

Selvitys lämmöntalteenoton mahdollisuuksista konsentraattivedestä

Kymen Vesi Oy

LAB-ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

2022

Aleksi Karvonen

Tiivistelmä

Tekijä Karvonen, Aleks	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK Sivumäärä 30	Valmistumisaika 2022
Työn nimi Selvitys lämmöntalteenoton mahdollisuuksista konsentraattivedestä Kymen Vesi Oy		
Tutkinto ja koulutusala Energia- ja ympäristötekniikan insinööri		
Toimeksiantajan nimi, titteli ja organisaatio Emmi-Maria Ukko, tuotantopäällikkö, Kymen Vesi Oy		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tarkoituksena on kartoittaa mahdollista energiahyötyä ja energiansäästöjä vedenpuhdistus prosessiin hukkavirroista, joita syntyy veden puhdistus prosessin aikana Kymen Veden fluoridinpoistolaitoksessa tekopohjavesilaitoksella. Selvitettiin hukkaan menevän energian määrä konsentraattivedestä ja ilmanvaihtokoneen kuluttama energia Suomen keskilämpötilojen mukaan ja vuoden 2019 lämpötilojen mukaan. Saatavalle hukkalämmölle kartoitettiin mahdollisia hyödyntämiskohteita. Hukkaan menevää lämpöenergiaa voitaisiin esimerkiksi hyödyntää lämpimän veden tuottamiseen ja ilman lämmittämiseen lämpöpumppua hyödyntäen.</p> <p>Opinnäytetyössä käydään läpi lyhyesti membraanikalvosuodatuksen pääperiaatteet ja siihen liittyvät päätekijät. Maalämmön pääperiaatteet ja miten lämpöpumppua voisi hyödyntää vedenpuhdistusprosessista syntyvän konsentraattiveden lämpöenergian hyödyntämisessä vedenpuhdistuslaitoksen lämmityksessä.</p> <p>Selvityksen tuloksena oli että, taloudellisesti kannattavin energiansäästöratkaisu olisi ilmalämpöpumpun asentaminen lämmityksen sähkönkulutuksen pienentämiseksi. Konsentraattivettä voitaisiin hyödyntää myös muulla tavalla, kuten esimerkiksi pienoissähkögeneraattorin pyörittämiseen. Konsentraattiveden virtausta hyödynnettäisiin generaattorin pyörittämiseen, muuntamalla veden kineettistä energiaa sähköenergiaksi.</p>		
Asiasanat maalämpö, energiansäästö, vedenpuhdistus, membraanisuodatus, ilmanvaihto, hukkalämpö		

Abstract

Author Karvonen, Aleksi	Type of Publication Thesis, UAS	Published 2022
	Number of Pages 30	
Title of Publication A study of the possibilities of heat recovery from concentrate water Kymen Vesi Oy		
Degree and field of study Bachelor of Engineering		
Name, title, and organization of the client Emmi-Maria Ukko, production manager, Kymen Vesi Oy		
Abstract <p>The aim of the study is to figure if utilizing the thermal heat energy from concentrate-water, generated from the water purification process, could be utilized for the heating of the plant. How much energy is being used annually by the HVAC-unit, and how much heat energy could be recaptured from water purification reject water.</p> <p>The main principles of membrane filtration and related main factors are briefly reviewed in the thesis. The main principles of geothermal heat and how a heat pump could be utilized</p> <p>in utilizing the thermal energy of concentrate water generated from a water treatment process in the heating of the water treatment plant.</p>		
Keywords geothermal, energy saving, water purification, membrane filtration, ventilation, Membrane filtering, reverse osmosis, water purification, heating		

Sisällys

1	Johdanto.....	1
2	Kymen Vesi Oy.....	2
3	Tekopohjavesilaitos	3
4	Selvityksen tutkimusasetelma	5
4.1	Lähtöasetelma ja pohjatiedot	5
4.2	Pohjapiirustus	6
5	Membraanisuodatuslaitos/ fluoridinpoistolaitos	8
5.1	Käänteisosmoosi	8
5.2	Membraanisuodatus	9
5.3	Membraanisuodattimien kalvojen huuhtelu	11
5.4	Konsentraatti vesi	12
5.5	Fluoridi.....	12
6	Lämmön talteenotto	13
6.1	Lämmön talteenoton johdanto	13
6.2	Hukkalämmön hyödyntäminen.....	13
6.3	Lämpöpumput.....	13
6.4	Maalämpö.....	14
6.5	Energiavaraajat	15
6.6	Lämpöpumpun toimintaperiaate.....	15
6.7	Lämmönsiirtimet sekä lämmönsiirtonesteet	16
6.8	Konsentraattivedestä saatava potentiaalinen hyöty	17
7	Hyödyntämiskohteet	18
7.1	Valvomo	18
7.2	Varasto	18
7.3	Prosessi tila	19
8	Energian kulutus.....	23
8.1	Ilmanvaihtokoneen energiankulutus.....	23
9	Yhteenveto	26
10	Pohdinta	27
11	Lähteet	28

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Kymen Vesi Oy. Tutkimuksen tavoitteena on selvittää konsentraattiveden hukkalämmön hyödyntämismahdollisuuksia.

Vedenpuhdistusprosessista ylijäävästä konsentraattivedestä pyritään hyödyntämään siihen sitoutunut maalämpöenergia. Energian säästötavoitteena on lämmityksen kuluvan sähkön määrän vähentäminen. Hankkeen tavoitteena on tutkia mahdollisuutta korvata sähkölämmitteiset patterit laitoksen valvomossa sekä varaston tiloissa maalämpötoimisilla lämpökonvektoreilla. Varaston sähkölämmitteiset lämmityspatterit korvattaisiin kattorakenteisiin asennettavalla maalämpötoimisella puhallinkonvektorilla. Valvomon sähkölämmitteiset patterit korvattaisiin samaa lämmitystehoa vastaavalla maalämpökonvektorilla ja ilmanvaihtokoneen tuloilmasähkövastukset maalämpötoimisella puhallinkonvektorilla.

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin maalämmön mahdollisuutta Kymen Vesi Oy:n käänteis-osmoosilaitoksella energiansäästötoimenpiteenä sähkölämmitteisen ilmanvaihdon apuna tai korvaajana. Hankkeesta selvitettiin lähtökohtaiset tiedot vanhojen ilmanvaihtokoneen lopputarkastusraporttien perusteella. Tietoja kerättiin henkilökuntaa haastattelemalla sekä tutkimalla sääolosuhteiden trendejä aiemmilta vuosilta, jotta uusi mitoitus uudelle mahdolliselle lämmitykselle olisi optimaalinen. Tutkimuksessa hyödynnettiin myös Kymen Veden energiankulutuksen kuukausiraportteja vertailemalla arvoja toisiinsa.

2 Kymen Vesi Oy

Kymen Vesi Oy on vuonna 2007 perustettu osakeyhtiö, jonka pääasiallinen toimiala on vedenpuhdistus ja vedenjakelu. Kymen Vesi Oy on Kymenlaakson alueella toimiva vesihuolto-yhtiö, jonka omistaa 3 lähialueen kuntaa, Kotka, Hamina sekä Kouvola. Kymen Vesi Oy tuottaa asiakkaille hyvälaatuista talousvettä, sekä käsittelee asiakkaiden jätevedet ympäristöarvoja kunnioittaen teknisesti ja taloudellisesti järkevimmillä tavoilla. (Finder.)

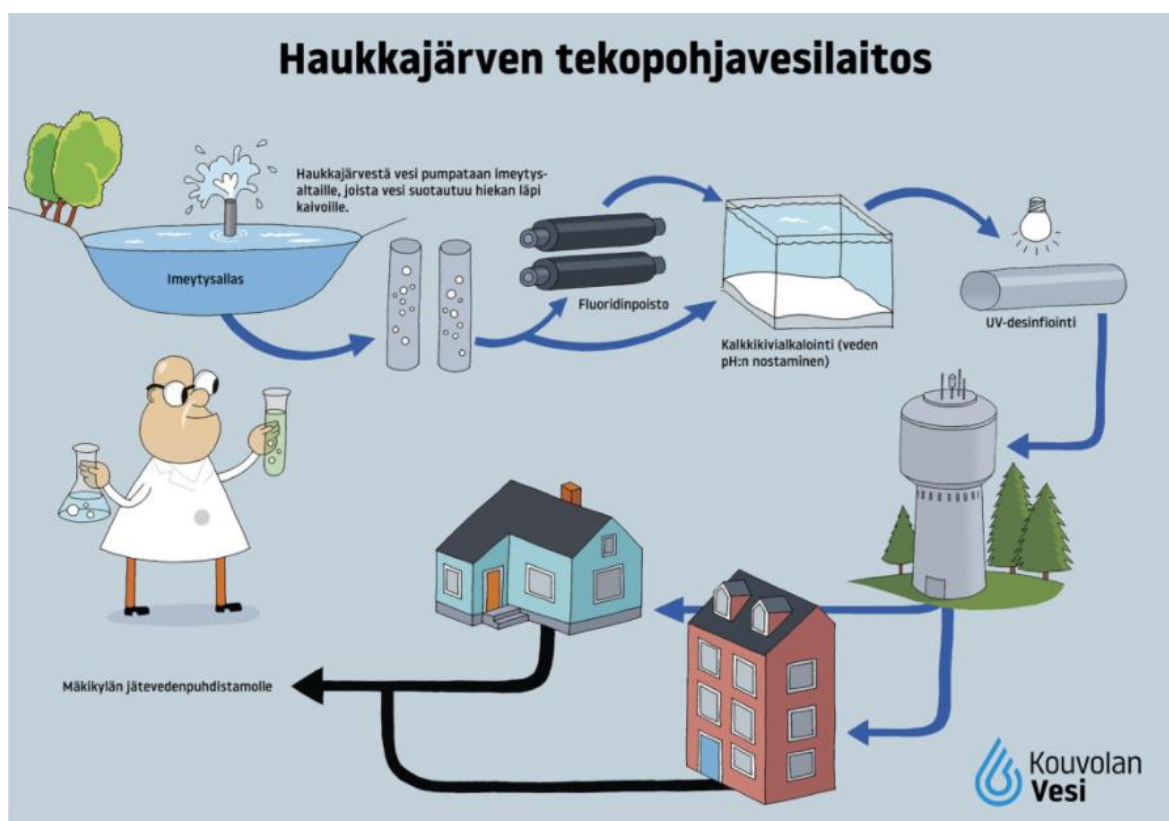


Kuva 1. Kymen Vesi Oy:n logo. (Finder)

Talousvettä valmistetaan Kymen Vesi Oy:n tytäryhtiö Kymenlaakson Vesi oy:n tekopohjavesilaitoksella Valkealan Kuivalassa. Laitos on käyttöön otettu vuonna 1992. Tekopohjavesilaitoksen vettä valmistetaan imeyttämällä Haukkajärvestä pumpattua järvivettä soraharjun lävitse, jossa hiekkakerrokset suodattavat järvivettä pohjavesi maakerrokseen, josta suodatettu tekopohjavesi pumpataan membraanisuodatuslaitokselle ja jälkikäsittelylaitokselle. (Kymen Vesi.)

3 Tekopohjavesilaitos

Tekopohjavesilaitoksella tuotetaan vettä imeyttämällä Haukkajärven vettä hiekkaisen sora-harjun lävitse muodostaen tekopohjavettä pohjavesi maakerrokseen. Imeytysmenetelmällä siis jäljitellään luonnon omaa pohjaveden muodostumisprosessia, mutta nopeammin ja keinotekoisesti pumpaamalla järvivettä korkeammalle ja antaen sen laskea maakerrosten lävitse omalla painollaan. Utin tekopohjavesilaitoksella puhdistetaan läheisen Haukkajärven vettä. Haukkajärven vettä pumpataan vedenpuhdistuslaitoksen hiekkakentillä oleville imeytysaltaille, josta järvivesi painovoiman avulla läpäisee huokoisen hiekkaharjun maa-aineksen luoden tekopohjavettä. Laitosalueella sijaitsee useita kaivopumppuasemia, joista vesi pumpataan takaisin ylös vedenpuhdistuslaitokselle jatkokäsittelyä varten. Veden läpäistyä maakerroksen veteen sitoutuu fluoridia, joka liiallisena määrinä on haitallista. Tämän takia tietty prosentti tekopohjavedestä täytyy puhdistaa fluoridinpoistolaitoksella membraanisuodattamalla, että fluoridipitoisuus tekopohjavedessä laskee alle sallitun pitoisuuden, joka on 1.5 mg/litraa kohden.



Kuva 2. Kuvassa vedenhankinta havainnollistettuna. (Kouvolan vesi.)

Kuva 2 on Kouvolan veden vedentuotantoprosessista, mutta pätee myös Kymen veden vedenhankintaan, sillä molemmat vedentuotantolaitokset hankkivat raakavetensä Haukkajärvestä ja imeyttävät järviveden hiekkakerroksen lävitse pohjavesi maakerrokseen ja

pumppaavat sen sieltä pumppauskaivoilta esikäsittelyyn, fluoridinpoistoon ja jälkikäsittelyyn ennen asiakkaille jakelua. (Kouvolan vesi.)

4 Selvityksen tutkimusasetelma

4.1 Lähtöasetelma ja pohjatiedot

Tutkitaan mahdollisuutta hyödyntää fluorinpoistolaitoksen vedenpuhdistusprosessista jäljelle jäävän konsentraattiveteen sitoutunutta lämpöenergiaa laitoksen lämmityksessä maalämpöpumppua hyödyntämällä.

Vedenpuhdistusprosessista syntyy sivutuotteena konsentraattivettä, johon on sitoutunut lämpöä maasta, eikä veden lämpöä ole hyödynnetty lainkaan, joten maalämpöpumppu olisi kannattavin vaihtoehto lämpöenergian hyödyntämiseksi. Fluoridipitoinen konsentraattivesi ohjataan nykyisellä menetelmällä vain alueen läheiseen puroon hyödyntämättä veden lämpöenergiaa.

Fluorinpoistolaitoksen prosessitilan tuloilmaa lämmitetään ilmanvaihtokoneen sähkövastuksilla, joiden maksimiteho on 35 kW. Ilmanvaihtokoneen termostaattiin on asetettu lämpötilaksi 8 °C. Fluorinpoistolaitoksen varastotilaa lämmitetään kolmella 2 kW sähköpatterilla. Valvomoa lämmitetään kahdella 2 kW sähköpatterilla. Maalämpöpumppua mitoittaessa näiden yhteenlaskettu kilowattimäärän tulisi olla vähintään vastaava. Lämpöpattereiden lämpötilaksi on asetettu 20 °C. Näiden lämmityslaitteiden energiankulutusta haluttaisiin vähentää hyödyntämällä maalämpöpumppua tai vastaavaa lämmönvaihdinta ilmanvaihtokoneen avuksi ja korvaamaan sähköpatterit valvomo- sekä varastotiloissa hyödyntäen vedenpuhdistusprosessin konsentraattivedestä saatavaa hukkalämpöä.

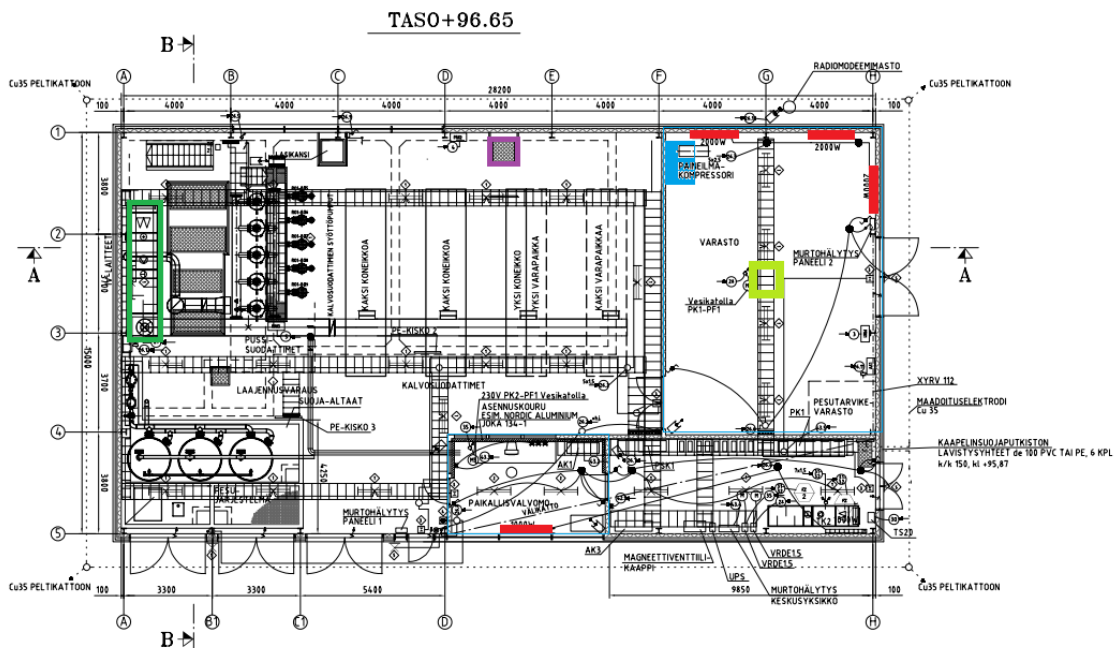
Konsentraattiveden lämpötilan vaihtelu on kesäisin noin 6 °C, ja talvisin noin 9 °C välillä. Lämpötilan vaihtelun ollessa pientä tämän lämpöenergian hyödyntäminen on kohteessa suositeltavaa, koska Suomessa vuodenaikojen välinen lämpötilaero on suurta ja lämmityskustannukset merkittäviä. Vedenpuhdistusprosessissa järvivesi ohjataan imeytysaltaisiin Utin vedenpuhdistuslaitoksen hiekkakentille, joissa hiekka suodattaa vedestä epäpuhtauksia. Prosessissa veteen sitoutuu lämpöenergiaa sen lävistäessä maakerroksia. Tästä johtuen vesi on kesäisin viileämpää kuin ulkoilma, mutta talvisin ilmiö on päinvastainen. Tällöin ulkoilma on kylmempää kuin veteen sitoutunut lämpö. Lämpötilavaihtelu johtuu Suomen geologisesta sijainnista. Suomen keskiverto maalämpötila on korkeampi kuin keskiverto ulkolämpötila vuoden aikana. Maan ja ilman lämpötila ero korostuu juuri talvisin, jolloin lämmitys tarve on suurin. Tämän vuoksi maalämmön hyöty toteutuisi parhaiten juuri talvisin, jolloin lämmitystarve kohteessa on suurin.

Fluorinpoistolaitoksen lämmitettävän tilan tilavuus on 2200 m³, jota käytetään arvona maalämpöpumpun tarvittavan tehon mitoituksessa. Tuloilmapuhaltimen virtaus on 1.5 m³/s. eli ilmanvaihtokone työntää ulkoilmaa fluorinpoistolaitokselle ilmanvaihtokoneen lävitse, jota

lämmitetään sähkövastuksin. Fluoridinpoistolaitoksen yhteenlaskettu lämmitystehon tarve on 45 kW, joka koostuu ilmanvaihtokoneen maksimilämmitystehosta 35kW ja sähköpatte-
reiden yhteenlasketusta lämmitystehosta 10 kW.

Konsentraattiveden virtaus vedenpuhdistusprosessin aikana on noin 40 m³/h riippuen suodatinkoneikkojen automaation parametreista kuten ajotunnit koneikkoa kohden tai koneikoille asetetut painerajat. Tämä aiheuttaa flukтуаatioita konsentraattivedenvirtauksessa. Esimerkiksi onko samaan aikaan useammalla suodatinkalvokoneikolla huuhteluvaihe käynnissä, jolloin virtaama on kovempi tai jos membraanikalvojen huuhteluja ei ole käynnissä lainkaan, niin konsentraattiveden virtaus lakkaa kokonaan, jolloin suunnitellulle maalämpöpumpulle tulisi varmuuden vuoksi asentaa varaussäiliö lämpimän veden riittävyden takaamiseksi maalämpöpumpulle.

4.2 Pohjapiirustus



Kuva 3. RO-laitoksen pohjapiirustus. (Kymen vesi. Muokattu)

Kuvassa 3 sininen on maalämpöpumpun ja varaajasäiliön suunniteltu sijainti varaston puolella. Kuvassa 3 "paineilmakompressori" kohdassa, mutta kompressoria ei enää ole kyseisellä paikalla, joten kyseinen paikka on vapaa maalämpöpumpua varten.

Kuvassa 3 punaiset ovat sähkölämmityspattereita, joista halutaan eroon hankkeen avulla energiansäästötoimenpiteenä. Alhaalla keskellä on punaisella merkattu valvomon patteri, jonka tilalle on suunniteltu maalämpötoiminen vastaava lämpöpatteri.

Kuvassa 3 vaaleanvihreä neliö on varastossa sijaitsevien pattereiden tilalle suunniteltu kattooliin asennettava maalämpötoiminen hallilämmitin, joka korvaisi varastonpuoleiset sähkölämmitteiset patterit.

Kuvassa 3 vihreällä korostettu pitkäkaiteen muoto on ilmanvaihtokoneen sijainti, johon on määrä asentaa lämmönvaihtokenno maalämpöpumpun lämmitysnestekierukasta. Vanhasta ilmanvaihtokoneesta ei haluta eroon vaan sen rooli tulisi olemaan ilmanvaihdon varalämmönlähteenä mahdollisen maalämpöpumppuun ilmaantuvan vikatilán sattuessa.

Kuvassa 3 violetti neliö keskellä on konsentraattivesisäiliön huoltoluukku, jonka alla konsentraattivesisäiliö sijaitsee, jonne konsentraattivesi päätyy koneikkojen huuhtelun jälkeen.

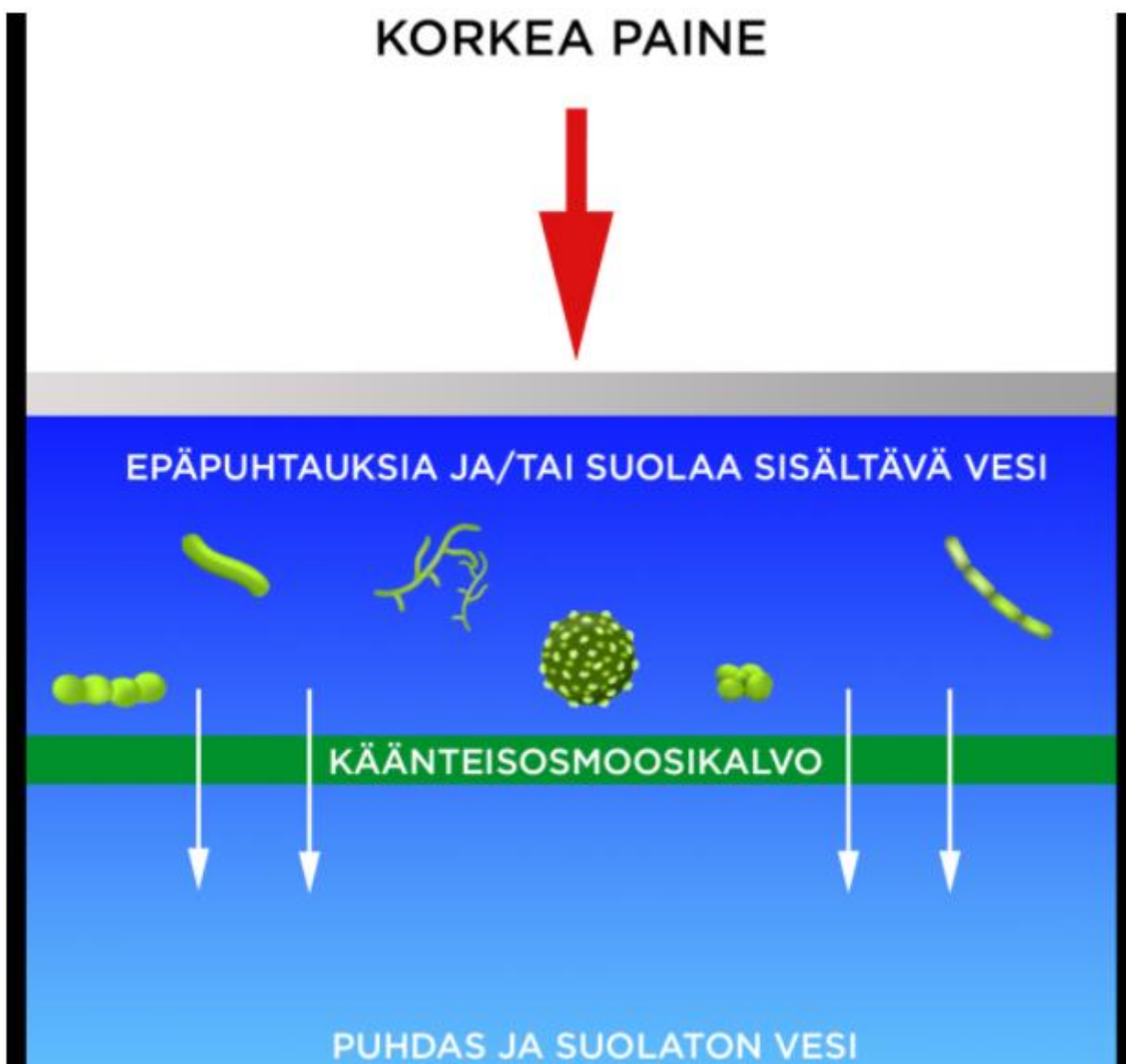
5 Membraanisudatuslaitos/ fluoridinpoistolaitos

5.1 Käänteisosmoosi

Käänteisosmoosilla tarkoitetaan prosessia, jossa vettä pakotetaan puoliläpäisevän suodatinkalvon lävitse paineen avulla. Suodatinkalvossa reikien halkaisijoiden koko on yleensä nanomillimetrien kokoluokkaa, jolloin vedestä suodatuvat kaikki vesimolekyylitä suuremmat epäpuhtaudet kuten bakteerit, mineraalit ja suolat. Suodatinkalvo päästää lävистeen pelkättään vesimolekyylit ja tämän takia vesi on suodatuksen jälkeen erittäin puhdasta. Orgaanisten aineiden lisäksi vedestä saadaan käänteisosmoosilla poistettua epäorgaaniset aineet, kuten mikromuovit ja lääkejäämät. Koska käänteisosmoosi suodattaa vedestä kaiken paitsi vesimolekyylit, niin käänteisosmoosi prosessia käytetään myös makeanveden tuottamiseen merivedestä. (Aquanova.)



Kuva 4. Fluoridinpoistolaitoksen membraanisudatin koneikkoja, joissa tekopohjavettä suodatetaan.

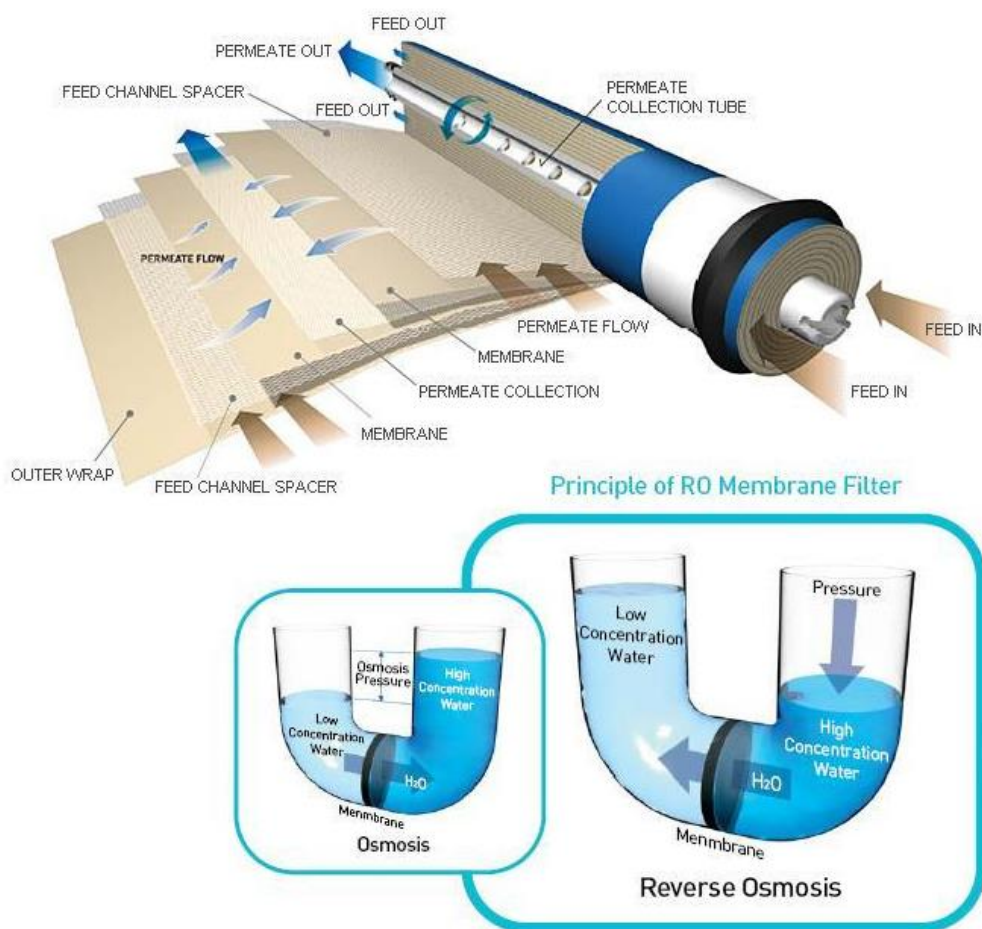


Kuva 5. Membraanikalvojen vedenpuhdistus prosessi käänteisosmoosilla.

5.2 Membraanisuodatus

Membraanisuodattimia käytetään laajasti erilaisiin suodatustehtäviin erilaisille nesteille. Membraanisuodattimia käytetään pääosin veden suodattamiseen, mutta osa suodattimista soveltuu myös liuottimien suodattamiseen. Membraanisuodattimia käytetään myös liukosten sterilointiin suodattamalla liuos sopivan kalvosuodattimen lävitse oikean kokoisella huokoskoolla. Membraanisuodattimia pidetään hyvänä vaihtoehtona, jos suodatettavaa liuosta ei voi kuumentaa eikä liuosta voida autoklavoida eli lämpökäsitellä tai keittää. (VWR.)

Membraanisudattimia pystytään valmistamaan käyttämällä epäorgaanisia materiaaleja tai synteettistä polymeeriä. Epäorgaanisten membraanien valmistuksessa käytetään esimerkiksi ohutkerroksista huokoista lasia, sintrattua metallia tai erilaisia alumiiniyhdisteitä. Pääasiallisesti membraanit kuitenkin on valmistettu synteettisestä polymeeristä, joissa voidaan käyttää esim. polysulfonia, polyeetterisulfonia tai regenoitua selluloosaa. Valmistuksessa niistä tehdään hyvin joustavia filmejä, joilla on todella hyvä läpäisevyys eri kokoisille molekyyleille. Katkaisukoko tarkoittaa yhdisteiden kokoluokkaa, jonka membraani pystyy pitämään 90 %: sesti. (Parikkala, 16.)



Kuva 6. Membraanikalvosuodatin havainnollistettuna poikkileikkauksella. (Solidrop.)

Kuvassa 6 esitetään, miten paineen avulla pusketaan vettä kalvon lävitse. Kalvossa on reikiä, jotka ovat pinta-alaltaan nanometrin halkaisijan kokoluokkaa. Tämän takia kalvon läpäisee ainoastaan vesimolekyylit ja muut partikkelit jäävät kalvoon. (Solidrop.)



Kuva 7. Membraanikalvosuodattimia fluoridinpoistolaitokselta.

Kuvassa poikkileikattu membraanikalvosuodatin, josta voidaan havaita eri suodatinkerrokset, joiden lävitse vesi paineen avulla puhdistetaan.

5.3 Membraanisuodattimien kalvojen huuhtelu

Membraanikalvoja täyttyy tietyin väliajoin huuhdella puhtaaksi vedenpuhdistusprosessin takaamiseksi. Automaatio ohjaa huuhteluvälejä eri parametrein, kuten painerajoin, käyttötuntien tai muiden membraanisuodatinkoneikkojen tarpeen mukaan. Membraanisuodattimen huuhtelusta syntyy konsentraattivettä, jota hankkeessa halutaan hyödyntää laitoksen lämmityksessä. Koska se on saman lämpöistä kuin tuotettu puhdasvesi. Konsentraattivettä halutaan hyödyntää siksi, koska se on veden puhdistusprosessin ongelmajätettä. Tämä on rejektivettä, josta pyritään pääsemään eroon eikä sitä voi hyödyntää muutoin. Konsentraattivettä halutaan hyödyntää lämpöenergian lähteenä laitoksen lämmityksessä. Veteen sitoutunut lämpö halutaan hyödyntää sähkötoimisten pattereiden korvaamiseksi sekä sähkötoimisen ilmanvaihtokoneen apuna tai vaihtoehtoisesti korvaajana vuodenajan mukaan.

5.4 Konsentraatti vesi

Konsentraattivettä syntyy membraanikalvolta jäljelle jäävästä vedestä mitä ei suodateta, vaan johdetaan laitoksen lähellä olevaan puroon. Konsentraattivesi on vettä, joka ei läpäise membraanikalvosuodatinta.

5.5 Fluoridi

Fluoridi on mineraali, jota voidaan löytää maaperästä veteen liuenneena ympäri maailmaa. Fluoridia on myös erilaisissa elintarvikkeissa, kuten teessä ja kalassa. Hammastahnassa fluoridin ominaisuuksia hyödynnetään hammaskiilteen kovettamiseen, luoden suojan hampaalle happohyökkäyksiä vastaan. Fluoria sisältävät hammastahnat ovat pitkään olleet suosituksena hampaiden terveyden ylläpitoon turvallisesti ja helposti. Fluoridiin liittyvät terveys- huolet liittyvät Fluoridin käyttöön juomavedessä. Nieltynä fluoridi kulkee ruoansulatusjärjestelmän kautta verenkiertoon, josta sitä kertyy tyypillisesti elimistön runsaasti kalsiumia sisältäville alueille, kuten luihin ja hampaisiin. Hampaisiin fluoridin vaikutukset ovat yleensä vain kosmeettisia, eikä se vaurioita muuten hampaita, mutta pitkäaikainen altistuminen yli 4 mg/l suuremmille pitoisuuksille voi johtaa luiden heikkenemiseen, sekä aiheuttaa murtumia iäkkäillä ihmisillä. Fluuroosiksi kutsuttu tila voi aiheuttaa myös kipua nivelissä, sekä jäykkyyttä. (Unilever.) Juomavedestä pitää siis poistaa fluoridia esimerkiksi membraanisuodattamalla, jotta päästään haluttuun fluoridipitoisuuden raja-arvoon 1,5 mg/l kohden. Juoma- ja talousvedessä fluoridin suurin sallittu pitoisuus on 1,5 mg/l (THL).

6 Lämmön talteenotto

6.1 Lämmön talteenoton johdanto

Lämmön talteenotolla pyritään parantamaan energiatehokkuutta sekä saada aikaan tuntuvia säästöjä energian kulutuksessa. Lämmön talteenottoa voi rajoittaa hyödynnettävien kohteiden puute tai talteen otettavan lämmön alhainen lämpötila. Matalalämpöisten, alle 80-astetta olevien lämpövirtojen hyödyntäminen voi olla vaikeaa, koska tällöin lämmön talteenotto vaatii koneellisesti tuotettua lisätehoa. Lämmön talteenoton sekä hyödyntämisen ajallinen, maantieteellinen ja tehollinen yhteensopivuus ovat merkittävimpiä vaikuttajia tehokkaassa ja hyödyllisessä lämmön talteenotossa. Käytetyimmät lämmön talteenotto menetelmät ovat hukkalämmön suora hyödyntäminen, matalalämpöisten lämpövirtojen lämpötilan nostaminen lämpöpumppujen avulla hyödynnettävälle tasolle, sekä monivaiheiset lämmön talteenottomenetelmät, joissa hyödynnetään useampia teknologioita. Hukkalämmön hyödyntämistä kohteista yleisimpiä ovat esimerkiksi ilmastointi, tilojen lämmitys, erilaiset käytösesijärjestelmät, korvausilman esilämmitys tai vastaavanlaisten muiden tuotantoprosessien lämmitys. (Motiva.)

6.2 Hukkalämmön hyödyntäminen

Teollisuuden prosesseissa usein syntyy sivutuotteena lämpöenergiaa. Teollisuuden hukkalämmön talteenotto on ollut minimaalista ja asia, jota ei yleensä edes pohdita mahdollisena energiansäästö toimenpiteenä. (Hukkaenergiatyöryhmä.)

6.3 Lämpöpumput

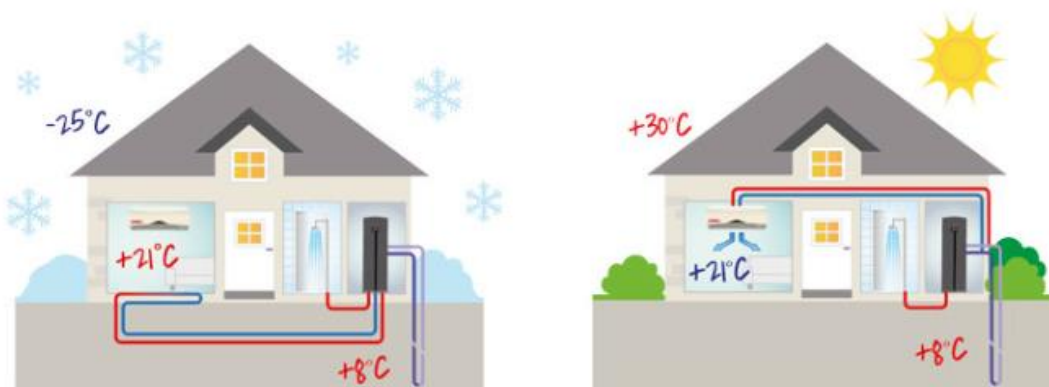
Lämmön talteenotossa lämpöpumppujen käyttö vähentää merkittävästi energian kulutusta. Lämpöpumput mahdollistavat lämpöhäviöiden hyödyntämisen matalillakin lämpöasteilla. Lämpöpumppu tyyppiä on erilaisia muun muassa termokompressori, absorptiolämpöpumppu, suljettuun kiertopiiriin perustuva lämpöpumppu sekä höyryn mekaaninen kompromointi.

Lämpöpumput ovat parhaimmillaan prosesseissa, joissa lämmönsiirron lämpötilaerot ovat pieniä. Lämpöpumppuja käytetään teollisuudessa muun muassa kuivauksessa, haihdutuksessa, höyryn valmistuksessa sekä lämmön talteenotossa. (Motiva.)

6.4 Maalämpö

Maalämpö on maaperään varastoitunutta auringon lämpöenergiaa, sekä geotermistä energiaa. Maalämpöä hyödynnetään käyttöveden lämmityksessä ja rakennusten lämmityksessä. Sekä maalämmön lähteenä toimivaa energiakaivoa voidaan kesällä hyödyntää kiinteistön sisäilman viilentämiseen. Toimintaperiaate maalämpöpumpulla on sama kuin jääkaapilla. Jääkaappi siirtää lämpöä jääkaapin sisältä ympäröivään huonetilaan, kun maalämpöpumppu siirtää lämpöenergiaa maaperästä kiinteistön lämmitysjärjestelmään ja mahdollisesti lämmittää käyttövettä. Auringonlämpöenergiaa sitoutuu maaperän lisäksi myös vesistöihin, joten vaihtoehtoisesti lämmönkeruu piirejä voidaan sijoittaa vesistöihin maahan porattujen lämpökaivojen sijaan. Esimerkiksi läheiseen vesistöön sijoitettavalla lämmönkeruuputkistolla voidaan hyödyntää veteen sitoutunutta lämpöenergiaa. (Gebwell.)

Maalämpö on maaperään varastoitunutta auringon lämpöenergiaa, sekä geotermistä energiaa. Maalämpöä hyödynnetään käyttöveden lämmityksessä ja rakennusten lämmityksessä. Sekä maalämmön lähteenä toimivaa energiakaivoa voidaan kesällä hyödyntää kiinteistön sisäilman viilentämiseen. Toimintaperiaate maalämpöpumpulla on sama kuin jääkaapilla. Jääkaappi siirtää lämpöä jääkaapin sisältä ympäröivään huonetilaan, kun maalämpöpumppu siirtää lämpöenergiaa maaperästä kiinteistön lämmitysjärjestelmään ja mahdollisesti lämmittää käyttövettä. Auringonlämpöenergiaa sitoutuu maaperän lisäksi myös vesistöihin, joten vaihtoehtoisesti lämmönkeruu piirejä voidaan sijoittaa vesistöihin maahan porattujen lämpökaivojen sijaan. Esimerkiksi läheiseen vesistöön sijoitettavalla lämmönkeruuputkistolla voidaan hyödyntää veteen sitoutunutta lämpöenergiaa. (Gebwell.)



Kuva 10. Kuvassa on havainnollistettuna, miten maasta saatava tasainen 8 asteen lämpötila auttaa maalämpöpumppua lämmittämään kiinteistön talvisin, sekä mahdollisesti viilentämään kiinteistöä kuumassa kesä säässä. (Gebwell.)

Kiinteistöissä, joissa on maalämpöpumppu, yleensä valmistetaan lämmintä käyttövettä maalämmön avulla. Kylmästä vedestä valmistetaan käyttövedenlämmittimellä tai lämminvesivaraajalla käyttökelpoista lämmintä vettä. Kiinteistöjen minimilämpötilaksi on rakentamismääräskokoelman mukaan asetettu minimiksi 55 lämpöastetta, joka voidaan saavuttaa maalämpöpumpun omalla kompressorilla, 55 lämpöastetta korkeammat lämpötilat saavutetaan sähkövastuksin. Käyttöveden riittävyys varmistetaan hankkimalla tarvittavalla kapasiteetilla varustettu varaaja. (gebwell)

Hankkeen yhteydessä pohdittiin, että lämpöpumppu voisi tuottaa myös käyttövettä laitoksen kahdelle lavuaarille, sekä hätäsuihkulle. Asiantuntijan mielipide on, että ei ole taloudellisesti kannattavaa lähteä korvaamaan pieniä lämminvesivaraajia. Mikäli käyttövettä lämmitettäisiin maalämpöpumpulla sähkönsijaan. Ei investointi olisi taloudellisesti kannattavaa, sillä Fluorinpoistolaitoksen käyttövedenkulutus on minimaalista tai olematonta. Esimerkkinä hätäsuihkulle ei ole jatkuvaa käyttöä ja laitoksen vastakkaisilla seinillä sijaitsevilla lavuaareilla vedenkäyttö on satunnaista.

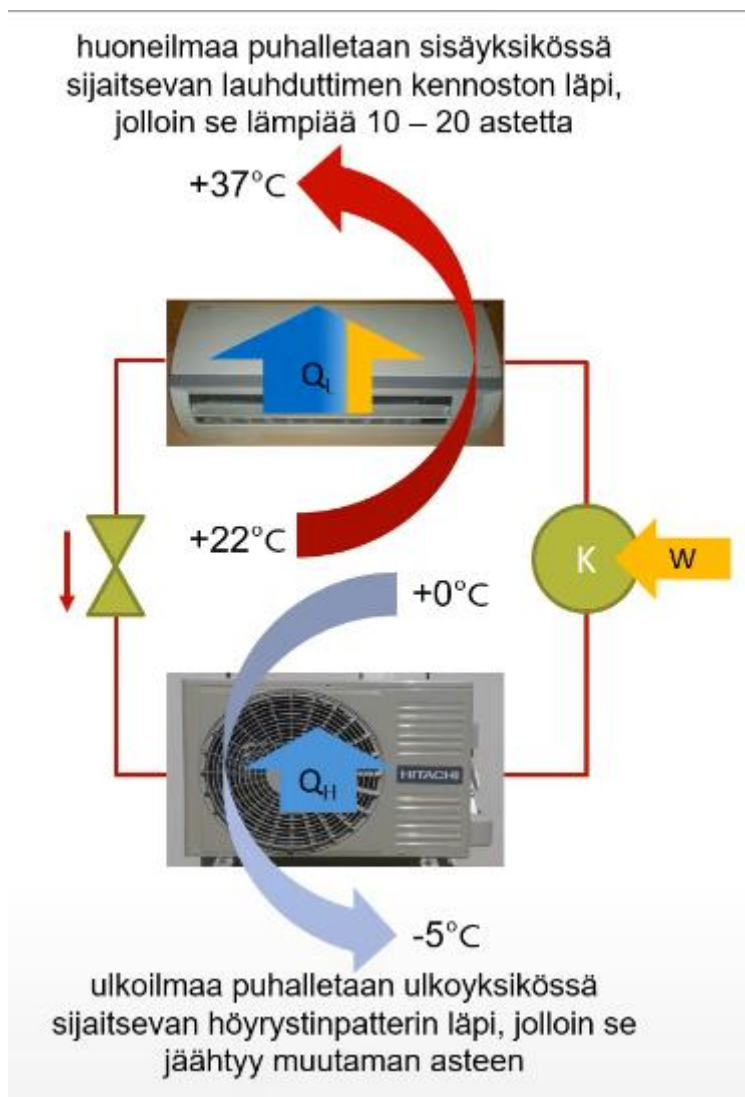
6.5 Energiavaraajat

Energiavaraajia hyödynnetään vesikiertoisissa lämmitysjärjestelmissä lämmitetyn veden lämpöenergiavarastoina siirtämällä lämpöenergiaa energiavaraajan veteen. Energiavaraajan käyttö on taloudellinen ja ekologinen keino ylläpitää tasainen huonelämpötila, sekä saada riittävästi lämmintä vettä. Energiavaraajanvettä käytetään lämmityskierrossa olevan veden tai käyttöveden lämmittämiseen. (Gebwell.)

6.6 Lämpöpumpun toimintaperiaate

Ilmalämpöpumpussa lämmönlähteenä toimii ulkoilma. Lämpöpumpun ulkoyksiköön on sijoitettuna kompressorin, paisuntaventtiilin ja höyrystin. Ulkoyksikön höyrystinpatterin läpi puhalletaan ulkoilmaa, jolloin se jäähtyy muutaman asteen ja luovuttaa lämpöenergiaa kylmäaineelle, joka virtaa höyrystinputkiston sisällä. Höyrystimessä kylmäaine kiehuu ottaen höyrystymiseen tarvittavan lämmön ulkoilmasta. Höyrystimestä kompressorin imee kylmäainehöyryä ylläpitäen höyrystimessä riittävän alhaista painetta sekä riittävän alhaista kylmäaineen kiehumislämpötilaa, jotta ulkoilman lämpötila riittää siirtämään lämpöä kylmäaineen höyrystämiseen. Kompressorin puristaa höyrystin korkeampaan paineeseen, jolloin höyry kuumenee voimakkaasti. Kompressorista tuleva kuuma höyry virtaa sisäyksikön lauhduttimeen, jossa tulistettu kuuma höyry nesteytyy riittävän korkeassa paineessa. Mitä korkeampi paine, niin sitä korkeampi on lauhdutuslämpötila ja sitä lämpimämmäksi huoneilmaa

voidaan lämmittää. Sisäyksikön lauhduttimen jälkeen nesteytynyt kylmäaine virtaa seuraavaksi paisuntaventtiiliin ohjaamana takaisin ulkoyksikön höyrystimeen uutta kiertoa varten. Kylmäaine alkaa höyrystymään osittain jo paisuntaventtiilissä. (Digma.)



Kuva 11. Ilmalämpöpumpun toimintaperiaate. (Digma).

6.7 Lämmönsiirtimet sekä lämmönsiirtonesteet

Yleisimpiä lämmöntalteenottolaitteista ovat levy- ja putkilämmönsiirtimet. Vastaavia lämmönsiirtimiä ovat lämpöputket, patterijärjestelmät, pakokaasukattilat, pesurit, regeneraattorit, ekonomaiserit. Lämmöntalteenottolaitteistossa tarvitaan lämmönsiirtiminen lisäksi useita erilaisia mittareita mittaamaan virtausta ja painetta sekä kiehumisen- sekä jäätymisenestolaitteita ja erilaisia suodattimia ja viemärointi- ja virtauksen tasaimia.

Lämmönsiirtonesteiden pitoisuudet vaikuttavat niiden ominaisuuksiin. Lämmönsiirtonesteiden ominaisuudet ajan kuluessa usein heikkenevät. (Thermia.)

6.8 Konsentraattivedestä saatava potentiaalinen hyöty

Konsentraattiveden lämpötila on noin 8 astetta ympäri vuoden. Lämpöpumpulla voitaisiin ottaa 8 asteista hukkalämpöenergiaa talteen laitoksen lämmitykseen. Konsentraattiveden virtaus on noin 40 kuutiota tunnissa, mutta konsentraattiveden virtauksessa on flukтуаatioita johtuen prosessin eri vaiheista, jota automaatio-ohjelma ohjaa. Veden puhdistusprosessi on käytössä ympärivuorokautisesti, joten säästöpotentiaali on varteenotettava. Konsentraattiveden tiedot syötettiin Calefan kannattavuuslaskuriin säästöpotentiaalın selvittämiseksi sekä hukkaenergian määrän selvittämiseksi.

Hukkateho

Hukkaenergian virtaama	11.1 kg/s
Prosessin käyttöaika vuorokaudessa	24 h/vuorokaudessa
Prosessin käyttöaika vuodessa	8760 h/vuosi
Lämpötila ennen lämmöntalteenottoa	8°C
Lämpötila talteenoton jälkeen	6°C
Hukkaenergian lämpöteho	93kW

Saatava hyöty

Lämpöteho	150 kW
Lämpötila neste	80 °C
Lämpöpumpun COP	2.6
Lämpöenergia vuodessa	1 316MWh

(Calefa.)

7 Hyödyntämiskohteet

7.1 Valvomo

Valvomon tilavuus on noin 90 m³, jota lämmittää kaksi 2 kilowatin tehoista sähköpatteria, joiden sähkönkulutusta voitaisiin korvata maalämpöpumpulla.



Kuva 12 ja 13. Patterit valvomossa.

Valvomon kaksi 2kW sähköpatteria, joita pidetään 20 °C asteisena. Kaikki laitoksen sähköpatterit ovat saman mallisia ja haluttaisiin korvata maalämmöllä. Valvomotilaan on pohdittu asennuttaa maalämpöpumppu lämmitteinen patteristo nykyisten tilalle.

7.2 Varasto

Yksi sähköpatteri on teholtaan 2 kW. (yhteensä 6 kW). Taloudellisimpana ratkaisuna pohdittiin maalämpöpumppuun liitettyä hallipuhallinta kattoon asennettavaksi sähkölämpöpattereiden korvaajaksi ja vapauttaisi varaston seinä- ja hyllytilan käyttöä.



Kuvat 14 ja 15. Kuvissa fluoridinpoistolaitoksen varaston hyllyjen alla sijaitsevat lämmityspatterit, jotka pitävät varaston lämpötilan 20 °C:ssa.



Kuva 16. Varaston pieni lämminvesivaraaja, joka olisi mahdollisuus muuttaa maalämpökäyttöiseen lämminvesivaraajaan.

Kuvan 16 varaston lämminvesivaraajalla tosin on satunnaista käyttöä mikä tulee huomioida hankkeen investoinnin takaisinmaksu ajassa ja yleisessä hyödyllisyydessä. Ammattilaisten haastattelujen perusteella pienlämminvesivaraajat olisivat taloudellisempia säilyttää suoravaihtolämmittiminä kuin investoida suureen maalämpökäyttöiseen järjestelmään.

7.3 Prosessi tila

Prosessitilan tilavuus on 1464,46 m³ kellari mukaan lukien. Prosessitilassa on myös kaksi lämminvesivaraajaa, joita voitaisiin mahdollisesti korvata maalämpöpumppulämmittisellä lämminvesivaraajalla. Prosessitilaa lämmittää ilmanvaihtokone, jonka energiankulutusta selvitettiin mahdollisen maalämpöpumpun mitoituksen helpottamiseksi.



Kuva 17. Prosessitilan paineenkorotus pumpput ja niistä lähtevät putket membraanikalvo-suodatinkoneikoille.



Kuva 19. Fluoridinpoistolaitoksen ilmanvaihtokone.

Kuvan 19 Ilmanvaihtokone on moduuli mallinen, joten uuden lämmönvaihtimen asennus on helppoa ja koneen tuuletinmoottorin tehot riittävät mahdollisen lisälämmönvaihtimen tuomaan paineen lisäykseen. Mahdollisesta maalämpöpumpun lämpökonvektorin lisäämisestä johtuva paineenlisäys ei haittaa ilmanvaihtokoneen toimintaa valmistajan haastattelujen mukaan.



Kuva 20. Ilmanvaihtokoneen lämmitysvastukset.

Ilmanvaihtokoneen tuloilman lämpötilan laskiessa ilmanvaihtokoneen automatiikka kytkee päälle lämpövastuksia tarpeen mukaan pitäen koneikkohallin peruslämpötilan 8°C, jota koneikkohalliin noin 2 metrin korkeuteen sijoitettu termostaatti ohjaa. Kuvassa 1,5kW lämmitysvastus kytkeytyneenä.



Kuvat 22. Pienlämmivesivaraaja, joka on sijoitettuna käyttöpisteen yläpuolella ilmanvaihtokoneen viereen.

Asiantuntijan mukaan pienlämmivesivaraajat ovat taloudellisempia pitää sähkölämmittiminä ja erillään kuin investoida suurempaan maalämmöllä toimivaan lämminvesivaraajaan. Samaan johtopäätökseen päätyi myös kilpailevan lämpöpumppuyhtiön asiantuntija haastattelujen perusteella.

8 Energian kulutus

8.1 Ilmanvaihtokoneen energiankulutus

Ilmanvaihtokoneen energiankulutus on laskettu maalämpöpumpun kapasiteetin ja mitoituksen helpottamiseksi. Energiankulutus on laskettu vuoden 2019 kuukausien keskilämpötilojen mukaan Kymenveden kuukausiraporttien lämpötilojen mukaan. Sekä Suomen keskilämpötilojen mukaan Ilmantieteenlaitoksen lämpötilojen mukaan. Ilmanvaihtokoneen energiankulutus laitoksen lämmitykseen on laskettu käyttäen alla olevaa kaavaa. Lisäksi energiankulutuskaavioihin on laskettu ilmankäsittelykoneen sähkömoottorin kulutus. Ilmanvaihtokoneenmoottorin energiankulutus on laskettu 100 % käyttöasteella, koska laite on ympärivuorokautisessa käytössä.

$$\varphi = C_{pi} \rho_i Q_{vt} t\Delta$$

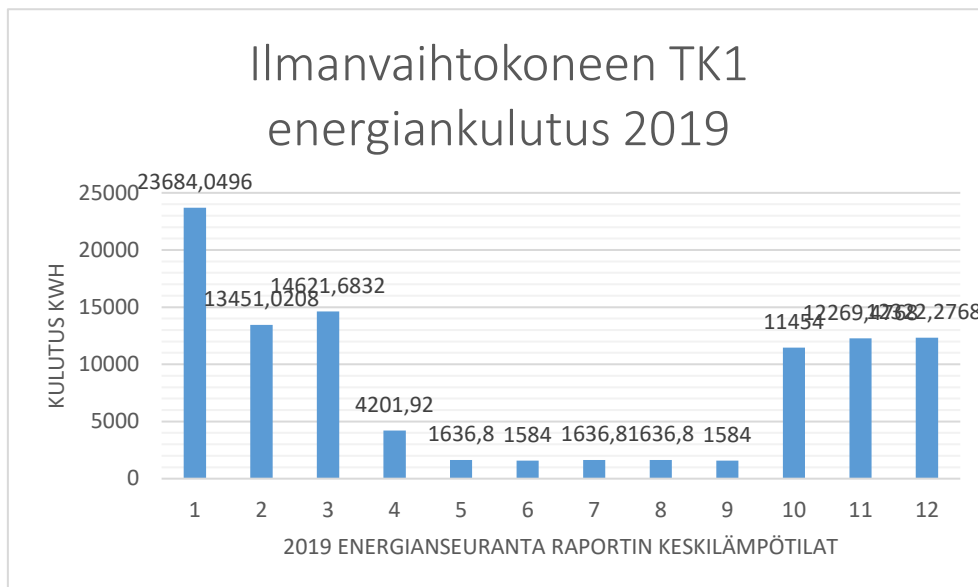
φ	Lämmitystarve	[kW]
C_{pi}	Ominaislämpökapasiteetti	[kJ/kg K]
ρ_i	Ilmantiheys	[kg/m ³]
Q_{vt}	tuloilmantilavuusvirta	[m ³ /s]
$t\Delta$	sisälämpötilan ja ulkolämpötilan erotus	[°C]

(Rakennuksen energiakulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. s. 20. 2020.)

2019 Tekopohjavesilaitoksen lähialueen keskilämpötilat °C

tammikuu	-8,3
helmikuu	-1,8
maaliskuu	-1,6
huhtikuu	6
toukokuu	10,2
kesäkuu	17,8
heinäkuu	16,7
elokuu	15,6
syyskuu	10,2
lokakuu	3,9
marraskuu	0,5
joulukuu	0,1

Ilmanvaihtokoneen laskelmoitu energiankulutus oli vuodessa 75670,98 kWh/a kun laskelmissa käytetään lähialueen kuukausien keskilämpötiloja vuodelta 2019. Alhaiseen energiankulutukseen todennäköisesti vaikutti poikkeuksellisen leuto talvi.



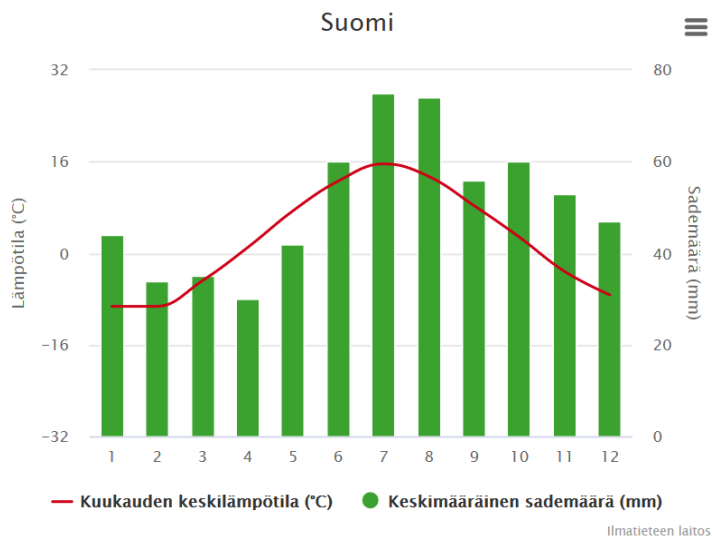
Kuvio 23. Excel kaavio, jossa on havainnollistettu ilmanvaihtokoneen energiankulutus vuodelle 2019.

Kaavioon 23 on laskettu mukaan myös ilmanvaihtokoneen sähkömoottorin kuluttama energia. Kaaviosta voidaan huomata, että kesän lämpiminä kuukausina energiaa kuluu vain sähkömoottorin kuluttaman energian määrän verran.

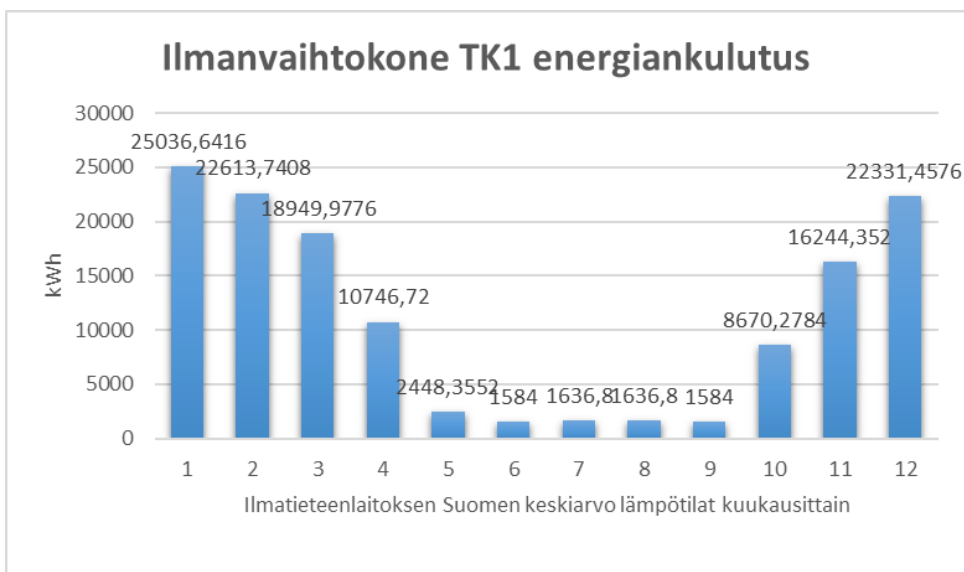
Suomen kuukausien keskilämpötilat °C (ilmatieteenlaitos).

tammikuu	-9,3
helmikuu	-9,3
maaliskuu	-4,8
huhtikuu	1
toukokuu	7,4
kesäkuu	12,6
heinäkuu	15,6
elokuu	13,4
syyskuu	8,3
lokakuu	2,8
marraskuu	-3,2
joulukuu	-7,3

Suomen keskimääräinen lämpötila ja sademäärä kuukausittain



Kuvio 24. kuva, jossa käytettyjen keskilämpötilojen määrät ilmanvaihtokoneen energiankulutus laskelmissa. (ilmatieteenlaitos).



Kuvio 25. Excel kaavio, jossa on Ilmanvaihtokoneen energiankulutus laskettuna ilmatieteenlaitoksen arvoilla. Energiankulutus on vuodessa 114211,1 kWh/a.

9 Yhteenveto

Opinnäytetyössä tutkittiin mahdollisuuksia hyödyntää konsentraattiveteen sitoutunutta lämpöenergiaa energiansäästöratkaisuna laitoksen lämmityksessä. Tutkimuksessa laskettiin ilmanvaihtokoneen energiankulutus vuoden 2019 lämpötilojen mukaan, sekä Suomen keskilämpötilojen mukaan, jota käytettiin vertailu arvona maalämpöpumpun mitoitukselle hankkeen mahdolliselle toteuttamiselle. Asiasta oltiin yhteydessä Koja- ilmanvaihtokoneen valmistajaan maalämpöpumpun asennuksesta johtuvasta ilmanpaineenlisäyksestä ilmanvaihtokoneella. Asennus ei tuotaisi ongelmia ja lisäasennuksesta tuleva paineenlisäys ei tuotaisi ongelmia laitteiden toimivuudelle. Työssä selvitettiin pohjapiirustukseen maalämpöpumpun ja hankkeeseen liittyvien komponenttien sijaintia laitoksen sisällä. Selvitetiin vaihtoehtoisia lämmityssystemeitä sähköpattereiden korvaamiseksi. Haastateltiin maalämpöpumppu tarjouksen tekijöitä hankkeen toteutettavuuden kannattavuutta ja mahdollisuutta korvata sähkötoimiset lämminvesivaraajat vastaavilla maalämpötoimisilla lämminvesivaraajilla.

10 Pohdinta

Vaikka hukkalämmölle löydettiin hyödyntämiskohteita, on konsentraatti vedestä saatava energiahyöty asiantuntijoiden mukaan pientä ja juuri siinä rajalla, onko hanke järkevä investointi. Calefan energialaskurin mukaan 93 kW lämpöenergiasta menee hukkaan konsentraattiveden mukana. Hanke olisi teoriassa kannattavaa, mutta investoinnille oli asetettu kahdeksan vuoden takaisinmaksuaika, jonka hanke todennäköisesti ylittäisi. Lisäksi takaisinmaksuajan laskennassa ei ole otettu huomioon putkituksista, asennuksista ja huolloista, sekä mahdollisista vikatilanteista johtuvia kustannuksia, jotka pidentäisivät hankkeen takaisinmaksuaikaa.

Fluoridinpoistolaitoksen konsentraattivedelle voi tulla tulevaisuudessa kannattavampia käyttötarkoituksia. Hankkeen lähes vuosikymmenen mittainen takaisinmaksuaika on todella pitkä, kun sitä verrataan teknologiakehitykseen viimeisen kahdeksan vuoden ajalle. On mahdollista, että hankkeen takaisinmaksun aikana teknologia kehittyy niin nopeasti, että markkinoille voi tulla innovaatioita, joilla vastaavanlaisiin energiansäästöihin päästäisiin pienemmillä investoinneilla.

Taloudellisesti kannattavin energiansäästöratkaisu olisi ilmalämpöpumpun asentaminen lämmityksen sähkönkulutuksen pienentämiseksi. Konsentraattivettä voitaisiin hyödyntää myös muulla tavalla, kuten esimerkiksi pienoissähkögeneraattorin pyörittämiseen. Konsentraattiveden virtausta hyödynnettäisiin generaattorin pyörittämiseen, muuntamalla veden kiineettistä energiaa sähköenergiaksi.

11 Lähteet

Aquanova. 2022. Käänteisosmoosi Viitattu 08.01.2022 Saatavissa:

<https://www.aquanova.fi/tuote-osasto/vedenkasittely/kaeaenteisosmoosi/>

Calefa. Kannattavuuslaskuri. Viitattu 12.01.2021 Saatavissa:

<http://www.calefa.fi/fi/kannattavuuslaskuri/>

Finder. 2021. Tietoa yhtiöstä. Viitattu 11.11.2021 Saatavissa:

<https://www.finder.fi/Vedenpuhdistus+ja+vedenjakelu/Kymen+Vesi+Oy/Kotka/yhteystiedot/1257947>

Gebwell. Maalämpö Viitattu 08.01.2022. Saatavissa:

<https://gebwell.fi/maalampo/>

Hukkaenergia hyödyksi. 2015. Viitattu 08.01.2022 Saatavissa:

<https://hukkaenergiahyodyksi.com/2015/10/29/missa-teollisuuden-hukkalampo-voidaan-hyodyntaa/>

Härkönen, M. 2017. Digma Lämpöpumppu. YouTube. Viitattu 01.01.2022 3:42 Saatavilla:

<https://www.youtube.com/watch?v=0g-9X2Bx4yo>

Ilmatieteenlaitos. Kuukausitilastot Viitattu 12.01.2020 Saatavissa:

<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/kuukausitilastot>

Kouvolan vesi. Vedenhankinta. Viitattu 08.01.2022. Saatavissa:

<https://kouvolanvesi.fi/veden-hankinta/>

Kymen Vesi. Toiminta. Viitattu 11.11.2021 Saatavissa:

<https://kymenvesi.fi/toiminta/>

Motiva. Koulutusaineisto Viitattu 08.01.2022. s. 14–16, 19 Saatavissa:

https://www.motiva.fi/files/7812/Energiatehokas_Lammitys_LTO_KOULUTUSAI-NEISTO.pdf

Kiuru, T. 2019. Energiatehokkuustoimet. Motiva. Viitattu 08.01.2022. Saatavissa:

https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/vesihuoltolaitos/muut_energiatehokkuustoimet/lam-montalteenotto_vesihuoltolaitoksilla

Parikkala, s.16, Viitattu: 16.09.2020 Saatavissa:

<http://www.parikkala.fi/loader.aspx?id=c564a7fe-a069-48c1-8b49-51dfa7a61832>

Rakennuksen energiakulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D5. s. 20. Helsinki: ympäristöministeriö. [viitattu 15.09.2021] Saatavilla:

<https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%20RakMK-21585>

Solidrop. Suodatin kuva. Viitattu 12.01.2021 Saatavissa:

<https://www.solidrop.net/product/100gpd-ro-membrane-sheet-for-housing-residential-water-filter-ro-membrane-reverse-osmosis-system-with-nsf-ansi-standerd.html>

Thermia. Lämmönsiirtonesteet. Viitattu 08.01.2022. Saatavissa:

<https://www.thermia.fi/ilmavesilampopumppu/ilmavesilampopumppu/>

Thl. Fluoridi. Viitattu 07.01.2022 Saatavissa:

<https://thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/vesi/kaivovesi/kaivoveden-kemiallinen-laatu/kaivovedessa-luonnostaan-esiintyvät-kemialliset-aineet/fluoridi>

Unilever. Fluoridi. Viitattu 07.01.2022 Saatavissa:

<https://wiop.unilever.fi/your-ingredient-questions-answered/fluoride/>

VWR. Suodattimet, Membraanisuoatattimet Viitattu:16.01.2021 saatavissa:

<https://fi.vwr.com/store/category/membraanisuoatattimet/555069>

