

Opinnäytetyö (AMK)

Prosessi- ja Materiaalitekniikan koulutusohjelma

2018

Henrik Sairanen

VEDENPEHMENNYS- MENETELMIEN VERTAILU KONEELLISEEN PESUUN

Henrik Sairanen

VEDENPEHMENNYSMENETELMIEN VERTAILU KONEELLISEEN PESUUN

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää toimiva menetelmä vedenpehmennykseen, joka voidaan tarjota palveluna asiakkaille. Asiakkaina ovat ammattikeittiöt, joiden vedet ovat kovia ja joudutaan käyttämään erityisiä kovalle vesille tarkoitettuja pesuaineita. Tällöin voitaisiin säästää ylimääräisissä kuluissa kovuutta vähentävien pesuaineiden käytössä. Työ koostuu kirjallisesta ja kokeellisesta osasta. Kirjallisessa osassa on tarkoituksena käydä läpi erilaisia olemassa olevia vedenpehmennyksen menetelmiä ja laitteita, vertailla hintoja, kokoja sekä soveltuvuutta käyttötarkoitukseen. Kokeellinen osa sisältää menetelmän testauksia sen toimivuudesta vedenpehmennykseen. Tarkoituksena on myös kokeellisen osan yhteydessä tehdä laskelmia vuosittaisista kustannuksista pesuaineen ja laitteen suhteen.

ASIASANAT:

Veden pehmennyksen, astianpesu, ammattikeittiöt, kannattavuus

BACHELOR'S / MASTER'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Chemical and Materials Engineering

2019 | 28

Henrik Sairanen

COMPARISON OF WATER SOFTENING METHODS FOR MACHINE WASHING

The purpose of this thesis was to find a suitable method for water softening, to be offered as a service from the company to professional kitchens in their dish washing. It is aimed at kitchens in areas with extra hard waters requiring the use of special detergents. This way they could save in detergent expenses. The thesis consists of a theoretical and a practical part, where the theoretical part comprises finding different methods and devices for water softening, and comparing the prices, sizes and suitability. The practical part is about testing a device by measuring the water hardness and seeing the effects. The aim was to also calculate for annual expenses of different devices and detergents.

KEYWORDS:

water softening, dish washing, professional kitchens, profitability

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	6
1.1 Veden kovuus ja sen vaikutukset	6
1.2 Pesuaineiden käyttö ammattikeittiöissä	7
2 VEDENPEHMENNYSMENETELMÄT	9
2.1 Ioninvaihto	9
2.1.1 Ioninvaihtolaitteistot	11
2.2 Magneettinen vedenpehmennys	13
2.2.1 Magneettisen vedenkäsittelyn laitteisto	14
2.3 Käänteisosmoosi	16
2.3.1 RO-laitteisto	17
3 HINTAVERTAILU	19
3.1 Ioninvaihto	19
3.2 Käänteisosmoosi	20
3.3 Magneettinen vedenkäsittely	20
4 KÄYTÄNNÖN OSUUS	21
5 TULOKSET	26
6 LOPUKSI	28
LÄHTEET	29

LIITTEET

Liite 1. Laskuri

KAAVAT

Kaava 1: Kationinvaihtoreaktio. (Irene Auvinen, 2011)	10
Kaava 2: Anioninvaihtoreaktio. (Irene Auvinen, 2011)	10
Kaava 3: Ioninvaihtomassan elvytysväli. (Aqua Nova)	19

KUVAT

Kuva 1: BWT bestclear ioninvaihdin. (BWT - Best Water Technology, 2018)	11
Kuva 2: BWT Bestsoft 22 ioninvaihdin. (BWT - Best Water Technology, 2018)	12
Kuva 3: Aqua Novan kaksoisioninvaihdin. (Aqua Nova)	12
Kuva 4: Esimerkki magneettisen vedenkäsittelylaitteen rakenteesta.	14
Kuva 5: XCAL DIMA Magneettinen vedenkäsittelylaite.	14
Kuva 6: Bauerin magneettinen vedenkäsittelylaite. (Bauer watertechnology, 2018)	15
Kuva 7: Vesitekno Oy:n sähköinen vedenkäsittelylaite. (Vesitekno)	15
Kuva 8: BWT bestaqua 60/61/62 Käänteisosmoosilaite. (BWT - Best Water Technology, 2018)	17
Kuva 9: Aqua Novan 2000-sarjan käänteisosmoosilaite. (Aqua Nova)	18
Kuva 10: Metos WD-6EA-koneen sisältä alaosa.	21
Kuva 11: Metos WD-6EA- koneen sisältä yläosa.	22
Kuva 12: Vedenpehmentin Bestclear 2XL asennettuna tiskipöydän alle.	23
Kuva 13: BWT:n pikatestikitti kovuuden testaamiseen	24

TAULUKOT

Taulukko 1: Veden kovuusasteikko Suomessa	7
Taulukko 2: Analyysitulokset	25

1 JOHDANTO

Työn tarkoituksena on selvittää erilaisia vedenpehennysmenetelmiä koneelliseen astianpesuun ammattikeittiöissä, niiden kemialliset toimintaperiaatteet ja löytää edullinen vaihtoehto yrityksen käytettäväksi, sekä testata toimivuutta.

Opinnäytetyöni toimeksiantajana oli KiiltoClean Oy, jonka toimialana on pesuaineiden ja hygieniatarvikkeiden valmistus ja myynti. Yritys kuuluu suureen Kiilto Family konserniin, joka on perheyhtiö ja ollut koko toimintansa ajan saman suvun omistuksessa. Yritys valmistaa tuotteita myös ammattikäyttöön kuten ammattisiivoukseen ja ammattikeittiöihin. Yritys pitää yhteyttä asiakkaisiinsa, kuten eri alojen ammattikeittiöihin löytääkseen asiakkaalle sopivan ja toimivan pesuaineen käytetyn pesukoneen ja veden kovuuden mukaan. (KiiltoClean, 2018)

Työni tavoitteena on löytää menetelmä, jolla vettä voitaisiin pehmentää mahdollisimman halvalla ja tehokkaasti. Kyseistä menetelmää yritys voisi sitten tarjota asiakkailleen palveluna ja saisi täten lisäarvoa yritykselle. Asiakas säästäisi pesuaineen käytössä sekä koneiden huoltokustannuksissa.

1.1 Veden kovuus ja sen vaikutukset

Pesuaineiden teho koneellisessa astianpesussa riippuu suuresti veden kovuudesta. Kovissa vesissä tarvitaan usein suurempia annostuksia pesuainetta tai pesuaineita, jotka on tarkoitettu koviin vesiin, mutta ovat kalliimpia valmistaa. Veden kovuus vaihtelee paljon paikkakunnittain ja alueittain, myös vuodenajat ja sademäärät vaikuttavat veden kovuuteen. Paikkakuntien veden kovuus voidaan yleensä selvittää paikalliselta vesilaitokselta. Kovan veden ollessa kyseessä voisi olla edullista käyttää sopivia vedenpehennyslaitteistoja.

Pääsääntöisesti puhdas vesi voidaan jakaa kolmeen ryhmään:

- III-luokka (puhdistettu käänteisosmoosilla, tislauksella tai ioninvaihdolla)
- II-luokka (käänteisosmoosi + ioninvaihto)
- I-luokka (ultrapuhdas, membraanisuodatettu tiiviillä kalvolla) (Koivula, 2017)

Veden kovuus riippuu pääasiassa veden sisältämän kalsiumin (Ca^{2+}) eli kalkin ja magnesiumin (Mg^{2+}) konsentraatiosta. Mitä enemmän kyseisiä ioneja on vedessä, sitä kovemmaksi vesi luokitellaan. Veden kovuus määritellään yleensä saksalaisen kovuusasteikon mukaisesti, jossa 1 dH vastaa 10 mg/l kalsiumia + magnesiumia tai SI-järjestelmän mukaisesti $1 \text{ dH}^\circ = 0,18 \text{ mmol/l}$. Kovuus määritellään taulukon 1 mukaisesti (Tampereen Vesi, 2016) (Vetelin Vesi Oy).

Suomessa vesi on pääsääntöisesti pehmeää, mutta se vaihtelee paikkakunnittain.

Taulukko 1: Veden kovuusasteikko Suomessa (Tampereen Vesi, 2016)

Kovuusaste (dH°)	Veden kovuusluokka	Mmol/Ca
0-6	Pehmeä	0,18-1,08
7-13	Keskikova	1,26-2,34
14-20	Kova	2,52-3,6

Runsasti kalkkia sisältävä vesi saattaa kerätä kalkkisaostumia kodinkoneiden sisään, sekä tilojen seiniin ja siten heikentää sekä pesutulosta, että koneiden toimivuutta. Vedessä olevat kovuussuolat voivat saostua lämpötilan ja suolapitoisuuden vaikutuksesta karbonaateina ja sulfaatteina, tavallisimmin bikarbonaateina ja kalsiumbikarbonaattina $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ja magnesiumkarbonaattina $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$. Kalsium ja magnesium voivat esiintyä myös Kalsium- ja magnesiumsulfaattina (CaSO_4 ja MgSO_4).

1.2 Pesuaineiden käyttö ammattikeittiöissä

Koneellisessa astianpesussa käytetään yleensä kompleksointiaineita kalkkisaostumisen ehkäisemiseksi. Niiden toiminta perustuu siihen, että kovuussuolat sidotaan liukeneviksi yhdisteiksi käyttämällä esim. biohajoavia GLDA (glutamiinihappo, N,N-dietikkahappo, tetranatriumsuola) ja MGDA (alaniini, N,N-bis(karboksimetyyli)-.trinatriumsuola). (KiiltoClean, 2017)

Kompleksointiaineita käytetään suoraan verrannollisena määränä veden kovuuden suhteen. Muita pesuaineissa käytettäviä aineita ovat dispergointiaineet, jotka pitävät liukeneemattomat hiukkaset erossa pestävistä pinnoista, sekä fosfaatteja, jotka toimivat sekä kompleksoimalla, että dispergoimalla. Fosfaatteja käytetään yleensä vedenpehmentäjänä, niiden käyttöä on kuitenkin rajoitettu, koska fosfori vaikuttaa vesistöjen

rehevöitymiseen. Fosfaattien sijasta käytetään nykyään useimmiten zeoliitteja. Dispergointiaineina käytetään yleensä polykarboksylaatteja ja niitä tarvitaan yleensä vain pieni määrä, joka ei ole riippuvainen veden kovuudesta. (Issakainen, 2018)

Huuhtelutankin kalkkeutumista voidaan ehkäistä myös huuhtelukirkasteella, joka sisältää yleensä sitruunahappoa. Huuhtelukirkasteen heikkoutena on kuitenkin, että se toimii vain huuhteluvesisuihkun kohdalla ja hapot voivat aiheuttaa kupari- ja messinkiosien korroosiota. Astianpesukoneessa valmiina olevaa kalkkisaostumaa voidaan myös poistaa vahvasti happamilla tuotteilla esim. typpi- ja fosforihappo, jotka yleensä vaativat henkilökohtaisia suojavälineitä kuten suojahanskoja, lasia ja vaatesuojaa. (Issakainen, 2018)

2 VEDENPEHMENNYSMENETELMÄT

Vedenpehmennyksessä käytetään usein seuraavia menetelmiä:

2.1 Ioninvaihto

Ioninvaihto on yleisin menetelmä veden puhdistamiseen sekä pehmentämiseen. Teollisuudessa sitä käytetään paljon suolan poistamiseksi vedestä. Ioninvaihdolla saadaan tuotettua II-luokan vettä, sillä se poistaa vedestä 99% kokonaismineraaleista. (Koivula, 2017)

Ioninvaihto perustuu jatkuvaan ionien vaihtoon kiinteän faasin eli ioninvaihtohartsin ja nestefaasin välillä. Ioninvaihto tapahtuu ioninvaihtohartsissa. Ioninvaihtimissa käytetään joko kationi tai anionihartsia. Ionit vaihdetaan raakavedestä takaisin vetyioneiksi (H^+) ja hydroksyyli-ioneiksi (OH^-). (Auvinen & Haverinen, 2011)

Ioninvaihtohartsit ovat liukenematonta materiaalia, näitä ioneja käytetään vaihtamaan hartsin läpi kulkevan nesteen ionit toisiksi, vähemmän haitallisiksi ioneiksi. Ioninvaihtohartsit on valmistettu synteettisistä polymeereistä, kuten styreeni-divinylibentseeni polymeereistä. Tärkeimmät hartsit ovat orgaanisia, tyypillisesti geelejä, joiden rakenne koostuu epäsäännöllisistä makromolekyyleistä sekä kolmiulotteisesta hiiliketjujen verkostosta. Kationinvaihtohartsit koostuu ioniryhmistä kuten $-SO_3^-$, $-COO^-$, $-PO_3^{2-}$ (Auvinen & Haverinen, 2011)

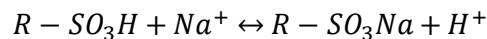
Ioninvaihtoa voidaan käyttää veden käsittelyssä pelkkään veden pehmennykseen, jolloin vedestä vaihdetaan pois vain kovuutta aiheuttavat kalsium- ja magnesiumionit (Ca^{2+} ja Mg^{2+}). Toinen vaihtoehto on täyssuolanpoisto, jolloin vedestä poistetaan lähes kaikki ionit ja saadaan aikaiseksi hyvin puhdasta vettä. Täyssuolanpoiston aikaansaamiseksi on vesi ajettava molempien, kationi- ja anioninvaihtohartsin läpi. Tämä voidaan tehdä joko erillisissä kolonneissa tai yhdessä kolonnissa johon on sekoitettu kationin- ja anioninvaihtohartsit (mixed bed eli sekaioninvaihdin) (Auvinen & Haverinen, 2011).

Kationinvaihtimien toiminta perustuu siihen, että veden kovuutta nostavat metalli-ionit, kuten Na^+ , Mg^{2+} ja Ca^{2+} vaihdetaan vetyioneihin. Mikäli tarvitaan vain vedenpehmennys täyssuolanpoiston sijaan, voidaan Mg^{2+} ja Ca^{2+} - ionien tilalle vaihtaa Na^+ ioneja, jolloin

kovuus vähenee, mutta veteen jää suoloja. Reaktiossa kationit, joilla on suurempi varaus irrottavat ioneja, joilla on heikompi varaus (Ruokosal, 2010).

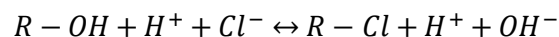
Kun liikaa heikompiarauksellisia kationeja on syrjäytetty, eli hartsit ei enää kykene vastaanottamaan enempää ja toimintakyky heikkenee. Hartsin kuntoa voidaan seurata esimerkiksi huoltojen ohessa tarkastamalla, miten suuri osa hartsista on hajonnut visuaalisesti tai näytteenotolla elvytyksen jälkeen ja analysoimalla hartsin vedenpidätyskyky (sen ylittäessä 60% olisi hartsit syytä vaihtaa). Yleisimmin käytetään kuitenkin antureita, jotka mittaavat sähkönjohtavuutta, kun sähkönjohtavuus nousee, se on yleensä merkki hartsin kunnan heikentymisestä (Auvinen & Haverinen, 2011).

Hartsin kunnan heikennyttyä se täytyy elvyttää, missä käytetään yleensä rikkihappoa (H_2SO_4) tai suolahappoa (HCl). Jos ei tarvita täyssuolanpoistoa vaan vedenpehmenys riittää, voidaan elvytykseen käyttää suolaa (NaCl), jolloin Ca^{2+} ja Mg^{2+} ionit korvataan Na^+ -ioneilla. (Pakkanen, 2009) (Ruokosal, 2010) Kationinvaihtimen reaktio tapahtuu reaktioyhtälön 1 mukaisesti, jossa R kuvaa ioninvaihtohartsia. Elvytys tapahtuu natriumkloridilla (NaCl) reaktioyhtälön käänteisreaktiolla. (Ruokosal, 2010)



Kaava 1: Kationinvaihtoreaktio. (Auvinen & Haverinen, 2011)

Anioninvaihtimien toiminta taas perustuu negatiivisesti varautuneiden epämetalli-ionien, kuten kloridi (Cl^-) ja sulfaatti (SO_4^{2-}) vaihtamiseen hydroksyyli-ioneiksi (OH^-) ja elvytys tapahtuu yleensä natriumhydroksidilla (NaOH). Tämä perustuu siihen, että OH^- -ionit syrjäyttävät massaan kiinnittyneet kloridit ja sulfaatit. (Ruokosal, 2010) Anioninvaihto tapahtuu reaktioyhtälön 2 mukaisesti ja elvytys sen käänteisreaktiona natriumhydroksidilla (NaOH). (Ruokosal, 2010)



Kaava 2: Anioninvaihtoreaktio. (Auvinen & Haverinen, 2011)

2.1.1 Ioninvaihtolaitteistot

Kappaleessa esitellään muutama esimerkki ioninvaihtolaitteistoista.

Veden pehmennyksessä ioninvaihtolaitteisto on yksinkertaisimmillaan yksittäinen säiliö, joka sisältää ioninvaihtomassaa. Säiliössä on putkistot tulo- ja ulostulovedelle, putkien tulee olla valmistettu haponkestävästä muovista ja säiliön pinnoitteen tulee olla korroosionkestävää. Ulkoiisiin varusteisiin kuuluvat pumppu, suolaliuosallas ja annostelulaitteet. Hinta riippuu pitkälti tarvittavasta tehosta veden virtauksen suhteen ja vaadittavan säiliön koosta. Laitteiden oman hinnan lisäksi myös elvytyksessä käytettävät kemikaalit voivat olla kalliita, mikäli niiden kulutus on suuri. (BWT - Best Water Technology, 2018) (Nuutinen, 2018)



Kuva 1: BWT bestclear ioninvaihdin. (BWT - Best Water Technology, 2018)

Kuvassa 1 oleva BWT bestclear on ioninvaihtoon perustuva laitteisto, jossa on myös aktiivihiihli-suodatin ja sopii kylmälle ja kuumalle vedelle +65 °C saakka. Veden virtauksen kapasiteetti riippuu käytettävästä suodattimesta, joka valitaan veden kovuuden mukaan (3600-22500 L). Laitte poistaa myös osan veteen liuenneista suoloista. (BWT-Best Water Technology, 2018)



Kuva 2: BWT Bestsoft 22 ioninvaihdin. (BWT - Best Water Technology, 2018)

BWT Bestsoft 22 (kuva 2) on ioninvaihtoon perustuva laite, jolla saadaan pehmenettyä vettä, jolloin kovuutta aiheuttavat ionit korvataan vesiliukoisilla suoloilla. Sisältää 25 kg ioninvaihtomassaa, joka elvytetään NaCl:lla kontrolloidusti vesimäärän mukaan (kulutus n.0,63 kg per elvytyskertaa). Tarkoitettu n. 1000 l/h veden virtaukselle, kun kovuus on 20 °dH, kestää lämmintä vettä 65 °C asti. (BWT - Best Water Technology, 2018)



Kuva 3: Aqua Novan kaksoisioninvaihdin. (Nuutinen, 2018)

Kaksoisioninvaihdin kuvassa 3 suuremmille kuin 1000 l/h vesimäärille (kapasiteetti 110-525 m³/dH° säiliöiden koon mukaan), suorittaa ioninvaihtomassan elvytyksen automaattisesti toisessa säiliössä siirtäen veden virtauksen toiseen säiliöön elvytyksen ajaksi, kun ennalta määrätty veden määrä tulee täyteen tai ajastuksen mukaan. Tällöin veden pehennys voidaan toteuttaa jatkuvasti ilman keskeytyksiä ioninvaihtohartsin elvytyksen ajaksi. (Nuutinen, 2018)

2.2 Magneettinen vedenpehmennys

Myynnissä on paljon magneettiseen veden käsittelyyn liittyviä laitteistoja, joiden on todettu vähentävän veden kovuutta. Veden kovuuden suurena ongelmana on kalkin muodostuminen laitteiden pinnoille mikä johtuu siitä, että CaCO_3 liukenevuus heikkenee lämpötilan noustessa. Tämä aiheuttaa suurta energian tuhlausta kattiloissa, lämmönvaihtimissa ja kuumavesi putkistoissa. Kyseiseen ongelmaan pyritään vaikuttamaan magneettisilla laitteistoilla. (J.M.D Coey, 2000)

Vanhemmat laitteistot käyttivät hyväkseen pysyviä magneetteja, uudemmat ovat siirtyneet käyttämään magneettikenttiä, joissa magneettikenttä ympäröi putkea jossain osassa ja läpäisee putken joka puolelta, mikä vähentää sen käyttömahdollisuuksia kupari- ja muoviputkistoissa. Vaikka laitteistoja on ollut tarjolla aina vuodesta 1930 saakka, ei ole saatu varmuutta niiden toimivuudesta ja monet tutkimukset ovat antaneet melko ristiriitaisia ja epävarmoja tuloksia. (Lower, 2017)

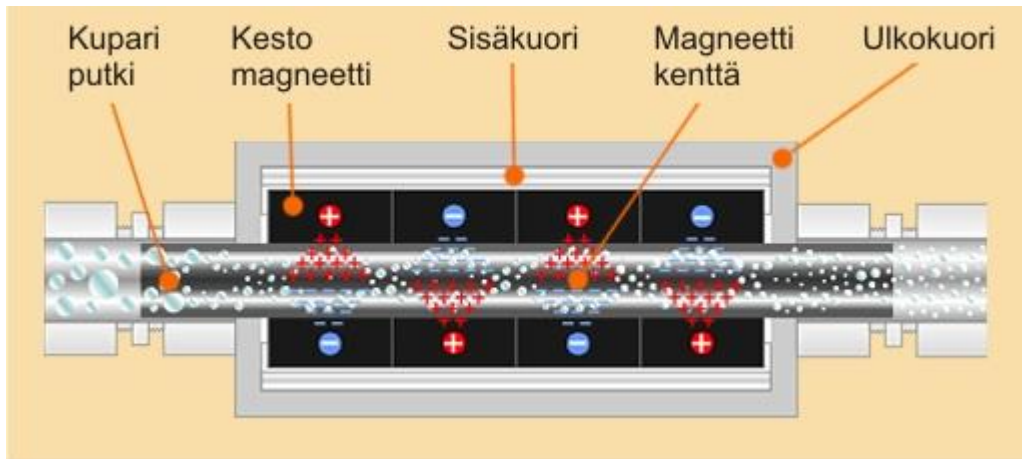
Veden käsittely magneettisesti voidaan toteuttaa monin tavoin, kuten yhdistämällä pysyvä magneetti putken sisä- tai ulkopintaan, kiertämällä putken ympäri kela, jossa kulkee sähkövirta, jolloin syntyy sähkökenttä. Kaikissa menetelmissä vesi altistuu magneetille kulkiessaan putkessa sen ohi, jolloin veden subjektiivinen kovuus vähenee. (Powell, 1998)

Magneettinen käsittely ei tutkimusten mukaan vähennä itse kalsiumin tai magnesiumin määrää vedessä, magnesiumin tapauksessa sen määrä itseasiassa lisääntyy, sillä käsittely irrottaa Mg-ioneja liukoiseen muotoon. Sen sijaan käsittely muuttaa liuenneiden mineraalien tapaa muodostaa kalkkia. Vaikka liuenneiden mineraalien konsentraatio pysyy samana, magneettisesti käsitelty vesi käyttäytyy kuten pehmeä vesi (Pätsi, 2002). Erään tutkimuksen mukaan veden altistaminen magneettikentälle saa aikaan kalsiumin ja karbonaatin kiinteytymisen aragoniitti- ja kalsiittikristalleiksi, joista aragoniittia on todettu muodostuvan huomattavasti enemmän ja sen on myös todettu pitävän olomuotonsa ainakin 200 tunnin ajan. (J.M.D Coey, 2000). Liikkuvalla vedellä tehdyssä tutkimuksessa todettiin vaikutuksen perustuvan magneettikentän ja vetysidosten yhteys ha-joaa resonanssin vaikutuksesta. Parhaat tulokset mineraalien kiteytymiseen on saatu käytettäessä resonanssiin perustuvia laitteita.

Magneettikäsittelyn todettiin aiheuttavan liuenneiden mineraalien kiteytymistä, jolloin veden voi liueta lisää mineraaleja ja siten kalkin muodostuminen putkien seinämiin vähe-
nee. (Kronenberg, 1985)

2.2.1 Magneettisen vedenkäsittelyn laitteisto

Kappaleessa esitellään esimerkkejä erilaisista magneettisen ja sähköisen vedenkäsittelyn laitteista. Laite koostuu putken ympärille tai putkien päähän/väliin asennetusta magneettikentän tuottavasta laitteesta. Laitteen rakenne koostuu yleensä kupariputkesta, kupariputken ympärillä olevasta kestmagneetista, sisäkuoresta ja ulkokuoresta, jotka eristävät laitteen sisällä olevan kupariputkea ympäröivän magneetin. Laitteen koko riippuu vaadittavasta kapasiteetista ja käyttökohteesta.



Kuva 4: Esimerkki magneettisen vedenkäsittelylaitteen rakenteesta.



Kuva 5: XCAL DIMA Magneettinen vedenkäsittelylaite.

Kuvassa 5 on vedenlämmitysjärjestelmien yhteydessä käytetty kalkinpoistolaite, kapasiteetti 800 l/h magneettina gauss 20.000. (Huipputuotteet, 2018)



Kuva 6: Bauerin magneettinen vedenkäsittelylaite. (Bauer watertechnology, 2018)

Bauerin vedenkäsittelylaitteita kuvassa 6 on käytössä pääasiassa taloyhtiöiden vedenlämmitysjärjestelmien yhteydessä ja sen on todettu vähentävän putkistojen kalkkiutumista. (Bauer watertechnology, 2018)



Kuva 7: Vesitekno Oy:n sähköinen vedenkäsittelylaite. (Vesitekno Oy, 2018)

Kuvan 7 vesitekno Oy:n laite perustuu magneettikentän sijasta 24 voltin impulssiteknoologiaan, eli magneetin sijaan laite käyttää sähköimpulsseja, joilla aikaansaadaan sama vaikutus kuin magneetilla. Menetelmä käyttää hyväkseen elektroforeesia, joka tarkoittaa sähköisesti varautuneiden aineiden liikkumista kohti vastakkaista varausta. Laite käyttää räätälöityjä eristettyjä kupari-impulssikaapeleita. Se sopii kaikkiin putkistomateriaaleihin ja eri mallit sopivat erikokoisiin putkiin ja eri kapasiteetilla. Pienimmän laitteen kapasiteetti on 3000 l/h, kun taas suurimman on 500 m³/h. (Vesitekno Oy, 2018)

2.3 Käänteisosmoosi (Reverse osmosis, RO)

Käänteisosmoosi käyttää hyväkseen hydrostaattista painetta kuljettaakseen veden puolliläpäisevän kalvon läpi, jonka huokoskokona on 0,001 μm . Käänteisosmoosin hyötynä on erotuksen tehokkuus, vakaus, alhainen energiantarve ja toimintalämpötila, pieni koko ja alhaiset kulut. (Johansson, 2013)

Puolliläpäisevän kalvon huokoskoko on riittävän suuri päästääkseen vesimolekyylit läpi, mutta jättää jälkeen kovuutta aiheuttavat ionit kuten, Ca^{2+} ja Mg^{2+} . Käänteisosmoosin suurin ongelma on kalvon likaantuminen riippuen puhdistettavasta vedestä, joista pahimmat ovat biologinen ja orgaaninen likaantuminen. Biologista likaantumista aiheuttavat biomassa ja mikro-organismit. Orgaanista likaantumista aiheuttavat proteiinit, aminosokerit, polysakkaridit, sekä humushapot. (Johansson, 2013)

Käänteisosmoosissa kalvojen likaantuminen on suuri ongelma, jonka vuoksi laitteeseen tuleva vesi vaatii yleensä tehokkaan esikäsittelyn. Tavallisesti esikäsittely koostuu mekaanisesta suodatuksesta, jolla poistetaan kiintoaine, hiekka ja putkiston korroosiotuotteet. RO kalvot eivät kestä kiinteitä epäpuhtauksia ja ne poistetaan yleensä esim. patruunasuodattimella. Kovuussuolojen saostuminen on yleensä tarpeellista estää pehmentämällä vesi ennen RO-käsittelyä pehmenyysuodattimilla, joka vaihtaa vedessä olevia kalsium- ja magnesiumsuoloja natriumsuoloihin. Pehmenyysuodatin on yleensä tarpeen, kun tuotto on 10 m^3/h . RO-kalvot eivät myöskään kestä vapaata klooria, joten se joudutaan poistamaan joko aktiivihilisuodatuksella tai natriumbisulfaatilla. (Auvinen & Haverinen, 2011)

RO-kalvoina käytetään nykyisin enimmäkseen täyssynteettisiä kalvoja, tällaisia ovat mm. aromaattiset polyamiinit (PA) ja polybentseenidiatsoli (PBI). Kalvomateriaalien paraneamisen myötä on myös kehitetty uusia tyyppisiä, kuten epäsymmetriset kalvot ja monikerroksiset kalvot eli komposiittikalvot. Epäsymmetriset valmistetaan yhdestä materiaalista siten, että muodostuu epäsymmetrinen rakenne ja sen pinnalla on ohut tiivis kerros, joka määrää kalvon erotuskyvyn. Komposiittikalvoissa taas tukirakenteen päälle polymeroidaan ohut polyamidia ja runko-osa muodostuu yleensä polysulfonista. Molemmat kerrokset kiinnitetään tukevan kankaan pinnalle. (Auvinen & Haverinen, 2011)

2.3.1 RO-laitteisto

Kappaleessa esitellään muutama esimerkki erilaisista käänteisosmoosiin perustuvasta laitteesta.

RO-laitteisto koostuu pääasiassa putkistoista, suodattimista ja virtauksen säätimistä, moottorista sekä antureista sähkönjohtokyvyn mittaamiseen. Hinta riippuu veden virtauksen määrästä, laitteen koosta ja tarvittavien esikäsitteilyjen määrästä. (Nuutinen, 2018)



Kuva 8: BWT bestaqua 60/61/62 Käänteisosmoosilaite. (BWT - Best Water Technology, 2018)

Kuvassa 8 esiintyvä BWT bestaqua on pienikokoinen kompakti käänteisosmoosiin perustuva laite, poistaa 99% vedessä olevasta suolasta. Sisältää myös ohivirtausventtiilin, jolla laitteeseen voidaan päästää raakavettä ja nostaa pH mikäli se laskee liikaa. Kalvo voidaan puhdistaa vedellä n.2-3 kertaa ennen vaihtoa. Laitteen kapasiteetti riippuu veden laadusta ja mallista, kestää n. 180-400 l/h virtauksen. (BWT- Best Water Technology)



Kuva 9: Aqua Novan 2000-sarjan käänteisosmoosilaite. (Nuutinen, 2018)

Kuvassa 9 Aqua Novan täysautomaattinen käänteisosmoosilaite, joka poistaa vedestä 98% kaikesta suolasta. Käyttää patruunasuodattimia, jotka täytyy vaihtaa tarpeen vaatiessa. Laitteen tuottama vesi johdetaan erilliseen säiliöön, sisältää myös mineraalisuodattimen, jotta kaikki ihmisen tarvitsemat mineraalit eivät häviä tarpeettomien mukana, suodattimeen on lisättävä kalkkikivimassaa ajoittain. Laite voidaan toimittaa joko yhdellä tai kahdella kalvolla varustettuna, yksikalvoisen käänteisosmoosilaitteen kapasiteetti on 170 litraa tunnissa ja kaksikalvoisella 340 litraa tunnissa. (Nuutinen, 2018)

3 HINTAVERTAILU

3.1 Ioninvaihto

Ioninvaihtimen kokonaishinta muodostuu:

- Ioninvaihtolaitteesta
- Ioninvaihtomassasta
- Suolasta ja suola-altaasta sekä suolan kulutuksesta

Keskimäärin ioninvaihtimet ovat n. 1000-2000 € sisältäen suola-altaan ja laitteiston, pienemmän koon laitteistoissa päästään paljon pienempiin hintoihin (100-1000 €).

Kationivaihtomassan hinta on n. 215 € / 25L ja se kestää tasaisella elvytyksellä jopa 10 vuotta

Suolan kulutus vaihtelee laitteittain, mutta on keskimäärin n. 4 kg, hinta n. 15€ / 25 kg

Yksi litra ioninvaihtomassaa kestää kerrallaan n. 3 kuutiota vettä, massan elvytysväli voidaan suurin piirtein arvioida kaavalla:

$$\text{Ioninvaihtomassan elvytysväli} = \frac{\text{Raakaveden määrä}}{\text{Veden kovuus}}$$

Kaava 3: Ioninvaihtomassan elvytysväli. (Nuutinen, 2018)

Nuutisen mukaan Ioninvaihtimassan elvytys kestää kerrallaan n.1,5h, mutta se voidaan kaksoisioninvaihtimissa asettaa tapahtuvaksi toisessa säiliössä samalla kun toinen säiliö jatkaa pehmentämistä. Ajustimien avulla elvytys voidaan myös määrittää tapahtuvaksi aikana, jolloin pehennystä ei tarvita esim. yöaikaan. (Nuutinen, 2018)

3.2 Käänteisosmoosi

Suuremman mittakaavan laitteistojen (kapasiteetit 10-100 m³/h) lähtöhinta on n. 10 000 €, pienempien kapasiteettien ja kokojen laitteistoissa hinnat ovat n. 4000-5000 € (kapasiteetit yleensä 100-200 l/h). (BWT Separtec Oy, 2018)

RO-laitteistojen suodatinkalvot ovat hinnaltaan 150-500 €, osa laitteista käyttää useampaa kalvoa kerrallaan sekä suodatinpatruuna tekniikkaa, joissa on mukana myös mm. aktiivihiihisuodatin ja esisuodatus. Suodattimien suositeltu vaihtoväli on n. 2-3 v, kovissa vesissä ja suuremmilla virtauksilla mahdollisesti kerran vuodessa. Suodattimet voidaan pestä 1-3 kertaa ja ottaa uudelleen käyttöön. (Nuutinen, 2018) (BWT Separtec Oy, 2018)

3.3 Magneettinen vedenkäsittely

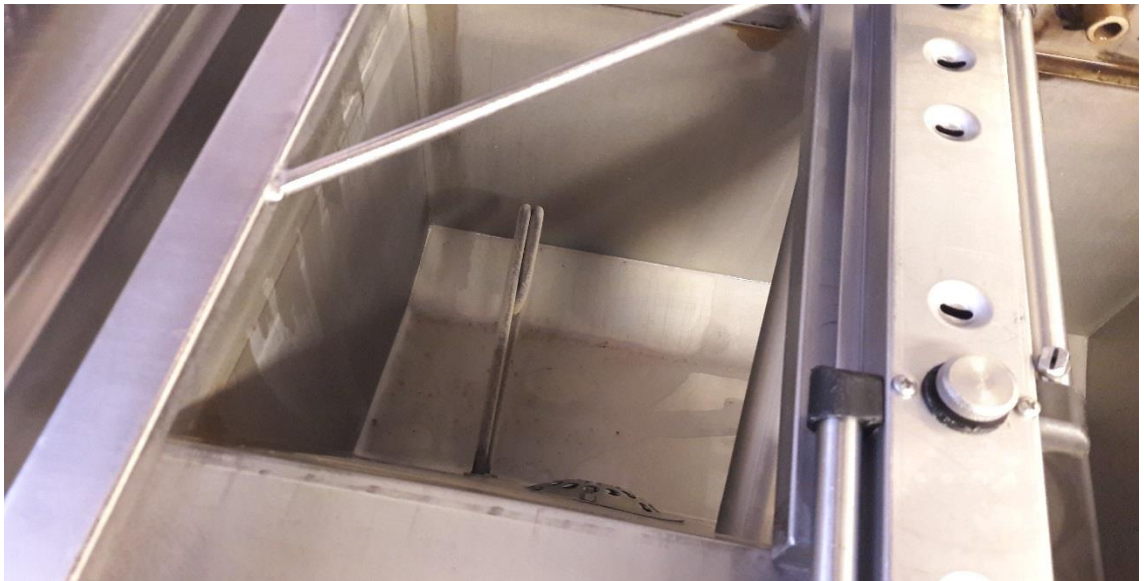
Magneettisen vedenkäsittelyn laitteiden hinnat vaihtelevat paljon valmistajien kesken ja riippuvat pitkälti tarvittavasta kapasiteetista. Hintojen vaihtelu on 100-3000 € välillä. Muita kustannuksia menetelmällä saattaa olla, mikäli putkistoa joudutaan korvaamaan muulla materiaalilla, sillä menetelmä ei toimi yhtä tehokkaasti kaikilla putkimateriaaleilla. Paras toimintakyky on todettu olevan muovi- ja kupariputkilla. Jotkin laitevalmistajat saattavat myös veloittaa erikseen laitteen asennuksesta ja mikäli laitteelle suoritetaan huoltoja säännöllisin väliajoin valmistajan vaatimuksesta. (Huipputuotteet, 2018)

Magneettista laitteistoa käytettäessä ei kuitenkaan tarvita kemikaaleja, eikä laitteessa ole kuluvia osia, joten yhden laitteen ostolla pärjätään sen hajoamiseen asti. Useimpien laitteiden osalta ei ole tarvetta suuremmille huoltotoimenpiteille.

Magneettisen vedenkäsittelyn ongelmana on mahdollisesti magnetismi itsessään, magnetismi saattaa vetää vedessä olevia magneettisia hiukkasia puoleensa putkiston seinämään, joka on otollinen kasvualusta mikrobeille. Toisena ongelmana on menetelmän vaatima kompleksisten sähköimpulssien muodostuminen, joka tarvitsee muodostukseen riittävän ja stabiilin virtausnopeuden. (Vesitekno, ei pvm)

4 KÄYTÄNNÖN OSUUS

Luvialla sijaitsevaan Käenpesän palvelukeskukseen asennettiin BWT:n suunnittelema Bestclear 2XL. Kyseisessä kohteessa on käytössä Metoksen WD-6EA kupukone, joka on ollut käytössä vasta muutaman viikon, eikä kalkkia ole ehtinyt kertymään, kuten kuvista 10 ja 11 näkee. Luvian vedenkovuuden on aiemmin testattu olevan 10 °dH, joten vedenpehmentäminen on tarpeellista. Kyseinen astianpesukone on varustettu automaattisella kuvun nostolla pesuohjelman päättyessä ja kone käynnistyy automaattisesti, kun kori työnnetään astianpesukoneeseen. Koneen kapasiteetti on n. 50 koria/h, allastilavuus on 50 l vettä, jota käytetään useampaan pesuun. Astianpesukoneessa on 3 ohjelmaa, jotka ovat omien tarpeiden mukaan ohjelmoitavissa. Testikohteeseen vaihdettiin myös ennen käytetyn Kiilto MD block extra koneastianpesuaineen tilalle Kiilto MD block S. Block extra pesuaine on tarkoitettu koviin ja keskikoviin vesiin, kun taas Block S on yleispesuaine kaikille vesille ja siten edullisempi vaihtoehto.



Kuva 10: Metos WD-6EA-koneen sisältä alaosa.



Kuva 11: Metos WD-6EA- koneen sisältä yläosa.

Kohteessa päätettiin käyttää Bestclear 2XL-pehmentintä (ks. kuva 12), sillä se on pieni-kokoinen, helppo asentaa ja voidaan nähdä, pehmeneekö vesi luvatussa suhteessa välittömästi asennuksen jälkeen. Muut vaihtoehdot voisivat pehmentää kaiken astianpesukoneelle menevän veden, mutta koska kaikki koneelle tuleva vesi tulee huuhteluboilerin kautta, riittää lyhytaikaista testiä varten käyttää Bestclear patruunoita.

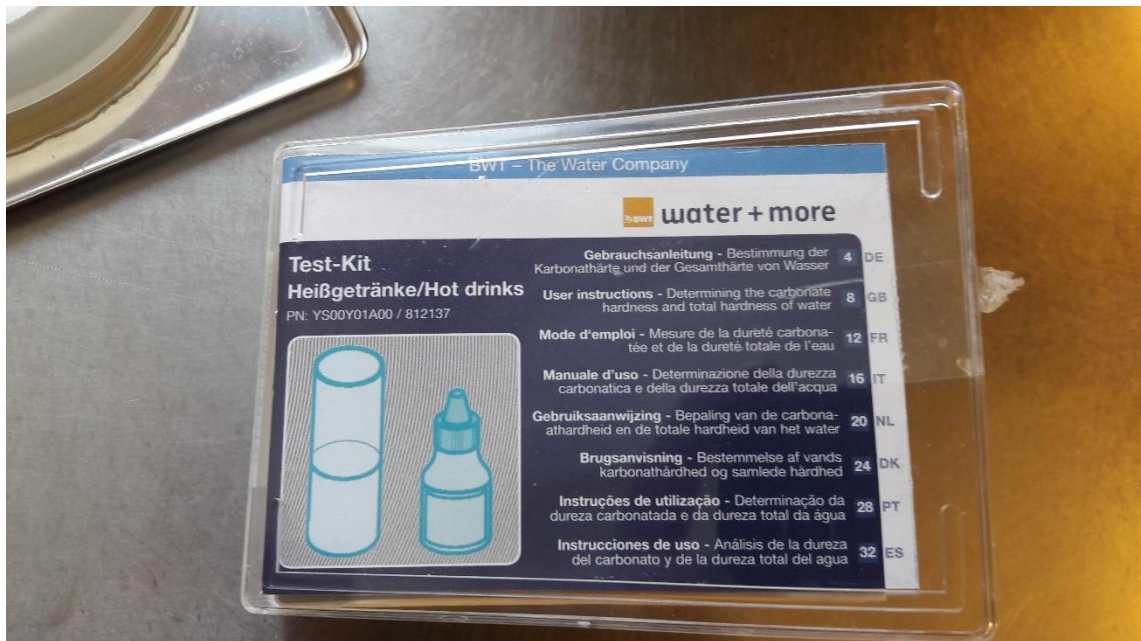


Kuva 12: Vedenpehmittin Bestclear 2XL asennettuna tiskipöydän alle.

Kuvan 12 Bestclear 2XL pehmittin kestää kovuudella 10 °dH n. 9700 litraa vettä, ennen kuin suodatin täytyy vaihtaa. Jos kulutus on n. 40 koria x 3,5 l/pv vedenkulutuksella, jolloin kyseinen suodatin kestäisi n. 34 päivää ennen kuin se pitäisi vaihtaa. Tämän perusteella laite ei olisi pitkällä aikavälillä kannattava.

Kohteessa mitattiin vedenkovuus ennen ja jälkeen laitteen asennuksen BWT:n pikatesti pakkauksella (ks. kuva 13), jolla saatiin testattua sekä kokonaiskovuus, että karbonaattikovuus. Testin tarkoituksena oli lähinnä todistaa alustavasti laitteen toiminta.

Näytteet myös analysoitiin jälkepäin KiiltoCleanin omassa laboratorioissa kokonaiskovuuden osalta kyvettitestillä LCK 327, jossa kalsium- ja magnesiumionit reagoivat metalli-indikaattorin (Cresolphthalein) kanssa muodostaakseen violetin värin ja analysoitiin Hach Lange DR 2800-spektrofotometrilla.



Kuva 13: BWT:n pikatestikitti kovuuden testaamiseen

Taulukko 2: Analyysitulokset

Testi	Ennen pehmen- nystä	Pehmennyk- sen jälkeen	Laboratorio- testi ennen	Laboratorio- testi jälkeen
Karbonaattikovuus	5	0		
Kokonaiskovuus	2-2,5	0	8,3	1
Kenttätesteri jäl- keenpäin laborato- riossa testattuna			9	1

Taulukon 2 tuloksista voidaan nähdä pikatestillä saatujen tulosten eroavan melko suuresti kentällä ja jälkeenpäin määritettynä. Myöhemmin saadut laboratoriotulokset ja pikatestillä uudelleen testatut tulokset vastaavat kuitenkin hyvin toisiaan, kentällä mitattuihin tuloksiin vaikutti todennäköisesti lämpötilan vaihtelut testiliuosten oltua ensin auton tavaratilassa ja sitten ulkona pakkasessa ennen sisätiloihin pääsyä.

Vesinäytteet otettiin pesukoneen ulostuloputkesta muoviseen näyteastiaan, jolla se kuljetettiin KiiltoCleanin omaan laboratorioon. Pikatestiä varten näyte otettiin muoviseen koeputkeen, jossa testi suoritettiin paikan päällä. Testi perustuu titraukseen EDTA-liuoksella (etylenei-diamiini-tetraetikkahappo), liuos muodostaa magnesium ja kalsiumionien kanssa kompleksiyhdisteen ja se voidaan havaita värinmuutoksella punaisesta siniseksi. Kovuus määritetään veteen lisättyjen EDTA-tippojen lukumäärän perusteella, kun sitä verrataan testipakkauksessa olevaan taulukkoon.

5 TULOKSET

Nykyisin käytössä olevat vedenpehmennysmenetelmät voidaan jakaa perustuvan ioninvaihtoon, käänteisosmoosiin sekä magneettiseen tai sähköiseen vedenkäsittelyyn. Magneettisen ja sähköisen menetelmän ollessa vain hieman toisistaan eroavia ei voida mielestäni puhua täysin erillisestä käsittelystä.

Testausta varten valittiin kuvan 12 Bestclear 2XL koska se saatiin ilmaiseksi testausta varten, oli sopivan kokoinen ja hinnaltaan edullinen, mikäli testin tulokset osoittautuisivat suotuisiksi.

Testeissä käytetyn Bestclear 2XL-laitteen (kuva 12) todettiin pehmentävän vettä luvulla suhteella (noin kymmenesosaan alkuperäisestä kovuudesta). Pesutulos todettiin myös visuaalisesti hieman paremmaksi, koska kyseisen kohteen astianpesukone oli uusi ei eroa kalkkeutumisen suhteen voitu havaita. Laskelmien perusteella (liitteessä 1) todettiin ettei kyseinen laite kuitenkaan ole kannattava pitkällä aikavälillä, kustannusten ollessa lähes 5000 €/vuosi, koska suodatinpanoksia joudutaan vaihtamaan usein kovan veden ollessa kyseessä.

Liitteen 1 laskuri on asetettu laskemaan automaattisesti veden kulutus kun pesukoneen tiedot syötetään manuaalisesti, pesuainekustannuksiin on laskettu tiedot Kiilto MD Green ja Kiilto MD 10+ Green- pesuaineiden osalta, sillä näistä olivat annostelujen, hintojen ja tiheyden osalta tiedot saatavilla. Kyseisiä pesuaineita myös käytettiin testikohteessa. Laskurilla saadaan myös tarkistettua veden kovuus eri yksiköissä. Laitteiden kustannukset lasketaan annettujen tietojen perusteella kuten lähtöhinta, veden kovuus, suolan hinta ja mahdolliset asennuskulut. Laskuri on tehty vain kahden pesuaineen ja laitteen perusteella, uusia laitteita otettaessa käyttöön sitä olisi muokattava. Muokkaus olisi kuitenkin melko helposti tehtävissä, kunhan laitteen toimintamenetelmä pysyy samana, uuden laitteen osalta nimi voidaan vain lisätä listan jatkeeksi ja muut tiedot päivittää laskuriin.

Laskennallisesti vertailukohteena käytettiin Bestsoft 22-ioninvaihdinta (Kuva 2), sillä se voisi mahdollisesti olla hyvä vaihtoehto yli vuotta pidemmälle käytölle kokonsa ja helpokäyttöisyytensä vuoksi. Kyseistä laitetta ei kuitenkaan käytetty testissä, sillä se poistaa vedestä kaiken suolan ja kovuuden eikä siten jäisi juurikaan testattavaa, sekä myös sen

korkeamman ostohinnan vuoksi. Laitteen todettiin kuitenkin tulevan edullisemmaksi Bestclear 2XL: aan verrattuna vuoden käytön jälkeen.

Laskurissa hintoina käytettiin laskennallisia ovh-hintoja, eivätkä ne välttämättä täysin vastaa lopullisia hintoja. Suodatinpanosten ja ioninvaihtohartsin elvytysvälit laskettiin myös 15 % todellista pienemmäksi, jotta voidaan suuremmalla varmuudella ajoittaa ne oikein.

Ammattikeittiöiden vedenkulutuksesta n.85 % kuluu astianpesussa, Käenpesän palvelukeskuksessa astioita pestiin keskimäärin 40 korillista vuorokaudessa ja vettä kierrätettiin mahdollisuuksien mukaan, joten veden kulutus oli säännöstelty hyvin (n. 240 l/vrk). Eri keittiöiden veden kulutus riippuu paljon pesukoneesta, montako koneellista päivässä pestään sekä montako päivää viikossa on toimintaa. Yleensä myös käytetyt pesuohjelmat ja automatiikka vaikuttavat kulutukseen.

Esimerkkinä vertailuun erään TTS tutkimuksen raportin mukaan koulun keittiön astianpesun kulutuksen todettiin olevan 650 l/päivä automatiikkaa käytettäessä ja 7100 l/päivä ilman automaattista säätelyä 9h käyttöajalla vuorokaudessa (Reisbacka, et al., 2009).

6 LOPUKSI

Hintojen perusteella voidaan todeta ioninvaihdon ja magneettisen käsittelyn olevan huomattavasti edullisempia menetelmiä käänteisosmoosiin verrattuna, tilanne voi kuitenkin olla eri, kun puhutaan useiden kymmenien kuutioiden vedenkulutuksesta tunnissa. Ammattikeittäisiin sen ei kuitenkaan todettu olevan tarpeellista. Kyseiseen käyttöön magneettinen tai sähköinen vedenkäsittely voisi mahdollisesti olla edullisin vaihtoehto, menetelmän tehosta tähän tarkoitukseen ei kuitenkaan ole varmuutta ja sen todentaminen vaatisi pidempiaikaista testaamista. Tämän vuoksi testeissä päädyttiin käyttämään ioninvaihtoa.

KiiltoCleanilla on suunniteltu jatkotestauksissa asennettavan Käenpesän palvelukeskukseen magneettinen tai sähköinen vedenkäsittelylaite pidemmän ajan testausta varten, jolloin voidaan aikanaan nähdä, onko sillä toivottua vaikutusta kyseisessä käytössä. Tällöin yritys kykenee itse seuraamaan sen vaikutusta eikä tarvitse luottaa pelkästään asiakkaan mielipiteeseen. Kyseinen testaus vaatii kuitenkin pidemmän aikavälin seurantaa, eikä ollut mahdollista tämän opinnäytetyön puitteissa.

LÄHTEET

Auvinen, I. & Haverinen, T., 2011. *Ioninvaihto ja käänteisosmoositekniikan vertailu vesilaitoksen uusimista varten*. [Online]

Available at:

https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/27138/Auvinen_%20Haverinen.pdf?sequence=1

[Haettu 17 Tammikuu 2018].

Bauer watertechnology, 2018. *Etusivu*. [Online]

Available at: <http://www.bauer-wt.fi/fin/>

[Haettu 31 1 2018].

BWT - Best Water Technology, 2018. *Toimintasektorit ja tuotteet*. [Online]

Available at: [http://www.bwtwater.fi/fi/toimintasektorit-ja-tuotteet/Sivut/product.aspx?pid=SS22X01A00\(BWTGROUP\)](http://www.bwtwater.fi/fi/toimintasektorit-ja-tuotteet/Sivut/product.aspx?pid=SS22X01A00(BWTGROUP))

[Haettu 29 1 2018].

BWT- Best Water Technology, ei pvm *Toimintasektorit ja tuotteet*. [Online]

Available at: [http://www.bwtwater.fi/fi/toimintasektorit-ja-tuotteet/Sivut/product.aspx?pid=421090630\(BWTGROUP\)](http://www.bwtwater.fi/fi/toimintasektorit-ja-tuotteet/Sivut/product.aspx?pid=421090630(BWTGROUP))

[Haettu 29 1 2018].

BWT Separtec Oy, 2018. *Hinnastot*, Turku: s.n.

BWT-Best Water Technology, 2018. *Toimintasektorit ja tuotteet*. [Online]

Available at: [http://www.bwtwater.fi/fi/toimintasektorit-ja-tuotteet/Sivut/product.aspx?pid=FS30U01A00v\(BWTGROUP\)](http://www.bwtwater.fi/fi/toimintasektorit-ja-tuotteet/Sivut/product.aspx?pid=FS30U01A00v(BWTGROUP))

[Haettu 29 1 2018].

Huipputuotteet, 2018. *Tuotteet*. [Online]

Available at: <http://www.huipputuotteet.fi/tuotteet/xcal-kalkinhajottaja/>

[Haettu 30 1 2018].

Issakainen, J., 2018. *Veden kovuuden vaikutus koneellisessa astianpesussa*, Turku: KiiltoClean.

J.M.D Coey, S. C., 2000. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 2000(209).

Johansson, T., 2013. *Käänteisosmoosin esikäsittelymenetelmät kandidaatintyö*, Lappeenranta: s.n.

KiiltoClean, 2017. *Välinehuollon pesuaineet*. [Online]

Available at: http://www.valinehuoltajayhdistys.fi/wp-content/uploads/2013/02/V%C3%A4linehuollon-pesuaineet_Kiiltoclean.pdf
[Haettu 4 5 2018].

KiiltoClean, 2018. [Online]

Available at: <http://www.kiiltoclean.com/fi/>
[Haettu 26 3 2018].

Koivula, J., 2017. *Puhdas vesi välinehuollossa*. [Online]

Available at: http://www.valinehuoltajayhdistys.fi/wp-content/uploads/2013/02/Puhdas-vesi_v%C3%A4linehuollossa.pdf
[Haettu 2 2 2018].

Kronenberg, K. J., 1985. Experimental evidence for effects of magnetic fields on moving water. 1985(21).

Lower, S., 2017. *Magnetic water treatment and pseudoscience*. [Online]

Available at: <http://www.chem1.com/CQ/index.html>
[Haettu 18 Joulukuu 2017].

Nuutinen, M., 2018. *Vedenkäsittely* [Haastattelu] (25 1 2018).

Pakkanen, T., 2009. *Kaukolämpöveden lisäveden pehmennyssuodatin*, Suomenoja: Metropolia ammattikorkeakoulu.

Pätsi, N., 2002. *Bauerin kemikaalittoman magneettisen vedenkäsittelylaitteen toimivuus käytännön kohteissa*, Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu.

Powell, M. R., 1998. *Magnetic Water and Fuel Treatment: Myth, Magic, or Mainstream Science?*. [Online]

Available at:

https://www.csicop.org/si/show/magnetic_water_and_fuel_treatment_myth_magic_or_mainstream_science?/si/9801/powell.html
[Haettu 19 Joulukuu 2017].

Reisbacka, A., Rytönen, A., Salminen, M. & Kosonen, R., 2009. *Energiätehokas ammattikeittiö*, Nurmijärvi: TTS tutkimus.

Ruokosalo, H., 2010. *Voimalaitoksen vedenkäsittely*, Tampere: Tampereen ammattikorkeakoulu.

Tampereen Vesi, 2016. *Veden kovuus ja kodinkoneet*. [Online]

Available at:

https://www.tampere.fi/material/attachments/vesi/vesi/MhDjmUymJ/Veden_kovuus_ja_kodinkoneet.pdf

[Haettu 17 Tammikuu 2018].

Vesitekno Oy, 2018. *Vesitekno.fi*. [Online]

Available at: <https://www.vesitekno.fi/vulcan-sahkoinen-vedenkasittelylaite/>

[Haettu 31 1 2018].

Vesitekno, ei pvm *Vesitekno.fi*. [Online]

Available at: https://vesitekno.fi/files/200000072-a504da6011/vulcan_erottuvaa_laatua.pdf

[Haettu 26 2 2018].

Vetelin Vesi Oy, ei pvm *Veteli.fi*. [Online]

Available at: <http://www.veteli.fi/vesi-ja-viemarilaitos/puhdas-vesi/>

[Haettu 17 Tammikuu 2018].

