

2023

CALLIO JÄTTEETÖN KAIVOSPILOTTI - LOPPURAPORTTI



Sisällysluettelo

1	Hankkeen tiivistelmä	2
2	HANKE YLEISESTI.....	3
2.1	Hankkeen tarve ja tavoite.....	5
2.2	Hankeorganisaatio.....	6
2.3	Hankkeen yhteys Pyhäjärven Callion strategioihin	6
3	HANKKEEN TYÖPAKETIT JA TAVOITTEET	7
4	KUSTANNUKSET, BUDJETIN TOTEUTUMINEN JA RAHOITUS.....	8
5	HANKKEEN SISÄLLÖN TOTEUTUMINEN JA SEURANTATIEDOT	9
6	HANKKEEN KESKEISET TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET	9
6.1	Koelaitteiston konseptisuunnitelma.....	9
6.2	Pilotin rakentamisen kustannukset, työvaiheet ja aikataulusuunnitelma	11
6.3	Pilotin koesuunnitelma ja saadut tulokset	12
6.4	Pre-feasibility study (PFS) luonnos teollisen mittakaavan laitokselle	12
6.5	Suunnitelma pilotin jatkohyödyntämisestä ja IPR-sopimuskokonaisuuksista	14
7	TULOSAINEISTON SÄILYTTÄMINEN JA ARKISTOINTI	16
8	HANKKEEN NÄKYVYYS	16

1 Hankkeen tiivistelmä

Jätteen kaivospilotti

Pyhäsalmen kaivoksen kuivanapitovesien käsittelyllä varmistetaan ympäristölupaehtojen toteutuminen kaivostoiminnan päättymisen jälkeen vuonna 2022. 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 vesienkäsittelyssä on teollisen mittakaavan jätteen ja jatkuva puhdistusprosessi, jossa syntyvät sivuvirrat kierrätetään teollisten yritysten hyötykäyttöön, lopputuloksena lähes puhdasta vettä. Pohjois-Pohjanmaan liiton rahoituksella rahoitettavan pilottihankkeen avulla kuivanapitovesien puhdistustarve, menetelmien vaikuttavuus ja tarvittavan prosessin optimointi, yhdessä mukana olevien teollisten yrityskumppanien kanssa, todennetaan pienemmässä mittakaavassa ennen teollisen mittakaavan investointeja. Pilotoinnin ja kehitystyön yhteydessä syntyvät ideat ja innovaatiot on mahdollista kaupallistaa hyödynnettäväksi laajalti toisissa kohteissa sekä Suomessa, että ulkomailla.

Waste-free mining pilot

The treatment of the Pyhäsalmen mine groundwater ensures that the environmental permit conditions are met after the end of mining operations during 2022. 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 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 a pilot 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 smaller scale before the industrial-scale investment. New ideas and innovations generated in connection with this piloting and development work can be commercialized for extensive use at other sites both in Finland and abroad.

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 Pyhäsalmen

www.callio.info

Toteuttaja:

Pyhäjärven Callio (Pyhäsalmen Kvanttikiinteistöt Oy)

Hankkeen kustannusarvio:

170 000 €, tuki 100 000 €

Toteutusaika:

1.3.2022 – 31.12.2022

Rahoitus:

Alueiden kestävä kasvun ja elinvoiman (AKKE) -rahoitus

Rahoituspäätökset:

24.2.2022 § 4/2022 ja 29.3.2022 § 22/2022

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, sulphide 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 and piloting 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. 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 built before 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 (the bottom DTG container in Kuva 2), 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. 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 based on the results obtained from the filtration phases during the remaining pilot weeks in accordance with the test plan.

The results obtained during the pilot 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 in the plan.

3 HANKE YLEISESTI

Suomen olosuhteissa käytännössä jokaisen kaivoksen toimintaan liittyy vesienhallinta. Vettä esiintyy kaivosalueilla luontaisesti pohjavetenä, pintavetenä sekä sääolosuhteitten takia sadevetenä tai lumisateen. Lisäksi monessa kaivoksessa ja useimmilla rikastamoilla käytetään prosessivettä. Kaivosten vesitase ei käytännössä koskaan ole täysin eristetty ympäristöstä: esimerkiksi veden joutumista koskeuksiin 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 pilottoida 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 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. Tavoitetilä tulevaisuuden vesienkäsittelyssä on teollisen mittakaavan jätteen ja jatkuva puhdistusprosessi, jossa syntyvät sivuvirrat kierrätetään teollisten yritysten hyötykäyttöön, lopputuloksena lähes puhdasta vettä.

3.1 Hankkeen tarve ja tavoite

Pohjois-Pohjanmaan liiton rahoituksella rahoitetun pilottihankkeen avulla todennettiin kuivanapitovesien puhdistustarve, menetelmien vaikuttavuus ja tarvittavan prosessin optimointi, yhdessä mukana

olevien teollisten yrityskumppanien kanssa pienemmässä mittakaavassa ennen teollisen mittakaavan investointeja.

Pyhäsalmen kaivoksen kuivanapitovesien käsittelyllä ja haettavalla pilottihankkeella tavoitteena oli:

1. ensisijaisesti varmistaa Pyhäjärven Callion ympäristölupaehdojen toteutuminen kaivostoiminnan päättymisen jälkeen.
2. pilotoida käytännössä jätteen ja jatkuva happamien metallipitoisten pohjavesien puhdistusprosessi, josta syntyvät sivuvirrat kierrätetään teollisten yritysten hyötykäyttöön, lopputuloksena lähes puhdasta vettä.
3. rakentaa Pyhäjärven Callion yritysalueelle uusia TKI-osaamisen arvoketjuja.
4. selvittää kehitystyön yhteydessä syntyvien innovaatioiden ja liiketoimintakonseptien kaupallistamisen mahdollisuuksia hyödynnettäväksi laajalti toisissa kohteissa Suomessa sekä ulkomailla.
5. luoda edellytyksiä uusille ilmastonmuutosta hillitseville investoinneille ja alueen luonnonvaroja hyödyntäville innovaatioille Pyhäsalmele, joka pidemmällä aikavälillä synnyttää uusia työpaikkoja ja mahdollisuuksia, sekä
6. mahdollistaa kansallisen ja kansainvälisen vesienkäsittelyn teknologian, tutkimuksen, koulutuksen sekä liiketoiminnan verkottuminen.

3.2 Hankeorganisaatio

Ohjausryhmän kokoonpano:

Pyhäjärven Kaupunki	Henrik Kiviniemi, kaupunginjohtaja, puheenjohtaja
Pyhäsalmen Kvanttikiinteistöt Oy (Callio)	Sakari Nokela, kehitysjohtaja (asiantuntija)
Berner Chemicals Oy	Antti Rinta-Harri, toimitusjohtaja (jäsen)
Voda Nordic Oy	Aija Jantunen, toimitusjohtaja (jäsen)
Teollisuuden Vesi Oy	Maija Vidqvist, liiketoimintajohtaja (jäsen)
Tetra Chemicals Europe Oy	Glen Nyfors, tuotantojohtaja (jäsen)
Pyhäsalmi Mine Oy	Aki Tuikka, general manager (jäsen)

Ohjausryhmän kokouksia hankkeessa oli yhteensä 5 kpl ja ne pidettiin Pyhäsalmelella 23.3.2022, sähköpostikokous 24-26.5.2022, sähköpostikokous 9-12.8.2022, sähköpostikokous 27-31.10.2022 sekä Pyhäsalmelella 13.12.2022.

Projektipäällikkö:

Timo Karsikas

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

kokeiluhankkeessa pilotoitiin Pyhäsalmen kaivoksen kuivanapitovesien puhdistustarve, laboratorio-mittakaavassa testattujen menetelmien vaikuttavuus ja todennetaan tarvittava kokonaisprosessin optimointi pienemmässä mittakaavassa ennen teollisen mittakaavan investointeja.

Hanke yhdisti Pyhäsalmen kaivosympäristön sekä kestävän ja tehokkaan vesienkäsittelyn ”konttikoon” teollisessa mittakaavassa. Haettava hanke liittyi Pyhäjärven kaupungin ERM-toimenpiteisiin, joiden avulla Pyhäjärven kaupunki ja Nivala-Haapajärven seutukunta varautuvat rakennemuutokseen. Kokonaisuus liittyi oleellisesti myös maakuntaohjelman älykkään erikoistumisen strategiaan.

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 ja tiedotus sekä taloudenhallinta

Työpaketti sisälsi hankkeen työn koordinointia ja lisäksi kansallisten (ja mahdollisesti kansainvälisten) yrityskumppanien kanssa verkostoitumista. Työpaketissa järjestettiin ohjausryhmän kokoukset ja toteutettiin hankkeen raportointia rahoittajalle ja viestintää sekä tiedottamista ulkoisille sidosryhmille. Työpaketissa orkestroitiin hankkeen käytännön toteutus koordinoitusti muihin Callion uusiokäytön hankkeisiin ja strategiaan linjauksiin sekä hankkeen rahoituspäätökseen nähden.

TP2 Selvitys- ja kehittämistoimenpiteiden organisoiminen ja toteuttaminen (ostopalvelu)

Työpaketti sisälsi vesienkäsittelyn kehittämistoimenpiteiden organisoimisen ja toteuttamisen sekä käytännön pilotoinnin ja siihen liittyvien toimitasuunnitelmien ja dokumentaation luomisen. Selvitys- ja kehittämistehtävät toteutettiin suurelta osin ulkopuolelta ostettavana asiantuntijapalveluna. Työpaketissa muodostettiin elinkeinoelämän, aluekehittämisen ja yritystoimijoista ekosysteemi, jossa mukana olevat toimijat sitoutuivat laajemman Callion vesienkäsittelyn investointi- ja kehittämishankekokonaisuuden valmisteluun ja toteuttamiseen sekä yhdessä pilotin aikana sovittavan tiekartan mukaisesti pyrkivät luomaan uutta liiketoimintaa ja pidemmällä aikavälillä työpaikkoja Pyhäjärvelle.

Hankkeen rahoitus myönnettiin kertakorvaushankkeena, jonka kustannukset perustuivat hyväksytyssä hakemuksessa olevaan kustannuserittelyyn. Hankkeen tuki maksettiin korvauksena hyväksyttyä tuotosta vastaan. Tuen maksamisen ehtona oli seuraavat tuotokset (esim. raportti):

1. Koelaitteiston konseptisuunnitelma on valmis ja dokumentoitu.
2. Pilotin rakentamisen kustannukset, työvaiheet ja aikataulusuunnitelma on kuvattu ja dokumentoitu.
3. Pilotin koesuunnitelma on valmis ja saadut tulokset dokumentoitu.
4. Pre-feasibility study (PFS) luonnos teollisen mittakaavan laitokselle on dokumentoitu.
5. Pilotin jatkohyödyntämisestä ja IPR-sopimuskokonaisuuksista on selkeä suunnitelma mallinnettu ja dokumentoitu

5 KUSTANNUKSET, BUDJETIN TOTEUTUMINEN JA RAHOITUS

Hankkeen kustannussuunnitelma on esitetty seuraavassa taulukossa:

	2022	Total (€)	Total (%)
Salaries	11 700	11 700	6,9
Purchases of services	37 986	37 986	22,3
Machinery and equipment costs	107 650	107 650	63,3
Travel expenses	5 000	5 000	2,9
Other direct costs	7 664	7 664	4,5
Total	170 000	170 000	100,0

Hankkeen rahoitussuunnitelma on esitetty seuraavassa taulukossa:

	2022	Total (€)	Total (%)
The Council of Oulu Region (AKKE funding)	100 000	100 000	58,9
Private funding (Companies)	40 000	40 000	23,5
Municipal funding/Other public funding	30 000	30 000	17,6
Total funding	170 000	170 000	100,0

Hankkeen kustannus- ja rahoitussuunnitelmat toteutuivat pilotin aikana hankesuunnitelman ja rahoituspäätöksen mukaisesti.

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 5 kpl yrityksiä sekä organisaatioita. Asetetut tavoitteet saavutettiin. Hankkeen aikana valmisteltiin seuraava vaihe, PFS esiselvitysvaihe, josta hakemus jätettiin Pohjois-Pohjanmaan liittoon AKKE - rahoitukseen tammikuussa 2023. 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
Teollisuuden Vesi Oy	työpaketin 2 asiantuntijatoimen toteuttaja
Boliden, Ruotsi	sinkkisakan hyödyntämisen selvittäminen
Pyhäsalmen Kvanttikiinteistöt Oy	hankkeen toteuttaja, jatkohankkeiden valmistelija

Hankkeen toiminnassa mukana olleet muut toimijat:

Pyhjärven Kaupunki	hankkeen ohjausryhmätoiminta, taloushallinto ja rahoittaminen
NIHAK ry	hankkeen ohjausryhmätoiminta ja rahoittaminen

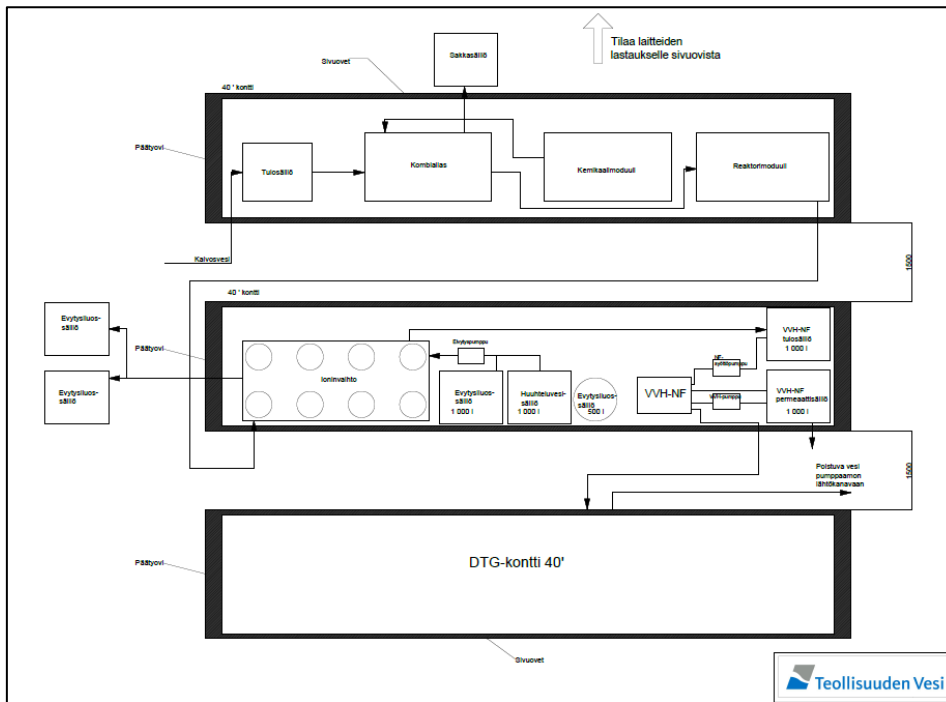
7 HANKKEEN KESKEISET TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET

7.1 Koelaitteiston konseptisuunnitelma

Vedenkäsittelyn pilotointi toteutettiin Pyhäsalmen kaivoksella Teollisuuden Veden olemassa olevalla sekä ennen pilotointivaihetta rakentamalla laitteistolla. Pilot-prosessi koostui kolmesta eri käsittelyvaiheesta ja neljästä eri laitekokonaisuudesta. Ensimmäinen käsittelyvaihe saostusprosessi, joka toteutettiin Teollisuuden Veden olemassa olevalla laitteistolla. Käsittelyvaiheen tarkoituksena oli saostaa kaivosvedestä rauta- ja alumiinisakkaa sekä sinkkisakkaa. Toinen käsittelyvaihe oli ioninvaihto. Ioninvaihtoyksikkö rakennettiin Teollisuuden Veden sekä muiden alihankkijoiden toimesta 2022 kevään ja alkukesän aikana. Kolmas käsittelyvaihe oli magnesiumsulfaatin väkevöinti nanosuodatuskalvoilla. Väkevöinti toteutettiin kahdella Teollisuuden Veden olemassa olevalla kalvosuodatuslaitteistolla. Laitteistoihin tehtiin mekaanisia ja automaatio-ohjaukseen liittyviä muutoksia 2022 alkukesän aikana.



Kuva 1. Pilot laitteiston rakentamista Pyhäsalmissä



Kuva 2. prosessikaavio

Vedenkäsittelyn pilot-laitteisto sijoitettiin Pyhäsalmen kaivoksella kolmeen 40 jalan merikonttiin. Kahden merikonttiin sijoitettiin laitteistokokonaisuudesta saostuslaitteisto, ioninvaihtoyksikkö elvytyslaitteistoineen sekä toinen magnesiumhydroksidin väkevöintiin tarkoitettu kalvosuodatuslaitteisto. Toinen kalvosuodatuslaitteisto on rakennettu kiinteäksi Teollisuuden Veden omistamaan merikonttiin (Kuvan 1 alin DTG-kontti), joka tuotiin kaivokselle valmiina kokonaisuutena. Kontit sijoitettiin kaivoksella kuivanapitoveden pumppausrakennuksen läheisyyteen. Käsiteltävä vesi otettiin kuivanapitoveden painelinjan sivuhaarasta (500 l/h). Pilot-laitteistolla käsitelty vesi johdettiin pumppausasemalta lähtevään avokanavaan muun veden joukkoon. Saostusprosessissa syntyvä kiinteä sakka kerättiin merikonttien ulkopuolelle sijoitettuun säiliöön. Samoin ioninvaihtoyksikön elvytysvesien keräykseen varattiin 2-3 säiliötä merikonttien läheisyyteen.



Kuva 3. konttien sijoittelu kaivoksella

7.2 Pilotin rakentamisen kustannukset, työvaiheet ja aikataulusuunnitelma

Rakentamisen kustannukset pilotin laitteistoille ja koneille on esitetty Taulukossa 1.

Rakentamisen kustannukset			
	Tilaus	Hinta [€]	Toimitus
<i>Tilakustannukset laitteistoille</i>	tilattu	1 950,00 €	toimitettu
2 kpl 40' merikontit	tilattu	27 470,00 €	toimitettu
2 kpl Grundfos pumput + toimituskulut	tilattu	4 071,20 €	toimitettu
Prosessimittaukset + asennustelineet + kaapelit + toimituskulut	tilattu	2 142,37 €	toimitettu
300 litraa Ioninvaihtohartsia, IRC748	tilattu	5 775,00 €	toimitettu
300 litraa Ioninvaihtohartsia, TP207	tilattu	4 072,50 €	toimitettu
Saostuslaitteiston siirto	tilattu	380,00 €	toimitettu
Ioninvaihtimet + patruunasuodattimet + varapatruunat	tilattu	3 145,00 €	toimitettu
ABB sähkönjohtavuusanturit	tilattu	1 340,00 €	toimitettu
Kemikaalilinjan säätöventtiili	tilattu	3 579,00 €	toimitettu
VVH-NF-Filtration kalvot	tilattu	2 190,00 €	toimitettu
NF-270 kalvot	tilattu	2 339,40 €	toimitettu
IV-koneet merikontteihin	tilattu	2 258,06 €	toimitettu
Automaatiotyöt ja komponentit	tilattu	17 123,00 €	toimitettu
Ioninvaihtoyksikön putkisto	tilattu	4 907,55 €	toimitettu
Asiantuntijatyöt, siirrot, sepelöinnit, sähkötyöt, nostotyöt	tilattu	2 278,50 €	toimitettu
Pientarvikkeet Pyhäsalmeella rakentamisen yhteydessä	tilattu	2 291,65 €	toimitettu
Laitteiston kuljetukset	tilattu	5 000,00 €	toimitettu
Ioninvaihtoyksikön kehikko	tilattu	4 875,00 €	toimitettu
Nanosuodatuslaitteen kuljetus Pyhäsalmeelle	tilattu	1 850,00 €	toimitettu
Ioninvaihtoyksikön elvytyslaitteisto (IBC kontit)	tilattu	1 285,82 €	toimitettu
Muut käyttöönottovaiheen rakennusmateriaalit	tilattu	7 325,95 €	Pilotti ajot
Yhteensä		107 650,00 €	
Kone ja laiteusinvestoinnit budjetti		107 650,00 €	

Taulukko 1. Kone ja laiteinvestoinnit

Pilotin suunnittelutyö koostui labrakokeiden suunnittelusta touko-kesäkuussa 2022, Pyhäsalmen kaivoksella operoitavien laitteiden suunnittelusta sekä käytännön koejärjestelyjen suunnittelusta. Osa pilot-laitteista oli Teollisuuden Vesi Oy aiemmin rakentamia ja käyttämiä laitteistoja, joihin suunniteltiin ja toteutettiin kesä-heinäkuussa 2022 prosessitekniisiä muutoksia soveltuvuuden parantamiseksi kaivosveden käsittelyssä. Osa laitteista suunniteltiin ja rakennettiin alusta alkaen kyseistä kaivospilotointia varten esimerkkinä automaatio.

Käytännön pilottijärjestelyn suunnittelu koostui laitteiden ja merikonttien sijoittelun suunnittelusta kaivoksella sekä laitteiden operoinnin ja ylläpidon suunnittelusta ennen käyttöönottoa. Laitteiden automaation suunnittelu, toteutus ja laitteiden yhteensovittaminen automaation osalta ulkoistettiin Automaatiopalvelu Lassila Oy:lle, joka on aiemmin toiminut Teollisuuden Vesi Oy pilot-laitteiden automaatio- ja sähköalihankkijana.

Pilot-laitteet rakennettiin ja muutostyöt olemassa oleviin laitteisiin tehtiin Teollisuuden Vesi Oy tiloissa Mäntsälässä. Rakennustyöt heinä-elokuussa 2022 koostuvat pääasiassa putkisto-, prosessi-

instrumentti- ja laiteasennuksista. Lisäksi Automaatiopalvelu Lassilan toimesta tehtiin sähkö- ja automaatioasennukset laitteille ja instrumenteille. Rakennusvaiheessa pyrittiin testaamaan laitteiden ja instrumenttien toimivuus automaation kautta ohjattuna Mäntsälässä ennen kuin laitteet siirrettiin Pyhäsalmen kaivokselle.

Käyttöönotto tehtiin Pyhäsalmen kaivoksella Teollisuuden Vesi Oy, Automaatiopalvelu Lassilan ja kaivosyhtiön kanssa yhteistyössä elokuun aikana 2022. Ensimmäinen pilotoinnin vaihe oli saostuslaitteiston operointi syyskuussa 2022 saostamalla kaivosvettä eri pH-arvoihin, jolloin saatiin ensimmäiset tulokset talteen otettavien metallisakkojen laadusta. Ensimmäisen vaiheen jälkeen pyrittiin saostusprosessin perään kytkemään muut pilot-laitteet ja operoiminaan laitteistoa jatkuvatoimisena. Laitteiston operointi ja ylläpito tehtiin alkuvaiheessa Teollisuuden Vesi Oy toimesta. Pilotoinnin edetessä yksinkertaisia käyttötoimenpiteitä koulutettiin syys-lokakuussa 2022 kaivosyrityksen henkilöstölle.

Veden laadullisia tuloksia analysoitiin loka-marraskuussa 2022 pääasiassa Pyhäsalmen kaivoksen laboratoriossa koejakson aikana. Tulosten perusteella tehtiin tarvittavia muutoksia koesuunnitelmaan. Koejaksojen loppuraportoinnissa marras-joulukuussa 2022 selostettiin vedenkäsittelyprosessin toimivuutta kyseisessä kohteessa sekä arvioitiin täyden mittakaavan vedenkäsittelylaitoksen toteutettavuutta saavutettujen koetulosten perusteella.

7.3 Pilotin koesuunnitelma ja saadut tulokset

Raudan ja alumiinin saostusvaiheet sekä sakkojen ja ylitteen laadun määritykset toteutettiin syyskuun 2022 aikana. Laitteisto toimi saatujen analyysitulosten mukaan hyvin ja magnesiumin annosteluun liittyvät käytännön haasteet saatiin ratkaistua. Syyskuun lopussa toteutettiin yhdistelmäsaostus raudalle ja alumiinille. Kokeissa todettiin, että raudan ja alumiinin saostusvaiheet ovat yhdistettävissä, jolloin ensimmäisen saostusvaiheen lopputuotteena on rauta- ja alumiinihydroksidi.

Saostusprosessin koeajot etenivät koesuunnitelman mukaan pH-alueelle noin pH 7,5. Analyysitulosten mukaan muodostuva ylite oli riittävän puhdasta otettavaksi käsittelyyn metallien poistovaiheeseen sekä pehmennykseen. Ioninvaihtovaihe aloitettiin lokakuun alussa automaation käyttöön otolla sekä elvytyksellä ja huuhtelulla. Pidemmät koeajot eri hartseilla päätettiin suorittaa koesuunnitelman mukaisesti vielä lokakuun aikana. Ioninvaihdon jatkuvatoiminen pilotointi toteutettiin lokakuussa sisältäen jälkikäsittelyn pilotoinnin (kalsiumkloridin sekä magnesiumsulfaatin talteenotto).

Saadut tulokset eri saostusvaiheista dokumentoitiin. Suodatusvaiheet raudan, alumiinin sekä sinkin erottamiseksi toteutuivat koesuunnitelman mukaisesti. Suodatusvaiheiden pilotointi nikkelin, koboltin, mangaanin sekä kalsiumin erottamiseksi aloitettiin marraskuussa. Lisäksi suodatusvaiheita testattiin pilotoinnin tueksi laboratoriomittakaavassa. Sakkojen suodatus- ja kuivatuskokeita sekä pesukokeita tehtiin kokeiden edetessä saostusvaiheen sakoille. Väkevöinti- ja puhdistusvaihe kalsiumkloridin sekä magnesiumsulfaatin osalta aloitettiin marraskuussa suodatusvaiheista saatujen tulosten perusteella jäljellä olevien pilotointiviikkojen aikana koesuunnitelman mukaisesti.

Pilotoinnin aikana saadut tulokset olivat linjassa alustavien laboratoriotuloksien kanssa ja osoittivat alkuvaiheen saostusvaiheen toimivan. Lisäksi keskustelut kemikaalitoimittajan sekä sakkojen hyödyntämisestä kiinnostuneen yrityksen kanssa vahvistivat mahdollisuuksia toteuttaa kuivanapitovesien käsittely alustavasti koesuunnitelmassa esitetyllä tavalla.

7.4 Pre-feasibility study (PFS) luonnos teollisen mittakaavan laitokselle

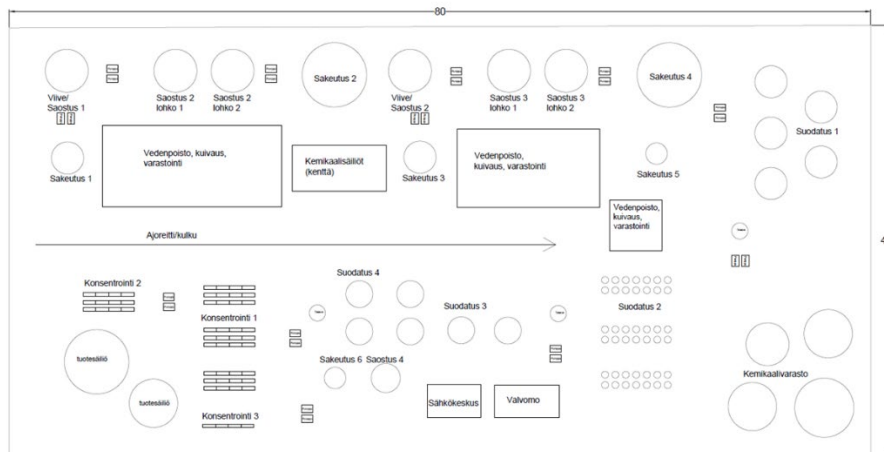
Pyhäsalmi Mine Oy käsittelee kaivoksen kuivanapitovedet vielä vuosien 2023–2024 aikana. Vuodesta 2025 eteenpäin vesienkäsittely tapahtuu uudessa teollisen mittakaavan vesienkäsittelylaitoksessa.

Käsiteltävät vedet pumpataan maan pinnalle nykyisiä kaivoksen putkilinjoja pitkin. Käsiteltyjen vesien purku vesistöön tapahtuu rakennettavia putkilinjoja pitkin.



Kuva 4. Vedenkäsittelylaitoksen sijaintipaikka

Vedenkäsittelylaitoksen sijaintipaikka ja alue merkittynä sinisellä noin 6 000 m² alueella kaivosalueen eteläpuolella. Kaivosvesien yläaltaiden ja ns. tuuletusaltaiden nurkka merkitty sinisellä ympyrällä ja keltaisella ympyrällä pumppuvoimalan ylijäämävesien keräilypaikka nykyisen raakkulouhoksen 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. Kokonaisvesimäärää pienentää pumppuvoimalan rakentamisen aikana se, että raakkulouhoksen ylijäämävedet johdetaan käsiteltäväksi kaivoksen uudelle hule- ja suotovesipuhdistamolle.



Teollisuuden Vesi Oy			
Projekti	Teollisuuden Vesi Oy	Projekti	Callio waste-free mine esi-PFS
Yhteyshenkilö	...	Yhteyshenkilö	...
Alue	...	Alue	...

Kuva 5. Vedenkäsittelylaitoksen alustava layout

Kaivoksen kuivanapitovesien käsittely yhdistettynä pumppuvoimalan sekä rakentamisen, että käytön aikaiseen vesien käsittelyyn jakaantuu layout kuvassa kahteen pääprosessivaiheeseen:

- Saostusvaihe lopputuotemetallien erottamiseksi
- Metallien erotus sekä lopputuotteiden väkevöinti

Vesienkäsittelyssä syntyy tuotteita ja erotellaan seuraavia sivuvirtoja:

- Magnesiumsulfaatti, puunjalostusteollisuuteen
- Kalsiumkloridi, käyttö maantiesuolana
- Rauta/alumiinisakka, käyttö saostuskemikaalina mm. jäteveden puhdistuksessa
- Metallisakat, jatkokäyttö metallien jalostuksessa

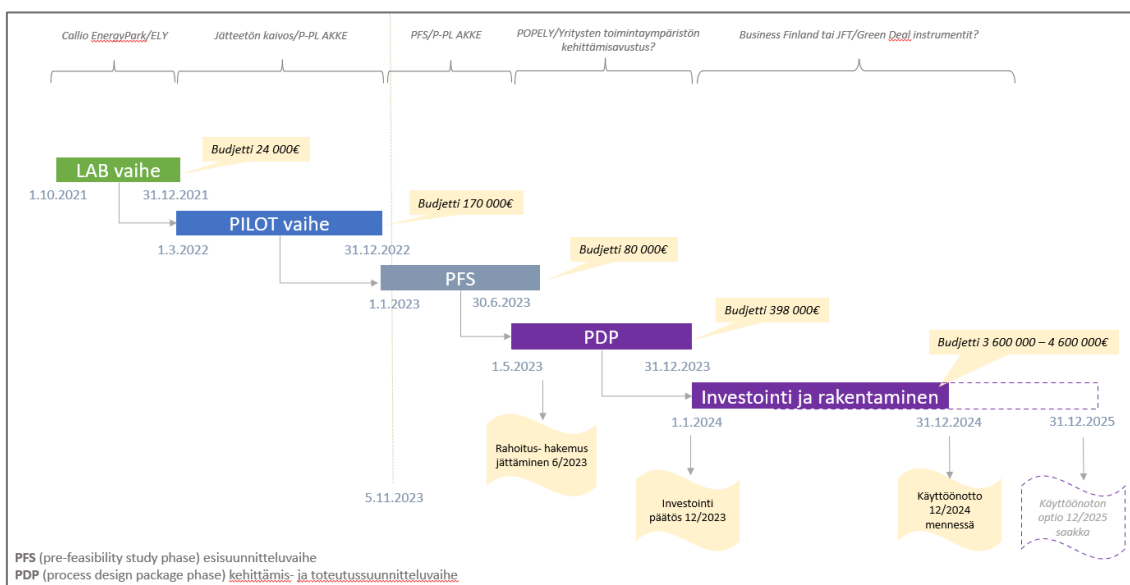
Käsitellyn veden laatu tulee olemaan alustavasti seuraava:

- Sulfaatti 400 mg/l
- Kloridi 890 mg/l
- pH 6...8
- Kalsium 5 mg/l, magnesium 40 mg/l, kalium 40 mg/l, natrium 250 mg/l
- Raskasmetallit As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Zn < 0,01 mg/l, Pb < 0,005 mg/l
- Vesistöön johdettavan veden määrä 70-110 m³/h

7.5 Suunnitelma pilotin jatkohyödyntämisestä ja IPR-sopimuskokonaisuuksista

Callio Jätteetön kaivos – Waste-free mining hankekokonaisuuden pilotointivaiheessa 1.3.2022 – 31.12.2022 on kokeiltu uusia konsepteja 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 yritysalueen ympäristölupaehtojen toteutuminen kaivostoiminnan päättymisen jälkeen.

Jatkohyödyntämisen suunnitelma, joka käsiteltiin Jätteetön kaivos - projektin ohjausryhmän kokouksessa 13.12.2022 Pyhäjärvellä, on kuvattu kuvassa 5.



Kuva 6. Jatkohyödyntämisen suunnitelma

Yhteistyössä Teollisuuden Vesi Oy kanssa on laboratoriokokein ja käytännön pienen mittakaavan pilotoinnin selvitetty vaihtoehtoisia ratkaisuja nykyiseen kalkkineutralointiin (BAT) perustuvaan vedenkäsittelyyn. Pilottimittakaavan kokeissa vuonna 2022 testattiin useita vedenkäsittelyn teknologioita ja uusia ratkaisuja arvokkaiden alkuaineiden ja yhdisteiden hyödyntämiseen. Varsinainen pilotointi Pyhäsalmen pilotointi päättyi suunnitelmien mukaisesti 31.12.2022.

Pilotin tuloksia on jatkohyödynnetty ympäristönsuojelulain ja vesilain mukaisessa ympäristölupahakemuksessa (diaarinumero PSAVI/8734/2021). Tässä ympäristölupahakemuksessa Pyhäsalmen Infra Oy hakee lupaa Pyhäsalmen kaivoksen maanalaisten osien kuivana pitämisen edellyttämälle manalaisten kaivosvesien ja pumppuvoimalaitoksen ylijäämävesien pumppaamiselle ja käsittelylle, käsiteltyjen kaivosvesien johtamiselle vesistöön, purkuputken rakentamiselle ja pysyväle sijoittamiselle vesistöön sekä suunnitellun vesienkäsittelyn toiminnan aloittamiselle viimeistään vuonna 2025.

Pyhäjärven Callio (Pyhäsalmen Kvanttikiinteistöt Oy) pyrkii aktiivisesti suojaamaan osaamistamme, liikesalaisuuksia ja tekijänoikeuksiamme. Haemme tavaramerkkisuoja omille tuotteille ja tiedostamme mallisuoja, patenttien ja hyödyllisyysmallien mahdollisuudet. Kaikki Jätteen kaivos – projektin osapuolet ovat allekirjoittaneet yhteistyösopimuksen (PCA – Project Cooperation Agreement), joka on ollut voimassa koko projektin ajan, ja säilyy voimassa mm. IPR osalta seuraavat 2 vuotta pilotoinnin päättymisen jälkeen (31.12.2022). Tässä yhteistyösopimuksessa on yhteisesti sovittu keskeiset periaatteet esimerkiksi pilotoinnin aikana käytettävien taustatietojen omistus- ja immateriaalioikeuksista. Lisäksi yhteistyösopimuksessa on sovittu periaatteet, joissa projektin osapuolet myöntävät projektin hallinnoijalle (Pyhäsalmen Kvanttikiinteistöt Oy) hankkeen ajaksi ja sen tarkoitukseen sekä tulevaa teollisen mittakaavan toteutusta varten, ei-yksinoikeudellisen, ei-siirrettävän, ei-alilisensoitavan, peruuttamattoman, ja rojaltivapaan käyttöoikeuden syntyneisiin suojeltaviin ja ei-suojattaviin tuloksiin. Projektissa syntyneiden innovaatioiden omistus- ja immateriaalioikeudet omistus- ja immateriaalioikeudet kuuluvat osapuolelle, joka on luonut, keksinyt tai valmistellut sen. Omistus- ja immateriaalioikeudet ovat osanottajien yhteisomistuksessa siltä osin kuin keksintö on heidän yhdessä tekemänsä laissa tarkoitettulla tavalla (sovellettava patenttilaki 550/1967).

Jätteen kaivos – projektin ostopalvelujen toteuttajana on toiminut Teollisuuden Vesi Oy. He ovat projektin aikana toteuttaneet uutuustutkimuksen, jossa vesienkäsittelyratkaisua on tarkasteltu keksintöjen uutuuden ja patentoitavuuden näkökulmasta. Esiselvitysvaiheessa voidaan vielä selvittää lisää, mitä muut toimijat ovat vesienkäsittelyratkaisuissa suojanneet tai yrittäneet suojata. Tämä tieto voi olla mahdollisesti hyödynnettävissä myös myöhemmin käynnistyvissä PFS ja PDP -tuotekehitysprosessissa.

Tammikuussa 2023 käynnistyvässä PFS esiselvitysvaiheessa yhtenä tehtäväkokonaisuutena ulkopuolisia asiantuntijapalveluita hyödyntäen on tavoitteena selvittää alustavasti suunnittelutietoja ja lähtökohtia vesienkäsittelylaitoksen jatkokehittämiseen ja kaupalliseen hyödyntämiseen. Tämä työkokonaisuus pitää sisällään mm. patentoitavuustutkimuksen sisältöihin liittyviä neuvotteluita, lisenssien ja sopimusten valmistelua, keksintöjen patentoitavuustutkimusta, sekä jo olemassa olevien patenttijulkaisujen ja IPR:n kartoittamista.

PFS esiselvityshankkeen avulla tuotetaan vesienkäsittelyprosessin tarkat suunnittelutiedot, jotka perustuvat päättyneen pilotointivaiheen esisuunnittelumateriaaleihin sekä mitattuihin ja labroissa varmennettuihin pilotin testituloksiin. Lisäksi esiselvitys sisältää alustavat ja varmistetut suunnittelutiedot teollisen mittakaavan laitoksen taloudellisista-, ympäristö- ja teknisistä näkökulmista, joita hyödynnetään varsinaisessa kehittämis- ja toteutussuunnitteluvaiheessa. Vuoden 2023 aikana pilotin laitteistoa Pyhäsalmen pilotointi voidaan jatko hyödyntää esimerkiksi vesienkäsittelyprosessin viipymien sekä avointen kysymysten tarkentamiseen käytännössä tehtävillä varmistuksilla.

8 TULOSAINEISTON SÄILYTTÄMINEN JA ARKISTOINTI

Hanke päättyi hankesuunnitelman mukaisesti ja rahoituspäätöksen reunaehdoin 31.12.2022. Kaikki hankkeen tulokset ja indikaattorit saavutettiin.

Hankkeen tulosaineisto on toimitettu hankkeen rahoittajalle maksatushakemusten yhteydessä. Tulosaineistoa säilytetään hankkeen hallinnoijan toimesta talousosastomme arkistossa.

Yhteyshenkilönä tulosaineistolle 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

Tiedote. Pohjois-Pohjanmaan liitto 17.2.2021. AKKE-määrärahaa kymmenelle hankkeelle. [Linkki.](#)



Kuva 7. Laitteistoja ja koneita



Kuva 8. Pilotointia



Kuva 9. Berner Chemicals Oy Antti Rinta-Harri ja muita yritysedustajia vierailulla