In addition, due to the need for space, most of the storage solutions for side rocks and tailings are such that the solid by-products are completely separated from the surrounding waters.

The quality of the water in the mining area and the mineral concentration process varies considerably depending on the specific characteristics of the mine. For example, sulphide metal ore minerals and process chemicals affect water quality. The cleaning techniques most used in mines and hydrometallurgical process effluent treatment are:

- Precipitation techniques such as neutralization precipitation, sulfide precipitation and oxidation
- Separation of solids such as settling, thickening and filtration
- Biological cleaning processes, such as the use of microbes in sulfate reduction or iron oxidation

The goal of the Callio – Waste-free Mining development project was to create and demonstrate a new concept for the treatment of acidic mine waters, where all side fractions are put to beneficial use. These fractions include, for example, iron, aluminum, zinc, calcium, and magnesium. The treatment of Pyhäsalmi mine's underground waters ensures the fulfillment of Pyhäjärvi Callio's environmental permit conditions after the end of mining operations in late 2022. In collaboration with Teollisuuden Vesi Ltd, Callio Pyhäjärvi has pre-examined alternative solutions for water treatment based on the current lime neutralization (BAT). Several water treatment technologies and new solutions for utilizing valuable raw material elements and compounds have been tested in laboratory-scale experiments and in small-scale piloting. The target state in the water treatment of the future is a waste-free and continuous cleaning process on an industrial scale, where the generated side streams are recycled for the use of industrial companies, the result being almost clean water.

With the help of a pilot project funded by the Council of Oulu Region, the treatment of the ground waters, the effectiveness of the methods and the optimization of the necessary process were verified, together with the industrial business partners involved, on a smaller scale before the industrial scale investments. Water treatment piloting was carried out at the Pyhäsalmi mine with Teollisuuden Vesi Ltd's existing equipment and equipment developed during the piloting phase. The pilot process consisted of three different processing steps and four different equipment sets. The first processing stage is the sedimentation process, which was carried out with Teollisuuden Vesi Ltd's existing equipment. The purpose of the treatment phase was to precipitate iron and aluminum precipitates and zinc precipitates from the mine water. The second treatment step was ion exchange. The ion exchange unit was built by Teollisuuden Vesi Ltd and other subcontractors during the spring and early summer of 2022. The third treatment step was the concentration of magnesium sulfate with nanofiltration membranes. The concentration was carried out with two existing membrane filtration equipment of Teollisuuden Vesi Ltd. Mechanical and automation control-related changes were made to the equipment during the early summer of 2022.

The pilot water treatment equipment was placed in three 40-foot sea containers at the Pyhäsalmi mine. The precipitation equipment, the ion exchange unit with the resuscitation equipment and the other membrane filtration equipment intended for the concentration of magnesium hydroxide were placed in the two sea containers. The second membrane filtration equipment is built permanently into a sea container owned by Teollisuuden Vesi Ltd, which was brought to the mine as a ready-made unit. The containers were placed in the mine near the dry pit water pumping building. The water to be

treated was taken from the side branch of the pressure line of dry tap water (500 l/h). The water treated with the Pilot equipment was led to the open channel leaving the pumping station, along with the rest of the water. The solid sediment produced in the sedimentation process was collected in a tank placed outside the sea containers. Likewise, 2-3 IBC tanks were set aside for the collection of the recovery waters of the ion exchange unit near the sea containers.

The pilot's design work consisted of the design of laboratory experiments in May-June 2022, the design of the equipment to be operated at the Pyhäsalmi mine, and the design of practical test arrangements. Part of the pilot equipment was equipment previously built and used by Teollisuuden Vesi Ltd, for which process technical changes were planned and implemented in June-July 2022 to improve suitability for mine water treatment. Some of the equipment was designed and built from the beginning for the mine piloting in question, for example automation. The planning of the practical pilot arrangement consisted of planning the placement of the equipment and sea containers in the mine, as well as planning the operation and maintenance of the equipment before commissioning. The planning, implementation and coordination of equipment automation software was outsourced to Automaatiopalvelu Lassila Oy, which previously worked as an automation and electrical subcontractor for Teollisuuden Vesi Ltd pilot equipment.

The pilot equipment was built and modifications to the existing equipment were carried out at the facilities of Teollisuuden Vesi Oy in Mäntsälä, Finland. Construction work was done in July-August 2022 mainly consists of piping, process instrument and equipment installations. In addition, Automaatiopalvelu Lassila Ltd performed electrical and automation installations for devices and instruments. During the construction phase, an effort was made to test the functionality of the equipment and instruments controlled by automation in Mäntsälä before the equipment was moved to the Pyhäsalmi mine. Commissioning was carried out at the Pyhäsalmi mine in cooperation with Teollisuuden Vesi Oy, Automaatiopalvelu Lassila and the Pyhäsalmi Mine Ltd and Callio Pyhäjärvi experts during August 2022. The first phase of the pilot was the operation of the precipitation equipment in September 2022 by precipitating the mine water to different pH values, when the first results were obtained on the quality of the recovered metal fines. After the first stage, after the precipitation process, it was attempted to connect the other pilot devices and operate the equipment continuously. The operation and maintenance of the equipment was done in the initial phase by Teollisuuden Vesi Ltd. As the piloting progressed, simple operating procedures were trained in September-October 2022 for the personnel of the Pyhäsalmi Mine Ltd.

The quality results of the water were analyzed in October-November 2022, mainly in the laboratory of the Pyhäsalmi Mine Ltd during the test period. Based on the results, necessary changes were made to the test plan. In the final report of the test periods in November-December 2022, the functionality of the water treatment process at the site in question was explained and the feasibility of a full-scale water treatment plant was assessed based on the achieved test results. The precipitation stages of iron and aluminum, as well as the determination of the quality of fines and excess, were carried out during September-month 2022. According to the obtained analysis results, the equipment worked well, and the practical challenges related to magnesium dosing were solved. At the end of September, a combined precipitation for iron and aluminum was carried out. In the experiments, it was found that the precipitation stages of iron and aluminum can be combined, whereby the end product of the first precipitation stage is iron and aluminum hydroxide.

According to the test plan, the precipitation process test runs progressed to a pH range of around pH 7.5. According to the analysis results, the supernatant formed was clean enough to be taken for processing for the metal removal step and for softening. The ion exchange phase was started at the beginning of October with the start-up of automation and resuscitation and flushing. It was decided to carry out longer test runs with different resins in accordance with the test plan during October.

Continuous piloting of ion exchange was carried out in October, including post-treatment piloting (recovery of calcium chloride and magnesium sulfate).

The obtained results from the different precipitation steps were documented. The filtration steps to separate iron, aluminum and zinc were carried out according to the test plan. The piloting of the filtration steps to separate nickel, cobalt, manganese, and calcium started in November 2022. In addition, filtering steps were tested to support piloting on a laboratory scale. Filtering and drying tests of fines and washing tests were carried out on the fines of the precipitation phase as the experiments progressed. The concentration and purification phase for calcium chloride and magnesium sulfate was started in November 2022 based on the results obtained from the filtration phases during the remaining pilot weeks in accordance with the test plan. The piloting results were in line with the preliminary laboratory results and showed that the initial precipitation step was working. In addition, discussions with a chemical supplier and a company interested in utilizing the fines confirmed the possibilities of implementing the new commercial level treatment of mine's ground waters as initially presented.

With the help of the PFS project feasibility study project funded by the Council of Oulu Region, the need for groundwater treatment, the effectiveness of the technological solutions and the optimization of the required processes, together with the industrial partners involved, were verified on a more detailed level before the development for an industrial-scale investment. The results obtained from the preliminary study have created the conditions for a new investment that curbs climate change and an innovation that utilizes the natural resources of the region - an industrial-scale water treatment solution, where the resulting side streams are recycled for the use of industrial companies. In addition, the obtained interpretations have clarified the possibilities of commercializing new business concepts in Finland and internationally.

3 HANKE YLEISESTI

Suomen olosuhteissa käytännössä jokaisen kaivoksen toimintaan liittyy vesienhallinta. Vettä esiintyy kaivosalueilla luontaisesti pohjavetenä, pintavetenä sekä sääolosuhteitten takia sadevetenä tai lumisateen sulamisvetenä. Lisäksi monessa kaivoksessa ja useimmilla rikastamoilla käytetään prosessivettä. Kaivosten vesitase ei käytännössä koskaan ole täysin eristetty ympäristöstä: esimerkiksi veden joutumista kosketuksiin kaivoksen malmin kanssa on vaikea välttää. Lisäksi useimmat sivukivien ja rikastushiekan varastointiratkaisut ovat tilantarpeen vuoksi sellaisia, että kiinteitä sivutuotteita kokonaan erillään ympäristön vesistä.

Kaivosalueen ja rikastusprosessin veden laatu vaihtelee huomattavasti kaivoskohtaisten ominaispiirteiden mukaan. Muun muassa malmin mineraalit ja prosessikemikaalit vaikuttavat vesien laatuun. Yleisimmin kaivoksilla ja hydrometallurgisten prosessien poistovesien käsittelyssä käytettyjä puhdistustekniikoita ovat

- Saostustekniikat, kuten neutralointisaostus, sulfidisaostus ja hapetus
- Kiintoaineen erottaminen, kuten laskeutus, sakeutus ja suodatus
- Biologiset puhdistusprosessit, kuten mikrobien hyödyntäminen sulfaatin pelkistyksessä tai raudan hapetuksessa

Callio Jätteen kaivos – Waste-free mining selvitys- ja kokeiluhankkeen tavoitteena oli luoda ja pilotoida uusi konsepti happamien kaivosvesien käsittelyyn, missä kaikki sivujakeet otetaan hyötykäyttöön. Näitä jakeita ovat esimerkiksi rauta, alumiini, sinkki, kalsium ja magnesium. Pyhäsalmen kaivoksen kuivanapitovesien käsittelyllä varmistetaan Pyhäjärven Callion ympäristölupaehtojen toteutumisen kaivostoiminnan päättymisen jälkeen. Pyhäjärven Callio on yhteistyössä Teollisuuden Vesi Oy kanssa esiselvittänyt vaihtoehtoisia ratkaisuja nykyiseen kalkkineutralointiin (BAT) perustuvaan vedenkäsittelyyn. Laboratoriomittakaavan kokeissa on testattu useita vedenkäsittelyn teknologioita ja uusia ratkaisuja arvokkaiden alkuaineiden ja yhdisteiden hyödyntämiseen. Tavoitetila tulevaisuuden

vesienkäsittelyssä on teollisen mittakaavan jätteen ja jatkuva puhdistusprosessi, jossa syntyvät sivuvirrat kierrätetään teollisten yritysten hyötykäyttöön, lopputuloksena lähes puhdasta vettä. Pilotin tulokset olivat linjassa alustavien laboratoriotulosten kanssa ja osoittivat, että ensimmäinen saostusvaihe toimi. Lisäksi keskustelut kemikaalitoimittajien ja sakkujen hyödyntämisestä kiinnostuneiden yrityksen kanssa vahvistivat mahdollisuuksia toteuttaa kaivoksen pohjavesien uusi kaupallinen käsittely alun perin esitetyllä tavalla.

Pohjois-Pohjanmaan liiton rahoittaman PFS-esiselvityshankkeen avulla varmistettiin kaivoksen pohjavesien käsittelyn teknisten ratkaisujen tehokkuus ja tarvittavien prosessien optimointi yhdessä mukana olevien teollisten yrityskumppaneiden kanssa ennen teollisen mittakaavan investointia. Esiselvityksen tulokset ovat luoneet edellytykset uudelle ilmastonmuutosta hillitsevälle investoinnille ja alueen luonnonvarojen hyödyntäville innovaatioille - teollisen mittakaavan vedenkäsittelyratkaisulle, jossa kaivoksen pohjavesien arvokkaat sivuvirrat kierrätetään teollisuusyritysten käyttöön. Lisäksi saadut esiselvitystulokset ovat selventäneet mahdollisuuksia uusien liiketoimintakonseptien kaupallistamiseen Suomessa ja kansainvälisesti.

3.1 Hankkeen tarve ja tavoite

Pohjois-Pohjanmaan liiton AKKE rahoituksella rahoitettavan esiselvityshankkeen avulla tuotetaan vesienkäsittelyprosessin tarkat suunnittelutiedot, jotka perustuvat päätyneeseen pilottivaiheen esisuunnittelumateriaaleihin sekä mitattuihin ja labroissa varmennettuihin pilotin testituloksiin. Lisäksi esiselvitys sisältää suunnittelutiedot teollisen mittakaavan laitoksen taloudellisista-, ympäristö- ja teknisistä näkökulmista.

Pyhäsalmen kaivoksen kuivanapitovesien käsittelyllä ja haettavan esiselvityksen tavoitteena oli:

- Selvittää teollisen mittakaavan vedenkäsittelyratkaisun varmenneet layout- ja tilavaatimukset sekä varmistaa prosessin viipymääjat ja muut pilottivaiheen avoimet kysymykset.
- Selvittää tarvittavien kemikaalien ja mahdollisten lopputuotteiden varastointitarpeet ja tila-arviot, sisältäen myös erilaisten käytettävien kemikaalien varoalueet.
- Selvittää vesienkäsittelylaitosinvestoinnin logistinen kokonaistarkastelu ja toimintamalli, joka sisältää kemikaalilogistiikan, lopputuotelogistiikan, vesien poisjohtamisen ja loppurejektien käsittelyn/varastoinnin.
- Selvittää investoinnin taloudelliset näkökohdat mm. aikataulu, sijainti, rakennus- ja muut luvat ja prosessit, sekä
- Selvittää investoinnin ympäristönäkökohdat mm. vesilain mukaiset luvat ja ympäristövaikutukset, kemikaaliluvat, kaivosvesien pumppaamiseen ja purkamiseen liittyvät tekijät ja erityispiirteet jne.

3.2 Hankeorganisaatio

Ohjausryhmän kokoonpano:

Pyhäjärven Kaupunki	Henrik Kiviniemi, kaupunginjohtaja, puheenjohtaja
Pyhäsalmen Kvanttikiinteistöt Oy (Callio)	Sakari Nokela, kehitysjohtaja (asiantuntija)
Pyhäsalmi Mine Oy	Aki Tuikka, general manager
Pyhäsalmen Infra Oy	Aki Hakulinen, toimitusjohtaja

Ohjausryhmän kokouksia hankkeessa oli yhteensä 2 kpl ja ne pidettiin 27.4.2023 (sähköpostikokous) ja 6.6.2023 (sähköpostikokous).

Projektipäällikkö: Sakari Nokela

3.3 Hankkeen yhteys Pyhäjärven Callion strategioihin

Pyhäsalmen kaivoksen kuivanapitovesien käsittelyllä varmistetaan Pyhäjärven Callion, ja välillisesti myös Pyhäsalmen kaivoksen, ympäristölupaehdojen toteutuminen kaivostoiminnan päättymisen jälkeen. Pyhäjärven Callio on yhteistyössä Teollisuuden Vesi Oy kanssa esiselvittänyt vaihtoehtoisia ratkaisuja nykyiseen kalkkineutralointiin (BAT) perustuvaan vedenkäsittelyyn. Laboratoriomittakaavan kokeissa on testattu useita vedenkäsittelyn teknologioita ja uusia ratkaisuja arvokkaiden alkuaineiden ja yhdisteiden hyödyntämiseen. Tavoitella tulevaisuuden vesienkäsittelyssä on teollisen mittakaavan jätteen ja jatkuva puhdistusprosessi, jossa syntyvät sivuvirrat kierrätetään teollisten yritysten hyötykäyttöön. Pyhäjärven Callio on POPELY rahoittaman Energy Park hankkeen kautta selvittänyt vaihtoehtoisia ratkaisuja nykyiseen kalkkineutralointiin (BAT) perustuvaan vedenkäsittelyyn yhdessä Teollisuuden Vesi Oy kanssa.

Ratkaisun löytämiseksi Callio Jätteen kaivos – Waste-free mining selvitys- ja kokeiluhankkeissa on pilotoitu Pyhäsalmen kaivoksen kuivanapitovesien puhdistustarve, laboratoriomittakaavassa testattujen menetelmien vaikuttavuus ja todennetaan tarvittava kokonaisprosessin optimointi pienemmässä mittakaavassa ennen teollisen mittakaavan investointeja.

4 HANKKEEN TYÖPAKETIT JA TAVOITTEET

Hanketoteutus ja koordinointi jaettiin kahteen työpakettiin, jotka liittyivät hankkeen sisällölliseen työhön ja hankeyhteistyöhön mukana olevien hankekumppaneiden kanssa. Hankkeen työpaketit olivat seuraavat:

TP1 Projektin käytännön hallinta, viestintä, taloushallinta sekä tulosten levittäminen

Työpaketti pitää sisällään hankkeen työn koordinointia ja lisäksi kansallisten (ja mahdollisesti kansainvälisten) yrityskumppanien kanssa verkostoitumista. Työpaketissa järjestetään ohjausryhmäkokoukset ja hallitaan hankkeen raportointia rahoittajalle ja viestintää sekä tiedottamista ulkoisille sidosryhmille. Työpaketissa orkestroidaan hankkeen käytännön toteutus koordinoitusti muihin Callion uusiokäytön hankkeisiin ja strategiaan linjauksiin sekä hankkeen rahoituspäätökseen nähden. Työpaketissa toteutetaan myös ostopalveluiden kilpailuttaminen sekä tarjous- ja tilausprosessit.

TP2 Esiselvityksen ja toimenpiteiden organisoiminen ja toteuttaminen (ostopalvelu)

Työpaketti pitää sisällään vesienkäsittelyn vedenkäsittelyratkaisun varmenneet layout- ja tilavaatimukset ja siihen liittyvien tarkkojen suunnittelutietojen selvittämisen sekä dokumentaation luomisen. Selvitykset toteutetaan suurelta osin ulkopuolelta ostettavana asiantuntijapalveluna. Työpaketissa samalla vahvistetaan elinkeinoelämän, aluekehittämisen ja yritystoimijoista ekosysteemiä, jossa mukana olevat toimijat sitoutuvat laajemman Pyhäjärven Callion yrityspuistossa toteutettavan vesienkäsittelyn investointi- ja kehittämishankkeiden kokonaisuuden valmisteluun ja toteuttamiseen sekä yhdessä esiselvityksen aikana sovittavan tiekartan ja aikataulun mukaisesti luovat uutta liiketoimintaa ja uusia työpaikkoja Pyhäjärvelle.

Hankkeen rahoitus myönnettiin kertakorvaushankkeena, jonka kustannukset perustuivat hyväksytyssä hakemuksessa olevaan kustannuserittelyyn. Hankkeen tuki maksettaisiin hankkeen päättymisen jälkeen kertakorvauksena hyväksyttyä tuotosta vastaan.

Tuen maksamisen ehtona rahoituspäätöksessä oli seuraavat tuotokset, joihin on vastattu kattavasti tässä loppuraportissa:

1. Teollisen mittakaavan laitoksen tilantarve ja layout
2. Kemikaalien ja mahdollisten lopputuotteiden määrät, laadut, volyymit, kustannukset, työvaiheet, varastotarpeet ja tila-arviot
3. Logistinen kokonaistarkastelu
4. Investoinnin taloudelliset näkökohdat
5. Investoinnin ympäristönäkökohdat

5 KUSTANNUKSET, BUDJETIN TOTEUTUMINEN JA RAHOITUS

Hankkeen kustannussuunnitelma on esitetty seuraavassa taulukossa:

	Budget 2023	Total (%)	Realization 30.9.2023	Δ Delta
Salaries	4 875€	6,1	9 798€	-4 923
Purchases of services	69 269€	86,6	69 438€	-169
Machinery and equipment costs	0	0	0	0
Travel expenses	1 000€	1,3	1 011€	-11
Other direct costs	4 856€	6,0	5 346€	-490
Total	80 000€	100,0	85 593€	-5 593€

Hankkeen rahoitussuunnitelma on esitetty seuraavassa taulukossa:

	2023	Total (€)	Total (%)
The Council of Oulu Region (AKKE funding)	56 000	56 000	70
Private funding (Pyhäsalmen Kvanttikiinteistöt Oy, Pyhäsalmen Infra Oy)	12 000	12 000	15
Municipal funding/Other public funding Town of Pyhäjärvi, NIHAK ry	12 000	12 000	15
Total funding	80 000	80 000	100,0

Hankkeen kustannus- ja rahoitussuunnitelmat toteutuivat pilotin aikana hankesuunnitelman ja rahoituspäätöksen mukaisesti, lievin ylityksin (+7 % eli 5 593 € yli alkuperäisen budjetin).

6 HANKKEEN SISÄLLÖN TOTEUTUMINEN JA SEURANTATIEDOT

Hankkeen seurantatietojen mukaan tuli käynnistää 1 kpl kokeiluja, 1 kpl uusi käynnistytvä kehitysprosessi ja hankkeen toiminnassa tuli olla mukana 4 kpl yrityksiä sekä organisaatioita. Kaikki asetetut tavoitteet saavutettiin, jopa ylitettiin. Hankkeen toiminnassa mukana olleet yritykset:

Berner Chemicals Oy	magnesiumsulfaatin laatuvaatimukset prosessille
Voda Nordic Oy	rauta ja alumiinilopputuotteiden laatuvaatimukset prosessille
Tetra Chemicals Europe Oy	kalsiumkloridin laatuvaatimukset prosessille
Pyhäsalmi Mine Oy	prosessin lopputuotteiden laboratoriotestaukset ja materiaalit
Teollisuuden Vesi Oy	työpakettin 2 asiantuntijatoimien toteuttajakumppani
Boliden, Ruotsi	sinkkisakan hyödyntämisen selvittäminen
Pyhäsalmen Infra Oy	hankkeen rahoittajayritys, jatkohankkeen omistaja
Pyhäsalmen Kvanttikiinteistöt Oy	hankkeen hallinnoija ja rahoittajayritys, jatkohankkeiden valmistelija
Pyhäjärven Kaupunki	hankkeen ohjausryhmätoiminta, taloushallinto ja rahoittaminen
NIHAK ry	hankkeen ohjausryhmätoiminta ja rahoittaminen

7 HANKKEEN KESKEISET TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET

7.1 Teollisen mittakaavan laitoksen tilantarve ja layout

Tilantarvetta tarkasteltaessa järjestelmä käsittää kaksi eri saostusvaihetta, joissa molemmissa on reaktio- ja sekoitusaltat sekä sakeuttimet tuotteiden erotteluksi käsiteltävästä vedestä. Jäännösmetallien sekä kalsiumin poistoon tarvitaan rinnan sekä sarjan kytkettyjä suodattimia niin, että järjestelmän käyttö on mahdollista myös, kun linjoja regeneroidaan. Kalvosuodatukset sekä haihdutus väkevöivät sivutuotteet ja myös niiden mitoitus varmistetaan niin, että pesujen aikana veden käsittelyvirtaama kyetään ylläpitämään.

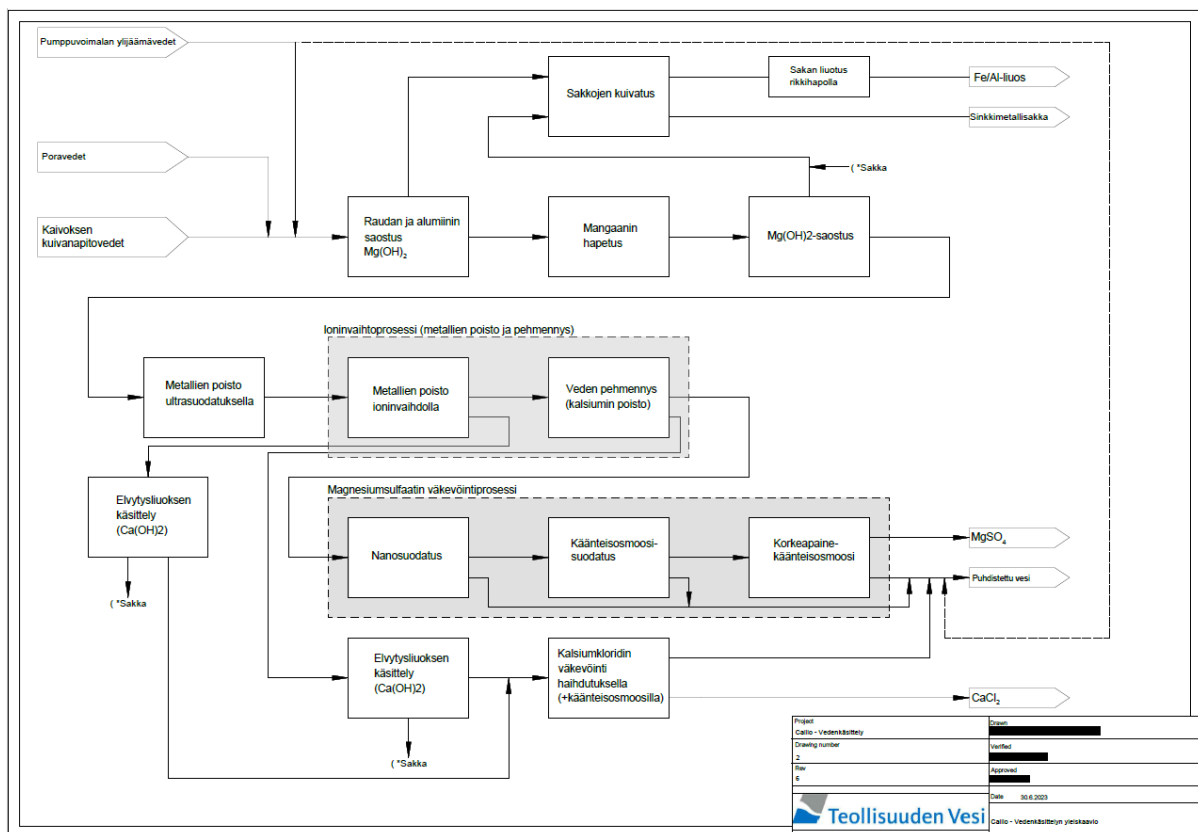
Prosessin lisäksi tilavaatimuksia tulee käytettävien kemikaalien ja sivutuotteiden varastoinnista sekä käsittelystä. Laitteiden yhteinen koko vedenkäsittelyssä on alustavasti noin 3 500 m², minkä lisäksi tulevat yleiset tiealueet ja huoltotilat. Kemikaaleille on omat tarkoituksenmukaiset alueet turva-alueena. Purkupaikat on katettu ja altaissa on vuototunnistimet sekä hälytykset.



Kuva 1. Vedenkäsittelylaitoksen tilantarve

Uuden vedenkäsittelylaitoksen sijaintipaikaksi on suunniteltu kuvassa 1 näkyvä paikka, jonne on saatavissa kulkureitit kemikaalien kuljetukselle laitokselle, ja lopputuotteiden kuljetus laitokselta teollisille hyödyntäjille. Molempien käsittelyyn tulevien vesien linjat kaivosvesien osalta tuuletusasemalta sekä pumppuvoimalalta käsittelylaitokselle ovat arviolta noin 400-500 m.

Vedenkäsittelysuunnitelma perustuu yleiseen vedenkäsittelyn teoriaan sekä kokemuksiin ja referensseihin olemassa olevista tekniikoista, laboratorio- ja pilot-tuloksiin sekä sivutuotteiden hyödyntäjien kanssa käytyihin keskusteluihin ja sivutuotteista saatuihin laatuvaatimuksiin. Kaivosvesien keräys tapahtuu nykyisen järjestelmän mukaisesti kaivoksessa. Kaivoksessa on virtaaman tasaamiseksi sekä vesilaitoksen huoltotöiden tai seisakin ajalle varalla 20 000 m³ vesiallas, mikä vastaa noin 1,5-2 viikon seisakiaikaa. Vesi pumpataan kaivoksen pohjalta tai varoaltaalta ensin tason +630 päiväaltaalle. Päiväaltaan koko on 2470 m³ ja sen avulla voidaan säädellä päivätasolla veden virtaamaa käsittelyyn. Allas pyritään pitämään käsittelyn aikana melko tyhjänä, jotta muutamien tuntien käsittelyseisokit ovat mahdollisia. Päiväaltaalta vesi pumpataan maan pinnalle tuuletusasemalle, missä on A- ja B-altaat, tilavuudeltaan yhteensä 700 m³, joista vesi johdetaan edelleen käsittelyyn uudelle vedenkäsittelylaitokselle.



Kuva 2. Vedenkäsittelylaitosprosessin prosessikaavio (Teollisuuden Vesi Oy)

Kaivoksen kuivanapitovesien käsittelyn prosessikaavio ja prosessin layout jakaantuu useampaan prosessivaiheeseen, kuten esitetty Kuvassa 2. Ensimmäinen vaihe on saostusvaihe, missä erotetaan saostamalla erotettavissa olevat yhdisteet. Saostusvaiheen jälkeen vesi suodatetaan kiintoainevapaaksi, minkä jälkeen poistetaan ioninvaihdolla jäännösmetallit sekä kalsiumkovuus. Käsittelyn loppuvaiheena on magnesiumsulfaatin väkevöinti ja muiden sivutuotteiden suodatus sekä tarvittaessa pesu, väkevöinti tai muu käsittely jatkokäytön varmistamiseksi. ensimmäisessä saostusvaiheessa käsiteltävän veden pH nostetaan magnesiumhydroksidia ($Mg(OH)_2$) käyttämällä tasolle pH 4,7-5,3. Tässä saostusvaiheessa saostuvat yhdessä rauta ja alumiini yli 99 %. Lisäksi sakan joukkoon saostuu arseenia, kuparia, kromia, silikaattia ja uraania, mutta pääkomponentteihin alumiiniin ja rautaan verrattuna niiden osuus

lopullisesta sakasta on tasolla noin 10 %, jolloin ne eivät vaaranna puhdistetun veden tai jätevesilietteen laatua, kun sivutuotetta käytetään esimerkiksi jäteveden käsittelyssä rinnakkaissaostuksessa.

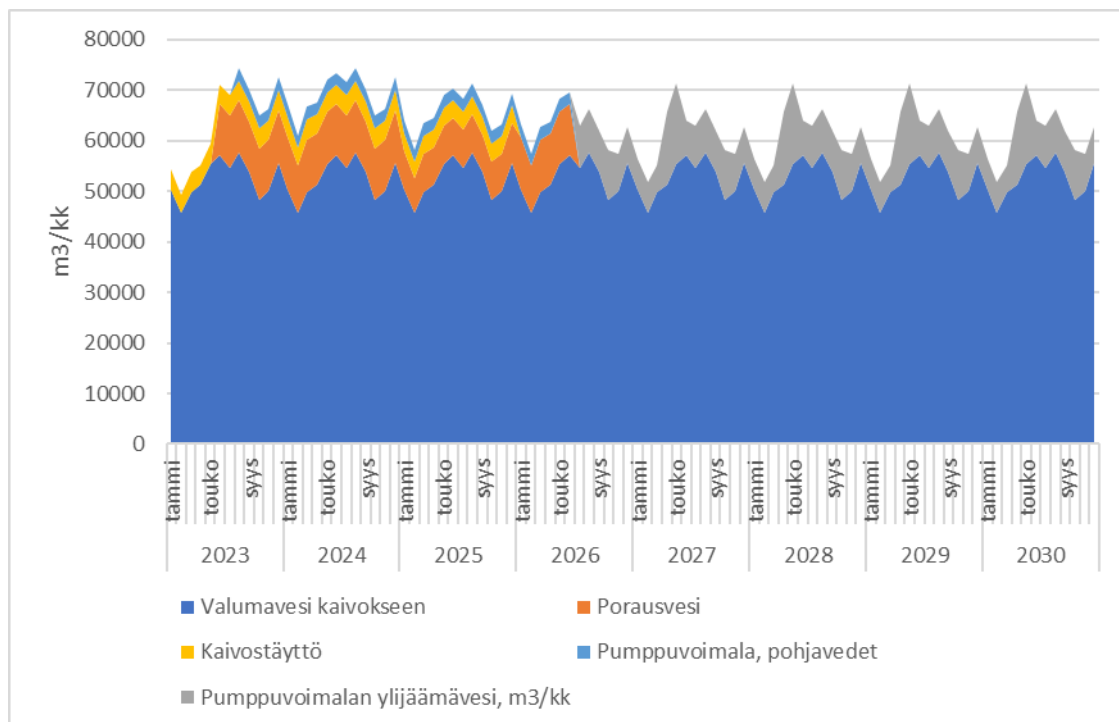
Toisessa saostusvaiheessa eli sinkin saostusvaiheessa pH:ssa noin 7,5 saostuvat kupari, sinkki sekä mangaani ja osa muista metalleista, kuten nikkeli, koboltti sekä kadmium. Mangaanin saostumista parannetaan hapettamalla se otsonilla mangaanidioksidiksi. Lipeää ei saostuksessa käytetä. Metallien saostusvaiheen jälkeen poistetaan jäännösmetallit selektiivisellä ioninvaihdolla, mikä elvytetyttään suolahapolla.

Metallipitoisten vesien ioninvaihdossa muodostuu kalsiumkloridia sivutuotteena, kun metalli- ja suolahappopitoisen elvytysveden pH nostetaan kalkilla, jolloin metallit saostuvat ja muodostuu kalsiumkloridia. Metallisakka suodatetaan aiemmin prosessissa muodostuneen saostetun sinkkimetallisakan kanssa ja ohjataan edelleen hyötykäyttöön.

Viimeisenä käsittelyvaiheena ennen magnesiumsulfaatin väkevöintiä on kalsiumkovuuden poisto, jotta väkevöinnin aikana vältetään kalsiumsulfaatin (kipsin) saostumiselta. Kalsiumin poistossa muodostuu kalsium-, magnesium- ja kloridipitoista elvytysvettä. Puhtaan kalsiumkloridilopputuotteen aikaansaamiseksi magnesium saostetaan kalkilla magnesiumhydroksidiksi, mikä erotetaan kalsiumkloridista selkeyttämällä ja suodattamalla. Näin saatu kalsiumkloridi väkevöidään haihduttamalla vaadittuun 32 p-%:in väkevyyteen.

Saostettu $Mg(OH)_2$ -sakka liuotetaan uudelleen suolahappoon ja liuosta käytetään $MgCl_2$ -liuoksena elvytyksessä. Jäljelle jäänyt metalleista ja kalsiumista puhdistettu magnesiumsulfaatti väkevöidään käänteisosmoosilla korkeassa paineessa riittävälle tasolle > 20 p-%.

7.2 Kemikaalien ja mahdollisten lopputuotteiden määrät, laadut, volyymit, kustannukset, työvaiheet, varastotarpeet ja tila-arviot



Taulukko 1. Käsitteltävien vesien määrä (m³/kk) yhteensä kaivoksen toiminnan loputtua v. 2023 alkaen, pumppuvoimalan rakentamisen aikana 2023-2025 ja pumppuvoimalan käytön aikana 2026 eteenpäin.

Pyhäsalmen vanhalle kaivokselle ja sen ympäristöön suunnitellaan uutta toimintaa ja uusiokäytön toimintojen takia vanhan kaivoksen ei haluta täyttyvän vedellä, vaan pysyvän kuivana. Nämä kuivanapitovedet on aiemmin käsitelty kaivoksella rikastushiekan kanssa yhdessä niin, että kalkilla on saostettu kuivanapitovesien sisältämä sulfaatti kipsiksi ja metallit sakaksi hydroksideina kalsiumhydroksidilla korkeassa pH:ssa rikastushiekka-altaalle.

Rikastamon toiminnan loppuessa tämä vaihtoehto ei ole enää mahdollinen, koska nykyisissä sakka-altaissa tilaa sakalle ei ole ja uuden sakka-altaan rakentaminen alueelle olisi haastavaa sekä tilankäytön että ympäristöturvallisuuden kannalta. Haastavuutta lisää muodostuvan sakan vuotuinen määrä, noin 10 000 t/vuosi ja kosteana noin 40-50 000 m³/vuosi, mikä vaatisi isojen altaiden rakentamista ja valvontaa niiden kunnosta pitkälle tulevaisuuteen.

Käsiteltävien vesien laatu muodostuu eri jakeiden laadun ja niiden määrän mukaan, kts Taulukko 1. Koska kaivos käsittelee kuivanapitovedet vielä vuosien 2023-2025 aikana. Pumppuvoimalan rakentamisen aikana kaivoksen kuivanapitovedet sekä pumppuvoimalan poravedet ja pohjavedet sekoittuvat keskenään ja ne pumpataan maan pinnalle nykyisiä kaivoksen putkilinjoja pitkin. Näin kerättävien vesien laatu vastaa nykyistä kaivosvesien laatua lukuun ottamatta kalsiumia, natriumia ja kloridia.

Pumppuvoimalan toiminnan aikana voimalan vedet pysyvät erillään kaivoksen kuivatusvesistä ja ovat alussa lähinnä Pyhäjärven vettä. Myöhemmin vesi on yhdistelmä raakkulouhoksen veden laadusta sekä pohjavesien laadusta. Ylijäämävesi otetaan käsittelyyn ylävesialtaalta, joka on rakennettu kaivoksen raakkulouhoksen eteläreunalle. Näin ylijäämäveden laatua voidaan arvioida nykyisen raakkulouhoksen veden laadulla yhdistettynä pohjaveden laatuun.

Vedenkäsittelylaitoksella on tarkoitus käsitellä kaivoksen kuivanapitovedet niin, että vesissä olevat metallit sekä sulfaatti otetaan talteen ja toimitetaan edelleen hyödynnettäväksi niitä hyödyntäville toimijoille. Metallien sekä sulfaatin talteenottoprosessi tarkoittaa samalla myös, että ympäristöön johdettava ylimäärävesi on parempilaatuista kuin perinteisellä kalkkikäsittelyllä saadaan aikaiseksi. Metallien sekä sulfaatin talteenotto mahdollistaa veden puhdistamisen parempilaatuiseksi samanaikaisesti, kun kuivanapitovedessä olevat haitalliset metallit sekä sulfaatti otetaan talteen ja käytetään edelleen korvaamaan neitseellisiä raaka-aineita.

Vesien käsittelyprosessin yhteydessä muodostuvat lopputuotteet ovat:

- rauta-alumiiniliuos, kun ensimmäisen saostusvaiheen sakka liuotetaan rikkihappoon
- sinkki-metallissakka toisesta saostusvaiheesta sekä ensimmäisen ioninvaihdon elvytysvesien käsittelystä
- kalsiumkloridi ioninvaihdon elvytysvesien käsittelystä, sekä
- magnesiumsulfaatti, kun muut komponentit on poistettu edeltävissä prosessivaiheissa

Vedenkäsittelyssä käytettävistä kemikaaleista pH:n nostokemikaalina toimii magnesiumhydroksidi. Lisäksi käytetään suolahappoa ja magnesiumkloridia metallien sekä kalsiumin poistossa sekä kalkkia elvytysliuoksen käsittelyssä metallien ja magnesiumin poistossa. Mangaanin hapetuksessa käytettävä otsoni valmistetaan paikan päällä hapestä. Magnesiumhydroksidin kulutus on suoraan verrannollinen kaivosvesien happamuuteen ja saostuvien metallien määrään. Tarvittavan suolahapon ja kalkin määrä on suhteessa käsiteltävän veden saostumatta jääneisiin metalli- sekä kalsiumpitoisuuksiin. Saostusten ja suodatusten apuaineena käytetään polymeerejä.

Taulukkoon 2 on mallinnettu veden puhdistuksessa muodostuvat sivutuotteet (t/kk tai kg/kk kuivana sivutuotteena) perustuen sekä valittuun vedenkäsittelyjärjestelmään, kuivanapitoveden laatutietoihin että minimi-, normaali- ja maksimivuoden vesimääriin taulukossa 1.

Tuotteista magnesiumsulfaatti väkevöidään prosessissa 20 p-%:ksi ja kalsiumkloridi 32 p-%:ksi liuokseksi. Myös rauta-alumiinisivutuote on liuos, sillä rauta-alumiinisakka liuotetaan rikkihapolla saostuksen jälkeen. Rautalumiiniliuoksen pitoisuus on yhteensä raudalle ja alumiinille vähintään 60 g/kg sivuotetta. Sinkkimetallisakka on sivutuote, joka ensin selkeytetään ja johdetaan veden poistoon esim. rumpusuodattimelle tai painesuodattimelle, minkä jälkeen se toimitetaan hyödyntäjälle.

Sakkojen ja sivutuotteiden jatkokäyttö on alustavasti suunniteltu eri kemikaalitoimijoiden kanssa niin, että tuotettua magnesiumsulfaattia voitaisiin käyttää edelleen puunjalostusteollisuudessa, kalsiumkloridia maantiesuolauksessa tai pölynsidonnassa, rauta/alumiinisakkaa liuotuksen jälkeen saostuskemikaalina esim. jäteveden puhdistuksessa ja metallisakka toimitetaan jatkokäyttöön metallien jalostukseen.

Kemikaalien varastointikapasiteetti määräytyy kuljetusmäärän sekä kulutuksen mukaan vähintään useamman päivän varastoksi taulukon 2 varastointikapasiteetin mukaan. Taulukossa annettu tiheys on annettu aineelle mainitussa kuljetus- tai varastointiväkevyydessä. Hapelle ja otsonille varastointia ei ole listattu, sillä ne valmistetaan tarpeen mukaan.

Kemikaali	Väkevyy-%	Tiheys ¹² , g/cm ³ (20 °C)	Kulutus (minimi), t/kk m3/kk	Kulutus (normi), t/kk m3/kk	Kulutus (maksimi), t/kk m3/kk	Varastointi t/m ³
MgCl ₂ ·6H ₂ O	100 % (kiinteä)	0,65...0,8	140 200	165 235	220 310	50 t 80 m ³
Mg(OH) ₂	50 %	1,35...1,62	180 120	210 140	280 185	160 t 100 m ³
Ca(OH) ₂	100 %	0,45	100 230	120 270	160 350	50 t 100 m ³
HCl	33 %	1,16	150 130	175 150	240 200	60 t 50 m ³
H ₂ SO ₄	93 %	1,84	250 130	280 150	380 210	100 t 50 m ³
Sivutuotteet	Pitoisuus	Tiheys	Tuotanto (minimi) t/kk m3/kk	Tuotanto (normi), t/kk m3/kk	Tuotanto (maks), t/kk m3/kk	Varastointi
MgSO ₄ -liuos	20 p-%	1,20...1,28	2820 2300	3 220 2 620	4 300 3 500	620 t 500 m ³
CaCl ₂ -liuos	32 p-%	1,3	825 635	950 730	1300 970	270 t 200 m ³
Fe/Al-liuos	6 p-%	1,3...1,4	775 580	890 670	1200 900	400 t 300 m ³
Zn-Metallisakka	40 p-%	1,3...1,6	115 75	130 90	175 120	70 t 50 m ³

Taulukko 2. Käsiteltävien vesien määrä (m3/kk) yhteensä kaivoksen toiminnan loputtua v. 2023 alkaen, pumppuvoimalan rakentamisen aikana 2023-2025 ja pumppuvoimalan käytön aikana 2026 eteenpäin.

7.3 Logistinen kokonaistarkastelu

Magnesiumsulfaatti, Magnesiumsulfaattia syntyy magnesiumsulfaatin väkevöintiprosessissa. Prosessin vaiheet ovat nanosuodatus, käänteisosmoosisuodatus sekä korkeapaine käänteisosmoosi. Magnesiumsulfaattia muodostuu arviolta 38 640 tn/v. Magnesiumsulfaatti väkevöidään 20 % liuokseksi.

Magnesiumsulfaattia käytetään selluteollisuudessa valkaisun apukemikaalina. Magnesiumsulfaattia valmistetaan normaalisti magnesiumoksidista ja rikkihaposta, joten sivutuote vähentää neitseellisten aineiden käyttöä. Magnesiumsulfaattia käytetään prosesseissa ympäri vuoden. Sitä säilötään alueella enintään yhden viikon tuotannon verran. Lisäksi asiakkaalla on mahdollisuus varastoida sitä.

Laboratorio- ja pilot-kokeiden perusteella vedenpuhdistusprosessissa syntyvän magnesiumsulfaatin epäpuhtauksia ovat Ca, Fe, Ni, Cu, Cr, Mn ja Cl, mutta niiden pitoisuudet ovat huomattavasti pienemmät kuin asiakkaan laatuvaatimukset

	Lopputuotteen laatu
Liuoksen ulkonäkö	Läpinäkyvä kirkas liuos
MgSO ₄ -pitoisuus	>200...260 g/l
Ca-pitoisuus	200...350 ppm
Fe -pitoisuus	10 ppm
Ni-pitoisuus	1 ppm
Cu-pitoisuus	1 ppm
Cr-pitoisuus	1 ppm
Mn-pitoisuus	20 ppm
Cl-pitoisuus	50 ppm

Kalsiumkloridi, syntyy kahdessa vaiheessa; sitä muodostuu, kun loput metallit poistetaan ioninvaihdon avulla, sekä kun vedestä poistetaan magnesium kalkilla. Näiden jälkeen kalsiumkloridi väkevöidään käänteisosmoosin avulla. Sitä muodostuu arviolta 11 400 tn/v. Kalsiumkloridi väkevöidään 20 % liuokseksi.

	Lopputuotteen laatu
Liuoksen ulkonäkö	Läpinäkyvä kirkas liuos
CaCl ₂ -pitoisuus	30...32 %

Kalsiumkloridista valmistetaan maantiesuolaa talvella jään estoon ja kesällä pölyn sidontaan. Kalsiumkloridia valmistetaan kalsiumkarbonaatista ja suolahapoista, joten sakan hyödyntäminen vähentää neitseellisten aineiden käyttöä. Liuosta voidaan varastoida Pyhäsalmeella 7-10 vrk ja lisäksi asiakkaalla on lupa varastoida liuosta. Kalsiumkloridin laatuvaatimuksena on läpinäkyvä kirkas liuos, jonka kalsiumkloridin pitoisuus on yli 25 %. Pilot-kokeen ja esiselvityksen laskennan mukaan sivutuotteen kalsiumkloridipitoisuus on yli 30 %.

Metallisakka. Toisessa saostusvaiheessa saostetaan kupari, sinkki, mangaani ja muut metallit (mm. Ni, Co, Cd), kun käsiteltävän veden pH:ta nostetaan edelleen. Myös ioninvaihtoprosessista tuleva sakka yhdistetään tähän. Sakkaa muodostuu arviolta 1 560 tn/v. Metallisakka kuivataan ennen toimittamista jatkokäyttöön.

	Ainesosat	Lopputuotteen laatu (pitoisuus) (g/kg)
Metallisakka	Zn	45...55 %
	Ca(OH) ₂	< 1 %

Metallisakasta jalostetaan sinkkiä ympäri vuoden (pois lukien seisakit). Sinkki-jalosteen normaali raaka-aine on kaivoksesta louhittu malmi, joten sakan käyttö jalostuksessa vähentää neitseellisen

raaka-aineen käyttöä (tosin määrä on hyvin vähäistä). Sakkaa voidaan varastoida Pyhäsalmeella 7-10 vrk tuotantomäärä.

Metallisakan sinkkipitoisuus on laboratoriotestien, pilot-kokeiden sekä laskennan perusteella 45-55 %, jolloin se täyttää asiakkaan vaatimukset (Zn-pitoisuus >45 %). Metallisakka menettää kaupallista arvoaan, kun epäpuhtauksien pitoisuudet kasvavat, mutta nämä epäpuhtaudet eivät estä tuotteen vastaanottamista.

Rauta-alumiiniliuos, syntyy prosessin alkuvaiheessa, kun vedestä saostetaan magnesiumhydroksidilla rauta, alumiini sekä lisäksi arseeni, kupari, kromi, silikaatit ja uraani. Sakka liuotetaan rikkihapolla, jotta saadaan 6-p % liuosta. Liuosta syntyy noin 10 680 tn/v.

	Ainesosat	Lopputuotteen laatu (pitoisuus) (g/kg)
Rauta-alumiinisulfaattiliuos	Fe+Al	>6.0 %

Rauta-alumiinisulfaattiseosta käytetään vedenkäsittelykemikaalina. Normaalisti tuotetta valmistetaan magnetiitista ja alumiinikemikaalista, joten tuotteen käyttö vähentää neitseellisen raaka-aineen käyttöä. Tuotetta käytetään ympäri vuoden ja sen menekki on jatkuvaa ja tasaista. Pyhäsalmeella tuotetta varastoidaan 7-10 vuorokauden tuotannolle.

Laboratoriokokeiden perusteella tuotteen laatuvaatimukset vastaavat standardia "Chemicals used for treatment of water intended for human consumption – Aluminium iron (III) sulfate" (EN 887:2016). Sivutuote täyttää tyypin 2 vaatimukset, joka tarkoittaa sitä, että kemikaali on pitoisuuksien osalta riittävä juomaveden käsittelyyn ja sitä kautta myös jäteveden käsittelyyn, koska vastaavia kemikaaleja käytetään myös siellä.

7.4 Investoinnin taloudelliset näkökohdat

Osa PFS-esiselvityksessä saaduista taloudellisten näkökohtien tulosaineistoista ei julkaistu PSAVI:n Vesi- ja ympäristölupien tietopalvelussa, koska ne ovat viranomaisten toiminnan julkisuudesta annetun lain 621/1999 (julkisuuslaki) nojalla salassa pidettäviä asiakirjoja tai sisältävät henkilötietoja. Näihin aineistoihin kuuluu mm. vesienkäsittelyn tarkat laboratorio ja pilot-tulokset, lopputuotetiedot sekä hyödyntäjäyritysten kanssa solmitut LOI sopimukset. Näin ollen niitä ei voida julkaista myöskään hankkeen loppuraportissa.

Vesienkäsittelylaitoksen kehittämisen tavoitteena on löytää kustannustehokas menetelmä Pyhäsalmen kaivoksen kuivanapitovesien käsittelyyn kaivostoiminnan loppumisen jälkeen. Esiselvityksessä on selvitetty vaihtoehtoja ratkaisua tai ratkaisuja nykyiselle vedenkäsittelylle (kalkkineutralointi), ottaen huomioon vedestä mahdollisesti talteen otettavat aineet ja yhdisteet. Raaka-aineiden talteenotolla voitaisiin vähentää kaivokselle loppusijoitettavan sakan määrää ja, optimaalisesti, saada taloudellista hyötyä talteen otettuja tuotteita eteenpäin myymällä tai hyödyntämällä kaivoksen alueella.

Tällä hetkellä kaivosvesi (kaivoksen kuivanapitovesi) pumpataan kaivoksen pohjalta ylätasolle ja lopulta pinnalle. Ennen pumppausta vesi laskeutetaan kaivoksessa eri tasoilla. Maan pinnalla vesi voidaan ohjata lämmönvaihtimien kautta lämmön talteenotoksi. Vesi virtaa ojaan pitkin kalkitusasemalle,

jossa siihen annostellaan kalkkimaitoa ja pumpataan rikastushiekka-altaaseen. Veden tavoite-pH rikastushiekka-altaassa D on hieman yli 10, jotta kaikki halutut metallit saostuvat (hydroksidisaostus). Kaikki vesi kaivosalueelta (kaivosveden lisäksi prosessivesi, suodosvesi, ja teollisuusalueen hulevesi) pumpataan altaaseen D. Saostettu ja laskeutettu vesi siirretään varastoaltaaseen C, josta se pumpataan Pyhäjärveen. Jos purettavan veden pH on alle 5.5, kalkkimaitoa annostellaan lisää altaaseen C.

Tilaa rejektijakeiden ja vedenkäsittelyn sakkojen sijoittamiselle ei ole merkittävästi jäljellä kaivosalueella. Uusia altaita ei myöskään voi rakentaa tai ole tarkoitus rakentaa. Vedenkäsittelyn toteuttamiselle on tilaa erityisesti maan pinnalla, ja mahdollisesti maan alla tasolla 645 m. Vesianalyseista päätellen kipsin saostumisen riski on korkea. Kipsiä saostuukin sitä pumpattaessa, aiheuttaen ongelmia erityisesti putkistossa, pumpuissa ja lämmönvaihtimilla. (Haanela, 2013) mukaan myös rautaa saostuisi samoissa tilanteissa. Haanelan diplomityössä esitetyn arvion mukaan pelkästään saostumisen aiheuttamat huoltokustannukset ovat noin 600 000 € vuodessa.

Kalsiumin ja raudan poistaminen jo kaivoksessa voi olla saostumisriskien takia järkevää. Diplomityössä arvioitiin, että biologinen käsittely (raudan hapettaminen ja saostaminen schwertmanniittina) olisi kustannuksiltaan alle raudan saostumisen aiheuttamien ylläpitokulujen, jos käsittely toteutetaan vain yhdellä kaivoksen louhintatasolla.

Käytettäessä kalkkia saostamisessa, merkittäviä määriä kipsiä saostuu vedestä. Liukoisuusraja kipsisaostuksessa on arviolta sulfaatin osalta noin 1600 mg/L ja kalsiumin osalta noin 400 mg/L (huomioimatta tiettyjä muita ioneja, jotka nostavat liukoisuusrajaa). Saostuvan (kuivapaino) kipsin määrä on arviolta noin 10 kg kuutiolle vettä, kun kaivosveden sulfaattipitoisuutena käytetään keskiarvoista pitoisuutta noin 8000 mg/L. Kaivosveden määrästä 700 000 m³/a laskettuna, syntyvän kipsisakan määrä olisi keskimäärin noin 40 000 kg/pvä, jos kipsin vesipitoisuus on 50 %. Tämä on tilavuutena noin 24 m³ sakkaa päivässä.

Esiselvityksessä on tehty oletuksia taloudellisiin näkökulmiin ja investoinnin kustannusarviota varten. Vedenkäsittelyn ja sen laitteiston käyttöasteena on käytetty 90 %. Tällöin 700 000 m³/a kuivatusveden määrällä arvioiden käsiteltävä määrä tunnissa on keskimäärin 89 m³/h. Epäpuhtauksien poistotehokkuus on arvioitu tähänastisten laboratoriokokeiden perusteella. Investointikustannuksiin on pyritty arvioimaan kokonaisinvestoinnin suuruusluokka (oheislaitteet, pumpput, putkistot, sähköautomaatio, instrumentointi, suunnittelu, toteutus; pois lukien rakennukset). Energiankulutus käsittää pumppauksen maan pinnalla. Käyttökustanne sisältää kalvojen ja hartsien vaihtohinnan, energian ja kemikaalit – operointi- ja huoltokustannukset (henkilöstökulut) eivät sisälly.

Hydroksidisaostus vaiheen investoinnit sisältävät sekoittimet ja säiliöt 3-vaiheiseen saostukseen, lipeänannostelun. Sakan erotus laskeuttamalla tai lamellilla ja veden poisto suotonauhapuristimilla. Käyttökustanne muodostuu magnesiumhydroksidista, lipeästä ja sähköenergiasta.

Sulfidisaostus on samantyyppinen prosessi kuin hydroksidisaostus. Investoinnit sisältävät sekoittimet ja säiliöt 2-vaiheiseen saostukseen, lipeänannostelun. Sakan erotus laskeuttamalla tai sykloneilla ja veden poisto suotonauhapuristimilla. Käyttökustanne muodostuu natriumsulfidista, lipeästä ja sähköenergiasta.

Ioninvaihto on suunniteltu kaksivaiheisena, jossa 1. vaiheessa poistetaan loput metalleista: Sr, Zn (15%), Cd (85 %), Co (85 %), Ni (70 %). Elvytyksessä rikkihappo. Toisessa vaiheessa poistetaan kalsium. Elvytys tulee tehdä MgCl₂, NaCl tai HCl, koska käytettäessä rikkihappoa tulisi kipsiä. Ioninvaihdon laitteistoinvestointi sisältää ioninvaihtosäiliöt, hartsit, elvytyslaitteistot ja kemikaalisäiliöt. Ei sisällä mahdollista elvytysliuosten puhdistusta ja kierrätystä. Käyttökustanne muodostuu rikkihaposta, hartsien vaihdosta, ja sähköenergiasta.

Kalvotekniikkaan liittyvä investointi sisältää suodatuslaitteistot paineputkineen, nanosuodatuskalvot, pesulaitteistot, (paineenkorotus)pumput. Käyttökustanne muodostuu kemikaaleista (pesu), kalvojen vaihdosta ja sähköenergiasta. Kalsium, ja todennäköisesti silikaatti ja osittain rauta, tulee poistaa ennen kalvosuodatusta saostumisriskien vuoksi. Lopputuotteena saadaan puhdasta vettä esim. prosessivedeksi ja konsentroitua magnesiumsulfaattia ns. rejektijakeeseen. Konsentrintiasteeksi tarvitaan noin 88 - 92 %, jotta saadaan riittävän vahvaa magnesiumsulfaattiliuosta (20-25 m-%).

Optiona on selvitetty myös stabilointiprosessia, joka vaatii muun muassa pumppuja, siirtokuljettimia, siiloja/säiliöitä ja sekoittimia. Käyttökustanne muodostuu sideaineen (sementti) ja kiinteän sivujakeen (hiekkä) hankinnasta sekä energiankulutuksesta (materiaalien osuus on noin 60 – 70 %). Kustannukset perustuvat tarjouksiin ja Teollisuuden Veden kokemuksiin vastaavista prosesseista. Sementin tarve arviolta 140 000 t/a, sivujakeen tarve 840 000 t/a. Stabiloitua materiaalia muodostuisi noin 3000 t eli 1100 m3 päivässä.

Mahdollisesti tarvittavan haihdutuksen käyttökustannukset ovat vahvasti riippuvaisia saatavilla olevan sähköenergian hinnasta, haihdutuksen toteutuksesta ja haihdutusprosessiin johdettavan vesijakeen laadusta. Oulu Water Alliancen (OWA) tekemän alustavan laskelman perusteella haihdutuksen kokonaisenergian tarve falling film -tyyppisellä haihduttimella olisi teoreettisesti 15–20 kWh/m3. Kokeessa käytetyn ei-optimoidun haihduttimen energiantarve oli puolestaan 270 kWh/m3. OWA:n arvion mukaan kuivanapitovesi voidaan hyvin haihduttaa niin, että haihdutusjäännöksen tilavuus on 3 % alkupeäisestä vesitilavuudesta. (Oulu Water Alliance Oy, 2015).

Vesienkäsittelylaitos sijoittuu nykyiselle kaivospiirin alueelle kaivosalueen eteläosaan. Käsittelyt vedet johdetaan viemäriässä Pyhäjärven Energia ja Vesi Oy:n jätevedenpuhdistamolta lähtevään purkupuutkeen. Jätevedenpuhdistamolta lähtevä purkupuutke kulkee pohjoiseen Kaakkurinnevalle sijaitsevalle pintavalutuskentälle, josta vedet johdetaan purkuojaan ja edelleen Pyhäjokeen. Purku kohta vesistöön on sama kuin kaupungin yhdyskuntajätevesillä.

Vesienkäsittelylaitoksessa käsitellään kaivoksen kuivanapitovesiä sekä pumppuvoimalan rakentamisen ja käytön aikaisia ylijäämävesiä. Vesien käsittely jakaantuu useampaan prosessivaiheeseen. Ensimmäinen vaihe on saostusvaihe, missä erotetaan saostamalla erotettavissa olevat yhdisteet. Saostusvaiheen jälkeen vesi suodatetaan kiintoainevapaaksi, minkä jälkeen poistetaan ioninvaihdolla jäännösmetallit ja kalsiumkovuus. Käsittelyn loppuvaiheena on magnesiumsulfaatin väkevöinti ja muiden lopputuotteiden suodatus sekä tarvittaessa pesu, väkevöinti tai muu käsittely jatkokäytön varmistamiseksi.

Vesien laitosmaisessa käsittelyssä syntyy erilaisia sakkoja ja liuoksia, jotka ovat ulkopuolelle myytäviä tuotteita. Rauta-alumiiniliuosta, sinkkimetallisakkaa, kalsiumkloridia ja magnesiumsulfaattia haetaan tällä hakemuksella jätelain mukaiseksi sivutuotteeksi. Vesienkäsittelyssä ei muodostu jätteitä, joita ei voitaisi hyödyntää prosessissa tai toimittaa ulkopuolelle hyödynnettäväksi. Pyhäsalmi Mine Oy käsittelee kaivoksen kuivanapitovedet vielä vuosien 2023–2024 aikana. Vuodesta 2025 eteenpäin vesien käsittely tapahtuu uudessa teollisen mittakaavan vesienkäsittelylaitoksessa. Käsiteltävät vedet pumpataan maan pinnalle nykyisiä kaivoksen putkilinjoja pitkin. Käsiteltyjen vesien purku vesistöön tapahtuu rakennettavia putkilinjoja pitkin.

Vedenkäsittelylaitoksen sijaintipaikka ja alue on merkitty Kuvaan 3 sinisellä noin 6 000 m2 alueella kaivosalueen eteläpuolella. Kaivosvesien yläaltaiden ja ns. tuuletusaltaiden nurkka merkitty sinisellä ympyrällä ja keltaisella ympyrällä pumppuvoimalan ylijäämävesien keräilypaikka nykyisen raakku-louhoksen alueella.

Vuoden 2025 aikana varaudutaan kuivanapitovesien käsittelyyn sekä kaivoksen nykyisellä järjestelmällä että uudella vedenkäsittelyjärjestelmällä. Ensimmäiselle ja mahdollisesti toiselle toimintavuodelle 2026 on suunniteltu, että kuivanapitovedet voidaan käsitellä samassa prosessissa

pumppuvoimalan rakentamisen aikana muodostuvien poravesien sekä pohjavesien kanssa. Ne sekoittuvat kaivoksen pohjatilassa ja pumpataan maanpinnalle yhteistä putkilinjaa pitkin.



Kuva 3. Kaivosvesien keräilypaikat

Kokonaisvesimäärää pienentää pumppuvoimalan rakentamisen aikana se, että raakkulouhoksen ylimääräiset vedet johdetaan käsiteltäväksi kaivoksen uudelle hule- ja suotovesipuhdistamolle. Vesistöön johdettavan veden kokonaismäärä on 70-110 m³/h. Käsitellyn veden laatu tulee olemaan alustavasti seuraava:

	Haettava päästöraja
Sulfaatti, SO ₄	400 mg/l
Kloridi, Cl	500 mg/l
pH	6...9
Natrium, Na, kokonais	450 mg/l
Kadmium, Cd, kokonais	0,005 mg/l
Kupari, Cu, kokonais	0,01 mg/l
Sinkki, Zn, kokonais	0,01 mg/l
Nikkeli, Ni, kokonais	0,01 mg/l
Lyijy, Pb, kokonais	0,005 mg/l
Elohopea, Hg, kokonais	0,0001 mg/l

Laiteinvestoinnin alustava arvio esiselvitysten mukaan olisi seuraava (ei sisällä maarakentamisen tai rakennuksen kustannuksia):

Yhteensä laiteinvestointi, €:	7,230,200
Mittaukset	250,000
Putkisto ja venttiilit	500,000
Tukirakenteet ja tasot, teräs	150,000
Sähköistys, kaapelointi	350,000
Automaatio- ja taajuusmuuttajat	500,000
Laiteasennukset, laitekoonpano, kuljetukset	350,000
Projektointi	400,000
Käyttöönotto	260,000
Summa yhteensä	9,990,200

7.5 Investoinnin ympäristönäkökohdat

Pyhäsalmen pumppuvoimalahanke sekä kaivoksen yllä- ja kuivanapito nähdään kuuluvaksi vihreän siirtymän hankkeeksi ympäristölupahakemuksen DNSH-arvioinnin (Do No Significant Harm) perusteella. Investoinnin ympäristönäkökantojen tulosaineistot on huomioitu laajasti ympäristölupa-aineistoissa PSAVI/7626/2022 (*Veden ottaminen pumppuvoimalaitoksen käyttöä varten Pyhäjärvestä*) ja PSAVI/8734/2021 (*Toiminnan lopettaneen kaivoksen maanalaisten tilojen kuivanapito sekä kuivanapitovesien käsittely ja johtaminen*). Näin olleen kohdan tulosaineistoja ei ole ollut tarkoituksenmukaista kopioida toiseen kertaan tähän loppuraporttiin sellaisenaan.

Yleisesti voidaan todeta ympäristönäkökohdista tarkastellen, että kaivosvedet pumpataan maanpinnalle hyödyntäen kaivoksen nykyisiä pumppaamoita, altaita ja vesienjohtamiseen tarkoitettuja putkistoja. Nykyisin kaivoksesta pumpatut vedet on tähän saakka johdettu oja pitkin rikastushiekka-altaille, mutta jatkossa vedet johdetaan putkessa viimeiseltä pumppaamolta vesienkäsittelylaitokseen. Vesien viivytykseen ja käsittelyyn tulevan veden virtaaman sääntelyyn käytetään kaivoksen nykyistä allastilavuutta.

Normaalitilanteessa vesi pumpataan kaivoksen pohjalta ensin tason +630 päiväaltaalle. Päiväaltaan koko on 2470 m³ ja sen avulla voidaan säädellä päivätasolla käsittelyyn tulevaa veden virtaamaa. Allas pyritään pitämään käsittelyn aikana melko tyhjänä, jotta muutamien tuntien käsittelyseisokit ovat mahdollisia. Päiväaltaalta vesi pumpataan maan pinnalle tuuletusasemalle, missä on A- ja B-altaat, tilavuudeltaan yhteensä 700 m³ (viivytyskapasiteetti noin 6-8 h), joista vesi johdetaan edelleen käsittelyyn uudelle vedenkäsittelylaitokselle.

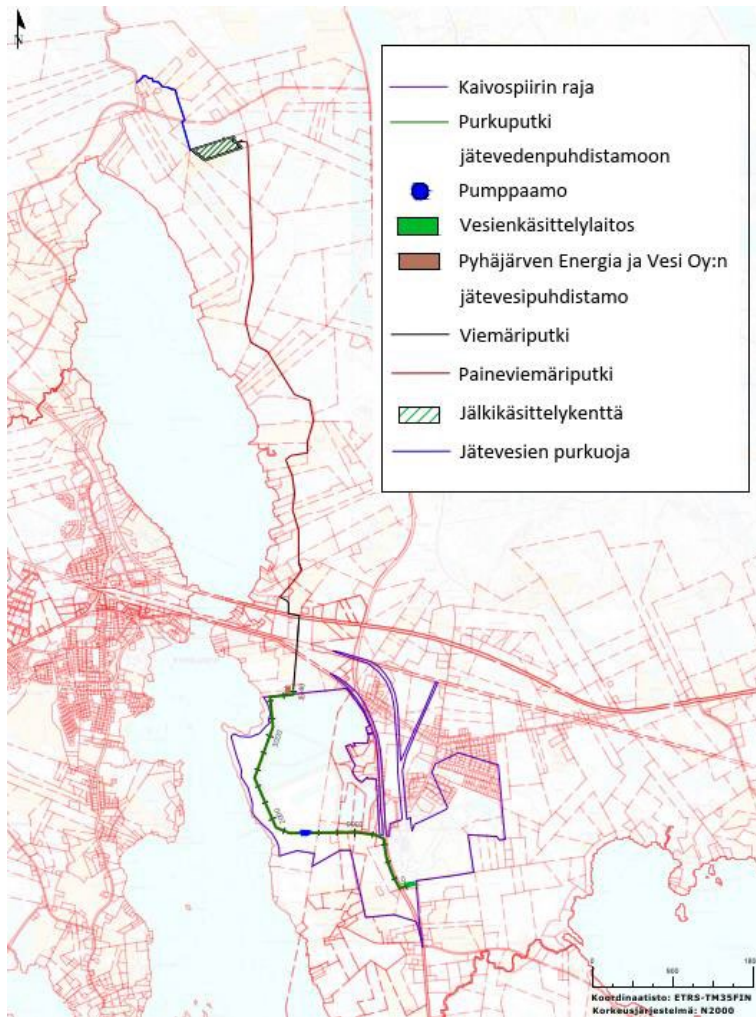
Ympäristönäkökulmien osalta toimijat ovat varautuneet tilanteisiin, joissa käsittelylaitoksen kautta vettä ei voida käsitellä esimerkiksi vedenkäsittelylaitteiston huoltotarpeiden mahdollisten kemikaalien ja sivutuotteiden toimituskatkoksien takia sekä tilanteisiin, joissa puhdistetun veden purku ei onnistu kevään tulvahuippujen tai syksyn suurten virtaamien aikaan pintavalutuskentän kautta Pyhäjokeen. Olemassa olevien selkeytysaltaisen lisäksi vesiä voidaan ohjata kaivosperien tasoille +1275, +930, +530 sekä +270, joissa on arvioituna yhteensä noin 16 200 m³ tilavuus vesien väliaikaista varastointia varten. Varastoitava kokonaistilavuus on yhteensä 24 000 m³ olemassa olevien selkeytysaltaiden kanssa, mikä vastaa 14 vuorokauden kuivanapitopumppaamisen tarvetta keskivirtaamilla (noin 70 m³/h) ja noin 9 vuorokauden kuivanapitopumppaamisen tarvetta huippuvirtaamien aikana (noin 110 m³/h).

Käsitellyt vedet pumpataan uudelta vesienkäsittelylaitokselta purkuputkeen, joka johtaa Pyhäjärven Vesi ja Energia Oy:n jätevedenpuhdistamon läheisyyteen. Purkuputki alittaa Keiteleentien uuden vesienkäsittelylaitoksen kohdalla ja kulkee ensin sen varressa pohjoiseen. Sen jälkeen purkuputki kulkee nykyisten rikastushiekka-altaiden länsipuolelta, jolloin purkuputki sijoittuu kokonaisuudessaan kaivospiiriin alueelle.

Jätevedenpuhdistamon kohdalla uudelta vesienkäsittelylaitokselta tuleva purkuputki (250/200 PE-PN10, paineviemäri) liitetään jätevedenpuhdistamolta lähtevään purkuputkeen (315 PE-PN10, paineviemäri). Putkien liitos tapahtuu nykyiseen paineviemäriin asennettavalla Y-haaralla. Uuteen putkeen tulee sulku- ja takaiskuventtiili, jolloin takaisinvirtaus uuteen purkuputkeen estetään. Liittymisen jälkeen kaupungin purkuputkessa kulkevat sekä jätevedenpuhdistamon käsitellyt vedet että uuden vesienkäsittelylaitoksen käsitellyt vedet. Uuden vesienkäsittelylaitoksen vesiä ei johdeta Pyhäjärven Energia ja Vesi Oy:n jätevedenpuhdistusprosessiin.

Uusi purkuputki pyritään asentamaan roudattomaan asennussyvyyyteen, joka vaihtelee 2-3,7 m välillä riippuen pohjamaasta. Pohjamaa on alueen maaperäkartan mukaan pitkälti hienoaainesmoreenia ja paikoin pehmeikköjä. Joissakin kohdissa putkelle tarvitaan routasuojaa, mutta putken lopullinen asennussyvyys esitetään tarkemmin rakennussuunnitelmavaiheessa. Lisäksi putkilinjalle tarvitaan yksi

pumppaamo, joka sijoittuu nykyisten rikastushiekka-altaiden eteläpuolelle. Purkuputken kokonaispituus on alustavan putkilinjauksen perusteella noin 3,8 km. Alla olevassa kuvassa 4 on esitetty uuden vesienkäsittelylaitoksen purkuputken suunniteltu linjaus



Kuva 4. Purkuputken linjaus uudelta vesienkäsittelylaitokselta Pyhäjärven Energia ja Vesi Oy:n jätevedenpuhdistamolle. (Envineer Oy)

Pyhäjärven Energia ja Vesi Oy:n purkuputkessa vedet johdetaan pohjoiseen, Kaakkurinnevalla sijaitsevalle pintavalutuskentälle. Pintavalutuskenttä on 6 ha kokoinen. Kentän kaltevuus on 4,5 ‰ ja se on mitoitettu kuormitukselle 600 m³/ha/d. Purkuputkessa johdettu vesi puretaan pintavalutuskentälle tasaisesti jako-ojan ja kampaajien kautta. Kentän ympärillä kulkevat niskaojat, jotka estävät ulkopuolisten vesien pääsyn pintavalutuskentälle. Jälkikäsittelykentän loppupäässä vesi kerätään ojaan, josta vedet puretaan Pyhäjokeen. Purkuojaan on asennettu mittapato, jonka avulla voidaan seurata Pyhäjokeen johdettavan veden määrää.

Uudelta vesienkäsittelylaitokselta sen toiminta-aikana vesistöön johdettavien vesien määrä vaihtelee samassa suhteessa sadannan mukaan. Uusi vesienkäsittelylaitos on mitoitettu maksimivirtaamalle 110 m³/h. Minimissään uuden vesienkäsittelylaitoksen virtaama on noin 72 m³/h ja normaalivirtaama noin 83 m³/h. Pyhäjärven Energia ja Vesi Oy:n jätevedenpuhdistamon mitoitusvesimäärä on maksimissaan 2500 m³/d. Pyhäjoen luusuan virtaama vaihtelee normaalitilanteessa noin 280 000–990 000 m³/d välillä.

8 TULOSAINEISTON SÄILYTTÄMINEN JA ARKISTOINTI

Hanke päättyi hankesuunnitelman mukaisesti ja rahoituspäätöksen reunaehdoin 30.9.2023. Kaikki hankkeen tulokset ja indikaattorit saavutettiin.

Hankkeen tulosaaineisto on toimitettu hankkeen rahoittajalle maksatushakemuksen ja loppuraportin muodossa. Tulosaaineistoja säilytetään hankkeen hallinnoijan toimesta talousosastomme arkistossa.

Yhteyshenkilönä tulosaaineistolle toimii Minna Pikkarainen minna.m.pikkarainen@pyhajarvi.fi

9 HANKKEEN NÄKYVYYS

Hankkeen kotisivut <https://callio.info/fi/natural-resources-business/jatteeton-kaivos/>

Hankkeen esite https://callio.info/2017/wp-content/uploads/J%C3%A4tteen%C3%B6n-kaivos_fin-V4.pdf

10 LÄHDELUETTELO

Haanela, A. (2013). Potential Benefits of Metal Recovery from Underground Water Using Biomineralization of Schwertmannite in Pyhäsalmi Mine. University of Oulu: Department of Process and Environmental Engineering.

Oulu Water Alliance Oy. (2015). Pyhäsalmi Mine Oy: Haihdutusmenetelmän soveltaminen kaivoksen kuivanapitovesien käsittelyyn.